

**Главный редактор:**  
Дмитрий Хрусталеv

**Редакционная коллегия:**  
Павел Асташкевич  
Александр Фрунзе  
Виктор Йовчик  
Алексей Сигаев  
Юлия Асташкевич

**Дизайн и верстка:**  
Виктория Сычева (обложка)  
Ирина Чикина

**Отдел распространения:**  
Марина Трофимова  
Юрий Рубичев  
Сергей Лукин  
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: editor@dian.ru  
www.dian.ru

Издатель и учредитель  
**ООО "ИД Скимен"**

Отпечатано в ЗАО "Красногорская  
типография"  
143400 МО, г. Красногорск,  
Коммунальный квартал, 2  
тел: (095) 562-0433  
Тираж 4000 экз.  
Заказ № 2279

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"

Информацию о подписке см. на  
последней странице журнала

Цена свободная

## Автоматика

- Терморегулятор для инкубатора – 2  
Прецизионный аналоговый терморегулятор 6

## Аудиотехника

- Схемотехника радиомикрофонов 8

## Измерительная техника

- Бесконтактное измерение температуры пирометром  
спектрального отношения 10  
Резервированный кварцевый генератор 12

## Источники питания

- Блок питания аудиоплеера 13  
Использование микроконтроллеров фирмы Microchip  
в импульсных источниках питания 14

## Основы схемотехники

- Сенсорные панели – взгляд изнутри 16  
О биполярном транзисторе замолвим мы слово... 20  
Раз шажок, два шажок... 22  
Микроконтроллеры? Это же просто! 28

## Новости науки и техники

- По солитонам моей памяти... 31

## Софт

- Примеры проектирования цифровых устройств  
с использованием языков описания аппаратуры 32  
Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов 36

## Технологии

- Лаки, компаунды и эмали в электронике и электротехнике 38

## Цифровая техника

- Повышение эффективности загрузки ПЛИС 41  
Программатор микроконтроллеров семейства x51 фирмы Atmel 44  
Счетчик витков для намотки катушек 51

## Электроника в быту

- Сирена для личной охраны на микросхеме 1211EY1 53  
Устройство сложения телевизионных сигналов 55

# Терморегулятор для инкубатора — 2

В предыдущей статье ("Схемотехника", №6/2001) был рассмотрен терморегулятор для инкубатора, работающий только от сети. Теперь же вниманию читателей предлагается описание терморегулятора работающего и от сети, и от АКБ. Кроме того, в этой конструкции предусмотрена возможность регулировки влажности, установлен таймер управления приводом перевертального механизма, звуковой сигнализатор нехватки уровня воды, устройство управления внешним зарядным устройством. Как видно из всего выше сказанного, данный терморегулятор целесообразно использовать для одновременного вывода более 100 яиц.

Принципиальная схема терморегулятора приведена на рис. 1, на рис. 2 — расположение печатных проводников, на рис. 3 — расположение деталей. Он питается от трансформаторного сетевого блока питания со ста-

билизированным выходом. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется диодным мостом VD1—VD4 и стабилизируется интегральным стабилизатором DA1 KP142EH8V. На его выходе — стабилизированное напряжение 15 В, которое

служит для питания реле K1 (нагрев от сети), K2 (управление приводом перевертального механизма), K3 (управление зарядным устройством).

Диоды VD5, VD6 обеспечивают автоматическое переключение на батарейное питание при пропадании напряжения сети. При наличии сетевого напряжения потенциал на катоде диода (15 В) выше потенциала на его аноде (12 В), поэтому аккумуляторная батарея отключена. Стабилизатор напряжения на 9 В выполнен на микросхеме DA2. Этим напряжением питаются компараторы DA3—DA5 и микросхемы DD1—DD3.

При подаче напряжения питания конденсатор C5 обеспечивает принудительный сброс в ноль счетчиков DD1 и DD2. После зарядки конденсатор на дальнейшую работу устройства не влияет.

На ОУ DA3 и DA4 собраны аналоги компараторов, обеспечивающие контроль температуры и влажности соответ-

ственно. Принцип работы подробно описан в предыдущей статье. Единственное, чем они отличаются, так это тем, что изменена полярность измерительного моста. Теперь до повышения температуры на установленную величину на выходе ОУ будет присутствовать напряжение, близкое к напряжению питания, которое через токоограничительные резисторы откроет транзисторы VT1 и VT3.

С выхода DA3 сигнал через резисторы подается на базы транзисторов VT1, VT3 и резистор R10. При наличии на выходе ОУ напряжения близкого к напряжению питания (далее — лог. 1), оба транзистора будут открыты. Если устройство питается от сети, то напряжение на верхнем выводе катушки K1 будет равно 15 В, реле замкнет свои контакты и подаст напряжение 220 В на нагревательный элемент  $R_{нагр}$ . Это же напряжение через резисторы R11 и R12 поступает на базу VT2, в коллекторную цепь которого включена катушка реле K2. Поскольку эмиттер этого транзистора подключен к выводу АКБ 12 В, на базе образуется потенциал больший, чем на эмиттере (диод VD9 за-

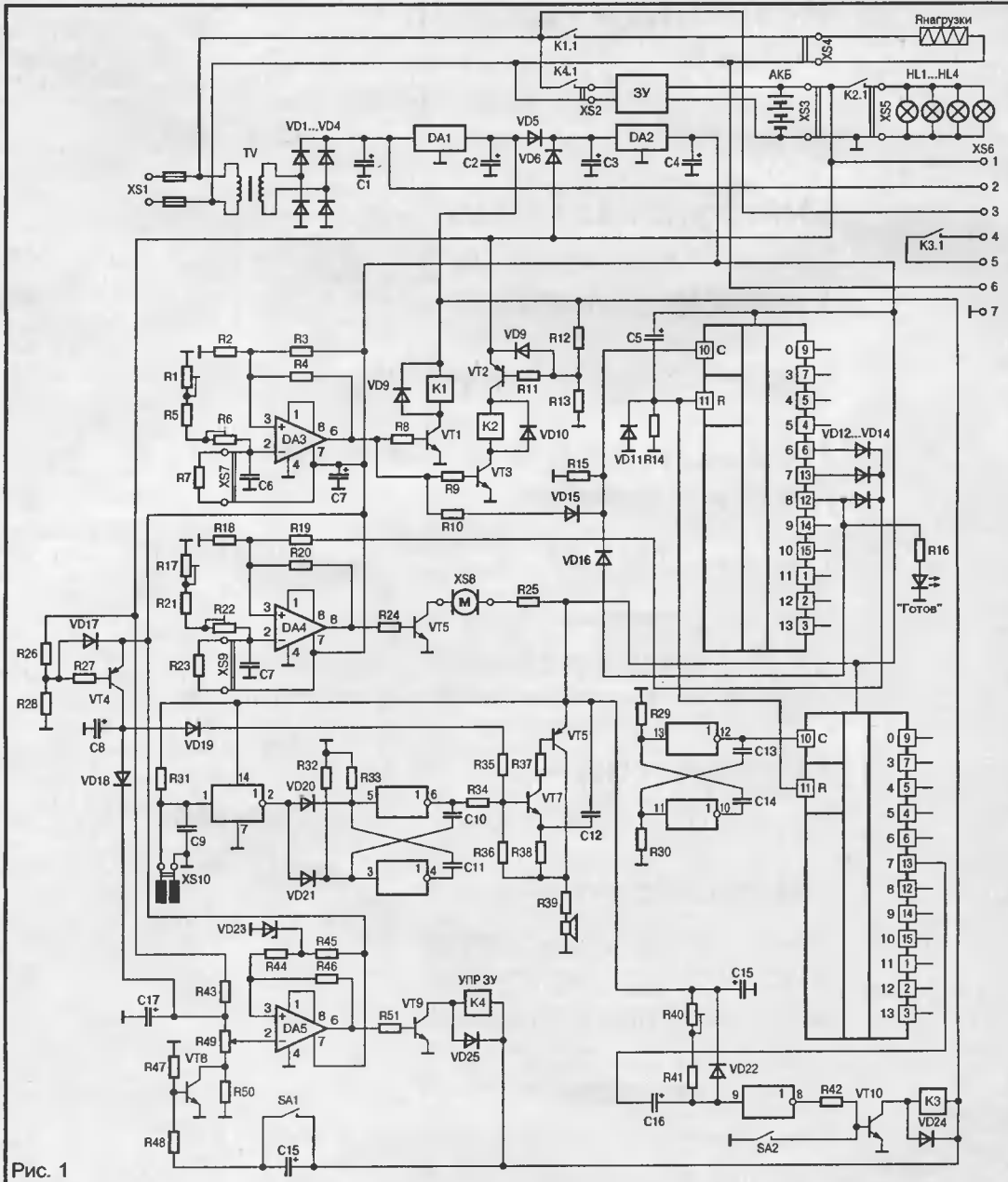


Рис. 1

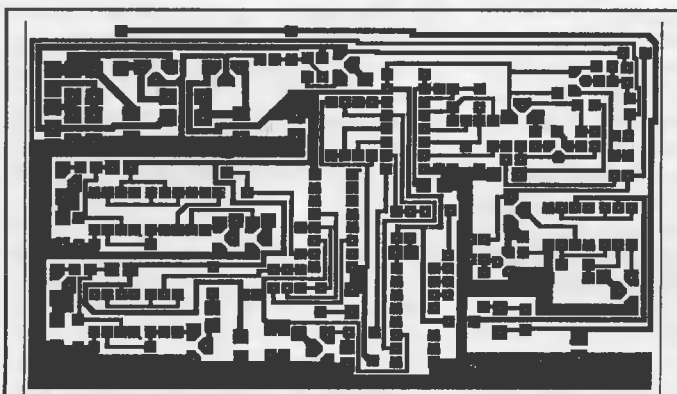


Рис. 2

двигатель "М", увеличивающей и влажность воздуха. Такая задержка необходима для того, чтобы вода, находящаяся в инкубаторе сама нагрелась до определенной температуры, необходимой для измерения влажности. Необходимо отметить, что регулировка влаж-

ляет мультивибратору устойчиво запускаться.

На транзисторах VT6 и VT7 собран мультивибратор (принцип его работы подробно описан в предыдущей статье, в данном случае лишь изменена полярность включения и структура транзисторов). Поскольку напряжение смещения (разрешения) будет подаваться периодически, то о недостатке воды в инкубаторе будет свидетельствовать прерывистый звуковой сигнал. В качестве нагрузки мультивибратора использована динамическая головка и токоограничивающий резистор R39. Номинал частотозадающего конденсатора C12 подобран для зуммера, используемого в китайских будильниках типа "Домик". Использование именно этого зуммера обосновано тем, что он развивает при небольшой потребляемой мощности очень высокое звуковое давление. При использовании пьезокерамического излучателя или динамической головки потребуется подобрать конденсатор C12 (частота) и R39 (громкость).

На транзисторе VT4 выполнен контроллер наличия АКБ. Принцип работы такой же, как у VT2, только напряжение с коллектора через диод VD19 и токоограничивающий резистор подается на базу VT7. Как только исчезнет напряжение 12 В с АКБ, транзистор VT4 откроется, запусится мультивибратор на VT6, VT7, и устройство уведомит об этом ровным звуковым сигналом.

На элементах DD3.4 и DD3.5 выполнен такой же мультивибратор, как на DD3.2 и DD3.3. Этот мультивибратор управляет включением перевертывающего механизма (ПМ) и выполнен отдельно для наиболее точной подгонки под любой ПМ. На DD2 выполнен счетчик, определяющий время интервалов между включением ПМ. При частоте генерации мультивибратора 4 Гц на 11 разряде (выв. 1) сигнал разрешения работы ПМ появится примерно через 16 мин, на 12 разряде (выв. 2) — через 32 мин, на 13 разряде (выв. 3) — через 1 ч. На плате предусмотрены отверстия для переключки с соответствующего разряда, но можно использовать и галетный переключатель. Время работы ПМ определяется постоянной времени цепи R40, R41, C16. Резистором R40 регулируют продолжительность его работы. Как правило, время работы зависит от типа ПМ, типа двигателя, передаточного числа редуктора (в качестве редуктора можно использовать механизм от старых настенных часов) и размера яиц. При необходимости можно увеличить емкость C16, тем самым, увеличивая время работы ПМ. Выключатель SA2 предназначен для блокировки ПМ в последние дни инкубации во избежание травм молодняка.

На ОУ DA5 выполнен компаратор, контролирующий состояние АКБ и управляющий зарядным устройством (ЗУ). На выв. 3 ОУ подается опорное напряжение, сформированное цепью R45, VD23, R44 и R46 замыкают петлю положительной

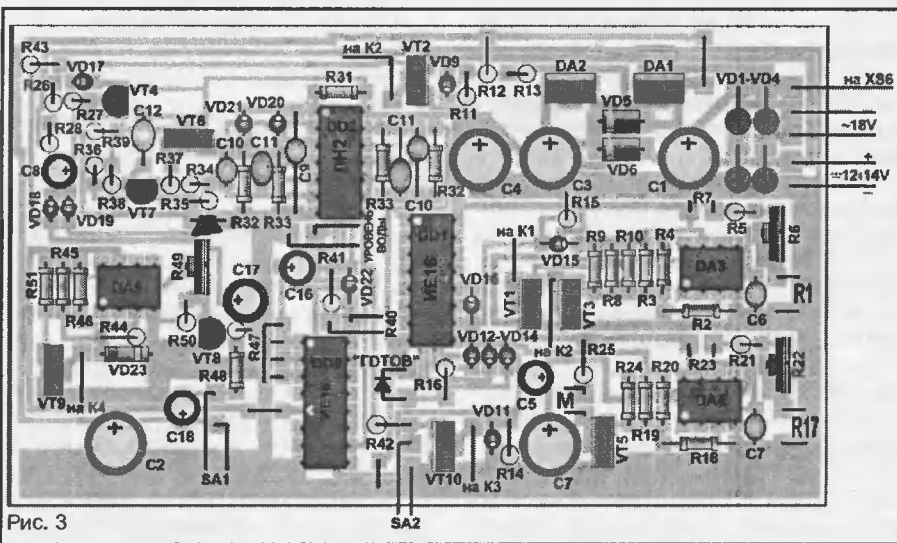


Рис. 3

щитает переход база-эмиттер от пробоя), и транзистор остается полностью закрытым. Поэтому, несмотря на то, что транзистор VT3 находится в режиме насыщения, реле K2 обесточено. При пропадании напряжения сети, на базе VT2 исчезнет запирающее напряжение, он откроется и включит обмотку реле K2. Контакты реле замкнутся и подадут напряжение 12 В с АКБ на низковольтные нагреватели HL1-HL4. Реле K1 при этом будет обесточено из-за отсутствия напряжения +15 В.

При нагреве воздуха в инкубаторе до установленной температуры напряжение на выходе микросхемы будет иметь значение, близкое к нулю. Ток через цепь R10, VD15 прекратится, и на входе С DD1 будет сигнал лог. 0. Температура в инкубаторе постепенно будет снижаться, и в определенный момент DA3 изменит состояние на своем выходе на лог. 1, ток через VD10 сформирует на входе С DD1 фронт импульса, который поступит на счетчик, и состояние на выв. 9 изменится с лог. 0 на лог. 1. После нагрева микросхема DA3 снова выдаст сигнал лог. 0, а после остывания — лог. 1 на вход счетчика. Так будет продолжаться до тех пор, пока счетчик не досчитает до 6-го разряда (64 раза).

Как только на выв. 6 DD1 появится напряжение лог. 1, на выходе компаратора DA4 сформируется сигнал лог. 1, откроется транзистор VT5, и включится

ти в данной конструкции основана на принципе работы бытового психрометра, т. е., влажность высчитывается по разности температур сухого и влажного термометров. Другими словами, увлажнитель работает до тех пор, пока температура воды не достигнет установленного значения.

Продолжая считать импульсы с компаратора DA3, счетчик DD1 неизбежно достигнет состояния, когда на 8-м разряде (выв. 12) появится уровень лог. 1. Этот сигнал через диод VD16 запретит дальнейшую работу счетчика, разрешит работу увлажнителя и включит индикатор "ГОТОВ", что в свою очередь означает, что микроклимат создан и можно закладывать яйца в инкубатор.

На элементе DD3.1 выполнен формирователь состояния уровня воды. Как только уровень воды опустится ниже расположения концевого датчика, на входе DD3.1 сформируется лог. 1, на выходе появится лог. 0, что, в свою очередь, разрешит работу мультивибратора на элементах DD3.2 и DD3.3. Подобная схема мультивибратора наиболее устойчиво работает на низких частотах. На выходе DD3.2 будет появляться сигнал лог. 1, и на базу VT7 через резистор будет подаваться положительное напряжение смещения. Разность номиналов конденсаторов C9, C10 обеспечивает несимметричность колебаний, что позво-

обратной связи, необходимой для формирования диапазона захвата рабочих напряжений АКБ. При зарядке АКБ ее напряжение неизбежно увеличивается и достигает напряжения конца заряда (14,2...14,4 В). При этом напряжение на выв. 2 ОУ должно превысить напряжение на выв. 3 (этот режим устанавливается резистором R49). Как только это произойдет, напряжение на выходе ОУ изменится с лог. 1 на лог. 0. Ток через базовый переход VT9 перестанет течь, и он закроется, реле K4 разомкнет контакты и снимет напряжения питания с ЗУ, зарядка АКБ прекратится.

В момент появления напряжения сети, напряжение 15 В через заряжающийся конденсатор С18 кратковременно откроет транзистор VT8. На выв. 2 DA5 сформируется напряжение ниже установленного предела, и на выходе DA5 появится лог. 1, которая через транзистор VT9 и реле K4 включает ЗУ. Как только израсходованная АКБ зарядится, ЗУ будет отключено. Кнопка SA1 предназначена для принудительного запуска ЗУ.

При отсутствии АКБ компаратор DA5 в момент включения питания от сети 220 В включит ЗУ, и напряжение на входе 2 напряжение будет очень быстро увеличиваться (время зарядки С17). По достижению установленного резистором R49 предела, DA5 выключит ЗУ. Напряжение 12 В быстро исчезнет, но DA5 не включит ЗУ до тех пор, пока конденсатор С17 не разрядится до определенного соотношением резисторов R46—R44 предела. Конденсатор С17 должен быть на напряжение не менее 50 В, потому что при отсутствии АКБ на клеммах разъема XS3 возможны броски напряжения, достигающие 20...40 В. При пропадании напряжения 12 В с АКБ, откроется транзистор VT4. Он через VD19 включит непрерывный звуковой сигнал и через VD18 заблокирует DA5. Конденсатор С8 необходим для увеличения постоянной времени работы VT4 при восстановлении напряжения АКБ.

### Конструкция и детали

Диоды VD1-VD7 — любые на ток 2-3 А и напряжение не менее 100 В (КД257, FR207); VD7, VD9, VD18, VD20 — любые на ток 0,5А и напряжение 100 В (КД209, IN4007); остальные — любые из ряда КД521, КД522, КД103.

Транзисторы VT1, VT3, VT9, VT10 — КТ815 с любой буквой, без теплоотводов (большой запас по мощности позволяет использовать реле практически любого типа). VT2, VT6 — КТ814 с любой буквой. VT7, VT8 — любые из серии КТ3102. VT4 — любой из серии КТ3107.

Микросхемы DA3-DA5 — К544УД2А, которые использовались в оригинале устройства, поэтому выводы 1 и 8 замкнуты, а в качестве замены можно использовать весь ряд замен, предлагаемый в предыдущей статье.

Микросхемы DD1, DD2 — К561ИЕ16 (выв. 5 DD3 необходимо удалить — технологическая необходимость), DD3 — К561ЛН2.

SA1 — любая кнопка без фиксации, SA2 — любая кнопка с фиксацией.

K1, K3, K4 — любые реле с обмоткой на напряжение 15 В, обеспечивающие коммутацию тока не менее 2 А. Все контактные группы необходимо соединить параллельно. K2 — автомобильное реле сигнала (напряжение обмотки 12 В, ток через контакты 30 А).

В качестве HL1—HL4 лучше использовать обычные лампы мотоциклетных фар (галогенные и криптоновые слишком мощные) мощностью на одну спираль 40...50 Вт. Обе спирали лучше соединить параллельно. Суммарная мощность не должна превышать 350 Вт (12 В x 30 А = 360 Вт).

R<sub>нагр</sub> — такой же, как в предыдущем терморегуляторе.

Тип АКБ зависит от размеров инкубатора, его теплоизоляционных свойств и продолжительности отсутствия сетевого напряжения.

В качестве двигателя М можно использовать двигатель от импортной магнитолы. Регулятор частоты вращения удален.

Для изготовления увлажнителя потребуется небольшая воронка для заполнения бутылок. Необходимо подобрать сверло, диаметр которого будет на 2-4 мм меньше внутреннего диаметра носика лейки. На расстоянии 15-20 мм от конца на него плотно наматывается бумажная полоса шириной 5-7 мм. Толщина намотки должна быть такой, чтобы сверло очень плотно входило в носик воронки. Затем его необходимо заткнуть (рабочая область сверла должна находиться внутри), установить воронку вертикально и заполнить расплавленным парафином от бытовых свечей. Получившаяся конструкция (рис. 4, а) выдерживается неподвижно до полного застывания парафина. После полного затвердения аккуратным постукиванием по хвосту сверла парафиновую заготовку выбивают из воронки.

Сверло зажимают в патрон электродрели (токарного станка) и резаком, изготовленным из ножовочного полотна аккуратно, по 0,5-0,7 мм срезают парафин с вращающейся заготовкой до получения заготовки в форме "дудки" (рис. 4, б). Высота "дудки" 45-50 мм, диаметр — 55-60 мм. Радиус закругления особой роли не играет, лишь бы не было резких переходов.

После отточки парафиновой заготовки необходимо развести эпоксидный клей "ЭДП" и обмотать заготовку матерчатой полосой, тщательно пропитанной клеем. Толщина намотки составляет 3-4 мм. В центре торца заготовки следует сделать цилиндрок из матерчатых кру-

гов диаметром 10-12 мм и высотой 8-10 мм. После полимеризации клея необходимо опять зажать хвост сверла в патрон дрели, и напильником с крупным зубом придать заготовке гладкий вид. Затем с торца цилиндрика сверлится отверстие по диаметру вала двигателя глубиной 6-7 мм. Эту операцию необходимо выполнять при вращающейся заготовке и неподвижном сверле. Отступив 3-4 мм от края внешней стороны широкой части заготовки, в ней высверливаются четыре отверстия диаметром 1-1,2 мм. Их сверлят под прямым углом к плоской части заготовки (рис. 4, в). Около первого отверстия необходимо с обеих сторон поставить метку. После сверления самую широкую часть заготовки срезают напильником (заготовка вращается) и разделяют получившиеся части.

На всех этапах обработки необходимо следить за температурой заготовки — она не должна превышать 25°C, так как парафин может размягчиться, и ось вращения заготовки сместиться (появятся биения). Лучше всего перед механической обработкой выдержать заготовку в морозильной камере холодильника 20-30 мин.

Затем из заготовки выплавляют парафин и промывают ее бензином "Нефрас-калоша" (бензин хорошо растворяет парафин). В четыре отверстия вставляют медную или алюминиевую проволоку подходящего диаметра и фиксируют ее клеем "ЭДП" (метки первого отверстия должны совпасть). После застывания клея, торчащие концы проволоки обрезаются и обрабатываются мелкой наждачной шкуркой.

Далее следует изготовить крыльчатку из жести от консервных банок. Ее диаметр должен быть на 4-5 мм больше, чем верхний диаметр конической заготовки. В центре круга из жести высверливают отверстие диаметром 1 мм. Затем керном его пробивают до диаметра вала двигателя. Круг размечают на восемь одинаковых секторов и ножницами по металлу по разметке надрезают на 2/3 радиуса и каждый из них загибают на 25-30°.

Для изготовления каркаса идеально подойдет фольгированный стеклотекстолит. Вырезают круг на 30-35 мм больше большего диаметра конической заготовки и восемь полосок шириной 10-12 мм и длиной на 5-7 мм больше высоты конической заготовки. В центре круга высверливается отверстие на 1-2 мм больше диаметра вала и 2-4 отверстия под винты крепления двигателя. На стеклотекстолитовом круге наносится разметка восьми равных секторов, и по краю круга припаиваются торцом полосы по разметке. После закрепления двигателя, на вал наносится эпоксидный клей, надевается крыльчатка и конус. Эту операцию следует выполнять аккуратно, чтобы клей не попал в подшипник скольжения двигателя.

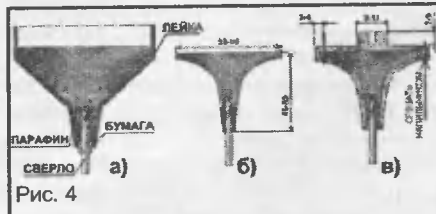


Рис. 4

В качестве нижней крышки можно использовать банку для проявки фотопленки, в качестве верхней подойдет банка от маргарина или масла. Каркас из стеклотекстолита с закрепленным двигателем и приклеенным конусом фиксируется на дне нижней крышки эпоксидным клеем (перед нанесением клея поверхности необходимо тщательно зашкурить крупной шлифовальной шкуркой и обезжирить). В верхней крышке высверливают 8-14 отверстий диаметром 10-12 мм. Должно выполняться условие: нижний край верхней крышки должен быть ниже прорези в конусе на 5-7 мм. В нижней части нижней крышки высверливают два отверстия: одно диаметром 5,5-6 мм (под корпус шариковой ручки), другое — 2-3,5 мм (под ее стержень). Шариковая ручка обрезается до длины 25-30 мм, пустой стержень от нее — до 30-35 мм. Затем получившиеся трубки вставляют в соответствующие отверстия и приклеивают эпоксидным клеем с тканью. На трубку от ручки надевают виниловую трубку и соединяют ее с основной емкостью, наполненной водой. Отрезок стержня вклеивают в пластмассовый цилиндр (можно использовать корпус от толстого фломастера или маркера) с запаянным или заклеенным дном. Его диаметр — 8-10 мм, длина — 35-40 мм. От латунного отрезка трубки диаметром 5-6 мм отрезают кусочек длиной 37-45 мм (идеально подойдет секция телескопической антенны), и одну его сторону запаивают. Затем необходимо заполнить ее на половину длины теплопроводной пастой и вставить резистор R23, обмотанный тонкой фторопластовой лентой (рис. 5). Следует отметить, что от объема воды в емкости, в которой находится R23, зависит точность поддержания влажности — чем меньше объем, тем больше точность (малый объем определяет малую инерционность).

При настройке инкубатора необходимо учитывать, что увлажнитель должен использоваться для поддержания необходимой влажности, а не для ее создания. Площадь испарения основных емкостей с водой подбирается таким образом, чтобы при отключенном увлажнителе влажность была бы меньше требуемой не более чем 15%.

При подаче питания на двигатель увлажнителя, конус начинает вращаться,

и вода под действием центробежной силы по сужающейся части конуса начинает подниматься вверх. Достигнув ее изгиба, она приобретает большую угловую скорость и достигает прорези в верхней части конуса. Здесь мелкодисперсная водяная пыль подхватывается воздушным потоком, создаваемым крыльчаткой в верхней части корпуса. Более крупные капли, ударяясь о верхнюю крышку, будут стекать назад в резервуар. Необходимо отметить, что полярность подключения двигателя такова, что воздушный поток от крыльчатки направлен вниз.

В нижней крышке установлен также концевой датчик уровня воды. Нижний край контактных площадок должен быть на 4-5 мм выше нижнего края конуса увлажнителя.

Тип разъемов — любой, главное, чтобы не было возможности их перепутать, и чтобы контакты разъема выдерживали протекающий через них ток. XS1, XS2, XS4 — должны выдерживать ток 2-3 А, XS3, XS5 — 25-35 А, XS7-XS10 — 300 мА.

XS6 — разъем двойного назначения. В первых, через него подается питание на двигатель переверотного механизма, во вторых, его коммутация определяет тип двигателя. Если используется двигатель на напряжение 220 В, контакты 3 и 4 разъема должны быть соединены перемычкой, а питание на него подается через контакты 5, 6. Если используется двигатель на 24...27 В, то перемычкой соединяют контакты 2, 4, а питание подключается к контактам 5, 7. Если используется двигатель на 12 В, питание поступает с контактов 5, 7 (для снижения габаритов блока питания его питают от АКБ), а перемычкой замыкают контакты 1, 4.

Переменное напряжение на выходе вторичной обмотки сетевого трансформатора должно составлять 18...20 В, а мощность трансформатора — 25 Вт и более, в зависимости от мощности двигателя постоянного тока. Если последняя больше 20 Вт, то необходимо заменить диоды VD1-VD4 на более мощные.

Микросхемы DA1 и DA2 закреплены на общий тепловод — алюми-

Таблица 1. Конденсаторы

Позиция	Емкость, мкФ	Напряжение, В
C1	470	35-50
C2, C3	470	25-35
C4	1000	16-25
C5	1	16-50
C6, C7, C9	0,1-0,5	63
C8	4,7-10	16-50
C10, C13	0,33	63
C11, C12	0,47	63
C13	0,47-1,0	63
C14	22,0-220,0	16-25
C15	1000	16-25
C16	22*	16-25
C17	47	50
C18	10	16-25

\* При емкости конденсатора 22 мкФ время работы ПМ составляет меньше секунды, при емкости конденсатора 220 мкФ — от 4 до 12 с.

Таблица 2. Резисторы

Позиция	Сопротивление, кОм	Позиция	Сопротивление, кОм
R1, R17	10	R29, R30	240
R2, R3, R18, R19	6,8	R31	100
R4	560-620	R32, R33	240-360
R5, R21	22	R34-R36	33
R6, R22	15	R37, R38	0,82
R7, R23	47	R39	24
R20	820-910	R40	100
R8-R10	5,1-6,8	R41	33
R11, R12	1,8-2,2	R43, R50	6,8
R13	6,8	R44, R45	6,8-7,5
R14, R15	33-47	R46	180**
R16, R24, R42, R51	3,9-4,3	R47	33
R25	0,022*	R48	6,8
R26, R27	1,8-2,2	R49	10
R28	6,8		

\* Мощность не менее 0,5 Вт.

\*\* Номинал подбирается до захвата режимов вкл/выкл: вкл — 12 В, выкл — 14,2 В. Сопротивление этого резистора зависит от коэффициента усиления ОУ.

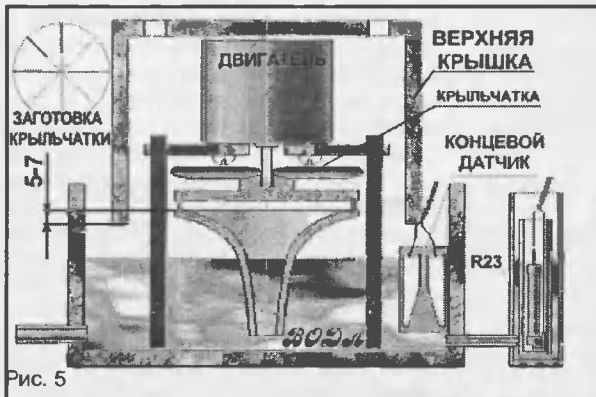


Рис. 5

евую пластину размером 50x100 мм и толщиной 2-3 мм.

Номиналы остальных элементов приведены в табл. 1, 2.

Если выведением цыплят вы решили заняться в первый раз, то более подробно о температурных режимах, о конструкции инкубаторов и переверотных механизмов можно узнать, обратившись по e-mail к автору, с обязательной пометкой "для Тишкунова".

В данной статье не описан блок зарядного устройства "ЗУ", его описание будет приведено в одном из ближайших номеров.

Андрей Тишкунов,  
root@amr.novshah.donpac.ru

(Окончание. Начало — № 7/2001)

# Прецизионный аналоговый терморегулятор

## Схема терморегулятора

Принципиальная схема прецизионного терморегулятора приведена на рис. 4, а на рис. 5 приведены временные диаграммы, поясняющие ее работу.

Терморегулятор содержит следующие узлы: ФНЧ (A1.2) и неинвертирующий усилитель (A2.4); ФНЧ (A1.3), аналоговый вычитатель (A2.3), ФНЧ (A1.4), детектор-ограничитель (A1.1), оптрон (D1), интегратор (A2.1) и сумматор (A2.2) схемы формирования пилообразного напряжения, привязанного к фазе сети; сдвоенный компаратор (A3) с мощным выходным транзистором (VT1).

На вход схемы формирователя пилообразного напряжения подается синусоидальное напряжение 6 В с одной из обмоток трансформатора блока питания терморегулятора (рис. 5, а). Это напряжение поступает на ФНЧ (A1.4), который ограничивает полосу входного сигнала на частоте примерно 65 Гц, что необходимо для обеспечения устойчивой работы терморегулятора за счет исключения импульсных помех по сети от работающих оптосимисторов и другого силового оборудования. Отфильтрованное синусоидальное напряжение поступает на детектор-ограничитель (A1.1) — резистор R21.

Детектор работает следующим образом. При поступлении на его вход положительной полуволны напряжения верхний диод VD1 закрывается, и ОУ работает как неинвертирующий усилитель с очень большим коэффициентом усиления. Если же на вход детектора поступает отрицательная полуволна

напряжения, то закрывается нижний диод VD2, и ОУ работает как инвертирующий усилитель. Таким образом, на выходе ОУ A1.1 присутствует максимальное положительное выходное напряжение в течение всего периода, за исключением моментов перехода входного синусоидального напряжения через ноль (при этом выходное напряжение падает до нуля). Длительность нулевого импульса перехода через ноль составляет примерно 250 мкс (см. рис. 5, б). Этот импульс подается на светодиод оптрона, второй вывод которого через резистор R23 соединен с положительным полюсом источника питания. Таким образом, в моменты перехода сетевого напряжения через ноль оптрон открывается. На ОУ A2.1 собран интегратор, вход которого подключен к источнику питания +5 В, а напряжение на выходе стремится к -5 В. Поскольку параллельно времязадающему конденсатору C7 подключен транзистор оптрона D1, конденсатор интегратора разряжается через него в моменты перехода сети через ноль. Таким образом, на выходе интегратора формируется "падающее" пилообразное напряжение (рис. 5, в) с размахом 0...-5 В, регулируемое резистором R26. Пилообразное напряжение через резистор R29 подается на вход сумматора A2.2, на который также подается второе суммируемое напряжение от источника питания +5 В через резисторы R27 и R28. В результате на выходе ОУ A2.2 формируется линейное "падающее" пи-

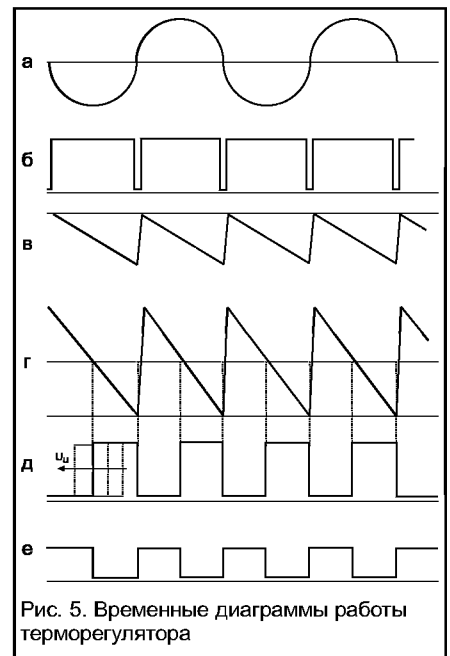


Рис. 5. Временные диаграммы работы терморегулятора

лообразное напряжение, привязанное к фазе сети с размахом от +5 В до нуля (рис. 5, г). Это напряжение поступает на инвертирующие входы двух компараторов A3.

Напряжение задания от управляющей системы (ЦАП микроконтроллера или регулируемого источника опорного напряжения задания) подается на вход терморегулятора через разъем XC2 "Uz" (CP50). Оно проходит через ФНЧ (A1.3), имеющий частоту среза примерно 5–6 Гц (для исключения возможных помех на соединительных проводах), и поступает на неинвертирующий вход вычитателя A2.3. Напряжение задания имеет крутизну 0,5 мВ/°С, при этом диапазон 0...+5 В соответствует температурам от 0°С до 1000°С (условно, поскольку реально терморегулятор работает примерно от 20°С).

Напряжение с выхода предварительного усилителя поступает на терморегулятор через разъем XC1 "Т" (CP50). Оно проходит через ФНЧ (A1.2), имеющий частоту среза примерно 5–6 Гц, и поступает на неинвертирующий вход ОУ A2.4, имеющего коэффициент усиления 5. Таким образом, на выходе ОУ формируется напряжение крутизной 0,5 мВ/°С, эквивалентное реальной температуре объекта, поступающее затем на инвертирующий вход вычитателя A2.3. Вычитатель имеет коэффициент усиления 10. На его выходе получается управляющее напряжение Uu (рис. 5, г), равное  $U_z + 10(U_z - U_t)$ . Таким образом, если температура (и соответствующее ей напряжение) намного ниже напряжения задания, а управляющее напряжение максимально, терморегулятор полностью открывает нагрузку, обеспечивая максимально возможный ток. Если температура равна заданной величине — управляющее напряжение равно напряжению задания. Если температура выше заданного значения — терморегулятор

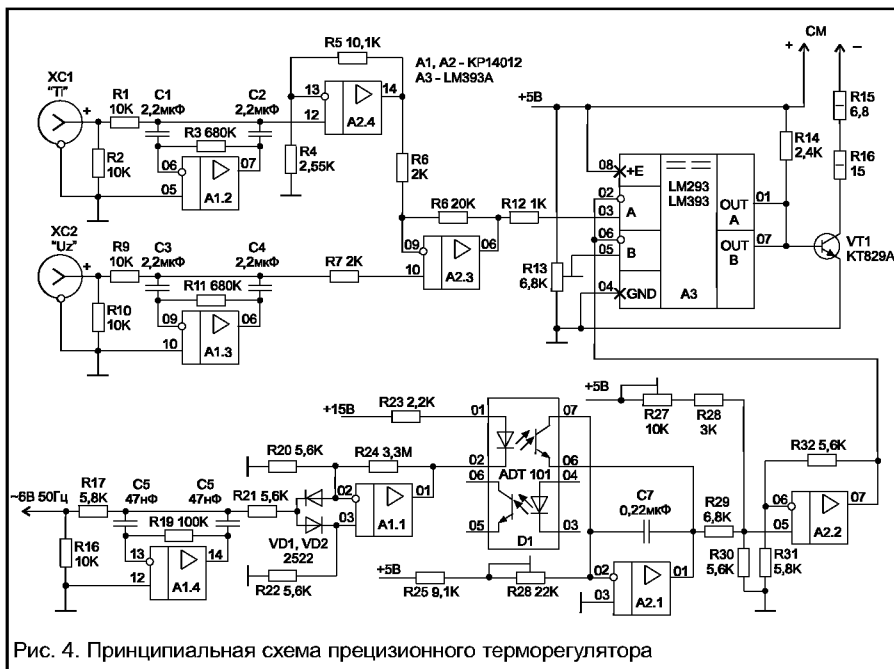


Рис. 4. Принципиальная схема прецизионного терморегулятора

уменьшает ток в нагрузке, снижая температуру. Линейная зависимость и большой коэффициент усиления вычитателя обеспечивают высокую скорость реакции терморегулятора и точность поддержания температуры. Однако недостатком такого решения является перерегулирование в момент выхода терморегулятора на заданный режим: при подходе к заданной величине сначала происходит превышение температуры над заданным значением (примерно 8–10% от заданной), а затем температура стабилизируется. Устранение этого недостатка возможно различными путями, например, введением нелинейных обратных связей в вычитатель или ограничением превышения управляющего напряжения над заданным. Однако при разработке данного терморегулятора необходимо было обеспечить его независимость от параметров нагрузки. Поскольку описываемый терморегулятор используется с микроконтроллерным управлением, плавный вывод терморегулятора на рабочий режим осуществляется программно по следующему алгоритму:

- задается  $U_z$  на 20% ниже требуемого;
- отслеживается превышение этого значения;
- задается  $U_z$ , равное текущей температуре;
- осуществляется плавный подвод  $U_z$  к требуемому значению.

Описанные схемные решения обеспечивают быстрый выход терморегулятора на рабочий режим без перерегулирования.

Управляющее напряжение  $U_u$  через резистор R12 поступает на прямой вход первого из двояных компараторов АЗ, при этом на выходе компаратора формируется положительный импульс в моменты времени, когда управляющее напряжение больше пилообразного (рис. 5, д). Оба компаратора имеют выходы с открытым коллектором, которые объединены, нагружены на общий резистор R14 и соединены с базой мощного транзистора VT1. Второй (прямой) вход второго компаратора соединен с движком многооборотного проволочного переменного резистора R13. При этом второй компаратор работает аналогично первому. Таким образом, на выходах компаратора может появиться положительный импульс только тогда, когда напряжение на обоих прямых входах компараторов больше пилообразного напряжения. Следовательно, устанавливая резистором R13 определенный уровень напряжения в пределах 0...+5 В, можно ограничить диапазон формирования положительных импульсов на выходе компараторов, а следовательно — ограничить выходной ток терморегулятора. Положительные импульсы с выхода компаратора поступают на базу транзистора VT1, на коллекторе которого формируются отрица-

тельные импульсы управления светодиодом оптосимистора (рис. 5, е). Резисторы R15 и R16 ограничивают ток через оптосимистор ТСО142–40. В случае использования двух оптодиодов ТО2–40, резистор R15 не используется.

Описанный в настоящей статье терморегулятор, совместно с предварительным усилителем, приведенным на рис. 2, используется в экспериментальной установке синтеза полупроводниковых материалов. Установка содержит шесть одинаковых терморегуляторов, поддерживающих температуру в различных ее точках. Она управляется с помощью одного микроконтроллера, который, в свою очередь, объединен с другими установками в командно-информационную сеть. Вся система управляется одним персональным компьютером. Терморегулятор управляет температурой массивного (до 80 кг) реактора с сопротивлением нагревателя около 6 Ом. Диапазон регулирования — 25...1000°C. Точность удержания  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Время нагревания до 800°C без перерегулирования составляет около 16 мин.

Олег Николайчук,  
onic@ch.moldpac.md

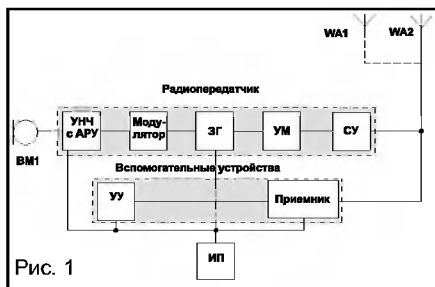
### Литература

1. 1514.pdf <http://www.maxim.com>
2. В. С. Гутников. Применение операционных усилителей в измерительной технике. — Л. Энергия, 1975.

# Схемотехника радиомикрофонов

В общем случае радиомикрофоны представляют собой конструктивное объединение обыкновенного радиопередатчика, собственно микрофона, передающей антенны, вспомогательных устройств (необязательно) и источника питания.

Обобщенная структурная схема радиомикрофона изображена на рис. 1. Радиопередатчик состоит из микрофонного усилителя — УНЧ с АРУ (наличие ее необязательно), модулятора, задающего автогенератора (ЗГ), усилителя мощности (УМ), согласующего устройства (СУ) и источника питания (ИП). К выходу согласующего устройства подключена передающая антенна WA2, а ко входу УНЧ — микрофон (BM1).



Наличие в структурной схеме приемной антенны WA1 приемника (в качестве нее можно использовать и передающую — WA2) и устройств управления (УУ), включаемых по управляющему сигналу (команде) радиомикрофонов, которые из-за своей сложности и высокой стоимости мало распространены. Чувствительность приемника может быть невысокой, так как команда на включение во избежание ложных срабатываний должна быть мощной. В частном случае УУ может срабатывать от голоса человека. Однако такие радиомикрофоны применяются в тех случаях, когда ценность добываемой информации не меньше затрат на ее получение.

При реализации структурной схемы необходимо выбирать транзисторы с минимальным напряжением насыщения  $U_{нас}$ , что позволяет эффективно использовать низковольтные источники питания, повысить КПД устройства и выходную мощность передатчика.

Для эффективной работы передатчика следует выбирать транзисторы с граничной частотой  $f_{гр}$  в соответствии с рабочей частотой  $f_p$  выбранного диапазона. Например, при  $f_p < 700$  МГц должны быть выбраны транзисторы с  $f_{гр} > 3$  ГГц типа КТ3101А, КТ3132 и т. п.

Кроме того, перечисленные типы транзисторов являются условно бескорпусными, имеют малые габариты и хорошие технические характеристики, что позволяет минимизировать габариты радиомикрофона.

Приведенную структурную схему можно реализовать и на интегральных микросхемах. Например, выполнить микрофонный усилитель на К548УН2, имеющей очень высокий коэффициент усиления при напряжении питания всего 1,2 В (разработана специально для слуховых аппаратов). Передатчик можно реализовать на КФ174ПС4. Это позволит получить миниатюрный радиомикрофон с высокими техническими характеристиками.

Частота задающего автогенератора должна быть стабилизирована кварцевым резонатором. Это повысит устойчивость работы радиомикрофона. Если предусматривается его длительная работа при значительных перепадах температур, на сигналы кварцевого генератора легче настроиться. Отсутствие кварца может вызвать уход рабочей частоты и затруднить настройку на нее приемника. В простых РМ кварцевая стабилизация не применяется, поскольку это усложняет схему и увеличивает габариты устройства.

В радиомикрофонах, как правило, используются задающие ЧМ (ФМ) генераторы, а АМ генераторы используются редко и в основном в КВ диапазоне (в радиостанциях “уоки-токи”), когда необходимо быстро и с минимальными аппаратными затратами провести съем информации. Однако устройства с АМ имеют низкую помехозащищенность и малую дальность действия. Применение ЧМ генераторов позволяет существенно повысить помехозащищенность РМ и получить выигрыш по дальности действия примерно вдвое.

Рассмотрим некоторые схемы радиомикрофонов, поскольку фирмы, занимающиеся их производством, принципиальных электрических схем, как правило, не предоставляют.

Схема РМ обычно состоит из двух частей, одна из которых выполняет функции ВЧ генератора, а другая — функции микрофонного усилителя. Колебания ВЧ генератора излучаются передающей антенной WA2 и улавливаются настроенным на его частоту радиоприемником. ВЧ часть радиомикрофона обычно выполнена на 1-2 транзисторах, микрофонный усилитель — на 1-3, в зависимости от требуемого коэффициента усиления, то есть от требуемого макси-

мального расстояния до источника звука, при котором обеспечивается нормальная разборчивость речи.

Схемы микрофонных усилителей прекрасно отработаны в современных слуховых аппаратах, где миниатюризация и технические характеристики достигли своего предела. Поэтому для РМ многие технические решения “микрофон — усилитель” можно позаимствовать из техники слуховых аппаратов.

Схема простейшего РМ всего на двух транзисторах показана на рис. 2.

При указанных на схеме параметрах элементов дальность его действия составит несколько метров, модуляция амплитудная, рабочий диапазон — 25 м (11,9 МГц).

Схема микропередатчика МП-4, рекламируемая частной киевской фирмой “РКФ”, изображена на рис. 3.

При указанных на схеме номиналах элементов устройство работает в диапазоне частот 68...74 МГц и при длине антенны 1,2 м обеспечивает дальность действия до 200...300 м.

Одна из самых простых схем РМ всего на одном транзисторе приведена на рис. 4.

РМ представляет собой гибрид обычного телефона и микропередатчика, работающего в УКВ диапазоне 66...74 МГц. Его особенность состоит в том, что он не нуждается в автономном питании, поскольку для этой цели используется падение напряжения на резисторе R5, возникающее при снятии телефонной трубки и вызове абонента. Радиус действия передатчика зависит от длины антенны и составляет несколько метров. Устройство включается последовательно с телефоном на любом участке линии от телефонного аппарата до АТС.

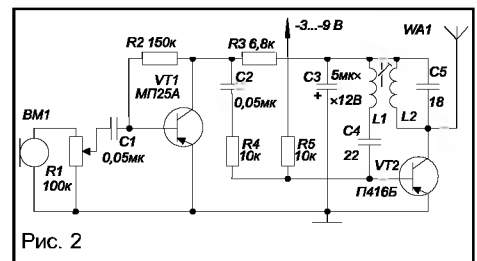


Рис. 2

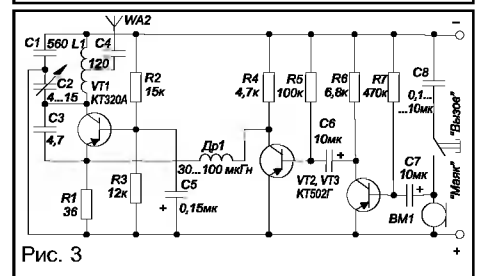


Рис. 3

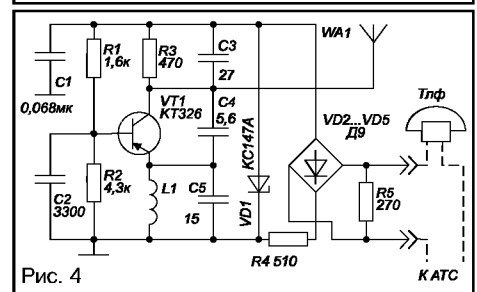


Рис. 4

PM, работающий в диапазоне FM 88...108 МГц, представлен на рис. 5. Для повышения выходной мощности ВЧ генератор выполнен на двух транзисторах. В устройстве применен чувствительный электретный микрофон МКЭ-3.

Более простая схема PM на тот же диапазон приведена на рис. 6. Ее особенностью является наличие плавной перестройки рабочей частоты в пределах диапазона с помощью миниатюрного конденсатора переменной емкости, включенного в контур генератора. Дальность действия составляет десятки метров.

По вполне понятным причинам у рассматриваемых устройств высоки требования к минимизации размеров платы и всего изделия. Первостепенное значение для их реализации имеет

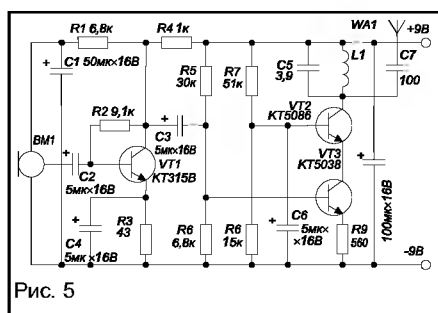


Рис. 5

принцип электрического решения самой схемы. Для рассматриваемых схем из-за отсутствия задающего генератора, кварцевого резонатора, АПЧ, АРУ многие параметры радиомикрофона могут быть критичными. Например, повышенная чувствительность схемы при близких и достаточно громких звуках

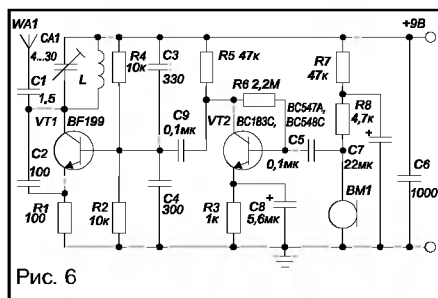


Рис. 6

может приводить к перемодуляции сигнала, что резко ухудшает разборчивость речи.

Рассматриваемые PM работают в радиовещательных диапазонах КВ, УКВ, FM. Поэтому прием передаваемых ими сигналов осуществляется на обычные радиоприемники, имеющие эти диапазоны. Требуется так же обработка монтажа печатной платы, так как из-за особенностей конструирования УКВ аппаратуры от этого зависит стабильность работы устройства.

Многие из указанных недостатков отсутствуют при введении указанных выше регуляторов, что позволяет получить очень хорошие технические характеристики, но увеличивает габариты и массу PM, а это вызывает необходимость маскирования его под крупные предметы обихода. Примером является продукция

американской фирмы "LEA Inc.", где PM замаскирован под бейсболку, ремень и т. п. Следует также отметить, что задача минимизации габаритов радиомикрофонов привела к использованию для ее решения достижений современных технологий, например, технологии производства гибридных микросхем.

Рассмотрим и другие компоненты радиомикрофона. Основное требование к микрофонам, применяемым в PM, — малые габариты. На практике можно использовать телефонные капсулы ДЭМШ-1А, ТГ-2К, ТГ-7, ТОН-2, динамические головки громкоговорителей мощностью 0,05...0,5 Вт и даже звуковые пьезопреобразователи ("пищалки") типа ЗП1, ЗП3, ЗП5, что позволяет существенно снизить габариты устройств. Однако наилучшие результаты получаются при использовании специальных миниатюрных микрофонов типа МКЭ-3, а также микрофонов типа М-3 от слуховых аппаратов и электродинамических миниатюрных микрофонов ММ-5, имеющих габариты 9,6×9,6×4 мм. Они предназначены для работы в составе различной РЭА промышленного и бытового назначения и для организации связи в студиях при проведении радио- и телевизионных передач в номинальном диапазоне частот 500...5000 Гц.

Как уже упоминалось выше, передающая антенна является неотъемлемой частью PM и чаще всего конструктивно выполнена в виде отрезка изолированного провода длиной от 10...30 до 120 см, либо упругого штыря тех же размеров. Такой параметр антенны как действующая высота отражает связь между размерами антенны и ее эффективностью. Из теории антенн известно, что четвертьволновой излучатель излучает эффективно, однако на практике приходится делать антенну с длиной  $L \ll \lambda/4$ , чтобы ее можно было легко замаскировать. Поэтому получается, что при одинаковых параметрах передатчика у антенны, имеющей большую длину, действующая высота больше, а значит и больше дальность действия PM.

Для минимизации длинная антенна выполняется в виде спирали, которая в несколько раз короче прямого провода. С той же целью для повышения действующей высоты антенны к устройствам можно подключать так называемые удлинительные катушки (отрезок провода, намотанный в виде катушки-спирали). Следует отметить, что при более высокой рабочей частоте PM требуется антенна меньших габаритов. Ее можно замаскировать под предметы быта (пояса, ремни, рамки, стержни, в том числе телескопические, сетки и т. д.).

Источником питания радиомикрофонов, если они установлены в электробытовые устройства, работающие от сети переменного тока, служит обычно сама сеть. В противном случае используются аккумуляторы и батареи напряжением 1,5...12 В. К ним также предъявляются требования по ограничению массы и раз-

меров. Такие источники питания должны иметь малое внутреннее сопротивление и большую емкость. Наилучшими характеристиками обладают литиевые источники питания типа МЛ и серебряно-цинковые типа СЦ, имеющие пологую форму разрядной характеристики. Разница между начальным и конечным напряжениями источника за время его штатной работы минимальна, что обеспечивает стабильность электрических характеристик PM во времени. Высокое напряжение источника питания позволяет использовать в PM транзисторы с более высоким напряжением насыщения, что позволяет получить большую мощность радиопередатчика, а значит, и дальность действия. На практике можно использовать часовые (от наручных часов и микрокалькуляторов) элементы и аккумуляторы напряжением 1,5 В типа СЦ, МЦ, ПЦ, СР, З16, З32, ЦНК-0,45, Д-0,05; Д-0,1, Д-0,25, батареи "Крона", плоские батареи по типу используемых в американских фотоаппаратах мгновенной съемки "Полароид" и "Кодак" ("жучок" может работать в течение нескольких месяцев).

Конструктивное исполнение PM может быть самым разнообразным, в том числе заказным. Чаще всего заказные устройства выполняют в одноразовом исполнении. В этом случае они не подлежат ремонту или переделке, поскольку залиты эпоксидной смолой. Для восстановления герметиком является паста "Гермесил", поскольку она не нарушает электрических параметров радиоэлементов и устройства, и эластична, что позволяет при необходимости ее удалять. Возможно также использование для заливки герметика типа "Виксинт", который также подходит для герметизации и является к тому же прозрачным. Это повышает ремонтопригодность устройства, поскольку можно вскрыть конкретный элемент, определив его местоположение визуально.

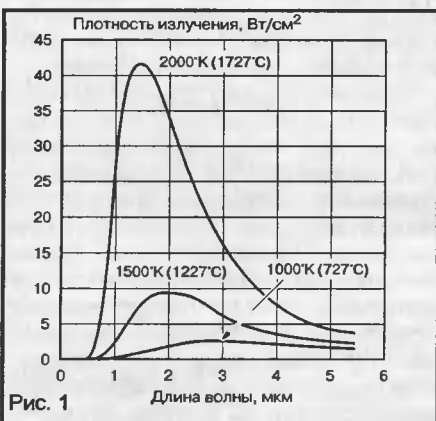
Промышленностью серийно выпускаются радиомикрофоны типа "уокиток": переговорные устройства в виде детской игрушки — комплект "Хвыля" (АО завод "Нева", г. Хмельницкий) и бытового назначения — комплект "ЛОРТА" (ПО "ЛОРТА", г. Львов). Их электрические схемы построены на описанных выше принципах, однако разрешения на приобретение и их эксплуатацию оформлять не нужно, поскольку мощность передатчиков не превышает разрешенных законом 10 мВт.

**Примечание редакции:** описываемые радиомикрофоны могут иметь двойное применение: не противоречащее закону, например, прослушивание детской комнаты, где находится грудной ребенок, и противоречащее им — несанкционированный съем информации. В последнем случае действия представляют собой уголовно наказуемое преступление. Добывать информацию с помощью скрытых радиомикрофонов имеют право только специальные подразделения МВД и ФСБ с санкции прокурора.

# Бесконтактное измерение температуры пирометром спектрального отношения

*Нагревание твердых тел сопровождается рассеянием энергии с их поверхности в виде электромагнитного излучения, характеристики которого описываются законами теплового излучения.*

На рис. 1 представлены спектральные плотности излучения нагретого тела до температур 1000, 1500 и 2000 К (видимый диапазон ограничен штрих-пунктирными линиями). Каждая зависимость плотности излучения от длины волны и соответствующая температура излучающего тела связаны взаимно однозначным соответствием, что позволяет использовать фотоприемники в качестве дистанционных измерителей температуры (пирометров). Для измерения температуры тела на расстоя-



нии используют три особенности теплового излучения, наблюдаемые при повышении температуры: увеличение яркости видимого излучения, увеличение интенсивности излучения в ИК диапазоне и сдвиг максимума в сторону более коротких длин волн. Соответственно, пирометры подразделяются на три класса: яркостные, радиационные и пирометры спектрального отношения. Отечественная промышленность выпускала различные их виды, из которых известны серии ОППИР, ФЭП, РАПИР, ЦЭП [1]. Сегодня более известны изделия зарубежных фирм – Raynger, Thermalert, Marathon фирмы Raytek ([www.raytek.com](http://www.raytek.com)), пирометры Mirage фирмы Ircan ([www.ircon.com](http://www.ircon.com)). Основными их элементами являются оптические узлы, приемники излучения и электронная схема обработки. Обработка сигналов в современных пирометрах осуществляется под управлением микроконтроллеров и включает усиление, учет характеристик излучающего материала, вычисление отношения двух сигналов, линеаризацию, индикацию и обеспечение передачи данных. Изделие получается сложным и дорогостоящим.

В настоящее время в ОАО "НИИ "ГИРИКОНД" ([www.giricond.spb.ru](http://www.giricond.spb.ru)) на основе фотогальванических приемников ИК излучения (0,9...4,7 мкм) разработа-

ны новые конструктивные исполнения фотоприемников со встроенной оптикой, специально оптимизированные для целей дистанционного измерения температуры ([2]). В табл. 1 представлены основные технические характеристики новых фотоприемников.

На основе этих фотоприемников можно построить пирометры, как спект-

Таблица 1

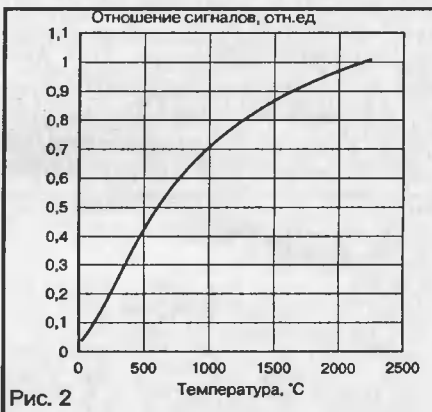
Наименование	ФД722	ФД723	ФД724
	АДПК.432234.000ТУ		
Токовая чувствительность (режим короткого замыкания), А/Вт	0,5	0,4	0,3
Вольтовая чувствительность (режим холостого хода), В/Вт	100	70	50
Длина волны максимума спектральной чувствительности, мкм	2,7	3,3	3,8
Область спектральной чувствительности, мкм	0,9...3,5	0,9...4,2	0,9...4,7
Время нарастания, мкс	15	5	2

рального отношения, так и радиационные. Первые имеют определенные преимущества, поскольку главным источником информации для них является спектр излучения, а не его интенсивность (их еще называют цветowymi пирометрами, т. к. определяется ИК "цвет" нагретого тела). При этом ни расстояние до объекта, ни его излучательная способность, ни наличие поглощения излучения в атмосфере значения не имеют. Например, опытные металлурги определяют температуру по цвету раскаленного металла, при этом роль пирометра выполняют глаза человека. Действие технических цветowych пирометров основано на вычислении отношения интенсивностей излучения объекта в двух спектральных диапазонах. Если использовать совместно ФД722 и ФД724, то можно расчетным путем показать [3], что отношение сигнала фотоприемника ФД722 к сигналу фотоприемника ФД724 зависит от температуры источника излучения (рис. 2). Видно, что при изменении температуры от 100 до 1000 °С выходной сигнал изменяется практически линейно. Это

обстоятельство позволяет построить цветовой пирометр без цифровой обработки сигналов.

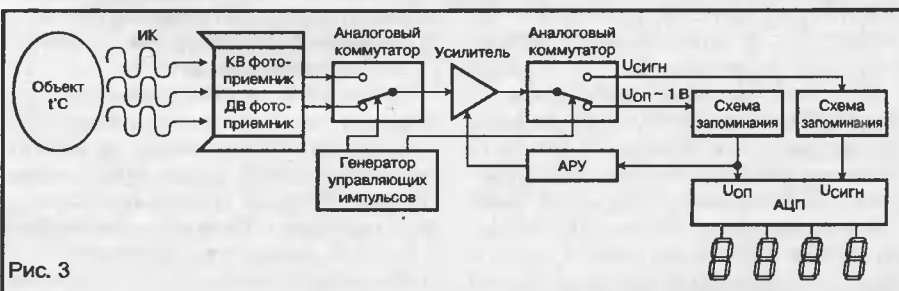
С целью реализации перечисленных возможностей была произведена разработка пирометра, структурная схема которого изображена на рис. 3. Сигналы коротковолнового (ФД722) и длинноволнового (ФД724) фотоприемников поочередно подаются на усилительный тракт с помощью коммутатора. На выходе усилительного тракта сигналы разделяются, и сигнал длинноволнового фотоприемника подается на узел АРУ, действующий таким образом, что на выходе, соответствующем длинноволновому каналу, сохраняется постоянное напряжение  $U_{оп}$  (около 1 В). В результате подключения длинноволнового фотоприемника схема устанавливает необ-

ходимый коэффициент усиления. После этого подключается коротковолновый фотоприемник, сигнал которого усиливается с установленным коэффициентом усиления. В итоге на



выходе появляется сигнал  $U_{сигн}$ , пропорциональный отношению сигналов коротковолнового и длинноволнового фотоприемников. Напряжения  $U_{оп}$  и  $U_{сигн}$  подаются на АЦП, который преобразует полученное значение в цифровой вид и отображает его на индикаторе.

На рис. 4 представлена принципиальная электрическая схема пирометра, которая в соответствии с алгоритмом работы выполняет следующие операции:



- предварительное усиление;
- деление сигнала первого фотоприемника (ФД722) на сигнал второго фотоприемника (ФД724) аналоговым способом;
- индикация полученного результата.

Фотоприемник BL1 создан на основе четырех чувствительных элементов ФД722 и четырех чувствительных элементов ФД724. Это сделано для повышения его чувствительности. Фотосигналы с помощью коммутаторов DD1.1 и DD1.2 попеременно поступают на усилительный тракт, выполненный на ОУ DA1–DA4. При работе фотоприемников в процессе измерения температуры следует учитывать большой динамический диапазон принимаемого сигнала. Это связано с двумя факторами:

а) мощность излучения нагретого тела пропорциональна четвертой степени температуры, выраженной в градусах Кельвина;

б) мощность падающего на фотоприемник излучения обратно пропорциональна второй степени расстояния до источника излучения.

Если взять крайние режимы работы, то изменение величины сигнала может достигать миллиона раз и более, что для постоянных сигналов достаточно большая величина. На практике фотоприемники выдают сигналы от десятых долей микроампера до десятков миллиампер. Поэтому усилительный тракт выполнен на основе трех ОУ: суперпрецизионного DA1, прецизионного DA2 и ОУ с мощным выходом DA3. Соединение выполнено таким образом, что при малых уровнях сигнала работает ОУ DA1, при средних — DA2, при больших — DA3. Коэффициент

усиления всех трех ОУ регулируется системой АРУ за счет изменения величины сопротивления резистивных оптопар В1, В2, В3. ОУ DA4 предназначен для облегчения режима работы предыдущих каскадов и работает с неизменным коэффициентом усиления 10. С выхода усилительного тракта сигнал поступает через масштабирующие делители R16, R17 и R18, R19 на аналоговые коммутаторы DD1.3 и DD1.4, которые разделяют чередующиеся во времени сигналы коротковолнового и длинноволнового канала. Оба сигнала запоминаются в ячейках памяти, выполненных на элементах R20, C17, DA5 и R21, C18, DA6. Сигнал длинноволнового канала используется схемой АРУ на транзисторах VT1, VT2, спутствующих элементах и оптопарах В1, В2, В3. В результате регулировки усиления на выходе длинноволнового канала устанавливается напряжение около 1 В независимо от величины фотосигнала. В момент подключения коротковолнового канала при том же усилении, на выходе усилительного тракта появляется напряжение

$$U = (1B/Idв) \cdot Iкв$$

или, иначе говоря, напряжение пропорциональное отношению фотосигналов. Работа аналоговых коммутаторов синхронизируется импульсами 1И, 2И, 1Ит, 2Ит, поступающими с генератора управляющих импульсов на микросхемах DA7, DD2, DD3, DD4. Сигналы с узлов памяти поступают на АЦП DA8 KP572ПВ2А, который после преобразования в цифровой вид отображает полученный результат на индикаторах HG1—HG4 в градусах Цельсия.

Разработанная схема пирометра успешно прошла испытания в лабораторных условиях в НИИ "ГИРИКОНД" и используется в действующих приборах на Череповецком металлургическом комбинате. Технические характеристики пирометра:

- точность бесконтактного измерения температуры — 4%;
- время определения температуры — 0,2 с;
- диапазон измеряемой температуры — от 100 до 1000 °С;
- номинальная мощность потребления 1 Вт.

В настоящий момент ведутся разработки с целью повышения эксплуатационных характеристик за счет оптимизации параметров фотоприемников и использования микроконтроллеров.

Вадим Кулагов,  
vb-kulagov@mail.ru

### Литература

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В 2-х книгах. Кн. 1/Под ред. В. В. Клюева. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1986. 488 с., ил.
2. Л. К. Дийков, Ю. М. Луганский, С. П. Варфоломеев, Н. П. Анисимова, В. Б. Кулагов. ИК-датчики положения с повышенной эксплуатационной надежностью. 15-ая Российская научно-техническая конференция "Неразрушающий контроль и диагностика". 7–8 июня 1999 г. Труды конференции. Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД).
3. В. Б. Кулагов. Оптимизация спектральных характеристик фотоприемников пирометра спектрального отношения. — "Датчики и системы" 2/2001, с. 13.

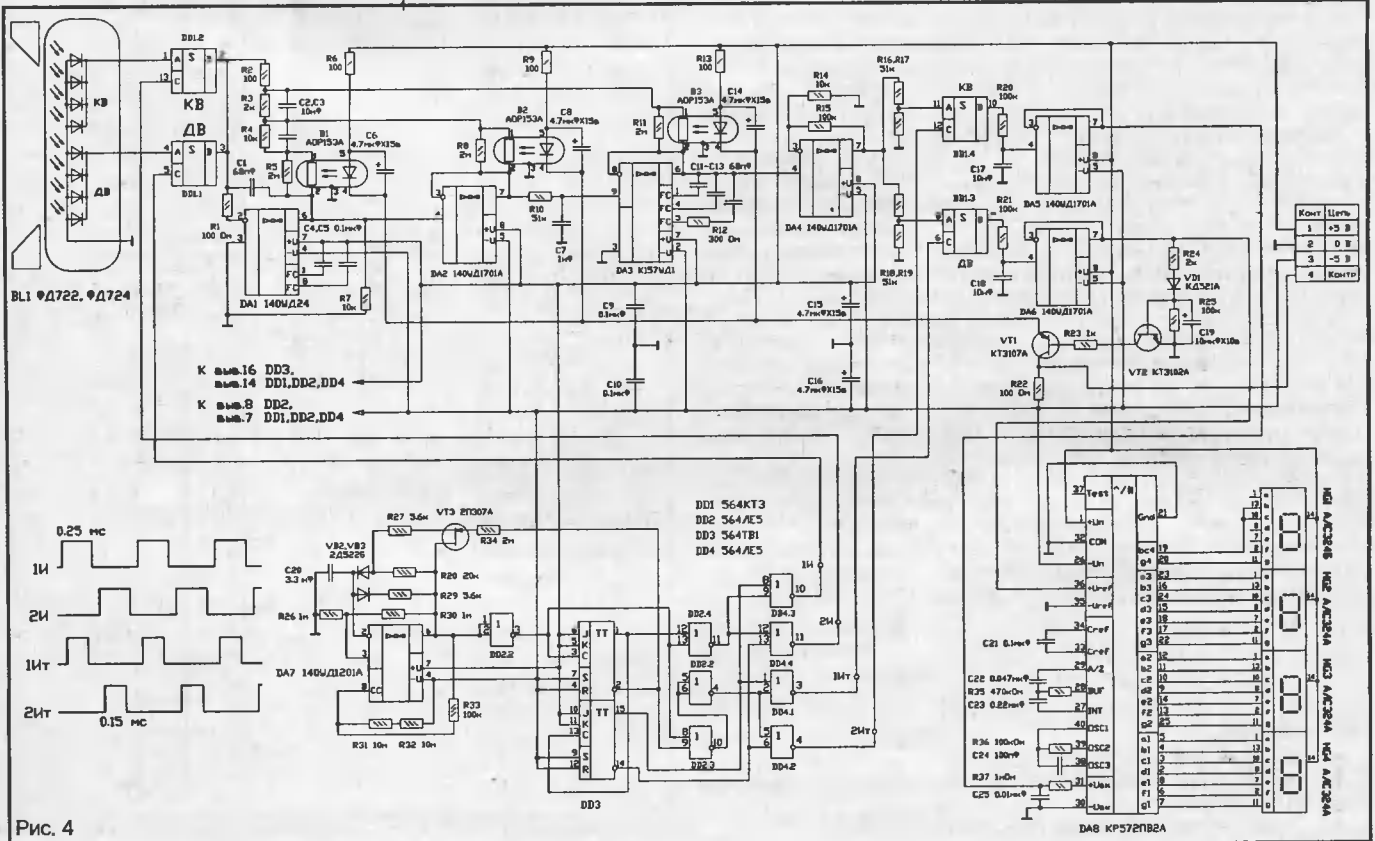


Рис. 4

# Резервированный кварцевый генератор

Резервированный кварцевый генератор предназначен для генерации напряжения стабильной частоты и выдачи его по трем каналам. По сравнению с аналогами в нем увеличена взаимная фазовая стабильность частоты выходных сигналов. Отказ любого элемента, снятие напряжения питания с одного из каналов не приводят к отказам двух других. Отказ одного из кварцевых резонаторов или изменение его частоты не влияют на работу генератора: на всех трех его выходах будет сигнал неизменной частоты.

По мнению авторов, предлагаемый резервированный кварцевый генератор может найти применение в любой радиоэлектронной аппаратуре, в которой требуется высоконадежный источник стабильных колебаний, а также в тех схемах, где используется 3-канальная структура с горячим резервированием и мажорированием по схеме два из трех. Принципиальная электрическая схема устройства приведена на рис. 1.

Резервированный кварцевый генератор содержит усилительные каскады, собранные на инверторах D1–D3, охваченных отрицательной обратной связью через резисторы R2, R4, R6. Выходы инверторов подключены к соответствующим входам мажоритарных элементов D4–D6, а выходы последних через фазосдвигающие цепи R1, R3, R5, C1–C6 с кварцевыми резонаторами Z1–Z3 подключены ко входам инверторов D1–D3 соответствующих каналов.

Каждый канал резервированного генератора питается от своего источника. Генератор собран на интегральных микросхемах серии 1526 — 1526ЛЕ5, 1526ИК1.

Резервированный кварцевый генератор работает следующим образом. При подаче на устройство питания и достижении хотя бы на двух выходах инверторов D1.1, D2.1, D3.1 уровня лог. 1 или лог. 0, на выходах всех мажоритарных элементов D4–D6 также появляется уровень лог. 1 или лог. 0. С этого момента все генераторы работают синхронно. Таким образом, синхронная работа генератора обеспечивается мажоритарными элементами D4–D6.

При отключении питания одного из каналов или отказа по выходу одного из мажоритарных элементов D4–D6, работоспособность генератора обеспечивается по оставшимся каналам. В этом случае при отказе любого другого элемента схемы синхронные сигналы сохраняются на всех выходах генератора.

При необходимости защиты только от отказов кварцевого резонатора или фазосдвигающей цепи, схему можно упростить, выполнив ее всего на двух корпусах 1526ЛЕ5 или 1526ИК1 и запитав устройство от одного источника. Цепи, идущие к контактам 1, 15, 2 D5 необходимо подключить к контактам 5, 6, 11 D4. Соответственно, выходные сигналы необходимо снимать с выводов 14, 12 и 10 D4.

При повторении устройства 1526ЛЕ5 можно заменить на 1526ТЛ1. Возможно применение аналогичных микросхем серий 564, 564В, К561. Используются кварцевые резонаторы Z1–Z3 типа РГ-06, но можно применить и К1, РГ-07, РК-46.

Резисторы подойдут любого типа, например, С2-23, С2-33. Номиналы сопротивлений R2, R3 и R6 допускаются в пределах 1,5...9,1 МОм, а сопротивлений R1, R2, R5 — 7,5...20 кОм. Конденсаторы C1–C6 должны иметь группу ТКЕ не ниже М1500.

Работа устройства проверялась при изменении напряжения питания от 5 до 10 В и имитации различных отказов. Отказы Z1–Z3 имитировались установкой в “неисправный” канал кварцев с частотами 0,5, 1,6 и 5 МГц. Максимальный уход частоты при имитации отказов и изменении напряжения питания составил 156 Гц.

При указанных на схеме номиналах фазосдвигающих цепей, работа генератора проверялась на частотах от 500 кГц до 5 МГц. При этом генерация была устойчивой. При плавном повышении напряжения питания от нуля генерация возникала сразу скачком на всех выходах и на заданной частоте, определяемой частотами кварцевых резонаторов. “Перескока” частоты генерации не наблюдалось.

При конструктивном исполнении устройства желательно выполнять общеизвестные требования к монтажу ВЧ устройств. Проводники должны быть минимальной длины, проводники соседних каналов должны пересекаться под прямым углом, блокировочные конденсаторы должны быть конструктивно расположены на минимальном расстоянии от выводов питания микросхем.

Михаил Соколов,  
Павел Михеев,  
Владимир Руденко,  
rvm@npo-pm.krasnoyarsk.su

## Литература

1. Патент РФ №2158473, Н03В5/32.
2. Микросхемы интегральные 564, руководство по применению РД11 340.907-80.
3. Резонаторы кварцевые РГ67 ШЖО.338.066 ТУ.

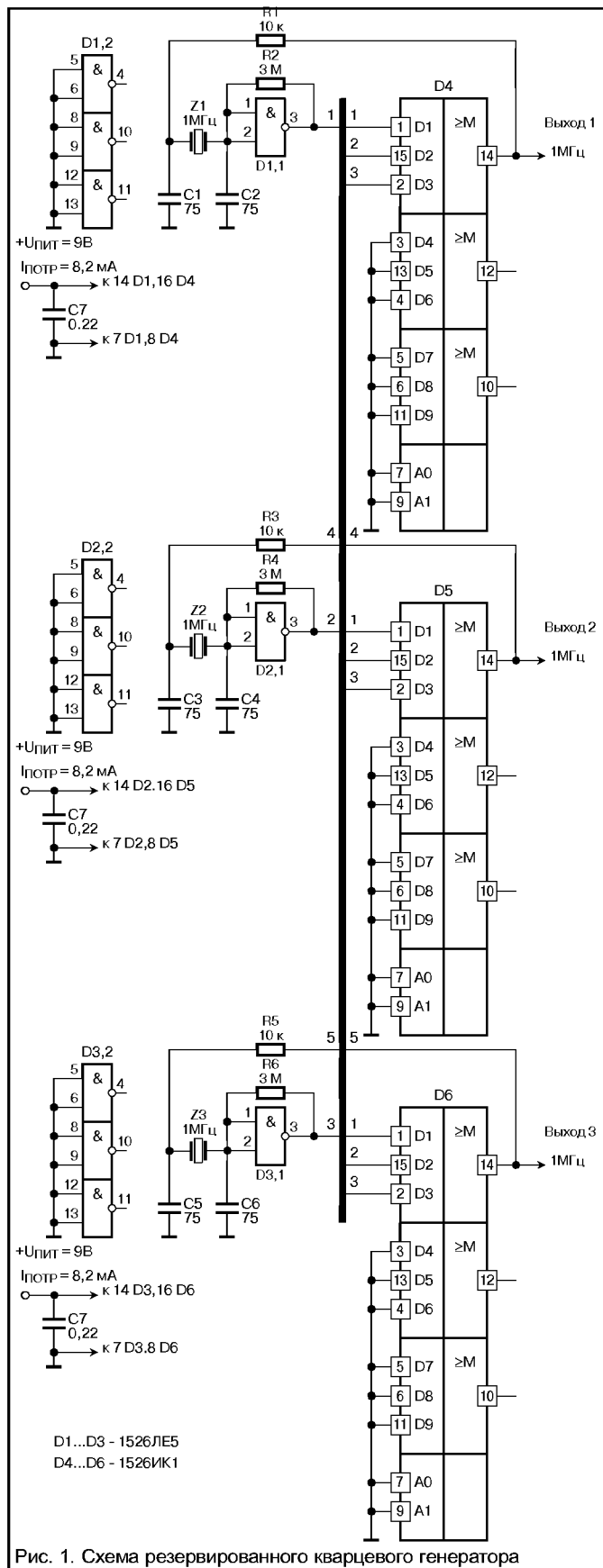


Рис. 1. Схема резервированного кварцевого генератора

## Блок питания аудиоплеера

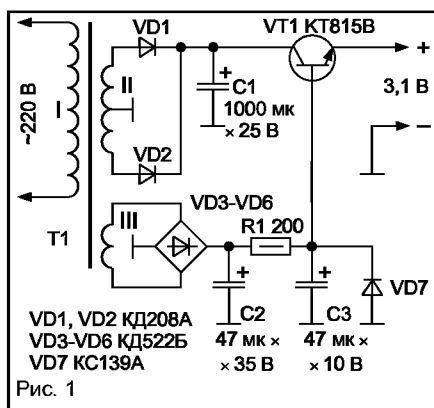
В статье описывается простая конструкция трансформаторного блока питания для наиболее распространенных аудиоплееров и диктофонов с трехвольтовым питанием. Он обладает повышенной надежностью, не имея специального узла защиты.

Вам наверняка знакома такая ситуация: вы решили послушать перед сном любимую мелодию, но кассета оказалась неперемотанной. Включаете перемотку и ... засыпаете. Лента остановилась, а двигатель продолжает работать в тяжелом режиме. При этом интенсивно изнашиваются детали ЛПМ. Если для питания аудиоплеера используются батарейки, их хватит максимум на час. А если блок питания, способен поддерживать выходное напряжение неизменным независимо от тока нагрузки? Как показывает практика, это зачастую приводит к выходу из строя электронного регулятора скорости вращения электродвигателя.

Предлагаемый блок питания предназначен только для аудиоплеера или диктофона. В аварийной ситуации, описанной в начале статьи (заторможенный режим перемотки), такой источник питания резко уменьшает напряжение на выходе. Этого вполне достаточно, чтобы спасти плеер в нестандартных условиях работы, не применяя специальных электронных устройств защиты, а значит, и без дополнительных материальных затрат.

Особенность блока (рис. 1) — наличие дополнительной обмотки III, используемой в качестве источника базового тока транзистора VT1. При питании базовой цепи транзистора стабилизатора напряжения от отдельного источника повышается стабильность выходного напряжения, легче выполнить условия фильтрации конденсаторами меньшей емкости, а также обеспечивается режим насыщения транзистора в стабилизаторе при перегрузках. Последнее особенно важно для реализации функции автоматической защиты.

Большинство аудиоплееров питаются от источника напряжением 3 В при токе потребления 35...160 мА. При заторможенном двигателе потребляемый ток возрастает до 350 мА.



Предлагаемый блок питания имеет следующие характеристики:

- напряжение питания — 220 В;
- потребляемый ток — не более 15 мА;
- выходное напряжение — стабилизированное 3,1 В при токе потребления 130 мА;
- максимальный ток нагрузки — 260 мА (при снижении выходного напряжения до 1,5 В).

Продолжительность непрерывной работы блока питания в любом режиме, включая аварийный, не ограничена. Его вес со шнуром питания плеера не превышает 150 г. Габариты — 65×60×44 мм (без учета выступающей вилки).

Конструктивно основной объем корпуса блока питания занимает трансформатор. К изготовлению последнего необходимо подойти с особой тщательностью. Площадь сечения магнитопровода должна быть не менее 1 см<sup>2</sup> для Ш-образного и примерно 0,8 см<sup>2</sup> для тороидального магнитопровода. Увеличивать площадь керна нецелесообразно по двум причинам. Во-первых, блок питания повышенной мощности может сжечь нагрузку при аварии — это основная причина. Во-вторых, его габариты и вес возрастают.

Первичная обмотка содержит 9000 витков провода ПЭВ-2 0,05 и наматывается внавал с равномерным распределением витков по ширине каркаса. Для облегчения этой процедуры удобно использовать простейший намоточный станок со счетчиком витков. Катушка с проводом должна размещаться на расстоянии около 1 м от каркаса для предотвращения обрыва провода. Такой запас по длине необходим, чтобы иметь возможность вовремя остановить процесс намотки. Сама петля запаса обязательно должна быть натянутой. Для этого подвешивают небольшой груз с демпфером прямо на провод. При нормальном процессе намотки (без рывков) груз вместе с проводом опускается вниз и остается в таком положении, уравниваясь натяжением провода.

При резком движении груза вверх нужно немедленно прекратить намотку и устранить причину чрезмерного натяжения провода, до того как он оборвется. Если все же обрыв произошел, следует закрепить последний виток липкой лентой и спаять (или сварить на пламени спички) концы, предварительно откусив не менее двух сантиметров провода от места обрыва в обоих направлениях (изоляция провода в этом месте может быть испорчена вследствие растяжения меди). Желательно вывести место стыка в область карка-

са, не покрываемую магнитопроводом, чтобы не уменьшать площадь окна намотки. Изолировать место пайки легче всего той же липкой лентой.

Прежде чем наматывать вторичную обмотку, необходимо тщательно изолировать первичную обмотку от вторичной, если на каркасе они конструктивно не разделены. Здесь главное не позволить проводу вторичной обмотки провалиться в зону первичной между изоляционным слоем и краем каркаса. Есть два одинаково надежных способа избежать этого. Первый заключается в использовании особой изолирующей прокладки, ширина которой больше ширины обмотки, а края ее изрезаны в виде бахромы. При укладывании этой прокладки бахрома должна загнуться вверх и надежно прикрывать опасный зазор. Второй способ еще проще: нужно намотать в зазор немного обычных ниток, выступающих в качестве изолирующего материала.

Вторичная обмотка II выполняется проводом ПЭВ-2 0,2 и содержит 800 витков с отводом от середины. Поверх нее без изолирующей прокладки наматывают 600 витков дополнительной обмотки III проводом ПЭВ-2 0,1. Если вы решите обойтись одной обмоткой II в 400 витков и затем поставить мостовой выпрямитель, хотим предостеречь — мощности трансформатора может не хватить для нормальной работы плеера, так как заметно возрастут потери на выпрямителе, который для низковольтной нагрузки (от 5 В и меньше) делают только двухполупериодным.

Конденсаторы подбирают с запасом по напряжению, так как в режиме холостого хода напряжение на выходе выпрямителей превышает рабочее в 3...4 раза. Транзистор КТ815 имеет относительно низкое напряжение насыщения (типичное значение — 0,2 В), и это является основным критерием при его замене на транзистор другого типа.

Блок питания лучше оформить в виде обычного сетевого адаптера. Для его подключения к плееру используют гибкий 2-проводный кабель достаточной длины (обычно 1,3 м).

В процессе испытаний необходимо убедиться в отсутствии акустического шума от пластин трансформатора при номинальной нагрузке, перегрева транзистора, который устанавливают без теплоотвода, и нагрева магнитопровода — его температура не должна превышать +60°C. В режиме воспроизведения без кассеты при максимальной громкости не должен прослушиваться фон переменного тока. При перемотке кассеты он может появиться и усилиться при заторможенном лентопротяжном узле (конец перемотки) — это плата за функцию защиты. Но с таким неудобством можно мириться, так как режим перемотки является вспомогательным.

(Окончание. Начало — № 7/2001)

# Использование микроконтроллеров фирмы Microchip в импульсных источниках питания

## Дополнительные возможности, предоставляемые микроконтроллером

Высокопроизводительный контроллер предоставляет разработчику массу новых возможностей по усовершенствованию разрабатываемого изделия. Дополнения и улучшения зависят только от его фантазии и опыта. Ниже приведены примеры реализации таких дополнительных возможностей применительно к источникам питания.

### Цифровая ШИМ

Наличие АЦП и вычислительные способности контроллера позволяют отказаться от аппаратного ШИМ-модулятора и перестраиваемого ИОН. При этом АЦП периодически измеряет выходное напряжение источника и сравнивает его с опорным значением, хранящимся в памяти. Далее вычисляется длительность следующего импульса управления силовыми ключами. Несмотря на то, что суммарное время АЦП-преобразования и последующей обработки получается довольно большим — до 40 мкс — это время оказывается меньше, чем время установления выходного напряжения источника (характерная величина — 100 и более мкс). Поэтому возможно сохранение устойчивости в петле обратной связи и получение надежно работающего источника.

### Статистическая обработка перегрузок

Практически во всех схемах управления источниками питания, в которых используется ограничение тока при перегрузке, не анализируется время перегрузки. Поэтому при коротком замыкании на выходе ограниченный ток может выдаваться источником неопределенное время, что заставляет разработчика рассчитывать силовые элементы на долговременную работу в запредельном режиме (поскольку ток ограничения на 10—15% превышает максимальный выходной ток источника). Понятно, что это не приводит к удешевлению источника. В действительности, при нормальных условиях режим ограничения тока необходим только при пуске источника (заряд емкостей выходного фильтра) и при резких изменениях нагрузки, что можно учесть при проектировании. Поэтому, если режим ограничения тока включается на время, превышающее заданное, имеется или превышение нагрузки, или неисправность. И в том и в другом случае источник надо выключать.

При часто меняющейся нагрузке, например, в звуковом усилителе мощности, определить предельное время режима ограничения затруднительно, поскольку потребление меняется по шумоподобному закону. В этом случае можно использовать статистическую обработку перегрузок. Структурная схема программы такой обработки приведена на рис. 14, вариант схемной реализации — на рис. 15. После каждого импульса открывания силовых ключей

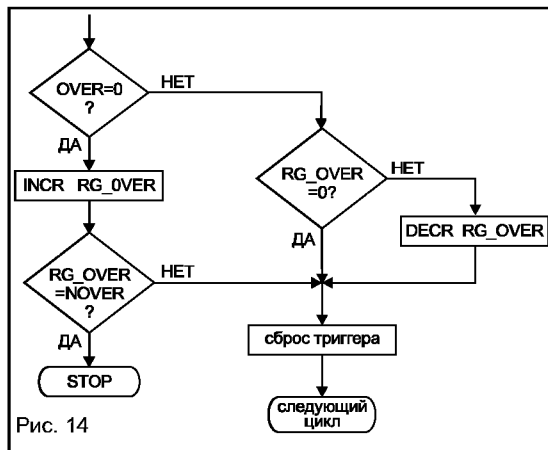


Рис. 14

производится опрос триггера датчика перегрузки на предмет, было ли в предыдущем импульсе ограничение длительности (а, тем самым, и тока). Если перегрузка была, то регистр RG\_OVER инкрементируется, если нет, то — декрементируется (или остается равным нулю, если ноль). Когда содержимое регистра превышает пороговую величину NOVER, источник отключается. После считывания триггер датчика перегрузки сбрасывается. При непрерывной перегрузке программа отключает источник при превышении допустимого времени перегрузки. При случайных перегрузках обработка статистическая.

### Контроль состояния внешнего окружения

Помимо простых измерений тока, напряжения или температуры, приме-

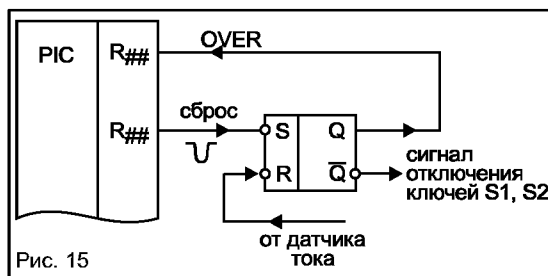


Рис. 15

нение микроконтроллеров позволяет осуществлять и более изощренные методы контроля, например, контролировать напряжение пульсаций сетевого выпрямителя. Величина этих пульсаций вместе с пиковым значением напряжения сетевого выпрямителя однозначно отражает отбираемую от выпрямителя мощность.

Полезным может оказаться измерение отклонения напряжения на конденсаторе в цепи выходного трансформатора от половины выходного напряжения выпрямителя. Фактически это “перекос” полумоста по постоянному напряжению, что может быть следствием насыщения выходного трансформатора или разной длительности запускающих импульсов верхней и нижней половин полумоста. Контроль этого параметра компараторами требует использования по крайней мере двух компараторов. Применение контроллера с АЦП позволяет не только измерять отклонение, но и программно изменять допустимые пределы в зависимости от режима работы — стартовый разгон (когда кратковременный и достаточно большой перекус допустим), нормальный режим, с малым допустимым перекусом, и режим перегрузки, когда перекус может увеличиться.

### Программное задание режима работы

Микроконтроллер позволяет запрограммировать режим работы источника. Для этого необходимо организовать аппаратно или программно таймер и записать в память значения режима, соответствующие моментам времени, когда режим должен быть изменен, и время изменения режима. При использовании в качестве ИОН ССР-модуля, например, для изменения выходного напряжения в память надо записывать коды коэффициента заполнения ШИМ.

Для контроля времени лучше всего использовать специализированные микросхемы таймеров, что позволяет программировать источник на несколько суток и более. Поскольку обращения к памяти достаточно редки, в качестве памяти режимов можно использовать маловыводные кристаллы памяти с двух- или трехпроводным последовательным интерфейсом фирмы MICROCHIP, например, семейства 24LCxx. Микросхемы памяти этого семейства энергонезависимы, что создает определенные удобства.

При небольшом количестве шагов программы можно использовать Flash-память данных кристалла PIC16F873 и отказаться от внешней памяти.

**Сервис**

В сервисном обеспечении примененные микроконтроллеры дают уникальные возможности при наладке и проверке источника. На каждом этапе проверки или наладки источник может работать по специальной программе, разработанной под конкретные требования проверок данного этапа. Например, на первом этапе программно отключается ШИМ, и на драйверы силовых ключей выдаются короткие импульсы с фиксированной длительностью. Проверяется прохождение сигналов и работа ключей. При наличии ошибок в монтаже или коротких замыканий на плате вероятность выхода из строя силовых транзисторов мала, поскольку импульсы запуска короткие. На следующем этапе проверяются датчики перегрева и настраиваются пороги защиты и т. д. Продуманный набор сервисных программ позволяет быстро локализовать причину отказа или нестабильной работы и выявить неисправный элемент или ошибку монтажа.

Для переключения программ задействуются несколько выводов микроконтроллера (рис. 16). К одному из них через резистор подключается светодиод, индицирующий успешность настройки или проверки на данном этапе. Остальные сервисные входы используются для задания номера выбираемой сервисной программы. Он может задаваться внешним переключателем через специальный разъем, кодовыми переключателями на плате, джамперами или, что самое простое, набором запаянных в плату проволочных перемычек SN#. Эти перемычки удаляются (выкусываются) в определенном порядке по мере перехода с одной отладочной программы на другую. После удаления последней перемычки контроллер начинает работать по рабочей программе.

В числе сервисных приложений могут также использоваться цифровые подстройки, исключающие применение подстроечных резисторов. Примером может служить точная цифровая подстройка выходного напряжения источ-

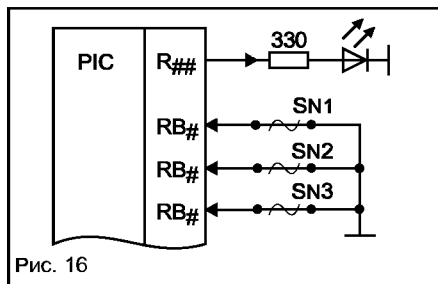


Рис. 16

ника при его наладке (рис. 17). В изображенной схеме выходное напряжение источника  $U_{out}$  зависит как от напряжения служебного питания  $U_{пит}$ , так и от точности подбора резисторов  $R_4, R_5$  делителя в цепи обратной связи. Если использовать дешевые компоненты без их подбора, выходное напряжение источника может отличаться от номинала на  $\pm 10...15\%$ . При цифровой под-

стройке процесс установки номинального значения  $U_{out}$  сводится к следующему. Сначала замеряется точное значение реального  $U_{out}$ . Далее, согласно подстроечной таблице, составляемой при разработке программы, удаляются одна или несколько перемычек SN1—SN4. Контроллер периодически опрашивает состояние входов, к которым эти перемычки подключены. Если код на этих входах отличен от 0000, контроллер в соответствии с этим кодом программно изменяет напряжение ИОН. При четырех перемычках и максимально возможном отклонении от но-

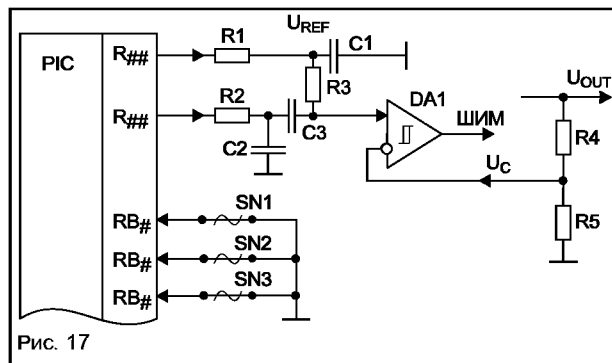


Рис. 17

минала  $\pm 16\%$  такая подстройка дает возможность уменьшить ошибку до 2%.

**Конструкционные возможности**

Входы АЦП, входы и выходы компараторов, выходы RX и TX, а также выходы ССР-модулей привязаны к конкретным выводам корпуса контроллера (при этом порядок опроса аналоговых входов АЦП произволен и задается программно). Почти все остальные сигнальные выводы могут выбираться произвольно. Такая свобода выбора позволяет выбрать оптимальное расположение выводов контроллера, имеющих разное функциональное назначение. Можно, например, сначала выполнить трассировку печатной платы с учетом жесткой привязки перечисленных выше выводов контроллера, а остальные трассировать "как удобно". После трассировки в программе производится переобозначение выводов в соответствии с реальной топологией платы.

Для печатных плат с большой плотностью размещения элементов сигнальный проводник может быть проведен через площадку неиспользуемого вывода контроллера, для чего этот вывод программно переводится в 3-е состоя-

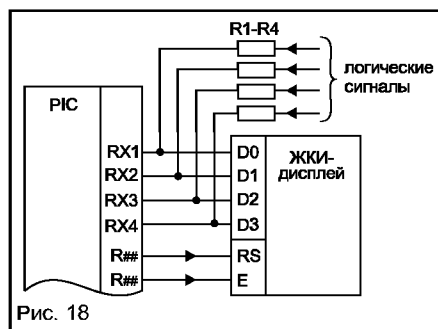


Рис. 18

ние (переключается в режим входа) и далее в программе не используется.

Если количество используемых сигналов превышает количество сигнальных выводов контроллера, то некоторые из этих выводов могут использоваться в многофункциональном варианте. На рис. 18 показано использование четырех выводов контроллера как четырехразрядный вывод данных на дисплей и, при переключении их направленности, как четыре входа логических сигналов. Основное время выводы работают как входы для логических сигналов. На состояние дисплея эти сигналы влияния не оказывают, поскольку для передачи данных в дисплей необходимо кроме данных выдать сигналы E и RS. При необходимости смены информации в дисплее выходы RX1—RX4 контроллера переключаются на вывод, по которому выдаются данные, по сигналам E и RS записывающиеся на дисплей. Резисторы  $R_1—R_4$  служат для исключения конфликтов на шинах.

Наконец, для уменьшения количества выводов, задействованных в цифровой подстройке, могут использоваться свободные входы аналогового коммутатора АЦП (рис. 19). На резисторах  $R, 2R, 4R$  выполнен простейший ЦАП, программируемый набором переключателей S1—S3. Контроллер измеряет аналоговое напряжение на входе RA# и, в зависи-

мости от того, в каком из N возможных интервалов это напряжение оказалось, производит необходимые программные действия. В приведенной схеме величина сопротивления резисторов  $R_s$  должна составлять  $(0,05...0,1)R$ .

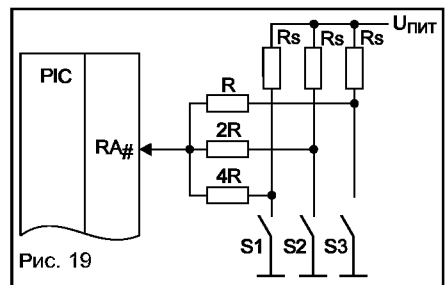


Рис. 19

мости от того, в каком из N возможных интервалов это напряжение оказалось, производит необходимые программные действия. В приведенной схеме величина сопротивления резисторов  $R_s$  должна составлять  $(0,05...0,1)R$ .

**Заключение**

PIC-контроллер позволяет реализовать большинство аппаратных средств, используемых для управления импульсными источниками питания. Кроме того, использование контроллера предоставляет разработчику новые возможности, превышающие возможности устройств на жесткой логике, в частности, возможности специализированных микросхем управления источниками питания.

Сергей Заболотский,  
Юрий Владимиров  
power@etcetera.ru

(Окончание, начало в №7/2001)

## Сенсорные панели — взгляд изнутри

### Микросхемы контроллеров сенсорных резистивных панелей фирмы Burr-Brown

Самым известным производителем микросхем контроллеров для сенсорных резистивных панелей является фирма Burr-Brown, в наст. время являющаяся подразделением Texas Instruments [8, 9, 10, 12]. К настоящему моменту фирмой разработано три типа микросхем контроллеров:

- ADS7843 — контроллер 4-проводной резистивной панели;
- ADS7845 — контроллер 5-проводной резистивной панели;
- ADS 7846 — контроллер 4-проводной резистивной панели с расширенными функциями (встроенный датчик температуры, измерение напряжения батареи питания, измерение силы давления при касании).

Основные характеристики микросхемы ADS7843: интерфейс с 4-проводной сенсорной панелью; пропорциональное преобразование координат; единственный источник питания напряжением 2...5 В; внешний источник опорного напряжения; скорость преобразования АЦП до 125 кГц; последовательный интерфейс с процессором; программируемая разрядность А/Д преобразования — 8 или 12 разрядов; два дополнительных аналоговых входа; режим энергосбережения.

Основные характеристики микросхемы ADS7845: интерфейс с 5-проводной сенсорной панелью; пропорциональное преобразование координат; единственный источник питания напряжением 2...5 В; внешний источник опорного напряжения; скорость преобразования АЦП до 125 кГц; последовательный интерфейс с процессором; программируемая разрядность А/Д преобразования — 8 или 12 разрядов; один дополнительный аналоговый вход; режим энергосбережения.

Основные характеристики микросхемы ADS7846: интерфейс с 4-проводной сенсорной панелью; пропорциональное преобразование координат; единственный источник питания напряжением 2...5 В; внешний источник опорного напряжения; скорость преобразования АЦП до 125 кГц; последовательный интерфейс с процессором; программируемая разрядность А/Д преобразования — 8 или 12 разрядов; встроенный температурный датчик; вход для измерения напряжения батареи питания; измерение силы давления (Z-координата); режим энергосбережения.

Области применения контроллеров:

- персональные устройства с сенсорным экраном;
- измерительные портативные приборы;
- пейджеры;
- карманные компьютеры;

- торговые терминалы;
- сенсорные экраны на основе ЭЛТ.

### Структура контроллера ADS7843

Контроллер сенсорной панели состоит из следующих функциональных узлов (рис. 10):

- входные ключи для коммутации режимов измерения;
- четырехканальный мультиплексор;
- ЦАП;
- компаратор;
- регистр последовательного приближения (SAR);
- модуль последовательного интерфейса и управления.

Следует отметить, что в микросхеме ADS7843 предусмотрен режим энергосбережения. Потребляемый в этом режиме ток составляет около 2 мкА. Такой низкий уровень тока достигается за счет того, что в режиме ожидания касания питание снимается со всех узлов контроллера. При этом ключи +X, -X и +Y находятся в закрытом состоянии, и ток через них не про-

текает, а через ключ -Y резистивная пленка слоя Y подключена к потенциалу Gnd. Резистор сопротивлением 100 кОм, на котором формируется напряжение сигнала прерывания (лог. 0), соединен с одной стороны с источником питания Vcc, а с другой — с резистивным слоем X через диод. При касании поверхности сенсорной панели, происходит замыкание поверхностей проводящих слоев X и Y. При этом через цепь резистор-диод-сопротивление слоя X-контакт Si-сопротивление слоя Y-ключ -Y" начинает протекать ток (рис. 11). Потенциал на выходе PenIRq изменяется от Vcc до 0,65 В.

При касании сенсорной панели схемой контроллера фиксируется факт касания и активизируется сигнал прерывания PenIRq (рис. 12). Управляющий процессор (контроллер) в обработке прерывания производит процедуру чтения значений координатных потенциалов образованных узлом пересечения объемных резистивных делителей.

### Структура контроллера ADS7845

Структура контроллера ADS7845 во многом аналогична структуре ADS7843 [9]. Однако есть отличия в структуре входных ключей и логике

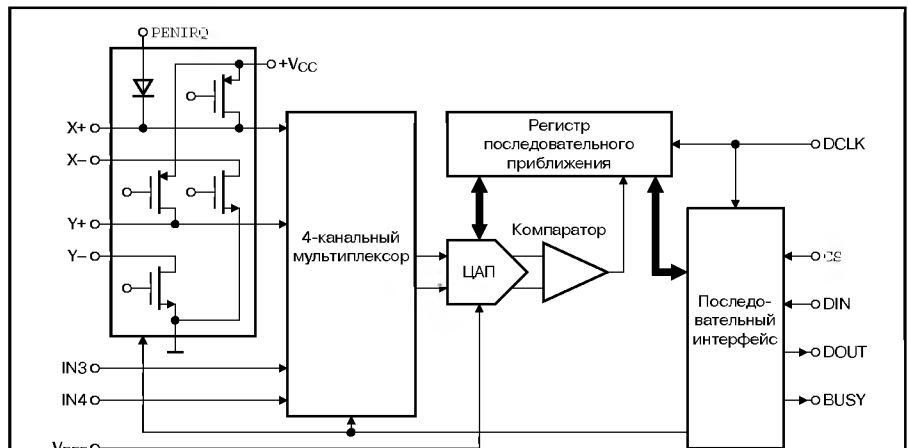


Рис. 10. Структурная схема контроллера ADS7843

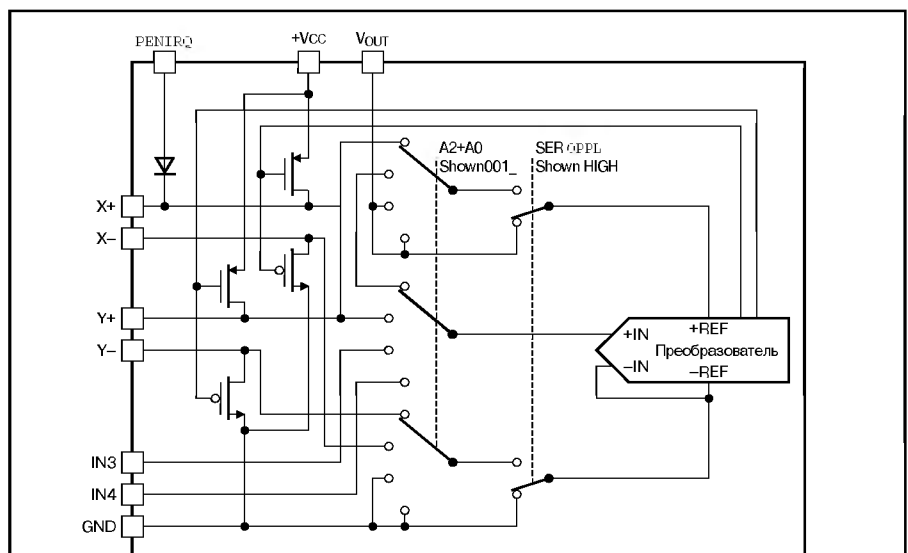


Рис. 11. Пояснение работы ADS7843

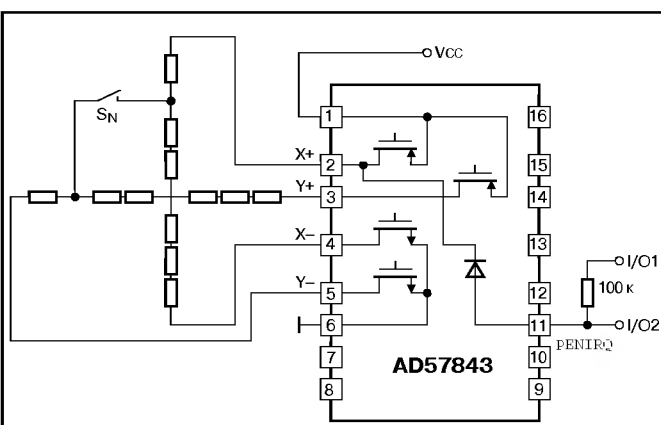


Рис. 12. Логика формирования прерывания в контроллере ADS7843 при фиксации касания сенсорной панели

При измерениях координат потенциалы верхнего левого угла сенсорной панели UL и нижнего правого угла неизменны и, соответственно, равны  $UL=V_{CC}$ , а  $LR=0$ . Для измерения координаты Y устанавливаются следующие потенциалы:  $UR=V_{CC}$ ,  $LL=Gnd$ . Измеренное напряжение на входе Wiper пропорционально со-

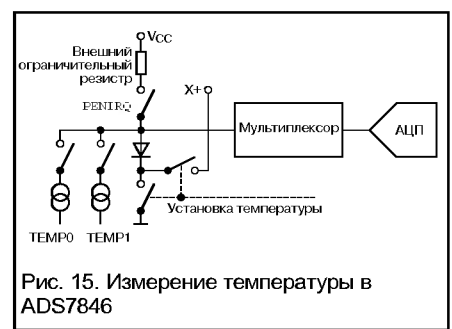


Рис. 15. Измерение температуры в ADS7846

### Структура контроллера ADS7846

Структура контроллера ADS7846 во многом аналогична структуре ADS7843. Добавлены дополнительные функции, обеспечивающие измерение температуры, напряжения батареи, силы давления при нажатии (Z-координата) [10]. На рис. 15, 16 показана реализация функций измерения температуры и напряжения батареи питания.

Измерение температуры основано на измерении напряжения  $V_{be}$  на прямо смещенном p-n переходе встроенного диода.

### Структура контроллера резистивной сенсорной панели

Контроллер сенсорной панели должен обеспечивать следующие функции:

- обнаружение факта касания;
- получение цифровых величин, пропорциональных координатам точки касания;
- коррекция нелинейностей, вызванных краевыми эффектами и неоднородностью сопротивления пленки;
- передача кодов процессору с возможностью эмуляции интерфейса типа "мышь".

Чипсет MT410 [11] обеспечивает аппаратную поддержку при сканировании и преобразовании полученных потенци-

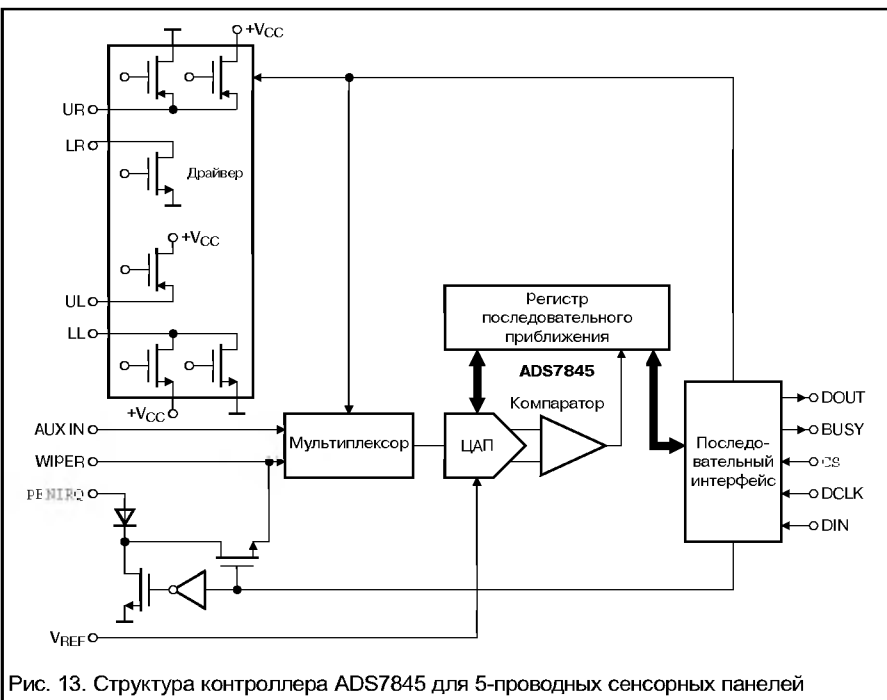


Рис. 13. Структура контроллера ADS7845 для 5-проводных сенсорных панелей

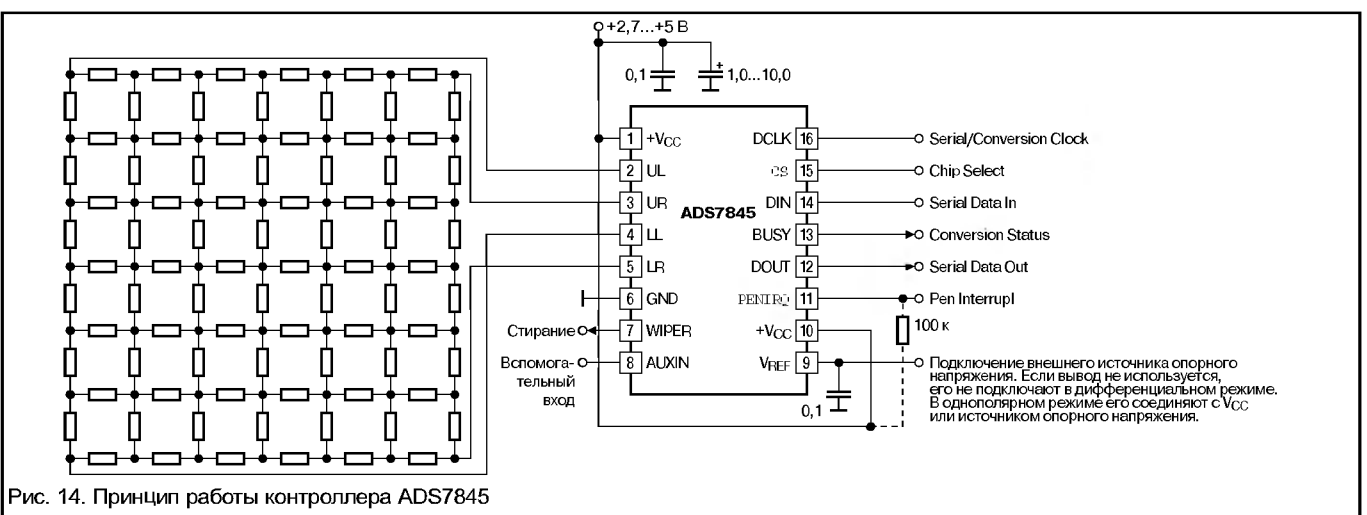


Рис. 14. Принцип работы контроллера ADS7845

определения координат. На рис. 13 приведена структура микросхемы ADS7845, рис. 14 отражает принцип работы контроллера.

Измерение координат производится через аналоговый вход Wiper (ползунок).

отношению сопротивлений по оси Y. Для измерения координаты X устанавливаются следующие потенциалы:  $UR=Gnd$ ,  $LL=V_{CC}$ . Измеренное напряжение на входе Wiper пропорционально соотношению сопротивлений по оси X.

алов в коды координат (рис. 17). Контроллер производит коррекцию нелинейности в соответствии с картой, хранящейся в EPROM. Также там хранятся поправочные коэффициенты, полученные в процессе калибровки сенсорной экрана. При калибровке производится

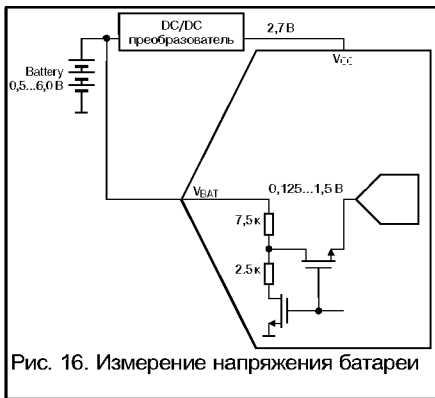


Рис. 16. Измерение напряжения батареи



Рис. 17. Структура интерфейса "сенсорная панель" на основе чипсета MT410

нели производится подгонка (больше-меньше). Связь с основным процессором производится по интерфейсу RS-232. Программа в масочном контроллере эмулирует устройство типа "мышь".

**Схемы реализации контроллеров сенсорного экрана**

Существует несколько способов реализации интерфейса сенсорной панели. Первый основан на использовании сочетания управляющего контроллера и специализированного контроллера резистивной сенсорной панели. Управляющий контроллер обеспечивает последовательный интерфейс с системой, протокол обмена, управление процессом измерения координат точки касания. В качестве контроллера резистивной сенсорной панели можно использовать контроллеры Burr-Brown:

- ADS7843 или ADS7846 для 4-проводной схемы;
- ADS7845 для 5-проводной схемы.

ются для связи с контроллером сенсорной панели. В качестве трансиверов интерфейса RS232 применяется микросхема Max232 фирмы Maxim. Она имеет встроенный преобразователь напряжения, формирующий из напряжения +5 В напряжения +10 и -10 В для питания приемников и передатчиков. В данных схемах задействован только один канал приемника и один канал передатчика.

На рис. 20 приведен один из возможных вариантов реализации контроллера 4-проводной резистивной сенсорной панели на основе специализированного контроллера TR88L811. Схема питается от линий интерфейса RS232. От линии DTR напряжение +12 В подается на линейный преобразователь, который питает контроллер (+3 В). Передатчик TxD собран на дискретных элементах, и питание на него подается с линии DTR (+12 В) и TxD (-12 В). Контроллер обеспечивает преобразование и передачу координат, а также мониторинг состояний двух кнопок по запросу со стороны DTE устройства — изменения сигнала RTS. Программа контроллера обеспечивает поддержку работы сенсорной панели, эмулируя устройство типа "мышь".

На рис. 21 показана схема реализации простого и дешевого интерфейса для 5-проводной сенсорной панели на основе контроллера PIC16C71, содержащего 8-разрядный АЦП. Выходы порта В (RB2–RB5) соединяются с четырьмя угловыми контактами резистивной пленки и используются в качестве источников тестирующих напряжений.

Для создания горизонтального градиента напряжения, в резистивной пленке (слева-направо) контроллер устанавливает выходы UL (Upper Left) и LL (Lower Left) в "0", а UR (Upper Right) и LR (Lower Right) в "1" (+5 В), после чего выполняется цикл АЦП. Резистор R5 обеспечивает привязку входа АЦП к земле. При наличии касания, на входе АЦП будет присутствовать потенциал, отличный от нуля. В первой фазе обнаруживается факт касания и определяется X координата точки касания. Светодиод LED1 подсвечивает процесс касания. Для второй фазы измерения контроллер изменяет потенциал на выходах UL (+5 В) и LR (0 В) и создает вертикальный градиент напряжения. Можно заметить, что для обеих фаз состояния выходов UR (+5 В) и LL (0 В) остаются неизменными, и их можно было бы просто привязать к соответ-

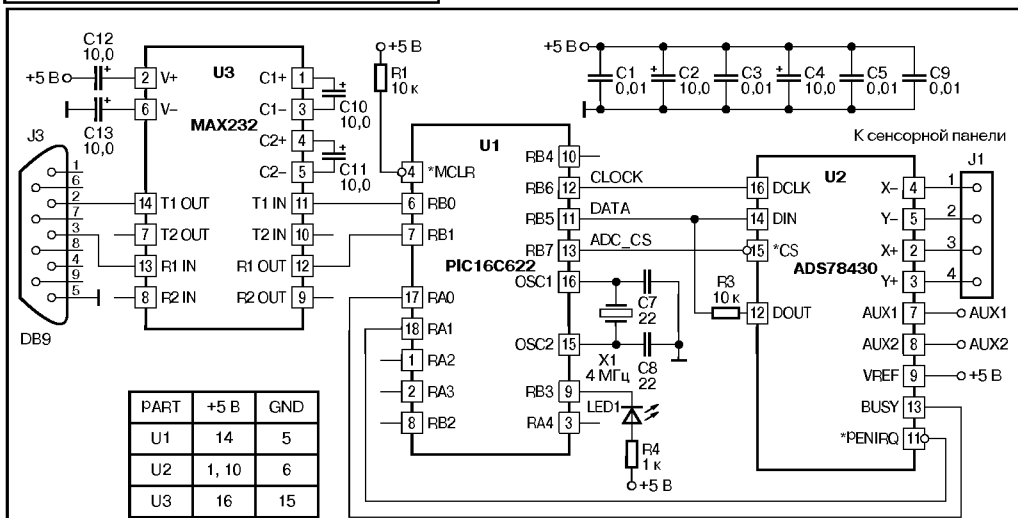


Рис. 18. Схема реализации интерфейса "сенсорная панель" (4-проводная схема)

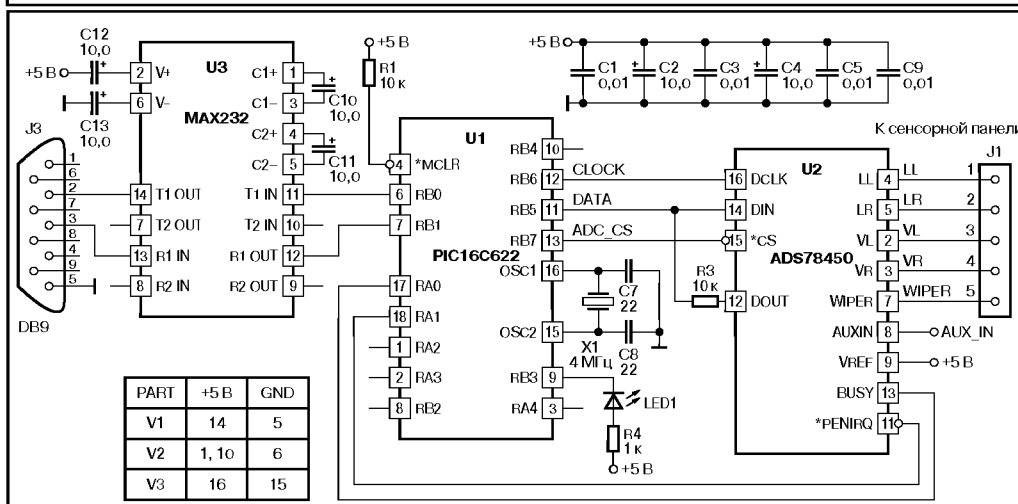


Рис. 19. Схема реализации интерфейса "сенсорная панель" (5-проводная схема)

оптическое согласование точки касания и изображения маркера на экране ЖКЭ (или монитора на основе ЭЛТ). Калибровка осуществляет привязку по нескольким точкам касания. С помощью клавиатуры или той же сенсорной па-

На рис. 18, 19 показаны примеры реализации интерфейсов сенсорных панелей для 4- и 5-проводных схем. В качестве управляющего применяется контроллер PIC16C622 фирмы Microchip. Пять выводов контроллера использу-

ются для связи с контроллером сенсорной панели. В качестве трансиверов интерфейса RS232 применяется микросхема Max232 фирмы Maxim. Она имеет встроенный преобразователь напряжения, формирующий из напряжения +5 В напряжения +10 и -10 В для питания приемников и передатчиков. В данных схемах задействован только один канал приемника и один канал передатчика.

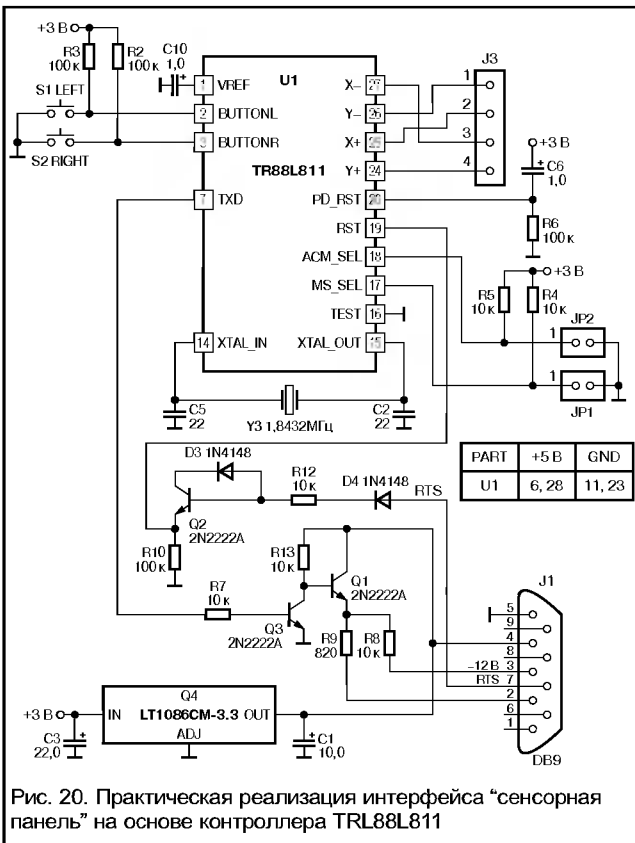


Рис. 20. Практическая реализация интерфейса "сенсорная панель" на основе контроллера TRL88L811

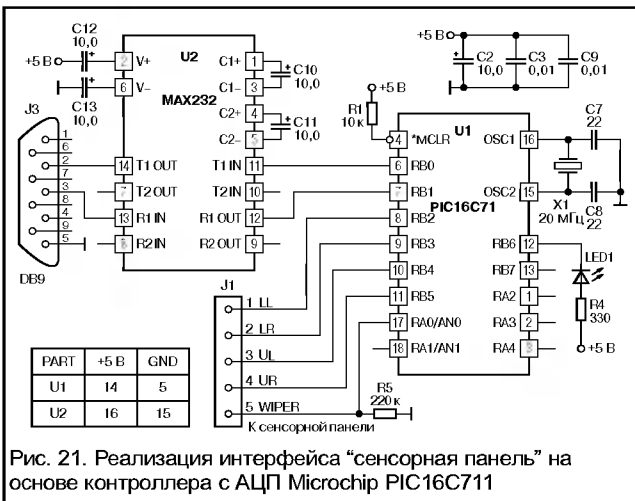


Рис. 21. Реализация интерфейса "сенсорная панель" на основе контроллера с АЦП Microchip PIC16C71

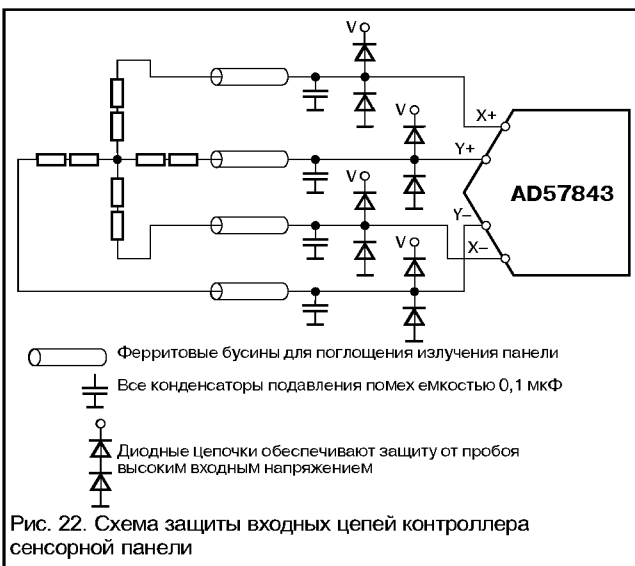


Рис. 22. Схема защиты входных цепей контроллера сенсорной панели

свующим потенциалам, не задействуя ножки контроллера. Однако это решение несколько ухудшит разрешающую способность панели, поскольку нарушится потенциальный баланс вследствие того, что потенциалы питания (0 и +5 В) и потенциалы, соответствующие лог. 0 и лог. 1, различны.

Предварительная калибровка сенсорной панели позволяет учитывать при вычислениях координат смещение и масштабные коэффициенты. В данной схеме калибровка и вычисление координат проводятся процессором устройства, с которым сенсорная панель связана посредством интерфейса RS-232. Последовательный интерфейс эмулируется в контроллере программно. Программа контроллера обеспечивает поддержку работы сенсорной панели, эмулируя устройство типа "мышь".

### Защита входных цепей контроллера сенсорной панели

Если сенсорная панель и контроллер конструктивно выполнены раздельно, и связь между ними производится посредством кабеля, то необходимо обеспечивать защиту входных цепей контроллера чувствительных к перенапряжению и действию электростатических зарядов. Следует также обеспечить защиту высокочастотных входов АЦП контроллера от высокочастотных наводок, поскольку длинные провода будут являться антенной для приема электромагнитных наводок от работающего рядом оборудования. Если панель используется в комплекте с

матричным ЖКЭ с подсветкой на основе люминесцентной лампы с холодным катодом, сама поверхность ЖКЭ и, тем более, люминесцентная лампа вместе с преобразователем напряжения являются источниками сильных электромагнитных помех, которые будут воздействовать на входные цепи АЦП контроллера сенсорной панели. На рис. 22 показана рекомендованная производителем [11] схема защиты входных цепей на основе ферритовых бусин и емкостей (ЭМИ фильтр), а также диодов по питанию (защита от перенапряжений).

### Устойчивость поверхности сенсорной панели к воздействию химических активных продуктов и реактивов

В процессе эксплуатации поверхность сенсорного экрана, кроме механического воздействия со стороны пользователя, может подвергаться воздействию химически активных веществ. Для ее защиты от механических и химических воздействий используется прозрачная защитная пленка. Материал такой пленки обеспечивает сохранение оптических свойств сенсорной панели после воздействия в течение 24 часов следующих пищевых продуктов: кофе, чая, лимонного сока, майонеза, кетчупа, горчицы, соусов, а также наиболее распространенных чистящих средств при температуре 50°C [13].

Кроме того, материал защитной пленки должен быть устойчив к воздействию таких химически активных жидкостей, как спирт, ацетон, толуол, бензин, солянка, 10% азотная кислота. Одним из материалов для такой пленки является поликарбонат.

Александр Самарин,  
samar@zelax.ru

### Литература

1. Tom Dahlin "Reach Out and Touch". Designing a Resistive Touchscreen. CIRCUIT CELLAR, Jan. 2000.
2. D. Blass, "Touch Screens for Flat Panel Applications", Sharp applications note, January 18, 1996.
3. Ray Weiss. Membrane switch integrated LCDs and touch panel. Electronic Design, May 2, 1985.
4. Liquid Crystal Display Module. Optrex, 1994.
5. Bergquist 4-Wire Resistive Analog Touchscreens. Specifications.
6. Bergquist 5-Wire Resistive Analog Touchscreens. Specifications.
7. Liquid Crystal Display Keyboard. US Patent № 4,527,862, Jul 1985.
8. "ADS7843 Touch screen controller" Datasheet. Burr Brown.
9. "ADS7845 Touch screen controller" Datasheet. Burr Brown.
10. "ADS7846 Touch screen controller" Datasheet. Burr Brown.
11. MT410 Chipset for 4-wire resistive touchscreens. MicroTouch.
12. Skip Osgood, CK Ong, Rick Downs. Touch Screen Controller TIPS. Burr-Brown Application Bulletin.
13. Touch Controllers. Reference Guide. MicroTouch.

(Окончание. Начало – №7/2001)

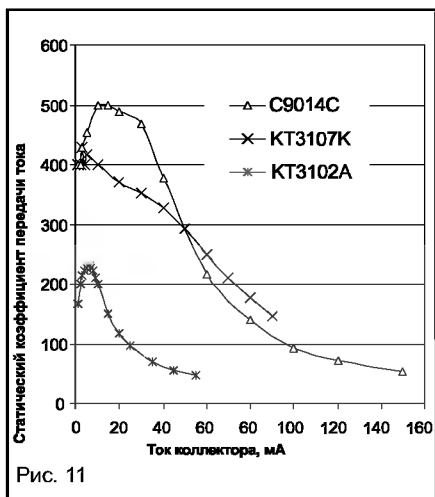
# О биполярном транзисторе замолвим мы слово...

Продолжим наши эксперименты с транзисторами. В первой части статьи были рассмотрены не совсем современные, но наиболее массовые и дешевые транзисторы, широко применяемые в бытовой и радиолюбительской электронной аппаратуре. Проанализируем характеристики других типов транзисторов, в том числе и более мощных. Их параметры приведены в табл. 2.

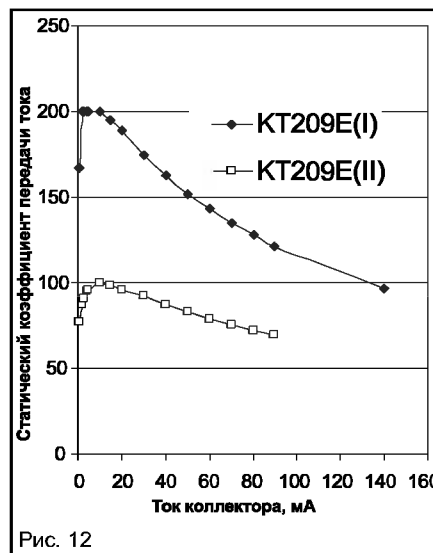
Таблица 2

№ образца	Тип транзистора	$h_{21э}$ (измер.)	Ток коллектора, мА	Данные из справочника	
				$h_{21э}$	Режим измерений
I	КТ209Е	239	2,39	80—240	$I_K=1$ мА
II		95	0,95		$U_{КБ}=10$ В
—	КТ3102А	220	2,2	100—200	$I_K=2$ мА, $U_{КБ}=5$ В
—	КТ3107К	504	5	380—800	$I_K=2$ мА, $U_{КБ}=5$ В
—	С9014С	498	4,98	200—600	
—	КТ816Б	110	1,1	25—275	$I_K=1$ А, $U_{КБ}=2$ В
—	КТ817Г	266	2,66		$I_K=1$ А, $U_{КБ}=2$ В

Графические зависимости статического коэффициента передачи тока в диапазоне токов до 150 мА для p-p-п транзисторов КТ3102, КТ3107 и импортного С9014С (полное наименование 2SC9014С) приведены на рис. 11. С9014 широко применяется в бытовой аппаратуре зарубежного производства и является примерным аналогом транзисторов типа КТ3102. На рис. 12 отдельно показаны графики для транзисторов типа КТ209 структуры p-p-р. Очевидно, что они имеют такой же "горб" на характеристике, как и у других транзисторов. Неравномерность  $h_{21э} = f(I_э)$  при изменении тока коллектора от 1 до 10...30 мА составляет до 30%.



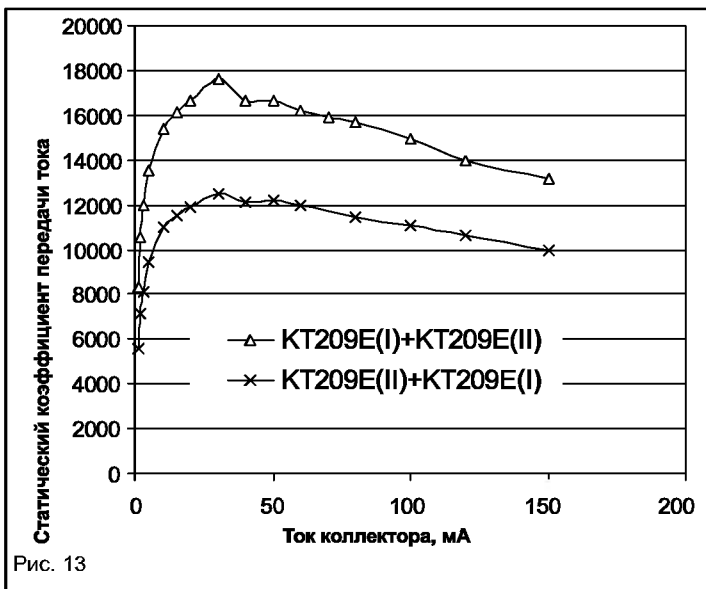
Общий коэффициент усиления традиционной схемы Дарлингтона на транзисторах типа КТ209 p-p-р достигает 12000...18000 (рис. 13) и имеет примерно такую же нелинейность, но уже в более широком диапазоне токов (до 150 мА). Величина рабочего тока ограничивается еще и допустимой мощностью, поэтому соединение двух транзисторов при большом токе можно использовать только в импульсном режиме.



Транзисторы средней мощности типа КТ816 (p-p-р) и КТ817 (n-p-n) допускают работу при токах до 1 А. Однако, как видно из графика на рис. 14, оптимальным рабочим током, исходя из максимального значения  $h_{21э}$ , является ток от 5 до 150 мА. В этих пределах неравномерность характеристики  $h_{21э} = f(I_э)$  составляет примерно 15%. Следует отметить, что на рис. 14 применен логарифмический масштаб, который часто встречается в справочниках на импортные комплектующие. Для сравнения на рис. 15 и 16 приведены справочные зависимости этих транзисторов  $h_{21э} = f(I_э)$ . Они близки к экспериментальным результатам [2]. Конструктивно транзисторы типа КТ816 и КТ817 выполнены таким образом, что допускают установку на теплоотвод для предотвращения перегрева при работе с повышенной мощностью. Во многих практических случаях величина базового тока у та-

ких транзисторов неприемлема для предварительного каскада, и ее необходимо уменьшить, не прибегая к уменьшению коллекторного тока. Для этого можно использовать схему Дарлингтона на маломощных транзисторах одного типа проводимости. Графики зависимостей  $h_{21э} = f(I_э)$  для составных транзисторов (из маломощного и мощного) разного типа проводимости показаны на рис. 17. Пара транзисторов КТ315Д и КТ817Г (n-p-n) имеет максимальное значение  $h_{21э}$  более 16000 при токе 500 мА, которое сильно зависит от тока коллектора. У другой пары транзисторов структуры p-p-р КТ361Г и КТ816Б максимальное значение коэффициента передачи тока не превышает 8000, но характеристика  $h_{21э} = f(I_э)$  имеет обычный вид (с "горбом"), поэтому оптимальный ток коллектора для такой пары должен быть в пределах 5...150 мА. Неравномерность характеристики примерно равна 25%.

В связи с тем, что такие пары составных транзисторов часто использовались в бытовой радиоаппаратуре, ста-



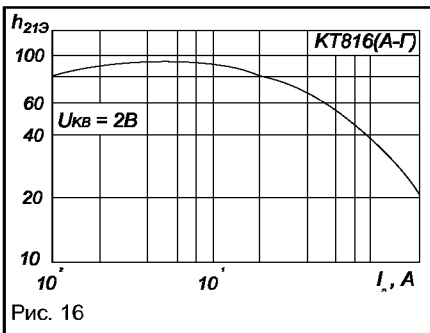
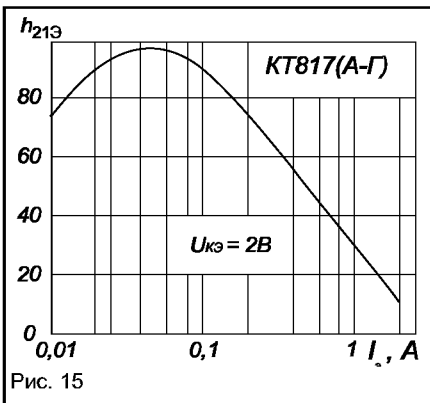
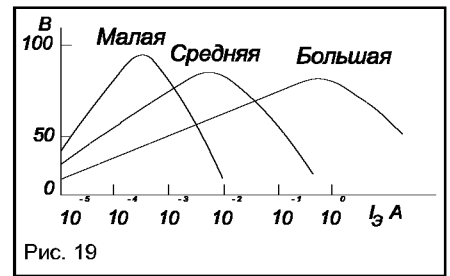
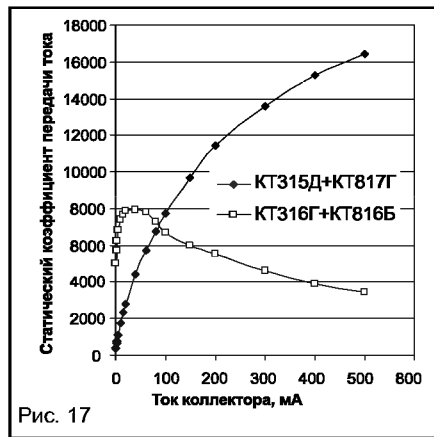
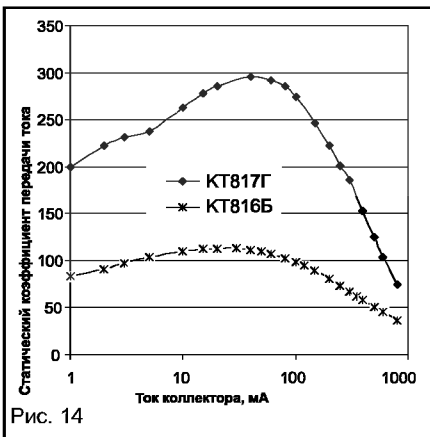


рис. 18. Диапазон рабочих токов составляет 0,1...500 мА. При этом сохраняется достаточно высокое постоянство  $h_{213}$  ( $h_{FE}$ ). При изменении тока коллектора в пределах одной декады  $h_{213}$  ( $h_{FE}$ ) различается всего в 1,5 раза, а на два порядка (в 100 раз) — в два раза. И это в диапазоне токов 0,1...10 мА, при котором  $h_{213}$  ( $h_{FE}$ ) имеет значение 100...250. Из сказанного выше ясно, что таких параметров при таком токе нельзя получить даже при использовании составного транзистора из двух КТ315 или КТ361.

Теперь понятно, какое значение имеет правильный подбор биполярных транзисторов при проектировании электронных устройств. Это важно не только для аппаратуры на дискретных радиоэлементах, но и для микроразностных устройств на микросхемах.

В интегральном исполнении разброс параметров транзисторов невелик. Кроме того, хорошая повторяемость параметров интегральных транзисторов позволяет применять другие способы согласования каскадов и методы проектирования электронных узлов.

В продолжение начатой темы приведем график зависимости  $h_{213} = f(I_3)$  для интегральных транзисторов (рис. 19) [3]. Зависимость коэффициента усиления по току для интегральных структур разных геометрических размеров частично подтверждает полученные ранее результаты и дает представление о новых возможностях, предоставляемых интегральной технологией. Как видно

из рис. 19, подбором геометрических размеров транзисторной структуры можно определять электрические параметры транзисторов в микросхеме. При необходимости можно также выполнить каскад с большим коэффициентом усиления, применяя схему Дарлингтона, объединив в ней транзистор с большой площадью (он будет определять максимальный рабочий ток) и транзистор с малыми геометрическими размерами (он будет определять малый базовый ток, так как его режим работы оптимален при малых токах).

На примере дискретных транзисторов мы смогли убедиться в важности серьезного подхода к подбору элементной базы при проектировании узлов электронной аппаратуры. Не менее важен и подбор интегральных микросхем. Применяя их, зачастую не задумываешься, каким образом в них реализованы хорошие электрические параметры. В дальнейшем мы рассмотрим методы схемотехнического проектирования интегральных схем.

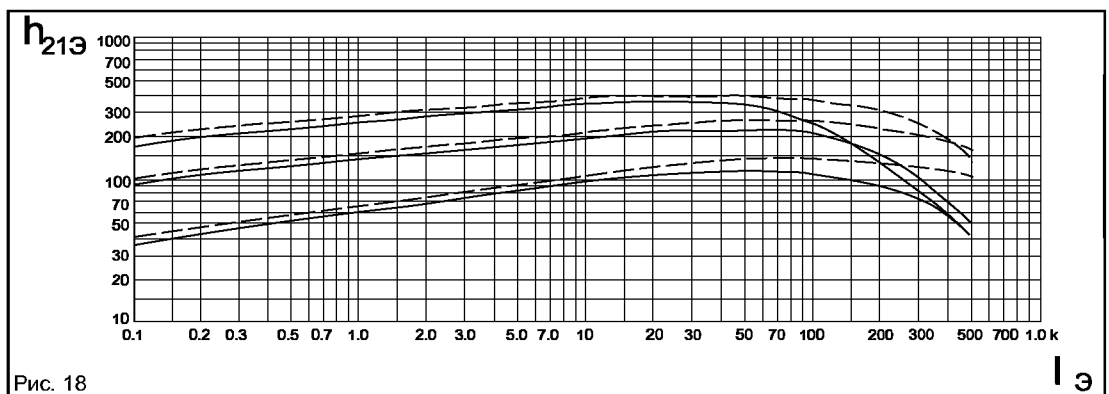
Игорь Кольцов,  
editor@dian.ru

Литература

1. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник. — М.: Радио и связь, 1989.
2. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней мощности: Справочник. — М.: Радио и связь, 1989.
3. В. Л. Шило. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Советское радио, 1974.

новится понятным невысокое качество звука. Ведь применение в выходном каскаде, работающем в классе А или АВ, таких пар транзисторов определяет режим работы с меняющимся в широких пределах коллекторным током, и, как следствие, возникают искажения. Они обусловлены разными коэффициентами передачи верхнего и нижнего плеч двухтактного выходного усилительного каскада при прохождении сигнала от предусилителя.

В зарубежных радиолюбительских схемах часто применяется транзистор типа С2222. Он выпускается многими фирмами. Чем же он заслужил такую популярность? Основное его преимущество очевидно из графика  $h_{213} = f(I_3)$ , который приведен на



(Продолжение. Начало в №6—7/2001)

# Раз шажок, два шажок...

## Зависимость момента от скорости, влияние нагрузки

Момент, создаваемый шаговым двигателем, зависит от нескольких факторов:

- скорости;
- тока в обмотках;
- схемы драйвера.

На рис. 14, а показана зависимость момента от угла поворота ротора. У идеального шагового двигателя эта зависимость синусоидальная. Точки S являются положениями равновесия ротора для ненагруженного двигателя и соответствуют нескольким последо-



Рис. 14. Возникновение мертвых зон в результате действия трения

вательным шагам. Если к валу двигателя приложить внешний момент, меньший момента удержания, то угловое положение ротора изменится на некоторый угол

$$\Phi = (N/(2p)) \cdot \sin(Ta/Th),$$

где  $\Phi$  – угловое смещение, N – количество шагов двигателя на оборот, Ta – внешний приложенный момент, Th – момент удержания.

Угловое смещение  $\Phi$  является ошибкой позиционирования нагруженного двигателя. Если к валу двигателя приложить момент, превышающий момент удержания, то под действием этого момента вал провернется. В таком режиме положение ротора является неконтролируемым.

На практике всегда имеется приложенный к двигателю внешний момент, хотя бы потому, что двигателю придется преодолевать трение. Силы трения могут быть разделены на две категории: статическое трение, или трение покоя, для преодоления которого требуется постоянный момент, и динамическое трение, или вязкое трение, которое зависит от скорости.

Рассмотрим статическое трение. Предположим, что для его преодоления требуется момент в половину от пикового. На рис. 14, а штриховыми линиями показан момент трения. Таким образом, для вращения ротора остается только момент, лежащий на графике за пределами штриховых линий. Отсюда следуют два вывода: трение снижает

момент на валу двигателя, и появляются мертвые зоны вокруг каждого положения равновесия ротора (рис. 14, б):

$$d = 2(S/(p/2)) \arcsin(Tf/Th) = (S/(p/4)) \arcsin(Tf/Th),$$

где d – ширина мертвой зоны в радианах, S – угол шага в радианах, Tf – момент трения, Th – момент удержания.

Мертвые зоны ограничивают точность позиционирования. Например, наличие статического трения в полувину от пикового момента двигателя с шагом 90° вызовет наличие мертвых зон в 60°. Это означает, что шаг двигателя может колебаться от 30° до 150° в зависимости от того, в какой точке мертвой зоны остановится ротор после очередного шага.

Отсутствие мертвых зон является очень важным для микрошагового режима. Если, например, имеются мертвые зоны величиной d, то микрошаг величиной менее d вообще не сдвинет ротор с места. Поэтому для систем с использованием микрошагов очень важно минимизировать трение покоя.

Когда двигатель работает под нагрузкой, всегда существует некоторый сдвиг между угловым положением ротора и ориентацией магнитного поля статора. Особенно неблагоприятной является ситуация, когда двигатель начинает торможение и момент нагрузки реверсируется. Нужно отметить, что запаздывание или опережение относится только к положению, но не к скорости. В любом случае, если синхронность работы двигателя не потеряна, это запаздывание или опережение не может превышать величины двух полных шагов. Это весьма приятный факт.

Каждый раз, когда шаговый двигатель осуществляет шаг, ротор поворачивается на S радиан. При этом минимальный момент имеет место, когда ротор находится ровно между соседними положениями равновесия (рис. 15). Этот момент называют рабочим моментом, он показывает, какой наибольший момент может преодолеть двигатель при вращении с малой скоростью. При синусоидальной зависимости момента от угла поворота ротора, этот момент  $T_r = Th/(2^{0.5})$ . Если двигатель делает шаг с двумя запитанными обмотками, то рабочий момент равен моменту удержания для одной запитанной обмотки.

Параметры привода на основе шагового двигателя сильно зависят от характеристик нагрузки. Кроме трения, реальная нагрузка обладает инерцией. Инерция препятствует изменению скорости. Инерционная нагрузка требует от двигателя больших моментов на разгоне и торможении, ограничивая

таким образом максимальное ускорение. С другой стороны, увеличение инерционности нагрузки увеличивает стабильность скорости.

Такой параметр шагового двигателя, как зависимость момента от скорости, является важнейшим при выборе типа

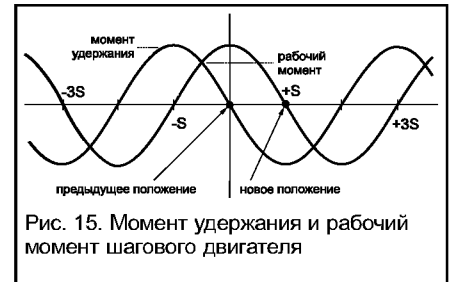


Рис. 15. Момент удержания и рабочий момент шагового двигателя

двигателя, метода управления фазами и схемы драйвера. При конструировании высокоскоростных драйверов шаговых двигателей нужно учитывать, что их обмотки представляют собой индуктивность, которая определяет время нарастания и спада тока. Поэтому, если к обмотке приложено напряжение прямоугольной формы, форма тока не будет прямоугольной. При низких скоростях (рис. 16, а) время нарастания и спада тока не способно сильно повлиять на момент, однако на высоких скоростях момент падает. Связано это с тем, что на высоких скоростях ток в обмотках двигателя не успевает достигнуть номинального значения (рис. 16, б). Для того чтобы момент падал как можно меньше, необходимо обеспечить высокую скорость нарастания тока в обмотках двигателя, что достигается применением специальных схем для их питания.

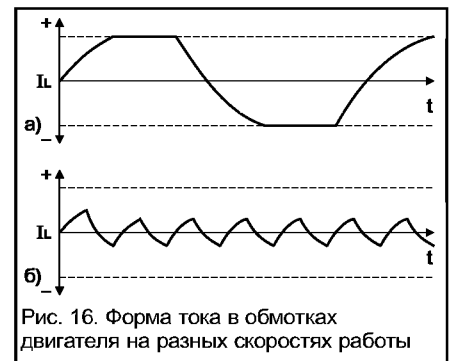


Рис. 16. Форма тока в обмотках двигателя на разных скоростях работы

Поведение момента при увеличении частоты коммутации фаз примерно таково: начиная с некоторой частоты средняя момент монотонно падает. Обычно для шагового двигателя приводятся две кривые зависимости момента от скорости (рис. 17). Внутренняя кривая (кривая старта, или pull-in curve) показывает, при каком максимальном моменте трения для данной скорости шаговый двигатель способен тронуться. Эта кривая пересекает ось скоростей в точке, называемой максимальной частотой старта или частотой приемистости. Она определяет максимальную скорость, на



Рис. 17. Зависимость момента от скорости

которой ненагруженный двигатель может тронуться. На практике эта величина лежит в пределах 200–500 полных шагов в секунду. Инерционность нагрузки сильно влияет на вид внутренней кривой. Большая инерционность соответствует меньшей области под кривой, которая называется областью старта. Внешняя кривая (кривая разгона, или pull-out curve) показывает, при каком максимальном моменте трения для данной скорости шаговый двигатель способен поддерживать вращение без пропуска шагов. Эта кривая пересекает ось скоростей в точке, называемой максимальной частотой разгона. Она показывает максимальную скорость для данного двигателя без нагрузки. При измерении максимальной скорости нужно иметь в виду, что из-за явления резонанса момент равен нулю еще и на резонансной частоте. Область, которая лежит между кривыми, называется областью разгона.

Нужно отметить, что схема драйвера в значительной степени влияет на ход кривой момент-скорость, но этот вопрос будет рассмотрен ниже.

### Разогнать!

Для того чтобы работать на большой скорости из области разгона (рис. 17), необходимо стартовать на низкой скорости из области старта, а затем выполнить разгон. При остановке нужно действовать в обратном порядке: сначала выполнить торможение и, только войдя в область старта, можно прекратить подачу управляющих импульсов. В противном случае произойдет потеря синхронности и положение ротора будет утеряно. Использование разгона и торможения позволяет достичь значительно больших скоростей – в промышленных применениях используются скорости до 10000 полных шагов в секунду. Необходимо отметить, что непрерывная работа шагового двигателя на высокой скорости не всегда допустима из-за перегрева ротора. Однако высокая скорость кратковременно может быть использована при осуществлении позиционирования.

При разгоне двигатель проходит ряд скоростей, при этом на одной из них

можно столкнуться с неприятным явлением резонанса. Для нормального разгона желательно иметь нагрузку, момент инерции которой как минимум равен моменту инерции ротора. На ненагруженном двигателе явление резонанса проявляется наиболее сильно. Подробно методы борьбы с этим явлением будут описаны ниже.

При осуществлении разгона или торможения важно правильно выбрать закон изменения скорости и максимальное ускорение. Ускорение должно быть тем меньше, чем выше инерционность нагрузки. Критерий правильного выбора режима разгона – осуществление разгона до нужной скорости для конкретной нагрузки за минимальное время. На практике чаще всего применяют разгон и торможение с постоянным ускорением.

Реализация закона, по которому будет производиться ускорение или торможение двигателя, обычно осуществляется программно управляющим микроконтроллером, так как именно микроконтроллер обычно является источником тактовой частоты для драйвера шагового двигателя, хотя раньше для этих целей применялись управляемые напряжением генераторы или программируемые делители частоты. Для генерации тактовой частоты удобно использовать аппаратный таймер, который имеется в составе практически любого микроконтроллера. Когда двигатель вращается с постоянной скоростью, достаточно загрузить в таймер постоянное значение периода повторения шагов (длительность шага). Если же двигатель разгоняется или тормозится, этот период меняется с каждым новым шагом. При разгоне или торможении с постоянным ускорением частота повторения шагов должна изменяться линейно. Соответственно значение периода, которое необходимо загружать в таймер, должно меняться по гиперболическому закону.

Для наиболее общего случая требуется знать зависимость длительности шага от текущей скорости. Количество шагов, которое осуществляет двигатель при разгоне за время  $t$  равно:

$$N = 1/2At^2 + Vt,$$

где  $N$  – число шагов,  $t$  – время,  $V$  – скорость, выраженная в шагах в единицу времени,  $A$  – ускорение, выраженное в шагах, деленных на время в квадрате.

Для одного шага  $N = 1$ , тогда длительность шага

$$t_1 = T = (-V + (V^2 + 2A)^{0.5})/A.$$

В результате осуществления шага скорость становится равной

$$V_{new} = (V^2 + 2A)^{0.5}.$$

Вычисления по приведенным формулам довольно трудоемки и требуют зна-

чительных затрат процессорного времени. Однако они позволяют изменять значение ускорения в произвольный момент. Расчеты можно существенно упростить, если потребовать постоянства ускорения во время разгона и торможения. В этом случае можно записать зависимость длительности шага от времени разгона:

$$V = V_0 + At,$$

где  $V$  – текущая скорость,  $V_0$  – начальная скорость (минимальная скорость, с которой начинается разгон),  $A$  – ускорение;

$$1/T = 1/T_0 + At,$$

где  $T$  – длительность шага,  $T_0$  – начальная длительность шага,  $t$  – текущее время. Отсюда получаем

$$T = T_0 / (1 + T_0 At).$$

Производить вычисления по этой формуле проще. Однако, для того чтобы поменять значение ускорения, требуется остановить двигатель.

### Резонанс

Как уже было сказано выше шаговым двигателям свойственен нежелательный эффект, называемый резонансом. Эффект проявляется в виде внезапного падения момента на некоторых скоростях. Это может привести к пропуску шагов и потере синхронности. Этот эффект проявляется в том случае, когда частота шагов совпадает с собственной резонансной частотой ротора двигателя.

Когда двигатель совершает шаг, ротор не сразу устанавливается в новую позицию, а совершает затухающие колебания. Дело в том, что систему “ротор-магнитное поле-статор” можно рассматривать как пружинный маятник, частота колебаний которого зависит от момента инерции ротора (плюс нагрузка) и величины магнитного поля. Ввиду сложной конфигурации магнитного поля, резонансная частота ротора зависит от амплитуды колебаний. При уменьшении амплитуды частота растет, приближаясь к малоамплитудной частоте, которая вычисляется количественно. Эта частота зависит от угла шага и отношения момента удержания к моменту инерции ротора. Большой момент удержания и меньший момент инерции приводят к увеличению резонансной частоты.

Резонансная частота вычисляется по формуле

$$F_0 = (N \cdot T_H / (J_R + J_L))^{0.5} / 4 \cdot \rho,$$

где  $F_0$  – резонансная частота,  $N$  – число полных шагов на оборот,  $T_H$  – момент удержания для используемого способа управления и тока фаз,  $J_R$  – момент инерции ротора,  $J_L$  – момент инерции нагрузки.

Необходимо заметить, что резонансную частоту определяет момент инерции собственно ротора двигателя плюс момент инерции нагрузки, подключенной к валу двигателя. Поэтому резонансная частота ротора ненагруженного двигателя, которая иногда приводится среди параметров, имеет малую практическую ценность, так как любая нагрузка, подсоединенная к двигателю, изменит эту частоту.

На практике эффект резонанса приводит к трудностям при работе на частоте, близкой к резонансной. Момент на частоте резонанса равен нулю, и без принятия специальных мер шаговый двигатель не может пройти резонансную частоту при разгоне. В любом случае, явление резонанса способно существенно ухудшить точностные характеристики привода.

В системах с низким демпфированием существует опасность потери шагов, либо повышения шума, когда двигатель работает вблизи резонансной частоты. В некоторых случаях проблемы могут возникать и на гармониках частоты основного резонанса.

Когда используется не микрошаговый режим, основной причиной появления колебаний является прерывистое вращение ротора. При осуществлении шага ротору толчком сообщается некоторая энергия. Этот толчок возбуждает колебания. Энергия, которая сообщается ротору в полушаговом режиме, составляет около 30% от энергии полного шага. Поэтому в полушаговом режиме амплитуда колебаний существенно меньше. В микрошаговом режиме с шагом, равным 1/32 основного, при каждом микрошаге сообщается всего около 0,1% от энергии полного шага. Поэтому в микрошаговом режиме явление резонанса практически незаметно.

Для борьбы с резонансом можно использовать различные методы. Например, применение эластичных материалов при выполнении механических муфт связи с нагрузкой. Эластичный материал способствует поглощению энергии в резонансной системе, что приводит к затуханию паразитных колебаний. Другим способом является применение вязкого трения. Выпускаются специальные демпферы, где внутри полого цилиндра, заполненного вязкой кремнийорганической смазкой, может вращаться металлический диск. При вращении этой системы с ускорением диск испытывает вязкое трение, что эффективно демпфирует систему.

Существуют электрические методы борьбы с резонансом. Колеблющийся ротор приводит к возникновению в обмотках статора ЭДС. Если замкнуть обмотки, которые на данном шаге не используются, это приведет к демпфированию резонанса.

И, наконец, существуют методы борьбы с резонансом на уровне алгоритма работы драйвера. Например, можно

использовать тот факт, что при работе с двумя включенными фазами резонансная частота примерно на 20% выше, чем с одной включенной фазой. Если резонансная частота точно известна, то ее можно проходить, меняя режим работы.

Если это возможно, при старте и остановке нужно использовать частоты выше резонансной. Увеличение момента инерции системы "ротор – нагрузка" уменьшает резонансную частоту.

Однако самой эффективной мерой борьбы с резонансом является применение микрошагового режима.

### Чем же его кормить?

Для питания обычного двигателя постоянного тока требуется лишь источник постоянного напряжения, а необходимые коммутации обмоток выполняются коллектором. С шаговым двигателем дело обстоит сложнее. Все коммутации должен выполнять внешний контроллер. В настоящее время примерно в 95% случаев для управления шаговыми двигателями используются микроконтроллеры. В простейшем случае для управления шаговым двигателем в полношаговом режиме требуются всего два сигнала, сдвинутые по фазе на 90°. Направление вращения зависит от того, какая фаза опережает. Скорость определяется частотой следования импульсов.

В полушаговом режиме все несколько сложнее и требуется уже как минимум четыре сигнала. Все сигналы управления шаговым двигателем можно сформировать программно, однако это вызовет большую загрузку микроконтроллера. Поэтому чаще применяют специальные микросхемы драйверов шагового двигателя, которые уменьшают количество динамических сигналов, требуемых от процессора. Эти микросхемы требуют подачи тактовой частоты, которая является частотой повторения шагов, и статического сигнала, который задает направление вращения. Дополнительно используется сигнал включения полушагового режима. Для микросхем драйверов, которые работают в микрошаговом режиме, требуется большее количество сигналов. Весьма распространен случай, когда необходимые последовательности сигналов управления фазами формируются с помощью одной микросхемы, а необходимые токи фаз обеспечивает другая микросхема. Хотя в последнее время появляется все больше драйверов, реализующих все функции в одной микросхеме.

Мощность, которая требуется от драйвера, зависит от размеров двигателя и составляет доли ватта для малых двигателей и до 10–20 Вт для больших двигателей. Максимальный уровень рассеиваемой мощности ограничен нагревом двигателя. Максимальная рабочая температура обычно указывается производителем, но можно

приблизительно считать, что нормальной является температура корпуса 90°C. Поэтому при конструировании устройств с шаговыми двигателями, непрерывно работающими на максимальном токе, необходимо принимать меры, исключающие касание корпуса двигателя обслуживающим персоналом. В отдельных случаях возможно применение охлаждающего радиатора. Иногда это позволяет применить двигатель меньших размеров и добиться лучшего соотношения мощность/стоимость.

Для данного размера шагового двигателя место, занимаемое обмотками, ограничено. Поэтому очень важно сконструировать драйвер так, чтобы для заданных параметров обмоток обеспечить наилучшую эффективность.

Схема драйвера должна выполнять три главных задачи:

- иметь возможность включать и выключать ток в обмотках, а также менять его направление;
- поддерживать заданное значение тока;
- обеспечивать как можно более быстрое нарастание и спад тока для хороших скоростных характеристик.

### Способы изменения направления тока

При работе шагового двигателя требуется изменение направления магнитного поля независимо для каждой фазы. Изменение направления магнитного поля может быть выполнено разными способами. В униполярных двигателях обмотки имеют отвод от середины, либо имеются две отдельные обмотки для каждой фазы. Направление магнитного поля меняется путем переключения полюсов обмоток или целых обмоток. В этом случае требуются только два простых ключа А и В для каждой фазы (рис. 18). В биполярных двигателях направление меняется путем переполюсовки выводов обмоток. Для такой переполюсовки требуется полный Н-мост (рис. 19). Управление ключами в любом случае должно осуществляться логической схемой, реализующей нужный алгоритм работы. Предполагается, что источник питания схем имеет номинальное для обмоток двигателя напряжение. Это простейший способ управления током обмоток, и, как будет показано в дальнейшем, он существенно ограничивает возможности двигателя. Нужно отметить, что при раздельном управлении транзисторами Н-моста возможны ситуации, когда источник питания замкнут ключами. Поэтому логическая схема управления должна быть построена таким образом, чтобы исключить эту ситуацию даже в случае сбоев управляющего микроконтроллера.

Обмотки двигателя представляют собой индуктивность, а это значит, что ток не может бесконечно быстро нарастать или бесконечно быстро спадать

без привлечения бесконечной разности потенциалов. При подключении обмотки к источнику питания ток будет с некоторой скоростью нарастать, а при ее отключении произойдет выброс напряжения. Этот выброс способен повредить ключи, в качестве которых используются биполярные или полевые транзисторы. Для ограничения выброса устанавливаются специальные защитные цепочки. На схемах (рис. 18 и 19) эти цепочки образованы диодами, значительно реже применяют конденсаторы или их комбинацию с диодами. Применение конденсаторов вызывает появление электрического резонанса, что может вызвать увеличение момента на некоторой скорости. На рис. 18 потребовалось четыре диода по той причине, что половинки обмоток униполярного двигателя расположены на общем сердечнике и сильно связаны между собой. Они работают как автотрансформатор, и выбросы возникают на выводах обеих обмоток. Если в качестве ключей применены МОП-транзисторы, у которых внутри уже имеются диоды, то достаточно только двух внешних диодов. В интегральных микросхемах, содержащих мощные выходные каскады с открытым коллектором, также часто имеются такие диоды. Кроме того, некоторые микросхемы, такие как ULN2003, ULN2803 и подобные, имеют внутри оба защитных диода для каждого транзистора. Нужно отметить, что в случае применения быстродействующих ключей требуются сравнимые по быстродействию диоды. В случае применения медленных диодов требуется их шунтирование небольшими конденсаторами.

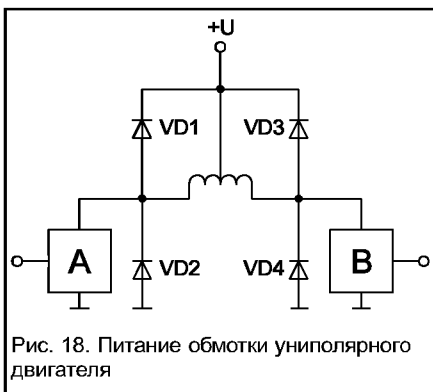


Рис. 18. Питание обмотки униполярного двигателя

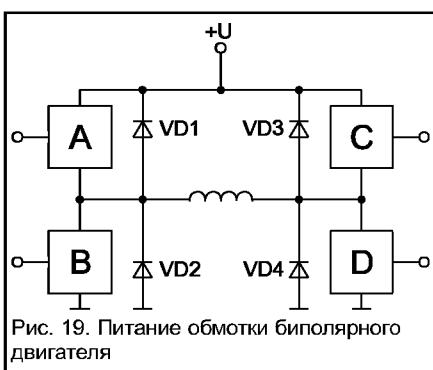


Рис. 19. Питание обмотки биполярного двигателя

### Стабилизация тока

Для регулирования момента требуется регулировать силу тока в обмотках. В любом случае, ток должен быть ограничен, чтобы не превысить рассеиваемую мощность на омическом сопротивлении обмоток. Более того, в полшаговом режиме необходимо в определенные моменты обеспечивать нулевое значение тока в обмотках, а в микрошаговом режиме вообще требуется задание разных значений тока.

Для каждого двигателя производителем указывается номинальное рабочее напряжение обмоток. Поэтому простейший способ питания обмоток – это использование источника постоянного напряжения. В этом случае ток ограничен омическим сопротивлением обмоток и напряжением источника питания (рис. 20, а), поэтому такой способ питания называют L/R-питанием. Ток в обмотке нарастает по экспоненциальному закону со скоростью, определяемой индуктивностью, активным сопротивлением обмотки и приложенным напряжением. При повышении частоты ток не достигает номинального значения, и момент падает. Поэтому такой способ питания пригоден только при работе на малых скоростях и используется на практике только для мало-мощных двигателей.

При работе на больших скоростях требуется увеличивать скорость нарастания тока в обмотках, что возможно путем повышения напряжения источника питания. При этом максимальный ток обмотки должен быть ограничен с помощью дополнительного резистора. Например, если используется напряжение питания, в пять раз превышающее номинальное, то требуется дополнительный резистор, чтобы общее сопротивление составило  $5R$ , где  $R$  – омическое сопротивление обмотки ( $L/5R$ -питание). Этот способ питания обеспечивает более быстрое нарастание тока и, как следствие, больший момент (рис. 20, б). Однако он имеет существенный недостаток: на резисторе рассеивается дополнитель-

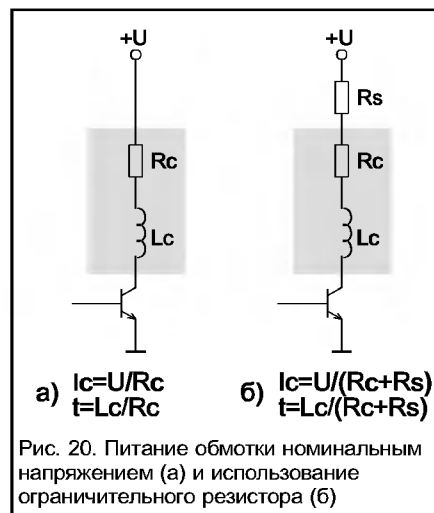


Рис. 20. Питание обмотки номинальным напряжением (а) и использование ограничительного резистора (б)

ная мощность. Большие габариты мощных резисторов, необходимость отвода тепла и повышенная необходимая мощность источника питания – все это делает такой метод неэффективным и ограничивает область его применения небольшими двигателями мощностью 1–2 Вт. Нужно сказать, что до начала 80-х годов прошлого века шаговые двигатели, использовали именно такой способ питания.

Еще более быстрое нарастание тока можно получить, если использовать для питания двигателя генератор тока. Нарастание тока будет происходить линейно, что позволит быстрее достигать номинального значения тока. Тем более, что пара мощных резисторов может стоить дороже, чем пара мощных транзисторов вместе с радиаторами. Но, как и в предыдущем случае, генератор тока будет рассеивать дополнительную мощность, что делает эту схему питания неэффективной.

Существует еще одно решение, обеспечивающее высокую скорость нарастания тока и небольшую потерю мощности. Основано оно на применении двух источников питания. В начале каждого шага обмотки кратковременно подключаются к более высоковольтному источнику, который обеспечивает быстрое нарастание тока (рис. 21). Затем напряжение питания обмоток уменьшается (момент времени  $t_1$  на рис. 21). Недостатком этого метода является необходимость двух ключей, двух источников питания и более сложной схемы управления. В системах, где такие источники уже есть, метод может оказаться достаточно дешевым. Еще одной трудностью является невозможность определения момента времени  $t_1$  для общего случая. Для двигателя с меньшей индуктивностью обмоток скорость нарастания тока выше, и при фиксированном  $t_1$  средний ток может

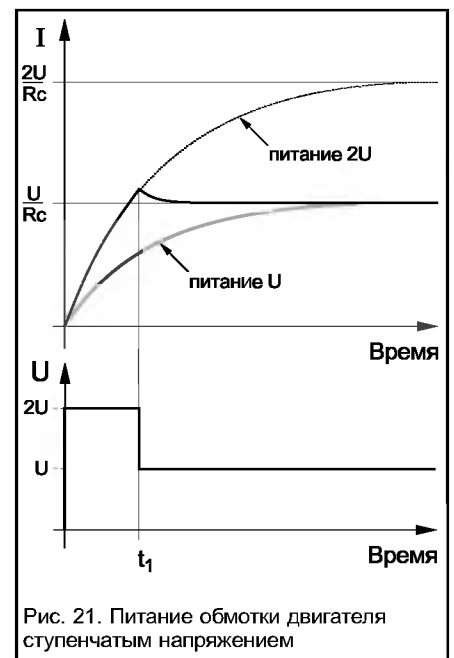


Рис. 21. Питание обмотки двигателя ступенчатым напряжением

оказаться выше номинального, что чревато перегревом двигателя.

Еще одним методом стабилизации тока в обмотках двигателя является ключевое (шиотно-импульсное) регулирование. Современные драйверы шаговых двигателей используют именно этот метод. Ключевой стабилизатор обеспечивает высокую скорость нарастания тока в обмотках при простоте регулирования и очень низких потерях. Еще одним преимуществом схемы с ключевой стабилизацией тока является и то, что она поддерживает момент двигателя постоянным независимо от колебаний напряжения питания. Это позволяет использовать простые и дешевые нестабилизированные источники питания.

Для обеспечения высокой скорости нарастания тока используют напряжение источника питания, в несколько раз превышающее номинальное. Путем регулирования скважности импульсов, среднее напряжение и ток поддерживаются на номинальном для обмотки уровне в результате действия обратной связи. Последовательно с обмоткой включается резистор – датчик тока R (рис. 22, а). Падение напряжения на этом резисторе пропорционально току в обмотке. Когда ток достигает установленного значения, ключ выключается, что приводит к падению тока. Когда ток спадает до нижнего

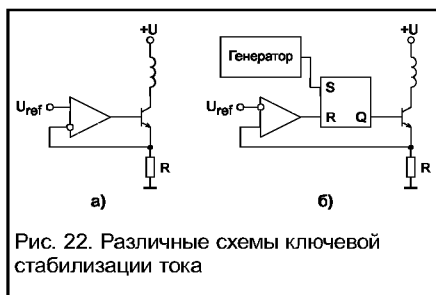


Рис. 22. Различные схемы ключевой стабилизации тока

порога, ключ снова включается. Этот процесс повторяется периодически, поддерживая среднее значение тока постоянным. Управляя величиной  $U_{ref}$  можно регулировать ток фазы, например увеличивать его при разгоне и торможении и снижать при работе на постоянной скорости. Можно также задавать его с помощью ЦАП в форме синусоиды, реализуя таким образом микрошаговый режим. Такой способ управления ключевым транзистором обеспечивает постоянную величину пульсаций тока в обмотке, которая определяется гистерезисом компаратора. Однако частота переключений будет зависеть от скорости изменения тока в обмотке, в частности от ее индуктивности и от напряжения питания. Кроме того, две такие схемы, питающие разные фазы двигателя, не могут быть засинхронизированы, что может стать причиной дополнительных помех.

От указанных недостатков свободна схема с постоянной частотой переключения (рис. 22, б). Ключевым транзистором управляет триггер, который устанавливается специальным генератором.

Когда триггер устанавливается, ключевой транзистор открывается и ток фазы начинает расти. Вместе с ним растет и падение напряжения на датчике тока. Когда оно достигает опорного напряжения, компаратор переключается, сбрасывая триггер. Ключевой транзистор при этом выключается, и ток фазы начинает спадать до тех пор, пока триггер не будет вновь установлен генератором. Такая схема обеспечивает постоянную частоту коммутации, однако величина пульсаций тока не будет постоянной. Частота генератора обычно выбирается не менее 20 кГц, чтобы двигатель не создавал слышимого звука. В то же время слишком высокая частота переключений может вызвать повышенные потери в сердечнике двигателя и потери на переключениях транзисторов, хотя потери в сердечнике с повышением частоты растут не так быстро ввиду уменьшения амплитуды пульсаций тока с ростом частоты. Пульсации порядка 10% от среднего значения тока обычно не вызывают проблем.

Подобная схема реализована внутри микросхемы L297 фирмы ST Microelectronics (SGS-Thomson), применение которой сводит к минимуму количество внешних компонентов. Ключевое регулирование реализовано и в других специализированных микросхемах.

На рис. 23 показана форма тока в обмотках двигателя для трех способов питания. Наилучшим в смысле момента является ключевой метод. К тому же он обеспечивает высокий КПД и позволяет регулировать величину тока.

**Быстрый и медленный спад тока**

На рис. 19 были показаны конфигурации ключей в Н-мосте для включе-

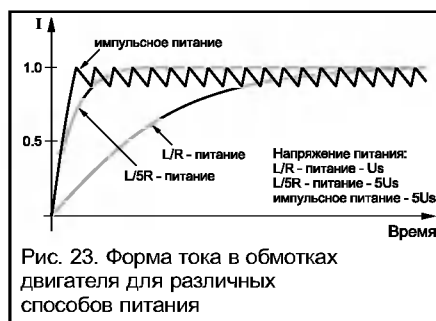


Рис. 23. Форма тока в обмотках двигателя для различных способов питания

ния разных направлений тока в обмотке. Для выключения тока можно выключить все ключи Н-моста или же оставить один ключ включенным (рис. 24). Эти две ситуации различаются по скорости спада тока в обмотке. После отключения индуктивности от источника питания ток не может мгновенно прекратиться. Возникает ЭДС самоиндукции, имеющая противоположное источнику питания направление. При использовании транзисторов в качестве ключей необходимо применять шунтирующие диоды, чтобы обеспечить проводимость в обе стороны. Скорость изменения тока в индуктивности пропорциональна приложенному напряжению. Это справедливо как для на-

растания тока, так и для его спада. Только в первом случае источником энергии является источник питания, а во втором сама индуктивность отдает запасенную энергию. Этот процесс может происходить при разных условиях.

На рис. 24, а показано состояние ключей Н-моста, при включенной обмотке. Включены ключи А и D, направление тока показано стрелкой. На рис. 24, б обмотка выключена, но ключ А включен. ЭДС самоиндукции закорачивается через этот ключ и диод VD3. В это время на выводах обмотки будет небольшое

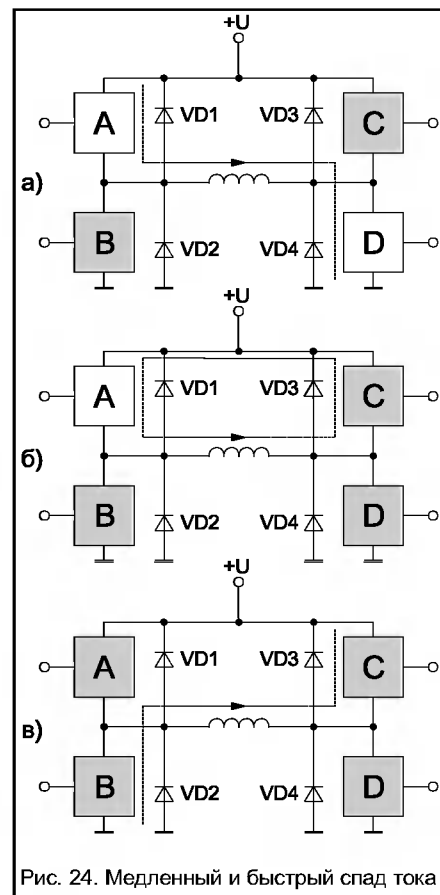


Рис. 24. Медленный и быстрый спад тока

напряжение, равное прямому падению напряжения на диоде плюс падение на ключе (напряжение насыщения транзистора). Так как напряжение на выводах обмотки мало, малой будет и скорость изменения тока. Соответственно, малой будет и скорость убывания магнитного поля. Следовательно, статор двигателя еще некоторое время будет создавать магнитное поле, которого в это время быть не должно. На вращающийся ротор это поле будет оказывать тормозящее воздействие. При высоких скоростях работы двигателя этот эффект может серьезно помешать его нормальной работе. Быстрый спад тока при выключении является очень важным для высокоскоростных контроллеров, работающих в полшаговом режиме.

В случае, когда размыкаются все ключи Н-моста (рис 24, в), ЭДС самоиндукции закорачивается через диоды VD2, VD3 на источник питания. Это значит, что во время спада тока на обмотке будет

напряжение, равное сумме напряжения источника питания и прямого падения на двух диодах. По сравнению с первым случаем, это значительно большее напряжение. Соответственно, более быстрым будет спад тока и магнитного поля. Такое решение, использующее напряжение источника питания для ускорения спада тока, является наиболее простым, но не единственным. Нужно сказать, что в ряде случаев на источнике питания могут появиться выбросы, для подавления которых понадобятся специальные демпферные цепочки. Безразлично, каким способом обеспечивается на обмотке повышенное напряжение во время спада тока. Для этого можно применить стабилитроны или варисторы. Однако на этих элементах будет рассеиваться дополнительная мощность, которая в первом случае отдавалась обратно в источник питания.

Для униполярного двигателя ситуация более сложная. Дело в том, что половинки обмотки или две отдельных обмотки одной фазы сильно связаны между собой. В результате этой связи на закрывающемся транзисторе будут иметь место выбросы большой амплитуды. Поэтому транзисторы должны быть защищены специальными цепочками. Эти цепочки для обеспечения быстрого спада тока должны иметь довольно высокое напряжение ограничения. Чаще всего применяются диоды вместе со стабилитронами или варис-

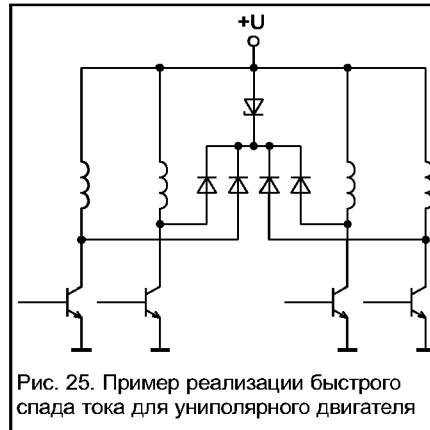


Рис. 25. Пример реализации быстрого спада тока для униполярного двигателя

торы. Один из способов схемотехнической реализации показан на рис. 25.

При ключевом регулировании величина пульсаций тока зависит от скорости его спада. Здесь возможны разные варианты. Если обеспечить закорачивание обмотки диодом, будет реализован медленный спад тока. Это приводит к уменьшению амплитуды пульсаций тока, что является весьма желательным, особенно при работе двигателя в микрошаговом режиме. Медленный спад тока позволяет работать на более низких частотах ШИМ, что уменьшает нагрев двигателя. По этим причинам медленный спад тока широко используется. Однако существует несколько причин, по которым это не всегда является оптимальным. Во-первых, из-за отрицательной обратной ЭДС

ввиду малого напряжения на обмотке во время спада тока реальный средний ток обмотки может оказаться завышенным. Во-вторых, когда требуется резко уменьшить ток фазы (например, в полшаговом режиме), медленный спад не позволит сделать это быстро и, в-третьих, когда требуется установить очень низкое значение тока фазы, регулирование может нарушиться ввиду существования ограничения на минимальное время включенного состояния ключей.

Высокая скорость спада тока, которая реализуется путем замыкания обмотки на источник питания, приводит к повышенным пульсациям. Вместе с тем устраняются недостатки, свойственные медленному спаду тока. Однако при этом точность поддержания среднего тока меньше, а также больше величина потерь.

Наиболее совершенные микросхемы драйверов обеспечивают возможность регулировки скорости спада тока.

#### Полезные ссылки

1. <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step>
2. <http://eio.com/jasstep.htm>
3. [http://www.euclidres.com/apps/stepper\\_motor/stepper.html](http://www.euclidres.com/apps/stepper_motor/stepper.html)
4. [http://www.ericsson.se/microe/apn\\_ind.html](http://www.ericsson.se/microe/apn_ind.html)
5. <http://www.motionex.com/cmotor/engref.htm>

Леонид Ридико,  
wubblick@yahoo.com

Продолжение следует

# Микроконтроллеры? Это же просто!

## Сопряжение с последовательными АЦП

Не знаю, утомились ли вы читать про ассемблер, а я писать о нем слегка утомился. Поэтому предлагаю сделать некоторую передышку и на время вернуться к рассмотрению “железа”. В этом разделе мы познакомимся с одним из типичнейших представителей микросхем, обменивающихся информацией в последовательном формате – АЦП ADS7816 фирмы Burr-Brown.

Микросхема выпускается в 8-выводном корпусе. Схема ее соединения с МК, а также ее цоколевка приведены на рис. 8.

Две ножки микросхемы являются аналоговыми входами (вход –IN рекомендуется соединить с общим проводом), на вход Vref подается опорное напряжение, Vcc и GND — соответственно питание и “земля”. Для обмена с МК используются три оставшиеся ножки АЦП. Сигнал старта преобразования МК подает на вход CS, по входу DCLOCK он тактирует АЦП, а с выхода Dout принимает результат преобразования, бит за битом. Временные диаграммы сигналов на ножках CS, DCLOCK и Dout приведены на рис. 9.

Как видите, алгоритм работы с ADS7816 несложен. МК при включении должен установить на выводах CS и Dout единичные уровни сигналов, а на выводе DCLOCK – нулевой. Запуск преобразования осуществляется установкой нулевого уровня на ножке CS. После этого МК должен сформировать на DCLOCK три положительных импульса. По спаду последнего из них на выходе Dout появится старший бит результата преобразования (DB11). Считав его, МК должен сформировать на DCLOCK следующий положительный импульс. По спаду его на выходе Dout появится следующий бит результата преобразования (DB10). Считав его, МК снова формирует импульс на DCLOCK, по спаду которого на Dout появится бит DB9, и т. д., вплоть до DB0. Считав последний, МК должен оставить DCLOCK нулевым, а CS вернуть в единицу. На этом цикл запуска преобразования и считывания информации завершается.

Программа, реализующая этот алгоритм, содержится в файле ser\_adc.a51 и приведена ниже.

```

; ПРОГРАММА ЧТЕНИЯ АЦП ADS7816,
; РАБОТАЕМ С ПОРТАМИ P1 И P3, CS = P3 7,
; DCLOCK = P3 6, DOUT = P3 5
;
;
R7 EQU 7;АДРЕСА РЕГИСТРОВ R0–R7
R6 EQU 6
R5 EQU 5
R4 EQU 4
R3 EQU 3
R2 EQU 2
R1 EQU 1
R0 EQU 0
ACC EQU 0E0H ;АДРЕС АККУМУЛЯТОРА
B EQU 0F0H ;АДРЕС РЕГИСТРА В
PSW EQU 0D0H ;АДРЕС РЕГИСТРА (СЛОВА) СОСТОЯНИЯ
SP EQU 81H ;АДРЕС УКАЗАТЕЛЯ СТЕКА
DPL EQU 82H ;АДРЕС МЛАДШЕЙ ПОЛОВИНЫ DPTR
DPH EQU 83H ;АДРЕС СТАРШЕЙ ПОЛОВИНЫ DPTR
P0 EQU 80H ;АДРЕС РЕГИСТРА ПОРТА P0
P1 EQU 90H ;АДРЕС РЕГИСТРА ПОРТА P1
P2 EQU 0A0H ;АДРЕС РЕГИСТРА ПОРТА P2
P3 EQU 0B0H ;АДРЕС РЕГИСТРА ПОРТА P3
B 0 EQU 0F0H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ БИТОВ РЕГИСТРА В
PA B
B 1 EQU 0F1H
B 2 EQU 0F2H
B 3 EQU 0F3H
B 4 EQU 0F4H
B 5 EQU 0F5H
B 6 EQU 0F6H
B 7 EQU 0F7H

```

```

ACC 0 EQU 0E0H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ БИТОВ
АККУМУЛЯТОРА
ACC 1 EQU 0E1H
ACC 2 EQU 0E2H
ACC 3 EQU 0E3H
ACC 4 EQU 0E4H
ACC 5 EQU 0E5H
ACC 6 EQU 0E6H
ACC 7 EQU 0E7H
PSW 0 EQU 0D0H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ БИТОВ
РЕГИСТРА PSW
PSW 1 EQU 0D1H
PSW 2 EQU 0D2H
PSW 3 EQU 0D3H
PSW 4 EQU 0D4H
PSW 5 EQU 0D5H
PSW 6 EQU 0D6H
PSW 7 EQU 0D7H
P0 0 EQU 080H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОРТА P0
P0 1 EQU 081H
P0 2 EQU 082H
P0 3 EQU 083H
P0 4 EQU 084H
P0 5 EQU 085H
P0 6 EQU 086H
P0 7 EQU 087H
P1 0 EQU 090H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОРТА P1
P1 1 EQU 091H
P1 2 EQU 092H
P1 3 EQU 093H
P1 4 EQU 094H
P1 5 EQU 095H
P1 6 EQU 096H
P1 7 EQU 097H
P2 0 EQU 0A0H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОРТА P2
P2 1 EQU 0A1H
P2 2 EQU 0A2H
P2 3 EQU 0A3H
P2 4 EQU 0A4H
P2 5 EQU 0A5H
P2 6 EQU 0A6H
P2 7 EQU 0A7H
P3 0 EQU 0B0H ;АДРЕСА ОТДЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОРТА P3
P3 1 EQU 0B1H
P3 2 EQU 0B2H
P3 3 EQU 0B3H
P3 4 EQU 0B4H
P3 5 EQU 0B5H
P3 6 EQU 0B6H
P3 7 EQU 0B7H
;
CS EQU P3 7
DCLOCK EQU P3 6
DOUT EQU P3 5
;
ORG 0 ;НИЖЕСЛЕДУЮЩАЯ КОМАНДА С АДРЕСА 0
;
LJMP START ;НА КОМАНДУ ПОСЛЕ МЕТКИ START
;
ORG 100H ;НИЖЕСЛЕДУЮЩАЯ КОМАНДА С АДРЕСА 100H
;
START:
MOV P0,#11111111B ;НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
MOV P1,#11111111B
MOV P2,#11111111B
MOV P3,#11111111B
CLR DCLOCK ;УСТАНОВКА DCLOCK В 0
;
L7816: ;СОБСТВЕННО ЧТЕНИЕ
;
CLR CS ;ИМПУЛЬС СТАРТА ПРЕОБРА-
ЗОВАНИЯ
;
SETB DCLOCK ;1–Й ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
SETB DCLOCK ;2–Й ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK

```

```

;
SETB DCLOCK ;3-Й ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV B 3,C ;DB11 В В 3
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV B 2,C ;DB10 В В 2
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV B 1,C ;DB9 В В 1
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV B 0,C ;DB8 В В 0
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 7,C ;DB7 В ACC 7
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 6,C ;DB6 В ACC 6
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 5,C ;DB5 В ACC 5
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 4,C ;DB4 В ACC 4
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 3,C ;DB3 В ACC 3
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 2,C ;DB2 В ACC 2
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 1,C ;DB1 В ACC 1
SETB DCLOCK ;ТАКТОВЫЙ ИМПУЛЬС
CLR DCLOCK
;
MOV C,DOUT
MOV ACC 0,C ;DB0 В ACC 0
;
SETB CS ;ЗАВЕРШЕНИЕ СЧИТЫВАНИЯ
;
MOV R4,A ;СОХРАНЯЕМ МЛ И СР ТЕТРАДЫ В R4
;
MOV A,B ;ЧИТАЕМ ИЗ РЕГИСТРА В СТ ТЕТРАДУ
ANL A,#00001111B ;ЗАНУЛЯЕМ СТАРШИЕ 4 БИТА
MOV R5,A ;В R5R4 - РЕЗУЛЬТАТ
;
SJMP L7816 ;ЗАЦИКЛИВАНИЕ
;
END

```

Почти все, что в программе написано, вам уже знакомо, а именно фрагмент присвоения директивой .EQU адресов основным регистрам МК, их битам и линиям портов, метки, оканчивающиеся двоеточиями, директивы .ORG, команды пересылок, установки и сброса линий портов и т. д. Новым для вас является регистр В, команды пересылки битов типа MOV C,DOUT и команда ANL. Рассмотрим их более подробно. Но перед этим замечу, что тем, кому не по душе наше крайне медленное знакомство с системой команд МК, советуем обратиться к литературе. Помимо перечисленной в пер-

вой части цикла ("Схемотехника", № 4, 2001), рекомендую также справочник "Однокристалльные микроЭВМ" А. В. Боборыкина и др.

Регистр В иначе называют расширителем аккумулятора. В основном его используют при выполнении команды умножения — перед операцией в нем хранится один из сомножителей (второй — в аккумуляторе), а после выполнения — старший байт произведения. Главное достоинство этого регистра в сравнении с регистрами R0–R7 заключается в том, что мы можем осуществлять обмен между каждым битом этого регистра и уже упоминавшимся битом переноса. Кстати, такое возможно также и с битами аккумулятора, поэтому в программе seg\_adc.a51 результат измерения первоначально помещается именно в регистр В и в аккумулятор.

Теперь о командах MOV C,DOUT. При рассмотрении предыдущей программы мы уже знакомились с командами пересылки данных (помните, MOV A,P1 и MOV R4,A). Но те команды пересылали содержимое того или иного порта или регистра целиком, т. е. 8-битные числа (от 00000000В до 11111111В). Одной из замечательных особенностей микроконтроллеров x51 является то, что они допускают также пересылку одного бита из какого-либо разряда порта P0–P3 или регистра ACC либо В в бит переноса и наоборот. Бит переноса обозначают как CY, и он является одним из битов регистра состояния PSW, о котором мы будем говорить при подробном знакомстве с системой команд. Так, уже упомянутая команда MOV C,DOUT перенесет нолик или единичку с линии P3.5 (помните, у нас DOUT .EQU P3.5) в бит переноса. Далее команда MOV В.х, С или MOV А.х,С перенесет этот нолик или единицу в бит В.х (х=0–3) или А.х (х=0–7) соответственно. Таким образом, в рассматриваемой выше программе в процессе чтения на входе Dout (P3.5) МК последовательно возникают биты результата DB11, DB10, DB9, ..., DB0, а он считывает их и размещает соответственно в третьем, втором, первом, нулевом битах регистра В, далее в седьмом, шестом и т. д. битах аккумулятора.

Замечу, что описанная реализация программы чтения ADS7816 крайне изящна с точки зрения правил написания программ — она длинна, в ней много повторяющихся кусков и т. д. Но у нее есть два преимущества в сравнении с тем, что обычно считается изящно написанной программой. Во-первых, она доступна для понимания самых малоподготовленных пользователей, и пока вы не научитесь писать программы лучше, пишите их таким образом, они тоже будут работать. А во-вторых, программы, написанные подобным образом, чаще всего работают быстрее других — микроконтроллер не тратит времени на вызов подпрограмм и т. п. Но об этом как-нибудь позже.

И последнее, с чем мы познакомимся в этом разделе — команда ANL A,#00001111В. Она осуществляет функцию логического И между битами аккумулятора и числа 00001111В. Для тех, кто не помнит — логическое И нуля с нулем или единицей дает нолик, и только логическое И двух единиц дает в результате единицу. Следовательно, в результате выполнения этой команды старшие 4 бита аккумулятора занулятся (какими бы они ни были, в результате операции логического И между ними и нулями в старших четырех битах числа 00001111В выйдут нули), а младшие — останутся без изменений. Подобное использование команды ANL для зануления тех или иных битов аккумулятора очень распространено, поскольку это гораздо проще, чем ставить несколько команд CLR ACC.х (х=0–7). Отмечу, что этой командой мы занулили с седьмого по четвертый биты аккумулятора, третий, второй, первый и нулевой биты которого в этот момент содержали старшую тетраду результата, считанного с АЦП. Сделано это для того, чтобы после завершения чтения АЦП в тех битах регистров, хранящих результат, которые по забывчивости можно было бы трактовать как двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый и пятнадцатый, были бы нули.

Вот и все, что можно сказать о работе с последовательным АЦП. В качестве упражнения рекомендую познакомиться с 14-разрядным последовательным АЦП AD7894 от Analog Devices и с 10-разрядным MAX1243 от Maxim и попытаться адаптиро-

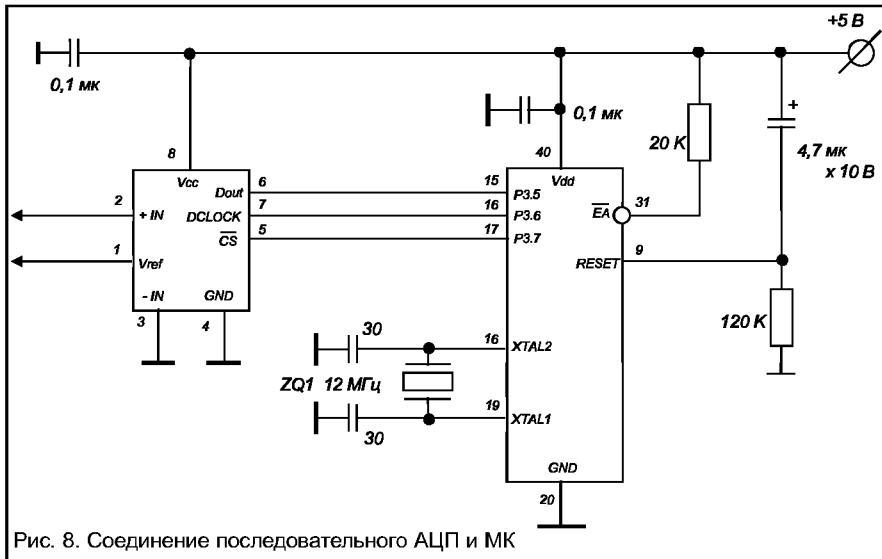


Рис. 8. Соединение последовательного АЦП и МК

вать рассмотренную программу под них — это вам уже вполне по силам.

### Краткие выводы

Итак, уважаемые читатели, вы узнали, как сопрягать МК с микросхемами, имеющими интерфейс, ориентированный на микроконтроллеры. Как видите, ничего сложного в этом нет. Вы соединяете ножки требуемого числа линий портов ввода/вывода МК с управляющими и информационными входами и выходами этих микросхем и далее пишете программу, которая реализует заданный в описании на микросхему алгоритм работы с ней. При этом на начальном этапе достаточно крайне ограниченного числа команд из тех 255, которые понимает рассматриваемый нами МК семейства x51. Установка в 0 или в 1 линии ввода/вывода МК осуществляется командами CLR и SETB. Эти же команды используются для формирования импульсов, отдельных фронтов и спадов, запускающих обмен и преобразование данных. Для пересылки же 8-битных данных между портами и регистрами применяют разновидности команды MOV. Также используют эту команду и для пересылки отдельных битов (преимущественно между какой-либо линией ввода/вывода МК и битом переноса CY, а также между битом переноса и битом одного из регистров, в частности аккумулятора или регистра B).

Мы рассмотрели варианты программ для работы с конкретными микросхемами — параллельным АЦП AD7880 и последовательным ADS7816. Они просты для понимания и абсолютно работоспособны, хотя не очень рациональны с точки зрения продвинутых программистов. Пока вы не наберетесь нужного опыта, программы ваши будут с их точки зрения столь же примитивными, но пусть это вас не смущает. На первом этапе важно, чтобы они работали. А изящество в написании программ со временем само придет, опыт — дело наживное.

Также состоялось более близкое знакомство с конкретной версией ассемблера. Теперь вы знаете, что ассемблер переводит (транслирует) текстовый ассемблерный файл, содержащий строки с командами микроконтроллера и директивами ассемблера, в obj- или hex-файлы. Файлы в этих форматах нужны для занесения написанной вами программы в МК. Как правило, программаторы понимают оба этих формата, хотя бывают и исключения. Транслируйте вашу программу в тот формат, который доступен используемому вами программа-

тору. Если же ему доступны оба формата, рекомендую работать с объектным obj-.

Управление процессом трансляции осуществляется при помощи директив ассемблера и ключей (указаний), предписывающих ассемблеру при трансляции выполнять определенные действия — формировать файл листинга, включать в него таблицу меток и т. д. Подробнее о том, что он может сделать, и как заставить его выполнить те или функции, можно узнать, прочитав содержимое файла документации (в нашем случае tasm\_rus.doc), а также проанализировав командные файлы tasm51b.bat и tasm51h.bat — ключи в них записаны должным образом. На первых порах можете просто ограничиться использованием этих командных файлов без вникания в их содержание.

Наиболее часто используемые директивы ассемблера — .ORG, .EQU и .END. Первая из них предписывает ассемблеру транслировать идущий вслед за ней фрагмент программы (или всю программу) с того адреса, который указан после слова .ORG (.ORG 100H значит — с адреса 100H или 256D).

Следующая директива — .END. Она информирует ассемблер о том, что команда, стоящая перед ней — последняя в этой программе, и что на этом месте нужно завершить трансляцию написанных команд в понятные микроконтроллеру коды. Перед .END, кстати, также, как и перед .ORG, нужно поставить один или несколько пробелов (или нажать Tab).

Очень важной является третья из рассматриваемых директив — .EQU. Она используется для сообщения ассемблеру, что то или иное имя переменной, либо та или иная константа при трансляции должны иметь значения, записанные в строке с именем этой переменной или константы и директивой .EQU (например, CONVST EQU P3.5). Отметим, что в этой директиве имя переменной (в данном случае CONVST) записывается с самого начала строки, без предшествующих ему пробелов.

При написании программ рекомендуется использовать подобные символические имена везде, где это возможно. Помимо легкости понимания, это дает нам ряд дополнительных удобств. В самом деле, если вы, к примеру, по причине упрощения разводки платы вынуждены будете соединить вход АЦП CONVST не с линией P3.5 МК, а с P3.2, вам все равно лишь будет нужно заменить P3.5 на P3.2 в строке CONVST EQU P3.5.

При трансляции ассемблер формирует также листинговый файл. Он представляет из себя исходный ассемблерный файл, дополненный следующей информацией: перед каждой командой стоит номер ее строки в ассемблерном тексте, адрес ячейки памяти программ, в которой расположен код операции команды, а после этого адреса — один, два или три байта самой команды. При обнаружении ошибок ассемблер сообщает о них в листинговом файле, причем сообщение об ошибке находится перед или после строки, где эта ошибка была найдена. Далее, в конце программы находится таблица имен и меток, а также содержимое полученного в результате трансляции obj- или hex-файла.

Завершив трансляцию, ассемблер выводит на экран отчет о результате трансляции. Если в этом отчете присутствует слово tasm: Number of errors = 0 (или аналогичное, если вы используете другой ассемблер), то можете использовать полученный obj- или hex-файл для программирования МК. В противном случае вам необходимо с помощью листингового файла найти ошибку (ошибки), исправить и произвести трансляцию по новой, до тех пор, пока ассемблер не сочтет, что все в порядке.



Рис. 9. Временные диаграммы для ADS7816

Александр Фрунзе  
alex.fru@mtu-net.ru

Продолжение следует

## По солитонам моей памяти...

*Пару лет назад, почитывая в предвкушении долгожданного отпуска модные журналы (чтобы нас не упрекали в скрытой рекламе, назовем их явно — “Успехи Физических Наук”, “Журнал экспериментальной и теоретической физики”, “Известия РАН” и “GEO”2), мы неожиданно для себя сделали великое географическое открытие, которое объясняет многие феномены знаменитых Силиконовых Холмов вблизи новозеландской столицы.*

Сейчас уже не подлежит сомнению тот факт, что именно геополитическая ситуация привела к образованию этого конгломерата научных Hi-Tech лабораторий, институтов и фирм в живописной долине со странным названием. Сейчас трудно вспомнить, кому из нас пришла в голову мысль приложить к глобусу кусок одноименного световода в качестве линейки и соединить Болгоее с архипелагом Туамоту (в ту пору мы занимались переводом фундаментального пособия по ловле жемчуга с языка коренного населения пуамоту). Черная линия, начавшаяся в российских болотах, пронизала Датское королевство, окунувшись в воды Атлантики, разделила пополам Северную Америку в Лос-Аламосе, и, не желая останавливаться на атоллах Французской Полинезии, уперлась в Веллингтон.

Подобно судьбоносному жучку на странице книги, которую читала Ассоль, этот случай стал символом, обойти который мы были не в силах. Имена российских ученых Захарова и Шабата, датчан Кортвега и де Фриза, американца Энрико Ферми и название смертельного известного атолла Моруроа задали направление поиска. Началось изучение наследия маори и их потомков. Мы уже рассказывали об удивительных открытиях новозеландских ученых и об их таинственной связи с русской научной мыслью.

И вот недавно стало известно о начале “регулярного” радиовещания на “Soliton Hills Radio”. Слово “регулярное” взято в кавычки не случайно. На самом деле передатчик включается ровно один раз в сутки на ничтожную долю секунды, чтобы передать в эфир импульс чудовищной мощности. Эквивалентная мощность, т. е. мощность с учетом коэффициента направленного действия фазированной антенной решетки составляет 157 ГВт. Именно такая мощность нужна, чтобы возбудить в пространстве уединенную радиоволну, способную распространяться без затухания и изменения формы. Стараниями новозеландских ученых и инженеров стало возможным практическое получение знаменитого солитона в радиодиапазоне. Это замечательное природное явление впервые описано знаменитым английским естествоиспытателем Расселом:

*“Я следил за движением баржи, которую быстро тянула по узкому каналу пара лошадей, когда баржа неожиданно остановилась; но масса воды, которую баржа привела в движение, не остановилась; вместо этого она собралась около носа судна в состоянии бешеного движения, затем неожиданно оставила его позади, катясь вперед с огромной скоростью и принимая форму большого одиночного возвышения, то есть округлого, гладкого и четко выраженного водяного холма, который продолжал свой путь вдоль канала. нисколько не меняя своей формы и не снижая скорости. Я последовал за ним верхом, и когда я нагнал его, он по-прежнему катился вперед со скоростью приблизительно восемь или девять*

*миль в час, сохранив свой первоначальный профиль возвышения длиной около тридцати футов и высотой от фута до фута с половиной. Его высота постепенно уменьшалась, и после одной или двух миль погоны я потерял его в изгибах канала.*

*Так в августе 1834 г. мне впервые удалось столкнуться с необычайным и красивым явлением, которое я назвал волной трансляции. Теперь это название общепринято. С тех пор я обнаружил, что такие волны играют важную роль почти во всех случаях, когда жидкость оказывает сопротивление движению, и пришел к убеждению, что к тому же типу относятся огромные движущиеся возвышения уровня моря, которые с регулярностью обращены небесного тела входят в наши реки и катятся вдоль наших побережий.”*

Однако результаты исследований Рассела опередили свое время, и лишь в 1895 г. датчане Кортвег и де Фриз объяснили данный феномен, получив решение нелинейного уравнения, названного их именем.

Знаменитый физик-ядерщик, лауреат Нобелевской премии по физике Энрико Ферми в середине 50-х годов отошел от дел, связанных с американским атомным проектом. Продолжая работать в ядерном центре в Лос-Аламосе, он занимался исследованием поведения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, которые первоначально были линейными, но в которые была привнесена нелинейность как возмущение. Полученные им результаты привели к открытию способа аналитического решения нелинейных уравнений, и в 1964 г. волновое решение уравнения Кортвега—де Фриза было названо солитонной, или одиночной волной.

Однако, одно дело — волны на поверхности воды и в каналах, и совсем другое дело — поперечные волны в дисперсных средах, т. е. в средах, где фазовая скорость волны зависит от ее частоты. В 1971 г. российские ученые Захаров и Шабат теоретически доказали существование солитонов в нелинейных дисперсных средах, решив уравнение Шредингера, описывающее распространение электромагнитной волны в такой среде. В 1980 г. коллектив исследователей Bell Laboratories подтвердил это экспериментальным путем, а в 1998 г. уже была запущена оптическая солитонная линия связи.

Испытания проводились в Англии компаниями Pirelli и MCI. Попытки получить солитон в условиях открытого пространства на радиочастоте регулярно проваливались до тех пор, пока не был “приручен” эффект самофокусировки, хорошо известный по лазерной технологии. Суть его такова: солитон по определению имеет колоколообразную форму, точнее форму гиперболического секанса. Дисперсия в среде стремится увеличить его ширину, размыть этот импульс, а нелинейные эффекты — напротив, обострить его форму. Если свойства вещества таковы, что показатель преломления растет с повыше-

нием мощности проходящего через среду излучения, то при распространении лазерного пучка коэффициент преломления будет максимален на оси луча. Это приведет к тому, что, начавшийся было расходиться, луч снова соберется вблизи оси. Очевидно, для существования этого эффекта мощность импульса должна превосходить некоторое критическое значение. Если это превышение многократное, происходит волновой коллапс, схлопывание луча на ось, сопровождаемое необратимым разрушением импульса и диссипацией его энергии. Когда же мощность лазерного импульса лишь слегка больше критической, имеет место противоположный эффект — каналирование импульса, то есть распространение его на очень большое расстояние без значительной диссипации.

Помимо технических проблем для создания такого пучка есть и чисто физические, в частности, электрический пробой воздуха при большой плотности энергии в ближней зоне излучателя, там, где еще не произошло структурирование пучка.

Решение было найдено с чисто новозеландской изысканностью. В любом современном большом городе есть десятки тысяч сотовых телефонов, излучение которых пронизывает все окружающее пространство в радиусе десятков километров. Но только в Silicon Hills действует правило — телефон должен быть включен во время солитонной передачи. В это время обычно передается SMS-сообщение. По соглашению с администрацией района это достигается программированием SIM карты во время регистрации номера. Немалая суммарная мощность ВЧ излучения телефонов действует на окружающее пространство подобно накачке лазера. В итоге, когда происходит высвобождение энергии батареи конденсаторов, зарядившихся целые сутки, над городом сияет рукотворная молния и гремит гром, возвещающий о наступлении полудня по местному времени. Это также означает обновление информации в приемниках, настроенных на Soliton Hills Radio (SHR).

Дело в том, что пропускная способность такого канала практически бесконечна, но для реализации привычного голосового вещания информация оцифровывается и сжимается. В приемниках происходит обратная операция. При этом объем полученной информации оказывается так велик, что емкости буферного ОЗУ хватает для 24-часового стереофонического вещания в полной полосе частот. Телевещание не практикуется по лицензионным соображениям, а также, чтобы не разорить телеканалы реального времени. Возможности солитонного радио поистине безграничны. Ведь ширина спектра одиночного неповторяющегося импульса бесконечна, поэтому возможности модуляции также ограничены только нашим воображением. Здесь кроется техническая сложность. Ведь не секрет, что для приема сверхширокополосного сигнала нужен такой же приемник. В реальности спектр солитона не является непрерывным в силу его периодичности, а модуляция происходит по тонкой структуре.

Весьма любопытна конструкция приемного устройства, по сути оно является кристалдином Лосева!

По сообщениям печати, SHR приступило к сжатию программы вещания на весь 2003 г., и заканчивается прием рекламных объявлений на 2004 г.

**Евгений Панаев,**  
panaeff@chat.ru  
**Александр Скобичевский,**  
scobichevsky@mail.ru

## Примеры проектирования цифровых устройств с использованием языков описания аппаратуры

Другим часто используемым устройством является мультиплексор. Как правило, для построения мультиплексора удобно использовать оператор case, который обеспечивает параллельную обработку и используется для выбора одного варианта из нескольких в зависимости от условий.

Средства синтеза с VHDL позволяют автоматически выполнить параллельную обработку без приоритета, в то время как средства синтеза с Verilog поддерживают приоритет в выполнении оператора case, и в ряде случаев необходимо ввести специфические инструкции в код, для того чтобы оператор выбора не имел приоритета. Ниже приводятся примеры описания мультиплексора 4 в 1 (рис. 13).

Пример описания на VHDL:

```

— 4:1 Multiplexor
library IEEE;
use IEEE std_logic_1164 all;
entity mux is
port (c, d, e, f : in std_logic;
s : in std_logic_vector(1 downto 0);
muxout : out std_logic);
end mux;
architecture my_mux of mux is
begin
mux1: process (s, c, d, e, f) begin
case s is
when "00" => muxout <= c;
when "01" => muxout <= d;
when "10" => muxout <= e;
when others => muxout <= f;
end case;
end process mux1;
end my_mux;

```

Пример описания на Verilog:

```

//4:1 Multiplexor
module MUX (C, D, E, F, S, MUX_OUT);
input C, D, E, F;
input [1:0] S;
output MUX_OUT;
reg MUX_OUT;
always @(C or D or E or F or S)
begin
case (S)
2'b00 : MUX_OUT = C;
2'b01 : MUX_OUT = D;
2'b10 : MUX_OUT = E;
default : MUX_OUT = F;
endcase
end
endmodule

```

Для более сложного случая рассмотрим пример мультиплексора 12 в 1.

Пример описания на VHDL:

```

— 12:1 mux
library ieee;
use ieee std_logic_1164 all;
— Entity declaration:
entity mux12_1 is
port
(
mux_sel: in std_logic_vector (3 downto 0);— mux select
A: in std_logic;
B: in std_logic;
C: in std_logic;
D: in std_logic;
E: in std_logic;
F: in std_logic;
G: in std_logic;
H: in std_logic;
I: in std_logic;

```

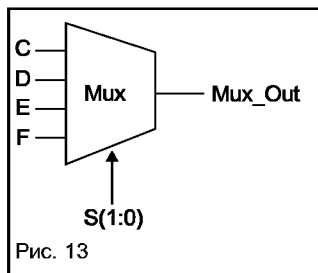


Рис. 13

```

J: in std_logic;
K: in std_logic;
M: in std_logic;
mux_out: out std_logic — mux output
);
end mux12_1;
— Architectural body:
architecture synth of mux12_1 is
begin
procl: process (mux_sel, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M)
begin
case mux_sel is
when "0000" => mux_out <= A;
when "0001" => mux_out <= B;
when "0010" => mux_out <= C;
when "0011" => mux_out <= D;
when "0100" => mux_out <= E;
when "0101" => mux_out <= F;
when "0110" => mux_out <= G;
when "0111" => mux_out <= H;
when "1000" => mux_out <= I;
when "1001" => mux_out <= J;
when "1010" => mux_out <= K;
when "1011" => mux_out <= M;
when others => mux_out <= '0';
end case;
end process procl;
end synth;

```

Описание мультиплексора 12 в 1 на Verilog:

```

// 12:1 mux
module mux12_1(mux_out,
mux_sel,M,L,K,J,H,G,F,E,D,C,B,A
);
output mux_out;
input [3:0] mux_sel;
input M;
input L;
input K;
input J;
input H;
input G;
input F;
input E;
input D;
input C;
input B;
input A;
reg mux_out;
// create a 12:1 mux using a case statement
always @ ({mux_sel[3:0]} or M or L or K or J or H or G or F or
E or D or C or B or A)
begin: mux_blk
case ({mux_sel[3:0]}) // synthesis full_case parallel_case
4'b0000 : mux_out = A;
4'b0001 : mux_out = B;
4'b0010 : mux_out = C;
4'b0011 : mux_out = D;
4'b0100 : mux_out = E;
4'b0101 : mux_out = F;
4'b0110 : mux_out = G;
4'b0111 : mux_out = H;
4'b1000 : mux_out = J;
4'b1001 : mux_out = K;
4'b1010 : mux_out = L;
4'b1011 : mux_out = M;
4'b1100 : mux_out = 1'b0;
4'b1101 : mux_out = 1'b0;
4'b1110 : mux_out = 1'b0;
4'b1111 : mux_out = 1'b0;
endcase
end
endmodule

```

Кроме обычного оператора выбора, в языке описания аппаратуры Verilog используется оператор выбора caseх.

Ниже приводится описание на Verilog мультиплексора 4 в 1 с использованием этого оператора:

```
//8 bit 4:1 multiplexor with don't care X, 3:1 equivalent mux
module mux4 (a, b, c, sel, q);
input [7:0] a, b, c;
input [1:0] sel;
output [7:0] q;
reg [7:0] q;
always @ (sel or a or b or c)
case (sel)
2'b00: q = a;
2'b01: q = b;
2'b1x: q = c;
default: q = c;
endcase
endmodule
```

Дешифратор является, пожалуй, самым распространенным комбинационным устройством. Ниже приводится пример дешифратора 3 в 8.

Описание на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE std_logic_1164 all;
entity decode is
port ( Ain : in std_logic_vector (2 downto 0);
En: in std_logic;
Yout : out std_logic_vector (7 downto 0));
end decode;
architecture decode_arch of decode is
begin
process (Ain)
begin
if (En='0') then
Yout <= (others => '0');
else
case Ain is
when "000" => Yout <= "00000001";
when "001" => Yout <= "00000010";
when "010" => Yout <= "00000100";
when "011" => Yout <= "00001000";
when "100" => Yout <= "00010000";
when "101" => Yout <= "00100000";
when "110" => Yout <= "01000000";
when "111" => Yout <= "10000000";
when others => Yout <= "00000000";
end case;
end if;
end process;
end decode_arch;
```

Описание дешифратора на Verilog имеет вид:

```
module decode (Ain, En, Yout);
input En;
input [2:0] Ain;
output [7:0] Yout;
reg [7:0] Yout;
always @ (En or Ain)
begin
if (!En)
Yout = 8'b0;
else
case (Ain)
3'b000 : Yout = 8'b00000001;
3'b001 : Yout = 8'b00000010;
3'b010 : Yout = 8'b00000100;
3'b011 : Yout = 8'b00001000;
3'b100 : Yout = 8'b00010000;
3'b101 : Yout = 8'b00100000;
3'b110 : Yout = 8'b01000000;
3'b111 : Yout = 8'b10000000;
default : Yout = 8'b00000000;
endcase
end
endmodule
```

Счетчики являются достаточно широко распространенными устройствами, их классификация и принципы построения изложены в соответствующей литературе. Следует помнить, что большинство программ синтеза не позволяют

получить приемлемых результатов по быстродействию при разрядности счетчика более 8 бит – в этом случае часто применяются специфические приемы синтеза, зависящие от технологии, по которой выполнена ПЛИС.

Рассмотрим пример построения 8-разрядного счетчика, считающего в прямом направлении и имеющего цепи разрешения счета и асинхронного сброса.

Пример описания на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE std_logic_1164 all;
use IEEE std_logic_unsigned all;
use IEEE std_logic_arith all;
entity counter8 is
port (clk, en, rst : in std_logic;
count : out std_logic_vector (7 downto 0));
end counter8;
architecture behav of counter8 is
signal cnt: std_logic_vector (7 downto 0);
begin
process (clk, en, cnt, rst)
begin
if (rst = '0') then
cnt <= (others => '0');
elsif (clk'event and clk = '1') then
if (en = '1') then
cnt <= cnt + '1';
end if;
end process;
count <= cnt;
end behav;
```

Пример на Verilog:

```
module count_en (en, clock, reset, out);
parameter Width = 8;
input clock, reset, en;
output [Width-1:0] out;
reg [Width-1:0] out;
always @(posedge clock or negedge reset)
if(!reset)
out = 8'b0;
else if(en)
out = out + 1;
endmodule
```

Другой пример иллюстрирует построение 8-разрядного счетчика с загрузкой и асинхронным сбросом.

Описание на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE std_logic_1164 all;
use IEEE std_logic_unsigned all;
use IEEE std_logic_arith all;
entity counter is
port (clk, reset, load: in std_logic;
data: in std_logic_vector (7 downto 0);
count: out std_logic_vector (7 downto 0));
end counter;
architecture behav of counter is
signal count_i : std_logic_vector (7 downto 0);
begin
process (clk, reset)
begin
if (reset = '0') then
count_i <= (others => '0');
elsif (clk'event and clk = '1') then
if load = '1' then
count_i <= data;
else
count_i <= count_i + '1';
end if;
end if;
end process;
count <= count_i;
end behav;
```

Описание на Verilog:

```
module count_load (out, data, load, clk, reset);
parameter Width = 8;
input load, clk, reset;
```

```

input [Width-1:0] data;
output [Width-1:0] out;
reg [Width-1:0] out;
always @(posedge clk or negedge reset)
if(!reset)
out = 8'b0;
else if(load)
out = data;
else
out = out + 1;
endmodule

```

Пример построения счетчика с предварительной загрузкой, входами разрешения и остановом счета приведен ниже (язык Verilog):

```

module count_load (out, cout, data, load, clk, en, reset);
parameter Width = 8;
input load, clk, en, reset;
input [Width-1:0] data;
output cout; // carry out
output [Width-1:0] out;
reg [Width-1:0] out;
always @(posedge clk or negedge reset)
if(!reset)
out = 8'b0;
else if(load)
out = data;
else if(en)
out = out + 1;
// cout=1 when all out bits equal 1
assign cout = &out;
endmodule

```

Следующий пример на VHDL – счетчик с произвольным модулем счета и всеми остальными функциями (сброс, загрузка и т. п.):

```

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164 all;
use IEEE.std_logic_unsigned all;
use IEEE.std_logic_arith all;
entity counter is
generic (width : integer := n);
port (data : in std_logic_vector (width-1 downto 0);
load, en, clk, rst : in std_logic;
q : out std_logic_vector (width-1 downto 0));
end counter;
architecture behave of counter is
signal count : std_logic_vector (width-1 downto 0);
begin
process(clk, rst)
begin
if rst = '1' then
count <= (others => '0');
elsif (clk'event and clk = '1') then
if load = '1' then
count <= data;
elsif en = '1' then
count <= count + 1;
end if;
end if;
end process;
q <= count;
end behave;

```

Проектирование устройств обработки информации невозможно без реализации арифметических операций: сложения, умножения, вычитания и деления. Ниже приводятся примеры использования арифметических операторов при проектировании устройств с применением языков описания аппаратуры высокого уровня.

Пример выполнения арифметических операций, описание на VHDL:

```

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164 all;
use IEEE.std_logic_arith all;
use IEEE.std_logic_unsigned all;
entity arithmetic is
port (A, B : in std_logic_vector(3 downto 0);
Q1 : out std_logic_vector(4 downto 0);
Q2, Q3 : out std_logic_vector(3 downto 0);

```

```

Q4 : out std_logic_vector(7 downto 0));
end arithmetic;
architecture behave of arithmetic is
begin
process (A, B)
begin
Q1 <= ('0' & A) + ('0' & B); --addition
Q2 <= A - B; --subtraction
Q3 <= A / B; --division
Q4 <= A * B; --multiplication
end process;
end behave;

```

Конечно, такое описание не всегда приводит к хорошим результатам. Ниже мы еще вернемся к теме построения быстродействующих арифметических устройств. Здесь же заметим, что если требуется выполнить умножение или деление на число, являющееся степенью двойки, то арифметическая операция легко выполняется путем сдвига на необходимое число разрядов вправо или влево.

Например, выражение  $Q \leq C/16 + C*4$  может быть представлено как  $Q \leq \text{shr}(C, "100") + \text{shl}(C, "10")$  или на VHDL:  $Q \leq "0000"&C(8\text{downto }4) + C(6\text{downto }0) \& "00"$ .

Функции "shr" и "shl" находятся в пакете IEEE.std\_logic\_arith.all.

Пример арифметических операций в Verilog:

```

module arithmetic (A, B, Q1, Q2, Q3, Q4);
input [3:0] A, B;
output [4:0] Q1;
output [3:0] Q2, Q3;
output [7:0] Q4;
reg [4:0] Q1;
reg [3:0] Q2, Q3;
reg [7:0] Q4;
always @(A or B)
begin
Q1 = A + B; //addition
Q2 = A - B; //subtraction
Q3 = A / 2; //division
Q4 = A * B; //multiplication
end
endmodule

```

Реализация регистров сдвига имеет вид  $Q = \{4b'0000 C[8:4]\} + \{C[6:0] 2b'00\}$ .

Операторы отношения сравнивают два операнда и выдают значение "истинно" или "ложно". Приведенные ниже примеры показывают применение операторов отношения.

Пример использования операторов отношения в VHDL:

```

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164 all;
use IEEE.std_logic_arith all;
entity relational is
port (A, B : in std_logic_vector(3 downto 0);
Q1, Q2, Q3, Q4 : out std_logic);
end relational;
architecture behave of relational is
begin
process (A, B)
begin
--Q1 <= A > B; --greater than
--Q2 <= A < B; --less than
--Q3 <= A >= B; -- greater than equal to
if (A <= B) then -- less than equal to
Q4 <= '1';
else
Q4 <= '0';
end if;
end process;
end behave;

```

Операторы отношения в Verilog:

```

module relational (A, B, Q1, Q2, Q3, Q4);
input [3:0] A, B;
output Q1, Q2, Q3, Q4;
reg Q1, Q2, Q3, Q4;
always @(A or B)
begin

```

```
//Q1 = A > B; //greater than
//Q2 = A < B; //less than
//Q3 = A >= B; //greater than equal to
if (A <= B) //less than equal to
Q4 = 1;
else
Q4 = 0;
end
endmodule
```

Оператор эквивалентности используется для сравнения операндов. Пример реализации оператора эквивалентности на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
entity equality is
port (
A: in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
B: in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
Q1: out STD_LOGIC;
Q2: out STD_LOGIC
);
end equality;
architecture equality_arch of equality is
begin
process (A, B)
begin
Q1 <= A = B; —equality
if (A /= B) then — inequality
Q2 <= '1';
else
Q2 <= '0';
end if;
end process;
end equality_arch;
```

Другой вариант описания на VHDL имеет вид:

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
entity equality is
port (
A: in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
B: in STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
Q1: out STD_LOGIC;
Q2: out STD_LOGIC
);
end equality;
architecture equality_arch of equality is
begin
Q1 <= '1' when A = B else '0'; — equality
Q2 <= '1' when A /= B else '0'; — inequality
end equality_arch;
```

Описание на Verilog:

```
module equality (A, B, Q1, Q2);
input [3:0] A;
input [3:0] B;
output Q1;
output Q2;
reg Q1, Q2;
always @(A or B)
begin
Q1 = A == B; //equality
if (A != B) //inequality
Q2 = 1;
else
Q2 = 0;
end
endmodule
```

Реализация сдвигателей может быть полезна в различных схемах умножения и деления, а также нормализации данных. Пример сдвигателя на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_arith.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;
entity shift is
port (data : in std_logic_vector(3 downto 0);
```

```
q1, q2 : out std_logic_vector(3 downto 0));
end shift;
architecture rtl of shift is
begin
process (data)
begin
q1 <= shl (data, "10"); — logical shift left
q2 <= shr (data, "10"); —logical shift right
end process;
end rtl;
```

Другой вариант сдвигателя:

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
entity shift is
port (data : in std_logic_vector(3 downto 0);
q1, q2 : out std_logic_vector(3 downto 0));
end shift;
architecture rtl of shift is
begin
process (data)
begin
q1 <= data(1 downto 0) & "10"; — logical shift left
q2 <= "10" & data(3 downto 2); —logical shift right
end process;
end rtl;
```

Описание на Verilog:

```
module shift (data, q1, q2);
input [3:0] data;
output [3:0] q1, q2;
parameter B = 2;
reg [3:0] q1, q2;
always @(data)
begin
q1 = data << B; // logical shift left
q2 = data >> B; //logical shift right
end
endmodule
```

Владимир Стешенко  
stechenk@sm.bmstu.ru

*Продолжение следует*

## Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов

### Изучение моделей компонентов

В этом разделе описаны некоторые методы тестирования моделей дискретных аналоговых радиоэлементов, приведены схемы измерения и тексты заданий на моделирование в формате PSPICE. Задания настроены на конкретный тип модели радиоэлемента, тестирование которого описывается в данной статье. При тестировании каких-либо других элементов, в программах надо разобраться и кое-где их доработать. Как правило, все сводится к заданию других пределов изменения токов и напряжений, времени анализа, выбора нагрузки, установки требуемого режима модели компонента по постоянному току. Если к этому подойти творчески, то некоторые тесты можно использовать для разработки тестов для моделей других типов и, в том числе, макромоделей.

Модели компонентов можно и нужно исследовать. Делается это с помощью тех же программ моделирования. Используя графическую оболочку, достаточно просто создать целую виртуальную лабораторию по тестированию статических и динамических характеристик уже имеющихся и создаваемых компонентов. Это позволит установить степень соответствия свойств моделей справочным данным на компоненты, подобрать аналоги среди моделей зарубежных компонентов или детально исследовать неизвестную модель. На это стоит потратить время,

что на самом деле скрывается под графической оболочкой.

Все иллюстрации и примеры в статье подготовлены с помощью системы сквозного проектирования OrCAD 9.2. В ее состав отдельной программой, способной работать самостоятельно в текстовом режиме, входит PSPICE A/D. Чтобы увидеть, как работают представленные в примерах программы, необходимо скопировать их текст в файл с расширением \*.cir, затем запустить программу psrisc.exe автономно и загрузить их непосредственно в программу PSPICE обычным для WINDOWS программ способом. После того, как в окне появится текст программы, следует нажать кнопку RUN. После этого появится окно графического постпроцессора, и, спустя десяток секунд, все представленные графики. Все программы должны работать. Ниже показано текстовое окно программы PSPICE A/D (рис. 16) и окно графического постпроцессора (рис. 17).

### Тестирование диодов

#### Вольтамперная характеристика диода

Построим вольтамперную характеристику модели стабилитрона Д814А. Для начала составим схему измерения (рис. 18). Идея проста: меняя ток через диод, используя возможности директивы .DC (многовариантный расчет режима по постоянному току) языка PSPICE,

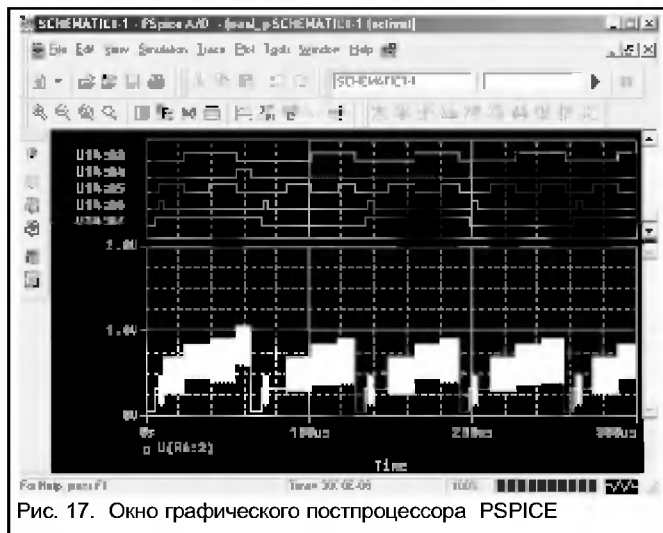
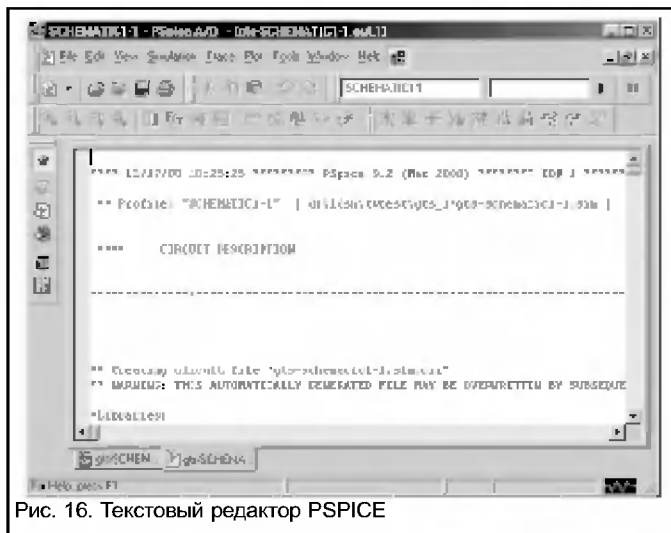
### Измерение времени обратного восстановления диода

Для оценки динамических свойств моделей диодов, попробуем измерить время обратного восстановления модели импульсного диода КД522А. Известно, что после изменения полярности напряжения приложенного к реальному диоду с прямого на обратное, он задерживается не мгновенно, а с некоторой задержкой. При этом через диод в обратном направлении в течение некоторого времени может протекать большой ток. Для КД522А по справочнику [5] гарантируется время обратного восстановления не более 4 нс при  $U_{обр}=10\text{ В}$ ,  $I_{пр}=10\text{ мА}$ ,  $I_{отсечки}=2\text{ мА}$ .

Проверим теперь нашу модель. Создадим условия измерений для модели близкими к тем, которые приведены при указанных параметрах диода КД522А в справочнике (рис. 20). Для этого подадим на модель диода разнополярный импульс напряжения амплитудой 10 В через резистор сопротивлением 1 кОм. Запустим задание на моделирование (Программа-2) и посмотрим, как будет изменяться ток диода (рис. 21) Действительно, на графике тока имеется характерный выброс тока в обратном направлении. Длительность этого импульса и есть время обратного восстановления. Наша модель показывает значение примерно 3,4 нс. Это соответствует реальности с учетом нормального разброса параметров диодов и созданных условий измерений.

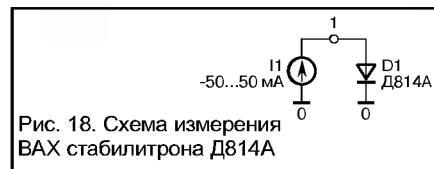
#### Вольтфарадные характеристики диода

Еще одна важная характеристика диода — вольтфарадная. Это зависимость емкости р-п перехода от величины приложенного в обратном направлении напряжения. Для таких приборов, как ва-



так как от качества моделей зависит достоверность результатов моделирования. В своих примерах я буду пользоваться возможностями самого PSPICE, используя текстовый режим. Это позволит более подробно познакомиться с тем,

посмотрим, как будет меняться напряжение на диоде. Составим задание на моделирование (Программа-1) и запустим его. Полученные результаты (рис. 19) подтверждают, что мы имеем дело со стабилитроном указанного типа.



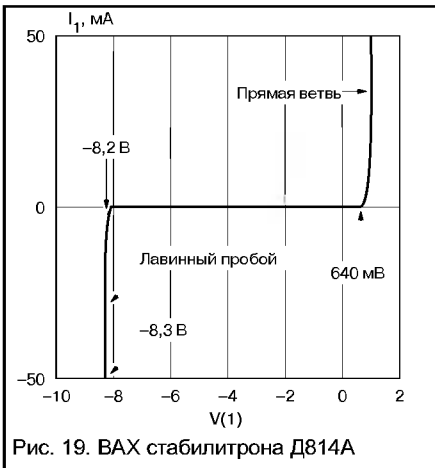


Рис. 19. ВАХ стабилитрона Д814А

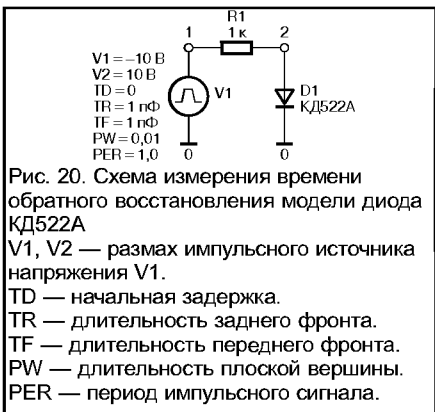


Рис. 20. Схема измерения времени обратного восстановления модели диода КД522А

V1, V2 — размах импульсного источника напряжения V1.

TD — начальная задержка.

TR — длительность заднего фронта.

TF — длительность переднего фронта.

PW — длительность плоской вершины.

PER — период импульсного сигнала.



Рис. 21. Измерение времени обратного восстановления диода КД522А

рикапы, это важнейшая зависимость. Попробуем построить эту характеристику для импульсного диода КД522А. Подадим на диод (рис. 22, **Программа-3**) линейно нарастающее напряжение с крутизной 50 В/5 мкс в обратном направлении. При этом р-п переход будет закрыт, а ток через диод, в силу громадного обратного сопротивления, практически будет чисто емкостным и определится следующим уравнением:

$$I_d = C_d \cdot \frac{dV(t)}{dt}$$

Разрешим это уравнение относительно Сд и получим:

$$C_d = \frac{I_d}{\frac{dV(t)}{dt}}$$

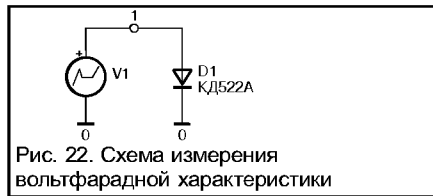


Рис. 22. Схема измерения вольтфарадной характеристики

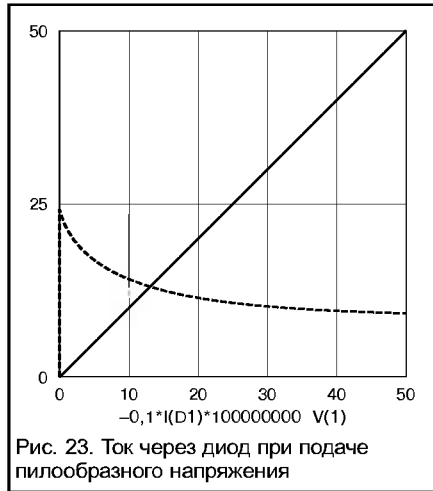


Рис. 23. Ток через диод при подаче пилообразного напряжения

где  $\frac{dV(t)}{dt}$  — крутизна линейно нарастающего напряжения 50 В/5 мкс =  $10^7$ .

Отсюда получим формулу для емкости.

$$C_d = \frac{I_d}{10^7}$$

или окончательно

$$C_d(\text{пФ}) = 0,1 I_d (\text{мкА})$$

Запустим процесс моделирования и посмотрим, как будет изменяться ток ди-

ода в зависимости от времени (рис. 23). Ток будет маленьким, и, чтобы увидеть его одновременно с напряжением, следует умножить его средствами графического процессора на  $-10^7$ . Поскольку зависимость прилагаемого напряжения от времени линейная, то заменим по оси X время на напряжение источника V1. Затем поделим график тока на 10. В результате получим вольтфарадную характеристику диода (рис. 24), где по оси Y значение тока в микроамперах будет численно равно значению емкости диода в пикофарадах.

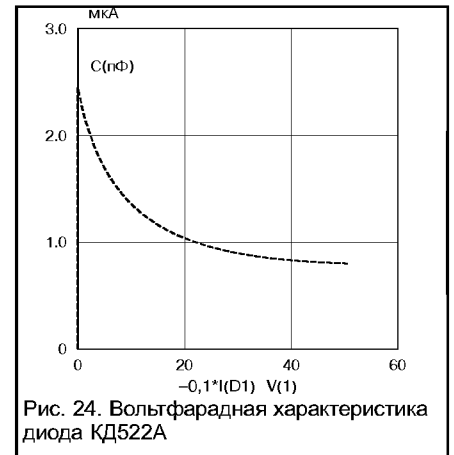


Рис. 24. Вольтфарадная характеристика диода КД522А

Сравнение полученных результатов со справочником [5] говорит о том, что модель соответствует действительности.

Олег Петраков  
petrakov@mtu-net.ru

Продолжение следует

```

Программа 1
D814A cir - ВАХ стабилитрона Д814А
PROBE V(1); директива предписывающая вывести осциллограмму напряжения * узла 1 с
помощью графического постпроцессора..
PI 0 1 DC 10m; источник постоянного тока
DC II -50m 50m 0 01m; расчет режима по постоянному току с вариацией силы * тока в
диапазоне (-50...50)мА с шагом 0.01мА
* Anod Katod
D1 (1 0) D814A
model D814A D (IS= 3920E-12 N=1 19 RS=1 25 CJO=41 15p TT=49 11n
+ M=0.41 VJ=0.73 FC=0.5 BV=8 IBV=0.5u EG=1.11 XTI=3)
END
    
```

```

Программа 2
Diod_T cir - Измерение времени обратного восстановления.
OPTIONS RELTOL 0 00001
TRAN 10N 30N
Probe V(2) V(1) I(D1)
*
MODEL KD522A D (IS=2.27E-13 RS=1 17 CJO=2 42p M=0.25 TT=1 38n
+ VJ=0.68 BV=50 IBV=1E-11 EG=1 11 FC=0.5 XTI=3 N=1)
*
R1 1 2 1K
V1 1 0 PULSE 10 -10 01U 1P 1P; источник напряжения с размахом V1=+10В V2=-10В,
* с задержкой TD=0 от начала, длительность фронта TF=1p, длительность спада TR=1p,
* длительность плоской вершины PW=0.01u, период повторения PER=1m (Рис. 1)
D1 2 0 KD522A
END
    
```

```

Программа 3
Diod_C cir - Вольтфарадная характеристика
OPTIONS RELTOL 0 00001
TRAN 0 01U 5U
Probe I(D1) V(1)
*
MODEL KD522A D (IS=2.27E-13 RS=1 17 CJO=2 42p M=0.25 TT=2 38n
+ VJ=0.68 BV=50 IBV=1E-11 EG=1 11 FC=0.5 XTI=3 N=1)
*
D1 0 1 KD522A
V1 1 0 PULSE 0 50 0 5U
END
    
```

# Лаки, компаунды и эмали в электронике и электротехнике

## Пропиточные лаки и компаунды

### Назначение пропитки

Пропиточные лаки и компаунды служат пропиточным составом для заполнения пор, капилляров и воздушных включений в электроизоляционных материалах (главным образом волокнистых), применяющихся для изоляции обмоток электрических машин, катушек аппаратов, трансформаторов и других электротехнических конструкций.

Электроизоляционные материалы, такие как хлопчатобумажные, шелковые, стеклянные, асбестовые ткани, пряжи, ленты, картоны и др., в непропитанном виде обладают невысокими электроизоляционными свойствами. Они плохо проводят тепло, механически не прочны и гигроскопичны, недостаточно нагревостойки (за исключением неорганических волокнистых материалов). Стеклянные и асбестовые волокнистые материалы по сравнению с органическими обладают меньшей гигроскопичностью и более высокой нагревостойкостью. Пропитка указанных материалов лаками и компаундами в значительной мере устраняет перечисленные недостатки и дает возможность получить монолитную, механически прочную влагостойкую изоляцию обмоток, обладающую высокими электроизоляционными свойствами.

### Повышение нагревостойкости и влагостойкости

Волокнистые органические материалы состоят главным образом из целлюлозы и в непропитанном виде относятся к классу изоляции Y. Они склонны к быстрому тепловому старению, особенно при повышенных температурах в процессе эксплуатации электрических машин (до 90 °C). Старение происходит из-за термической деструкции целлюлозы, нарушения ее внутримолекулярных химических связей, что приводит к резкому ухудшению эластичности, уменьшению механической прочности материалов и в конечном итоге к резкому ухудшению диэлектрических свойств. Целлюлозные материалы из-за большого количества макроскопических, микроскопических и субмикроскопических пор имеют большую поверхность соприкосновения с воздухом ( $10^6$  см<sup>2</sup> на 1 г материала) и способны поглощать влагу из окружающего воздуха, в результате чего снижаются электрические свойства изоляции. Пропитка целлюлозных материалов лаками или компаундами значительно уменьшает поверхность пор и тем самым способствует уменьшению и замедлению окислительных процессов, а также затрудняет проникновение влаги внутрь материала. Образовавшаяся на поверхности пленка лака или компаунда предохраняет изоляцию от разрушительного действия кислорода воздуха и значительно повышает ее сопротивляемость воздействию вла-

ги. Повышение нагревостойкости после пропитки волокнистой органической изоляции позволяет отнести ее к классу нагревостойкости A.

### Повышение электрической прочности и теплопроводности

Электрическая прочность и теплопроводность непропитанных органических и неорганических волокнистых электроизоляционных материалов невысока, так как в основном они определяются электрической прочностью и теплопроводностью воздуха, находящегося между волокнами электроизоляционных материалов. Пропитка лаками или компаундами обеспечивает заполнение этих воздушных промежутков и прослоек составом, имеющим высокую электрическую прочность, увеличивает электрическую прочность материала и всей конструкции в целом.

При работе электрической машины или аппарата выделяется тепло, которое должно свободно отводиться, чтобы не вызывать перегрева обмоток. Наличие воздушных прослоек в изоляционных материалах, а также неплотностей и зазоров между отдельными проводниками и слоями изоляции ухудшает отвод образующегося тепла. Заполнение пор капилляров и воздушных зазоров пропитываемым составом, теплопроводность которого выше теплопроводности воздуха, создает условия для улучшения теплоотдачи обмоток, а улучшение теплоотдачи в свою очередь позволяет увеличить мощность электрических машин и аппаратов при тех же габаритах.

### Повышение механической прочности

Пропитка электроизоляционными лаками и компаундами повышает механическую прочность материалов, а также цементирует отдельные витки обмотки, слои и прокладки в одно монолитное целое. Этим увеличивается механическая прочность всей конструкции в целом, так как исключается возможность перемещения отдельных витков и устраняется возможность вибраций обмоток и отдельных слоев изоляции. Высокая цементация витков вращающихся частей обмоток особенно важна для тех машин, которые работают в тяжелых условиях эксплуатации (например, тяговые и др.).

Цементирующая способность у различных лаков и компаундов неодинакова и зависит от химического состава и природы исходного полимера.

### Повышение химической стойкости изоляции

Изоляция электрических машин, особенно органическая ее часть, подвержена разрушению из-за действия химически активных веществ, таких как крепкие кислоты, щелочи, хлор и т. п. Поэтому электротехнические конструк-

ции, работающие в соответствующих средах (например, на химических заводах), подвержены действию указанных химически активных веществ и могут быстро выходить из строя.

Пропитка волокнистых изоляционных материалов соответствующими химически стойкими лаками и компаундами значительно увеличивает срок службы изоляции обмоток и всей конструкции в целом.

### Повышение стойкости при высоких напряжениях

Высоковольтная некомпандинговая изоляция обмоток электрических машин и турбогенераторов содержит в себе большое количество воздушных включений, в которых происходит ионизация воздуха (внутренняя ионизация), причем выделяется озон, особенно разрушающий органическую часть изоляции (связующие). Заполнение воздушных включений компаундом устраняет возможность возникновения внутренней ионизации, тем самым и разрушение изоляции и преждевременный выход ее из строя.

### Требования к пропиточным лакам и компаундам

К электроизоляционным составам для пропитки обмоток предъявляются следующие требования.

1. Лаки или компаунды должны обладать минимальной вязкостью, малой величиной поверхностного натяжения и хорошей пропитывающей способностью.

2. Лаки или компаунды должны по возможности полностью заполнять все капилляры, макро- и микропоры пропитываемого материала. При применении лаков, содержащих летучие растворители, необходимо выбрать лак с наибольшим количеством лаковой основы и меньшим количеством летучих растворителей. В этом отношении предпочтительны компаунды, так как они не содержат растворителей. Полное заполнение пор лаком возможно лишь путем проведения многократных пропиток, тогда как полное заполнение пор компаундом достигается однократной пропиткой. Содержание летучих веществ в компаундах должно быть не более 1%.

3. Пропиточный состав должен хорошо затвердевать после заполнения пор и капилляров. Обычно этот процесс происходит при сушке с нагревом.

4. Пропиточный состав после отверждения в обмотках не должен размягчаться при нагревании во время работы электрической машины или аппарата, так как это может привести к вытеканию (разбрызгиванию). Поэтому применение термопластичных компаундов и лаков для вращающихся обмоток недопустимо.

5. Лаки и компаунды должны обладать хорошей адгезионной способностью и хорошо цементировать отдельные витки и слои обмотки и изоляции; хорошей влагостойкостью; высокими электрическими характеристиками при нормальной температуре, а так-

же сохранять их при длительных нагрузках изоляции в процессе работы машин, действия влаги и высоких напряжений.

6. Пропиточный состав не должен оказывать вредного разрушающего действия на медь и изоляцию эмаль-проводов.

Кроме того, к пропиточным составам предъявляются еще иногда специальные требования, такие как, например, химстойкость, озоностойкость, маслостойкость, тропикоустойчивость и др.

### Покровные лаки и эмали

Назначение покровных лаков и эмалей заключается в создании защитного электроизолирующего лакового покрова, предохраняющего нижележащий пропитанный слой изоляции от влияния внешних механических воздействий, влаги, минеральных смазочных масел, пыли и грязи, создающей проводящие мостики и т. п., а также для придания красивого внешнего вида изделию или детали.

Лаки и эмали воздушной сушки более удобны для применения, так как они высыхают при обычной температуре и не требуют специальных печей для сушки. Лаки и эмали печной сушки образуют пленки, обладающие большей твердостью, термоэластичностью, влагостойкостью и более высокими электроизоляционными свойствами. Поэтому они рекомендуются для покрытия более ответственных деталей и конструкций, например, для вращающихся обмоток машин (якорей, роторов) и обязательно для машин влагостойкого и тропического исполнения с более высоким классом изоляции.

Однако, когда по условиям технологического процесса применение эмалей горячей сушки невозможно (монтаж при окраске крупногабаритных электрических машин, при ремонтных работах и т. д.), применяют лаки и эмали воздушной сушки.

Покровные лаки и эмали при нанесении на пропитанную поверхность обмотки должны обладать высокой адгезионной способностью к наносимой поверхности и прочно держаться на ней. После высыхания покровные лаки и эмали должны образовывать плотную, твердую, гладкую, глянцевую пленку. Пленка должна быть настолько механически прочна и тверда, чтобы она могла служить надежной защитой нижних слоев пропитанной изоляции от механических повреждений при сборке, а также при эксплуатации. В тех случаях, когда покровные лаки и эмали применяются для вращающихся частей и деталей, их пленки и эмалей не должны размягчаться и разбрызгиваться под действием центробежной силы, которая возникает при работе машины с вращающимися обмотками якорей или роторов.

### Требования к покровным лакам и эмалям

Лаки и эмали должны отвечать следующим требованиям:

- иметь высокую адгезионную способность к наносимой поверхности;

- быстро высыхать;
- образовывать гладкую, плотную, глянцевую, твердую, прочную пленку;
- не размягчаться и не разбрызгиваться;
- лаковая пленка должна быть маслостойкой и влагостойкой и обладать достаточно высокими диэлектрическими свойствами.

Кроме того, к покровным лакам и эмалям может предъявляться ряд специальных требований: их химстойкость, бензиностойкость, эластичность, тропикоустойчивость, морозоустойчивость, а также повышенная стойкость к действию растворителей, масел, смазок, к истиранию, раздавливанию, тепловому удару и т. д.

Лакировку электротехнической стали производят для создания тонкой защитной электроизоляционной лаковой пленки между отдельными сегментами электротехнической стали в расщепленных магнитопроводах электрических машин и аппаратов с целью уменьшения потерь от вихревых токов.

При изготовлении эмальпроводов лаки используют для создания тонкой защитной электроизоляционной пленки, которая в этом случае служит единственной изоляцией.

Лаки и эмали проводящие покровные предназначены для создания защитной пленки повышенной проводимости на наружной поверхности лобовых и пазовых частей обмоток стержней турбогенераторов и статорных катушек (секций), высоковольтных электрических машин с целью предохранения от коронирования. Эти лаки и эмали высыхают на воздухе и образуют пленку, обладающую необходимым сопротивлением после сушки или термической обработки.

Клеящие лаки служат для склеивания различных изоляционных материалов: слюды, бумаги, ткани, электрокартона и других между собой или с другими материалами. Их разделяют по основным свойствам на две группы:

- а) лаки, придающие материалу эластичность;
- б) лаки, придающие изделию после склеивания прочность и твердость.

Первая группа лаков применяется для производства гибких слюдяных материалов: микалент, слюдинитовых и слюдопластовых лент, гибких миканитов и слюдинитов, синтолент и т. д. Эти лаки обладают высокой термоэластичностью и обеспечивают длительное сохранение эластичности материалов.

Особую группу составляют лаки, предназначенные для изготовления микалент и слюдинитовых лент, применяемых для обмоток высоковольтных электрических машин. Они имеют высокую электрическую прочность и малые диэлектрические потери как при нормальной, так и при повышенной температуре.

К лакам, выполняющим роль связующих для изготовления слюдинитовых и слюдопластовых материалов, в отличие от слюдяных материалов, предъявляются особые требования. Если в

слюдяных материалах основным диэлектрическим барьером является слюда, а лак выполняет роль связующего, то в слюдинитовых и слюдопластовых материалах лак в сочетании с этими материалами образует сложный неоднородный диэлектрик, основу которого составляют чешуйки слюды. Поэтому лак (или пропитывающий состав) должен, прежде всего, обладать высокой диэлектрической прочностью и хорошо пропитывать материал.

Вторая группа клеящих лаков требует обычной печной сушки и образует, после соответствующей термической обработки твердую прочную пленку. Эти лаки предназначены для производства твердых слюдяных, слюдинитовых и слюдопластовых изделий, например, миканитов — коллекторного, прокладочного, формовочного и др.

Слюдяные материалы и изделия, склеенные лаками этого типа при запрессовке и выпечке при соответствующей температуре, становятся монолитными и сохраняют свою первоначальную форму при последующем нагревании.

### Требования к клеящим лакам

Клеящие лаки должны обладать следующими свойствами:

- высокой адгезией, обеспечивающей надежность скрепления отдельных материалов во всей конструкции изоляции в целом;
- высокими диэлектрическими свойствами, особенно это касается лаков для высоковольтной изоляции;
- высокой термоэластичностью, особенно это касается лаков для производства гибких слюдяных и слюдинитовых изделий;
- не размягчаться и не вытекать при нагревании;
- обладать высокой пропитывающей способностью (для слюдинитовых и слюдопластовых изделий).

Применяя клеящие лаки для специальных целей, в каждом отдельном случае к лаку предъявляют особые требования: маслостойкость, химстойкость, механическая прочность и т. д.

### Лаки для слоистых пластиков

Особую группу лаков составляют лаки для изготовления слоистых пластиков. Они должны хорошо пропитывать наполнитель (бумагу или ткань), обладать хорошей адгезией к нему и склеивать отдельные листы наполнителя. Кроме того, эти связующие должны обладать на определенной стадии своего образования вязкой текучестью или пластической деформацией. Поэтому лаки, которые применяются для изготовления слоистых пластиков, цилиндров, трубок и других электроизоляционных деталей, должны сохранять способность расплавляться и склеивать отдельные листы бумаги или ткани между собой при последующем процессе опрессовки и запечки. Лаки, которые применяются в этих случаях, образуют пленку, имеющую трехмер-

ную структуру и обладающую терморезистивными свойствами.

### Клеи

Широкое применение в производстве электрических машин, аппаратов, приборов и других электрических конструкций имеет ряд клеев, обладающих высокими изоляционными свойствами и высокой адгезией к металлу. Они предназначены для склеивания различных изоляционных материалов между собой, для приклеивания их к металлу, а также для склеивания металлических поверхностей между собой.

Основными требованиями, предъявляемыми к клеям, являются быстрое высыхание, предпочтительно при окружающей температуре, хорошая цементация между склеиваемыми поверхностями, высокие диэлектрические свойства и отсутствие размягчения при последующем нагреве.

### Заливочные компаунды

Назначение заливочных компаундов — заполнение сравнительно больших промежутков между отдельными элементами, обмотками различных электротехнических конструкций и устройств с целью создания монолитной, механически прочной, влаго- и водонепроницаемой и электрически прочной конструкции.

К заливочным компаундам относится большая группа недавно разработанных терморезистивных компаундов

на основе синтетических смол. Заливочные компаунды должны обладать вязкостью, обеспечивающей хорошее заполнение рабочих объемов заливаемой конструкции; длительным “сроком жизни”; высокими диэлектрическими свойствами (электрической прочностью и электрическим сопротивлением) в рабочих условиях; высокой механической прочностью (к статическим и динамическим воздействиям); малой водо- и влагопоглощаемостью; термическим коэффициентом расширения (ТКР), близким к ТКР материала изолируемого изделия (меди и др.); малой усадкой при отверждении; хорошей адгезией к изолируемому материалу.

В ряде случаев к заливочному компаунду могут предъявляться дополнительные требования: химическая стойкость, тропическая устойчивость, эластичность и т. д.

### Требования, предъявляемые к кабельным массам

Заливка кабельной массой разделанных концов кабеля в муфтах предназначается для следующих целей:

- создание монолитного слоя, непроницаемого для воды и влаги, попадающей извне в изоляцию кабелей;
- создание электроизоляционного слоя между стенками муфты и отдельными жилами кабеля;
- защита от механических повреждений масс соединений. Кабельные массы должны обладать морозостойкостью до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Обмазочные компаунды

Назначение обмазочных компаундов — создание защитного электроизоляционного слоя, непроницаемого для воды, влаги и масла на поверхности пропитанных уже обмоток и предохраняющего основную изоляцию от внешних воздействий. Кроме того, обмазочные компаунды (изоляционные замазки, пасты) предназначены также для заполнения промежутков и неровностей между отдельными элементами конструкций в процессе изготовления для их цементации.

Обмазочные компаунды должны обладать хорошей адгезией к наносимой поверхности; способностью к полному затвердеванию в толстом слое; высокой цементирующей способностью и механической прочностью (хорошо скреплять отдельные элементы конструкции); высокими электроизоляционными свойствами; стойкостью против действия влаги, воды и масла; иметь длительный “срок жизни” (для терморезистивных компаундов холодного отверждения).

Иногда к обмазочным компаундам предъявляются специальные требования, например, особо высокая механическая прочность (предел прочности на изгиб, сжатие, ударная вязкость); способность не размягчаться под действием нагрева, под действием центробежных сил (для вращающихся обмоток) и ряд других.

**Александр Воробьев,**  
alex@hit.mldnet.com

# Повышение эффективности загрузки ПЛИС

## 1. Введение

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) уже много лет широко используются в электронике. По способу хранения конфигурации эти устройства разделяются на два класса: ПЛИС с хранением конфигурации в ОЗУ и ПЛИС с конфигурацией в ЭППЗУ. По количеству логических элементов ПЛИС с ОЗУ значительно превосходят ПЛИС с ЭППЗУ. Это связано с тем, что ячейка ОЗУ более технологична, и поэтому можно получить более высокую плотность кристалла ПЛИС. Также потребляемая мощность ПЛИС с ОЗУ (в расчете на один логический элемент) значительно ниже, чем у ПЛИС с ЭППЗУ. Но поскольку для хранения конфигурации ПЛИС используется ОЗУ, то после снятия питания, ПЛИС “забывает” конфигурацию. При последующем включении необходимо загрузить конфигурацию извне. Число загружаемых конфигурационных бит может составлять десятки и даже сотни килобит, что в определенных устройствах недопустимо или чрезвычайно дорого. К числу таких устройств относятся, например, бортовая аппаратура, где стоимость высоконадежных компонентов высока, и сверхкомпактные микропроцессорные системы, где разработчики экономят не только на микросхеме конфигурационного ЭППЗУ, но даже и на объеме ЭППЗУ всей микропроцессорной системы.

В данной статье на примере ПЛИС фирмы Altera рассматривается возможность повышения эффективности загрузки с точки зрения уменьшения числа конфигурационных данных.

## 2. Варианты конфигурации ПЛИС

Фирма Altera ([www.altera.com](http://www.altera.com)) выпускает много различных микросхем ПЛИС, построенных на основе ОЗУ. К ним относятся серии FLEX8K, FLEX6K, FLEX10K, а в последнее время появились новые серии — APEX20K и ACEX1K [3].

В качестве источника загрузки конфигурации может использоваться как конфигурационное ЭППЗУ, т. н. конфигуратор, так и микропроцессорная система. В первом случае, после подачи питания конфигурацию сам организует загрузку ПЛИС из собственного (внутреннего) ЭППЗУ (или ПЗУ). Во втором случае процессор в нужный момент организует загрузку, перекачивая данные о конфигурации из ПЗУ микропроцессорной системы в ПЛИС. Способы загрузки детально описаны в технической документации фирмы Altera [1]. Для обоих случаев характерна передача всех данных конфигурации в ПЛИС.

Для первых выпускавшихся ПЛИС серии FLEX8K объем конфигурационных данных составлял 5...31 Кбайт [2]. В самых современных ПЛИС он сильно увеличился и составляет уже 22...164 Кбайт для серии ACEX1K и даже 42...1467 Кбайт для APEX20K [1].

Если рассмотреть содержимое данных, то можно обнаружить интересную особенность.

## 3. Особенность конфигурационных данных

Особенностью конфигурационных данных является то, что они отражают внутреннюю структуру ПЛИС.

Рассмотрим элементарную ячейку (логический элемент), например, ПЛИС серии ACEX1K. В техническом описании [4] сказано, что “...логический элемент (ЛЭ) ПЛИС содержит 4-входовую таблицу быстрого просмотра (LUT), которая может генерировать любую функцию от четырех переменных. В дополнение ЛЭ содержит триггер с синхронным входом разрешения счета, а сигналами переноса и каскадирования. Триггер может использоваться D-, T-, JK- или RS-триггер. Его сигналы тактирования, сброса и установки могут управляться от основных (“глобальных”) сигналов кристалла, от входных сигналов или от сигналов внутренней логики. Для комбинаторных применений ЛЭ сигнал с выхода таблицы LUT обходит триггер и передается непосредственно на выход ЛЭ...”

Ясно, что далеко не все возможности реализуются в каждом ЛЭ. Например, сигналы каскадирования и переноса характерны в основном для счетчиков и сумматоров. Но ведь не может ПЛИС содержать только счетчики и сумматоры. Таблица LUT для большинства ЛЭ ПЛИС тоже полностью не заполнена. Вдобавок, следует отметить, что в ПЛИС используются не все ЛЭ, и почти всегда остается какой-либо процент неиспользуемых элементов. Поэтому, если посмотреть содержимое файла конфигурации \*.TTF (в текстовом виде) или \*.RBF (в двоичном виде), то можно увидеть значительное число “нулей”. “Нули” в файле конфигурации указывают, что определенные возможности не используются (отключены).

Автором статьи был проведен анализ файлов конфигурации, полученных в предшествующих разработках. Число “нулей” в них составило от 71 до 93% объема.

Поэтому возникла идея сжать файлы конфигурации.

## 4. Сжатие конфигурационных данных

Собственно идея сжатия оказалась не нова. Фирма Altera предлагает специальный язык Jam [5], а также программы Jam Composer для сжатия и Jam Player для распаковки данных. Суть сводится к созданию фрагмента программы для микропроцессора, под управлением которой осуществляется загрузка ПЛИС. Однако при отсутствии микропроцессора такой подход не реализуем.

Поэтому была поставлена цель, найти довольно простой алгоритм сжатия, который можно было использовать как в микропроцессорных системах, так и в устройствах построенных на “жесткой” логике.

### 4.1. Алгоритм сжатия

Анализ конфигурационных данных показал, что в них довольно часто встречаются фрагменты, содержащие от 10 до 100...150 “нулей” подряд.

Предлагаемый алгоритм сжатия заключается в замене в конфигурационных данных каждой последовательности из N “нулей” на последовательность, состоящую из r-битного маркера и m-битного указателя длины. Последовательности из любого числа “единиц”, а также “нулевые” последовательности длиной менее определенного порога (числа p) не заменяются.

Для примера выберем в качестве маркера последовательность из 9 “нулей” (r=9), а в качестве указателя длины число из 7 бит (m=7). При этом получаем возможность заменить в конфигурационных данных все последовательности типа

```
000000000....0
<— N=9..127 —>
```

с длиной от 9 до 127 “нулей” на 16-битные последовательности типа

```
000000000 ppppppp
<— r=9 —> <— m=7 —>
```

где ppppppp — число “нулей”, равное девяти.

Последовательности, содержащие более 127 “нулей”, требуется разделить на несколько более коротких, длина каждой из которых не должна превышать 127 “нулей”.

Из вышеуказанного примера видно, что последовательности из 17...127 “нулей” преобразуются в последовательности из 16 бит. При этом длина фрагмента сжатого конфигурационного файла уменьшается. При последовательности в 17 “нулей” экономится только 1 бит или около 6%. В случае появления последовательности из 127 “нулей” экономия составит 111 бит или более 87%.

Последовательности, содержащие 9...16 “нулей” также преобразуются по приведенному алгоритму. При появлении

таких последовательностей получаем удлинение фрагментов сжатого файла по сравнению с исходными последовательностями до 7 бит.

Очевидно, что суммарная длина получаемых сжатых CBF-файлов (от слов *compressed binary file*) разная для разного содержимого ПЛИС и определяется частотой появления тех или иных последовательностей “нулей”.

#### 4.2. Подбор параметров сжатия

На сжатие влияет также длина маркера  $p$ , то есть число “нулей”, начиная с которого начинается преобразование данных, и число  $m$ , указывающее какую максимальную последовательность “нулей” можно заменить более короткой.

Если в приведенном выше примере число  $m$  увеличить с 7 до 8, то это даст возможность сжимать более длинные последовательности, содержащие не до 128, а до 256 “нулей” подряд. С одной стороны, последовательность, например из 227 нулей преобразуется в одну 17-битную последовательность, а не в две 16-битные, соответствующие последовательностям из 127 и 100 “нулей”, т.е. экономим 15 бит. С другой стороны, каждая короткая нулевая последовательность длиной от 9 до 16 нулей будет преобразовываться в более длинную, 17-разрядную последовательность вместо 16-разрядной. Подобное влияние оказывает изменение порога  $p$ .

Для изучения влияния параметров  $p$  и  $m$  на коэффициент сжатия автором статьи была написана программа `rbf2cbf.exe`. Пример одного из отчетов о результатах сжатия приведен ниже.

Было рассмотрено несколько разных типов файлов. Например, для ПЛИС ACEX EP1K30QC208 файлы длиной 46,911 Кбайт сжимались до 27...34 Кбайт, то есть коэффициент сжатия составлял 1,71...1,34. Файлы для ПЛИС FLEX EPF10K10ATC144 длиной 14,751 Кбайт сжимались в файлы длиной 8...9 Кбайт, т.е. в 1,83...1,63 раза. Для всех рассмотренных файлов было свойственно уменьшение длины, что очевидно из—за упомянутой выше нереализуемости одновременно всех возможностей каждого элемента ПЛИС.

Таблица

длина исходного файла 46911 байт										
частота комбинаций появления нулей										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0x	2906	1974	2685	830	740	677	924	645	635	435
1x	498	729	432	460	232	246	262	236	657	274
2x	217	255	367	80	118	146	214	68	84	63
3x	59	54	75	72	61	58	59	46	43	57
4x	63	70	89	59	72	55	65	37	39	49
5x	57	35	27	30	25	44	29	18	22	20
6x	25	30	25	26	35	24	29	28	33	18
7x	26	20	29	19	14	19	17	13	9	15
8x	9	19	16	18	21	9	6	26	26	12
9x	19	16	17	14	22	14	12	13	14	8
10x	9	12	8	9	11	3	4	7	9	7
11x	6	11	10	7	10	12	8	10	429	4
12x	11	3	4	1	6	4	5			

ИТОГИ										
нулей :	347388									
единиц :	27900									
% нулей :	92,60%									
p	m	длинных нулей	случаев	старая длина (bits)	новая длина (bytes)	сжатие (bits)	удлинение тактов (bytes)			
9	7	309769	9582	375288	46911	218831	27353	1,71	67074	17,90%

Исследование влияния параметров  $p$  и  $m$  на коэффициент сжатия привело к неожиданному результату. Оптимальными для всех рассмотренных файлов явились параметры  $p=1$  и  $m=5$ . То есть любое количество “нулей” от 1 (!) до 31 заменялось последовательностью 0.пппп. Поэтому эти параметры следует скорее выбирать из соображений упрощения реализации алгоритма, нежели с целью увеличения коэффициента сжатия.

#### 4.3. Реализация алгоритма распаковки

Запаковав подобным образом все нулевые последовательности, получим “сжатый” конфигурационный файл. А как произвести распаковку?

Алгоритм распаковки довольно прост. Рассмотрим на примере микропроцессорной системы для случая ( $p=9$ ,  $m=7$ ). Конфигурационные данные последовательно, бит за битом, загружаются из ПЗУ микропроцессорной системы в ПЛИС под управлением процессора. В случае обнаружения маркера, т.е. последовательности из 9-ти “нулей”, процессор приостанавливает загрузку ПЛИС и выполняет считывание последующих 7-ми бит из ПЗУ, указывающих, сколько дополнительных “нулей” необходимо загрузить в ПЛИС. Затем процессор сам формирует и загружает указанное число “нулей” в ПЛИС, а после возобновляет чтение конфигурационных данных из ПЗУ и загрузку их в ПЛИС. При повторном появлении маркера процессор вновь выполняет считывание числа “нулей” с последующей процедурой загрузки их в ПЛИС.

Для организации аналогичной распаковки в системах, выполненных на “жесткой” логике необходимо иметь устройство, содержащее схему распознавания маркера (последовательности из  $r$  “нулей”), загружаемый счетчик—формирователь “нулей” и счетчик  $m$  тактов. Указанное устройство может быть реализовано на микросхеме ПЛМ.

Для случая ( $p=1$ ,  $m=5$ ) реализация становится еще более простой. Маркер представлен в виде одного “нуля”, а счетчик “нулей” состоит из 5-ти бит.

Для проверки правильности реализации распаковки была написана программа для `cbf2rbf.exe`, подтвердившая, что

распакованные данные совпадают с исходными конфигурационными данными.

Понятно, что приведенный алгоритм имеет как преимущества, так и недостатки. Рассмотрим их.

## 5. Преимущества и недостатки использования сжатия

### 5.1. Преимущества

Главным преимуществом приведенного алгоритма является существенная экономия объема ПЗУ.

В микропроцессорных системах экономия нескольких килобайт и даже нескольких десятков килобайт существенно превышает затраты на подпрограмму распаковки данных, которая, например, для процессора семейства MCS-51 составляет менее 0,1 Кбайт. При этом появляется возможность хранить конфигурационные данные даже во внутреннем ПЗУ микропроцессора.

Преимущества особенно хорошо видны при использовании указанного алгоритма в бортовых системах, где стоимость каждого дополнительного килобайта ПЗУ крайне высока.

В случае использования микросхемы конфигулятора для загрузки ПЛИС, возможность применения микросхем меньшего объема ведет также к снижению стоимости устройства.

### 5.2. Недостатки

Недостатки или, скорее, особенности в основном характерны для варианта с использованием конфигулятора.

Алгоритм загрузки ПЛИС из сжатых файлов требует использования внешнего генератора вместо встроенного в конфигулятор. В качестве тактовой частоты можно подобрать подходящую по параметрам ПЛИС опорную частоту, присутствующую на плате или получить тактовую частоту путем деления опорной частоты цепочкой из нескольких Т-триггеров.

Вариант с конфигуратором требует также использования дополнительного устройства по распаковке данных. Автором была разработана схема устройства распаковки. Схема довольно проста и, например, для случая ( $p=9$ ,  $m=7$ ) состоит из 21 триггера. Для реализации такого устройства можно исполь-

зовать простейшие ПЛМ, например, Altera EPM3032ALC44 или подобные. Схему распаковки можно объединить в одной ПЛМ с делителем частоты, описанным выше.

К небольшим недостаткам рассматриваемого алгоритма следует также отнести невозможность точного определения объема сжатого конфигурационного файла в начале разработки. Однако известен максимальный объем и "грубая" оценка минимального сжатия, которая составляет 1,3...1,6 раза.

Следует учесть, что процедура загрузки удлиняется на время считывания маркеров из конфигулятора и составляет примерно 15...35% от общего времени загрузки.

## 6. Заключение

Предложенный в статье алгоритм сжатия позволяет уменьшить объем конфигурационных данных для ПЛИС и, следовательно, снизить стоимость разрабатываемой аппаратуры за счет использования менее емких недорогих микросхем ЭППЗУ или ПЗУ.

Разработанные программы с исходными текстами, а также пример реализации устройства аппаратной распаковки данных можно найти в Интернете по адресу: <http://lex.iki.rssi.ru/projects/cbf>.

## Литература

1. "Configuring APEX 20K, FLEX 10K & FLEX 6K Devices. Application note 116. ALTERA Corporation. 05/2000"
2. "Configuring FLEX8000 Devices. Application note 33. ALTERA Corporation. 06/2000"
3. "CD-ROM Altera Digital Library 2000, version 6. ALTERA Corporation"
4. "ACEX 1K Programmable Logic Family Data Sheet. Preliminary Information. ALTERA Corporation. 03/2001"
5. "Jam programming & Test Language Overview. Product Information Bulletin 27. ALTERA Corporation. 02/1998"

Илья Чулков  
ilya@hea.iki.rssi.ru

(Продолжение. Начало — № 6/2001 г.)

## Сокращения параметров полупроводниковых приборов

В настоящее время практически каждому радиолюбителю и профессионалу приходится работать с различными справочными данными по подбору полупроводниковых приборов. При это возникают определенные трудности, когда необходимо разобраться с тем, что означает то или иное сокращение. Для того, чтобы восполнить этот пробел приводится таблица общепринятых сокращений при обозначении параметров полупроводниковых приборов.

Таблица 1

$I_C$	Collector Current	Ток коллектора
$I_{CBO}$	Collector Cutoff Current	Коллекторный ток отсечки
$I_{CC}$	Supply Current	Потребляемый ток
$I_D$	Monitor Dark Current (Laser) или Direct Current	Темновой ток лазерного диода или прямой ток
$I_{DD}$	Supply Current (drain for GaAs)	Потребляемый ток (ток стока для полевых транзисторов из арсенида галлия)
$I_{DS}$	Drain to Source Current	Ток сток — исток
$I_{DSS}$	Saturated Drain to Source Current	Ток насыщения сток — исток
$I_{DQ}$	Quiescent Drain Current	Статический ток стока
$I_{EBO}$	Emitter Cutoff Current	Эмиттерный ток отсечки
$I_{EE}$	Supply Current (emitter for Silicon)	Потребляемый ток (ток эмиттера для кремниевых транзисторов)
$I_F$	Intermediate Frequency (prescalers)	Промежуточная частота (частота преобразования)
$I_{FH}$	High Level Input Current	Входной ток высокого уровня
$I_{FL}$	Low Level Input Current	Входной ток низкого уровня
$I_G$	Gate Current	Ток затвора
$I_{GF}$	Forward Gate Current	Прямой ток затвора
$I_{GSO}$	Gate to Source Leakage Current	Ток утечки затвор-исток
$I_{MD}$	Intermodulation Distorsion	Интермодуляционные искажения
$I_{M2}$	Second Order Intermodulation Distorsion	Интермодуляционные искажения 2-го порядка

Продолжение следует

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

# Программатор микроконтроллеров семейства x51 фирмы Atmel

Существует достаточно большое количество программаторов для микроконтроллеров семейства x51 фирмы Atmel. Однако все они имеют ряд недостатков. Большинство программаторов предназначено для работы через LPT (параллельный) порт компьютера. Такое подключение имеет свои отрицательные черты: низкая нагрузочная способность порта, его высокая чувствительность к статическому электричеству, что не позволяет производить подключение/отключение программатора при включенном персональном компьютере (ПК).

Программатор и компьютер оказываются гальванически связанными, что требует повышенной осторожности при работе с программатором. Неудобством также является то, что к LPT порту подключается принтер и другие устройства, и поэтому перед началом программирования микроконтроллера приходится производить переключение устройств. Кроме того, большинство описанных программаторов реализуют только ограниченный набор функций.

В настоящей статье вниманию читателей предлагается описание варианта программатора, который подключается к ПК через свободный интерфейс RS-232C и имеет с ним гальваническую развязку, что позволяет подключать и отключать его при работающем компьютере.

## Алгоритм программирования микроконтроллеров семейства x51

Алгоритм программирования микроконтроллеров (МК) семейства x51 описан в литературе [1—7]. Семейство x51 можно подразделить на два класса. Первый класс — МК типа AT89C1051/2051/4051 — выпускается в корпусе PDIP-20, второй класс — МК типа AT89C51/52/53/55/8252 — в корпусе PDIP-40. Алгоритмы программирования обоих классов МК достаточно близки, но отличаются тем, что для МК, относящихся к первому классу, ввиду ограниченного числа выводов микроконтроллеров, отсутствуют физические линии адресов, и адреса ячеек памяти переключаются путем подачи импульсов переключения адреса. Для МК второго класса адреса ячеек памяти задаются параллельным кодом на соответствующих выводах. Кроме того, микроконтроллеры каждого из классов имеют разные объемы памяти (табл. 1).

Для облегчения понимания принципиальной схемы программатора мы коротко рассмотрим оба алгоритма программирования и приведем временные диаграммы.

Как отмечалось выше, МК AT89C1051/2051/4051 имеют встроенный счетчик адресов, который сбрасывается в нулевое состояние при сбросе микроконтроллера по входу RST и наращивает адрес при подаче положительного импульса на вывод XLAT1. Микроконтроллеры AT89C51/52/53/55/8252 не имеют встроенного счетчика адресов, и адреса устанавливаются сигналами параллельного кода на соответствующих адресных линиях.

При программировании возможно выполнение шести команд для МК AT89C1051/2051/4051 и семи команд для МК AT89C51/52/53/55/8252 (добавляется команда записи третьего бита защиты). Выполняемая команда определяется кодом на четырех функциональных линиях F0...F3. В табл. 2 приведен перечень возможных команд.

Таблица 1. Объем Flash-памяти микроконтроллеров семейства x51 фирмы Atmel

PDIP20			PDIP40				
AT89C1051	AT89C2051	AT89C4051	AT89C51	AT89C52	AT89C53	AT89C55	AT89C8252
1К	2К	4К	4К	8К	12К	20К	8К

В отношении содержания таблицы необходимо сделать следующие пояснения:

1. символ "Т" означает "отрицательный импульс" (+5 В => 0 => +5 В);
2. символ "Н" означает высокий уровень или лог. 1 (+5 В);
3. символ "L" означает низкий уровень или лог. 0 (0 В);
4. команда очистки памяти требует длительности импульса программирования PROG/ более 10 мс;
5. некоторые микроконтроллеры AT89C51/52/53/55/8252 могут иметь напряжение программирования 5 В, о чем свидетельствует индекс "—5" в конце обозначения типа и соответствующий байт сигнатуры (см. [8]);
6. при программировании микроконтроллеров AT89C51/52/53/55/8252 на выв. RST должен быть подан уровень Н, а на выв. PSEN/ — уровень L;
7. чтение сигнатуры МК AT89C1051/2051/4051 предполагает последовательное чтение байтов с адресами 0x00, 0x01, 0x02. Адрес 0x00 всегда содержит код 0x1E — код производителя Atmel. Адрес 0x01 содержит код микроконтроллера 0x11 (AT89C1051), 0x21 (AT89C2051), 0x41 (AT89C4051). Адрес 0x02 содержит код 0x00;
8. чтение сигнатуры МК AT89C51/52/53/55/8252 предполагает последовательное чтение байтов с адресами 0x30, 0x31, 0x32. Адрес 0x30 всегда содержит код 0x1E —

Таблица 2. Команды программирования микроконтроллеров семейства x51

№№	Функция	PROG/	Vpp	F0	F1	F2	F3
	<b>AT89C1051/2051/4051</b> Наименование вывода, номер вывода	P3.2, 06	RST, 01	P3.3, 07	P3.4, 08	P3.5, 09	P3.7, 11
	<b>AT89C51/52/53/55/8252</b> Наименование вывода, номер вывода	ALE, 30	ER/, 31	P2.6, 27	P2.7, 28	P3.6, 16	P3.7, 17
1	Запись кода ячейки памяти (Write Code Data)	T	H/12V	L	H	H	H
2	Чтение кода ячейки памяти (Read Code Data)	H	H	L	L	H	H
3	Запись 1-ого бита защиты (Write Lock Bit1)	T	H/12V	H	H	H	H
4	Запись 2-ого бита защиты (Write Lock Bit2)	T	H/12V	H	H	L	L
5	Запись 3-его бита защиты (Write Lock Bit3)	T	H/12V	H	L	H	L
6	Очистка памяти (Chip Erase)	T	H/12V	H	L	L	L
7	Чтение сигнатуры (Read Signature)	H	H	L	L	L	L

код производителя Atmel. Адрес 0x31 содержит код микроконтроллера 0x51 (AT89C51), 0x52 (AT89C52), 0x53 (AT89C53), 0x55 (AT89C55), 0x72 (AT89S8252). Адрес 0x32 содержит код 0xFF, если напряжение программирования составляет 12 В, или 0x05, если напряжение программирования равно 5 В;

Таблица 3. Алгоритм программирования микроконтроллеров семейства x51

Последовательность операций при программировании микроконтроллеров		
№№	AT89C1051/2051/4051	AT89C51/52/53/55/8252
1	Подать питание на соответствующие выводы микросхемы. Подать на выв. Vpp (RST) и XLAT1 уровень лог. 0. Все остальные выводы должны быть свободными. Длительность этого состояния должна быть более 10 мс.	Подать питание на соответствующие выводы микросхемы. Подать на выв. RST уровень лог. 1. Подать на выв. PSEN/ уровень лог. 0. Все остальные выводы должны быть свободными. Длительность этого состояния должна быть более 10 мс.
2	Подать на выв. Vpp уровень лог. 1. Подать на выв. PROG/ уровень лог. 1.	
3	Установить комбинацию команды записи на линиях F0...F3.	
4	Установить код данных на выводах порта P1.	Установить код данных на выводах порта P0.
5	Установить на выв. Vpp напряжение 12 В (или уровень лог. 1, если микроконтроллер рассчитан на напряжение программирования 5 В).	
6	Сформировать на выв. PROG/ одиночный отрицательный импульс длительностью не менее 1,2 мс.	
7	Для проверки правильности записанного байта необходимо: перевести выв. Vpp в состояние лог. 1. Установить код команды чтения на линиях F0...F3. Считать код данных.	
8	Подготовить следующий байт. Подать одиночный импульс на выв. XLAT1 для увеличения адреса. Перейти к п. 3.	Подготовить следующий байт. Установить новый адрес. Перейти к п. 3.
9	Повторять пункты 3—8 до достижения последнего адреса Flash памяти программируемого микроконтроллера	
10	Последовательность выключения питания: • установить на выв. XLAT1 уровень лог. 0; • установить на выв. Vpp уровень лог. 0; • освободить все остальные выводы. Снять напряжение питания.	• Установить на выв. Vpp уровень лог. 0; • освободить все остальные выводы. Снять напряжение питания.

9. при программировании МК AT89C1051/2051/4051 команда 5 отсутствует.

Собственно алгоритм программирования МК семейства x51 приведен в табл. 3.

Следует отметить, что существует два варианта задания времени программирования каждого байта. При фиксированном времени программирования длительность импульса программирования фиксирована и составляет более 1,2 мс. При изменяющемся времени программирования после подачи импульса программирования PROG/ необходимо анализировать уровень на выв. BUSY/ (P31 для микроконтроллеров AT89C1051/2051/4051 и P34 для AT89C51/52/53/55/8252). Переход уровня из состояния лог. 1 в состояние лог. 0 означает, что цикл программирования байта завершен и необходимо перевести уровень сигнала PROG/ в состояние лог. 1.

Второй вариант задания времени программирования позволяет сократить время программирования микросхемы, но усложняет программу. Поэтому в описываемом программаторе используется первый вариант задания времени программирования — фиксированный.

Временные диаграммы цикла программирования микроконтроллеров AT89C1051/2051/4051 показаны на рис. 1, а микроконтроллеров AT89C51/52/53/55/8252 — на рис. 2.

Внимательное рассмотрение приведенных выше данных позволяет сделать

вывод о незначительных отличиях в последовательности программирования микроконтроллеров обоих семейств и возможности совмещения функций программирования в едином алгоритме.

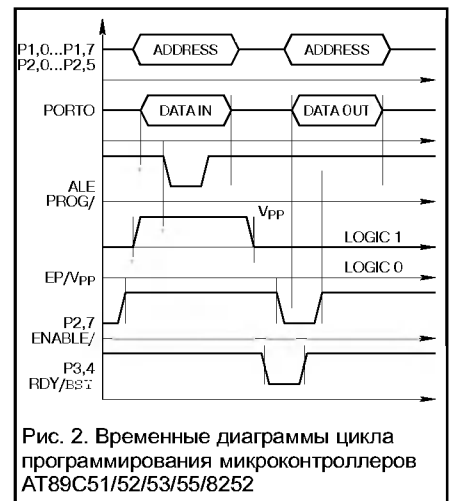
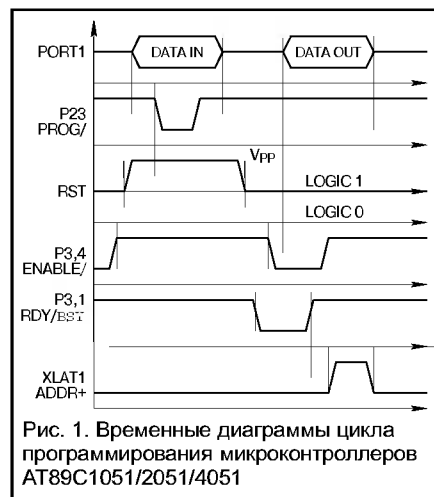
### Принципиальная схема программатора

Структурная схема программатора приведена на рис. 3. Он содержит следующие основные узлы: узел последовательного интерфейса RS-232C для связи программатора с ПК (RS-232C Interface); узел микроконтроллера (Controller); узел панелей для подключения программируемых микросхем (Sockets), узел формирования напряжений программирования (Converter); источник питания (Power Supply).

Принципиальная схема узла панелей для подключения программируемых микросхем представлена на рис. 4. Схема содержит две зажимные панели для корпусов DIP-20 (для микроконтроллеров AT89C1051/2051/4051) и DIP-40 (для микроконтроллеров AT89C51/52/53/55/8252). К панели DIP-40 подключены кварцевый резонатор и конденсаторы в соответствии с рекомендациями фирмы Atmel [8]. В этом же узле находится двухцветный светодиодный индикатор L-819 SRSG D фирмы Kingbright, предназначенный для индикации режимов работы программатора. Отсутствие свечения означает, что панельки обесточены (можно вставлять или вынимать микросхемы), зеленый цвет свечения — выполняются команды чтения, либо не производятся никакие действия, красный цвет свечения — выполняются команды записи или стирания. Узел выполнен в виде отдельной платы и крепится к верхней крышке прибора, в которой имеются отверстия под панели и светодиод. Узел соединяется с другими узлами с помощью плоского кабеля и штыревых разъемов PLD-40.

Узел последовательного интерфейса RS-232C для связи программатора с ПК показан на рис. 5. Он выполнен на трех микросхемах оптронов 4N35, обеспечивающих гальваническую развязку программатора с ПК. Напряжение изоляции — до 2,5 кВ. Два оптрона предназначены для передачи информации, третий — для реализации функции сброса. Линия RTS служит для формирования положительного напряжения, а линия DTR — отрицательного. Номиналы резисторов обеспечивают минимальную нагрузку на линии RS-232C при скорости 28800 бит/с. Описанная схема позволяет подключать программатор к включенному ПК.

Принципиальная схема узла микроконтроллера представлена на рис. 6. Он содержит собственно микроконтрол-



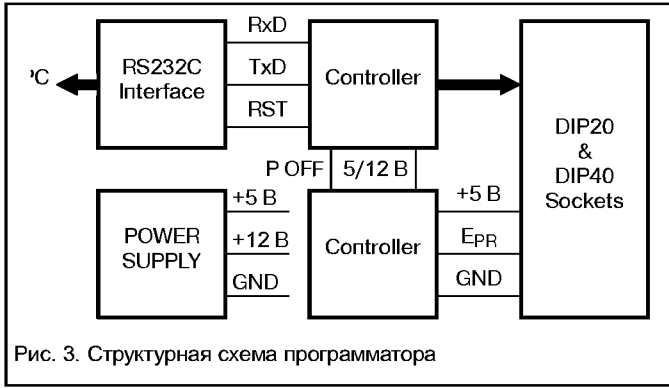


Рис. 3. Структурная схема программатора

лер D1 (AT89C2051), регистры D4—D7 (74НС573), шинный формирователь D3 (74НС245) и логику блокировки выходов D2 (74НС00). Регистры D4, D5 предназначены для формирования кода адреса, D6 — для формирования управляющих сигналов. Регистр D7 и шинный формирователь D3 образуют порт приема/передачи данных. Подобная архитектура узла контроллера имеет преимущества перед возможной архитектурой на одном контроллере AT89C51 (рис. 8): более низкое потребление (около 7 мА), малая стоимость, защита программатора при программировании

некачественных микроконтроллеров. Кроме того, она может быть реализована на более доступных микросхемах и позволяет практически полностью обессточивать панельки. Выбор микросхем серии 74НС обусловлен их сверхнизким потреблением при высоком быстродействии. При отсутствии микросхем этой серии, их можно заменить, не изменяя схемы, на более доступные отечественные микросхемы серий 1555 или 555: D4—D7 — на ИР33, D3 — на АП6, D2 — на ЛАЗ. Естественно, это приведет к резкому возрастанию потребляемого тока. Можно также использовать регистры КР580ИР83 и шинный формирователь КР580ВА86, но это также вызовет возрастание тока потребления до 550 мА.

С другой стороны, наличие более мощных регистров и шинного формирователя может оказаться в некоторых случаях полезным. Автору пришлось иметь дело с несколькими партиями МК серий AT89C82 и AT89C53 произведенных в Корее и на Тайване, которые упорно “не хотели” программироваться при номинальном напряжении +12 В, однако безошибочно программировались при напряжении 12,3...12,42 В. Во втором случае при попытке программирования при номинальном напряжении резко возростал потребляемый ток по входам адреса и функций. Очевидно, что в этом случае будет полезно использовать микросхемы серии 555 вместо серии 74НС.

На рис. 7 показан узел формирования напряжений про-

граммирования. Он реализован на микросхеме К155ЛН3. Элементы D1.1 и D1.2 образуют схему формирования напряжения программирования +12, +5 и +0,3 В. Остальные элементы коммутируют двухцветный светодиод, показанный на рис. 4. Узел управляется двумя сигналами от контроллера. Сигнал P5\_12V в активном состоянии (лог. 1) обеспечивает напряжение программирования +5 В (устанавливается резистором R12), при этом включается зеленый светодиод. В пассивном состоянии (лог. 0) формируется напряжение +12 В, и включается красный светодиод. Второй управляющий сигнал POW\_OFF в активном состоянии (лог. 1) выключает напряжение программирования (примерно +0,3 В) и светодиод.

Как уже отмечалось выше, узел микроконтроллера (рис. 6) можно реализовать вообще на одной микросхеме AT89C51. При этом надежность программатора снижается ввиду отмеченных выше причин, зато упрощается рабочая программа. Вариант такой реализации узла микроконтроллера показан на рис. 8. Назначения входов/выходов узла соответствуют схеме, приведенной на рис. 3.

Следует сказать несколько слов об источнике питания. В программаторе применен классический трансформаторный источник питания с двумя выходными напряжениями — +5 и +12 В. Потребляемый ток от источника напряжения +12 В составляет не более 20 мА, при этом можно использовать линейные стабилизаторы 78L12. Потребление сильно зависит от используемой в узле микроконтроллера элементной базы и может изменяться в пределах 100—700 мА. А если еще учитывать вероятность программирования некачественных микроконтроллеров, то необходимо иметь запас по току до 1,2 А от

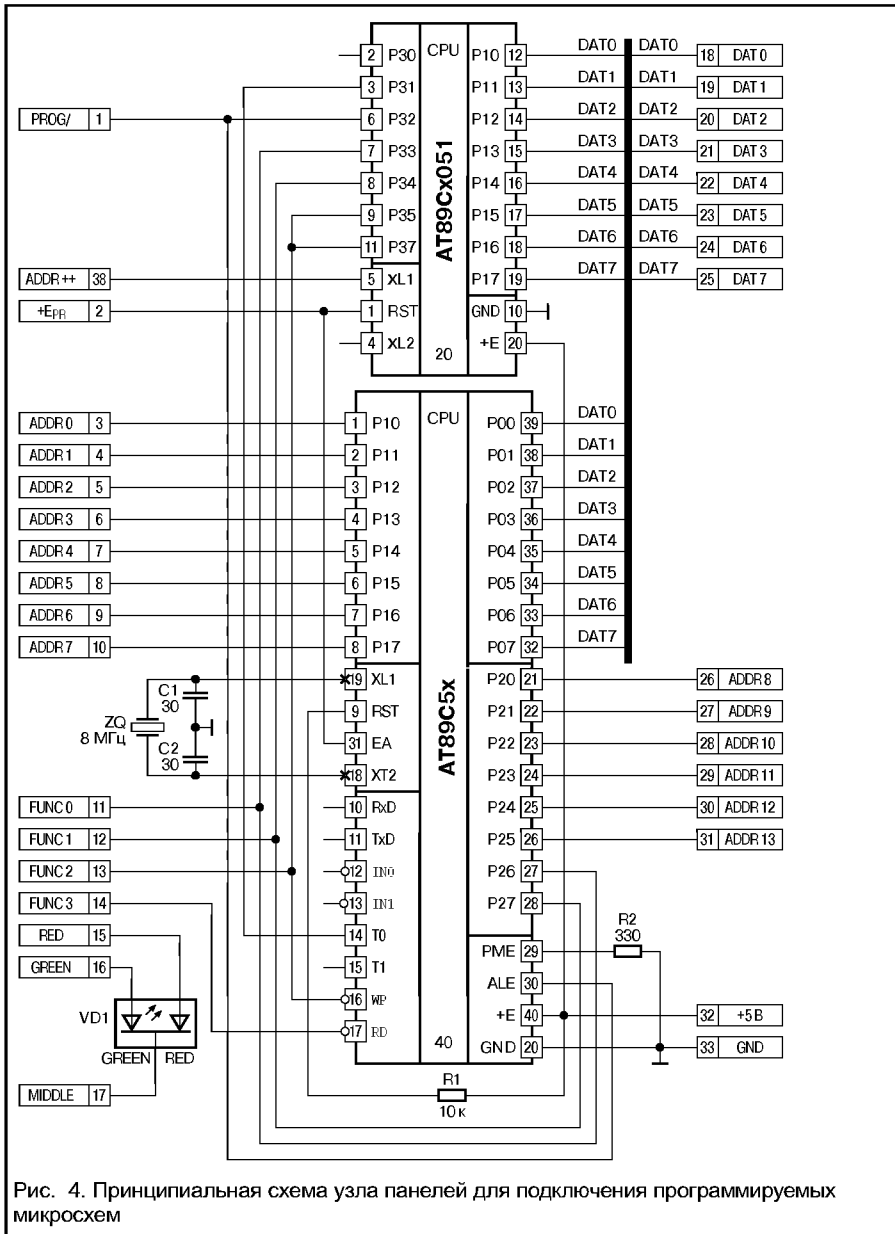


Рис. 4. Принципиальная схема узла панелей для подключения программируемых микросхем

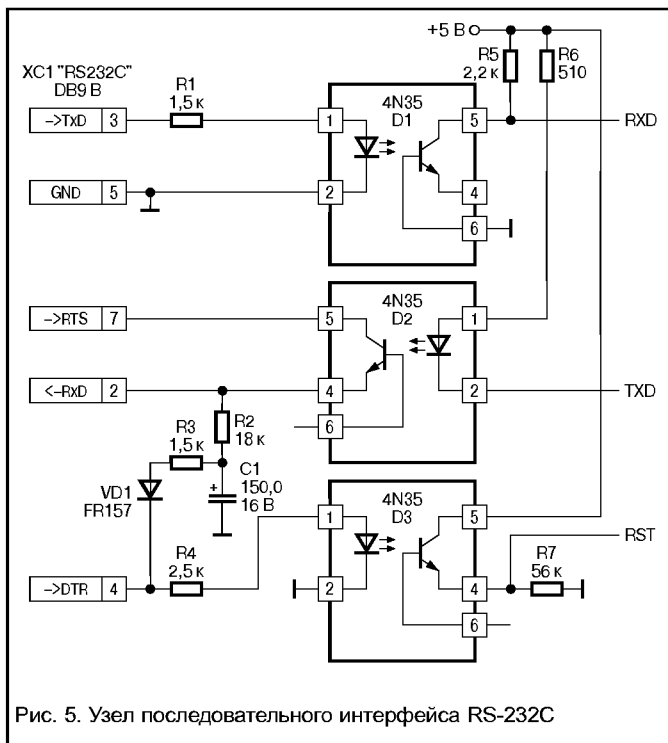


Рис. 5. Узел последовательного интерфейса RS-232C

источника +5 В. Кроме того, рекомендуется применять регулируемый источник напряжения +12 ±3 В со встроенным стрелочным вольтметром и, желательно, амперметром.

### Рабочая программа для основного варианта узла микроконтроллера

Ниже приводится рабочая программа для основного варианта узла микроконтроллера (рис. 6). ПК работает с программатором в режиме командно-информационной сети. Это означает, что ПК является ведущим, а программатор — ведомым. Компьютер выдает команды, а программатор выполняет их. Программа написана на языке C и состоит из двух файлов. Первый файл, "prog.h", содержит определения кодов всех команд и микроопераций, выполняемых программатором. Ниже приведен фрагмент файла "prog.h".

#### Фрагмент 1

```

/*****
/* PROG H ver 15 00 Program For Programmer AT89C2051 */
/* Created by O Nicolajchuk 27 10 97 Last Modify 05 02 99 */
/*****
#include " \include\c051 h"

#define FALSE 0
#define TRUE 1
#define byte unsigned char
#define MHZ12 FALSE /* Назначена частота
11 059MHz */
#define OE_INP P3 7 /* Линия от-
крытия данных */
#define RG Addr L P3 2 /*
Строб регистра младшего байта адреса */
#define RG Addr H P3 3 /*
Строб регистра старшего байта адреса */
#define RG Func P3 4 /*
Строб регистра функций */
#define RG_Data P3 5 /* Строб реги-
стра данных */

/***** Определения вспомогательных команд и операций *****/

#define CMD_SetAL 0x01 /* Установить
младший адрес */
#define CMD_SetAH 0x02 /* Установить старший
адрес */
#define CMD_SetFunc 0x03 /* Установить регистр функций */
#define CMD_SetData 0x04 /* Установить регистр
данных записи */

```

```

#define CMD_GetData 0x05 /* Прочитать данные */
#define CMD_OutputOn 0x06 /* Выходы регистров
включить */
#define CMD_OutputOff 0x07 /* Выходы регистров
выключить */

#define CMD_RST_H 0x10 /* Установить напряжение PROG/
= 5V */
#define CMD_RST_12 0x11 /* Установить напряжение PROG/
= 12V */

#define CMD_Set_RS 0x12 /* Установить функцию "Read
Signature" */
#define CMD_Set_RCD 0x13 /* Установить функцию
"Read Code Data" */
#define CMD_Set_WCD 0x14 /* Установить
функцию "Write Code Data" */
#define CMD_Set_WLB1 0x15 /* Ус-
тановить функцию "Write Lock Bit1" */
#define CMD_Set_WLB2 0x16 /* Установить функцию "Write Lock
Bit2" */
#define CMD_Set_WLB3 0x17 /* Установить функцию "Write Lock
Bit3" */
#define CMD_Set_CE 0x18 /* Установить функцию "Chip
Erase" */
#define CMD_Prog_H 0x19 /* Установить Prog = 5V */
#define CMD_Prog_L 0x1A /* Установить Prog = 0V */
#define CMD_NextAddr 0x1B /* Установить следующий адрес */
#define CMD_Reset 0x1C /* Установить
адрес = 0 */
#define CMD_Puls 0x1D /* Установить следую-
щий адрес 2051 */

#define CMD_RF 0x22 /* Выполнить операцию
"Read Flash" */
#define CMD_LB1 0x23 /* Выполнить операцию
"Write Lock Bit1" */
#define CMD_LB2 0x24 /* Выполнить операцию
"Write Lock Bit2" */
#define CMD_LB3 0x25 /* Выполнить операцию
"Write Lock Bit3" */
#define CMD_CE 0x26 /* Выполнить операцию
"Chip Erase" */
#define CMD_WF 0x27 /* Выполнить операцию
"Write Flash" */

```

\*\*\*\* Определения основных команд и операций \*\*\*\*

```

#define CMD_Speed 0x3F /* Установить скорость */
#define CMD_Speed2400 0x30 /* Установить 2400 */
#define CMD_Speed4800 0x31 /* Установить 4800 */
#define CMD_Speed9600 0x32 /* Установить 9600 */
#define CMD_Speed19200 0x33 /* Установить
19200 */
#define CMD_Speed28800 0x34 /* Установить
28800 */

#define CMD_DoTest 0x7C /* Выполнить тест */

```

\*\*\*\* Резервирование регистров памяти \*\*\*\*

```

byte Ready;
byte Rate;
byte CMD;
byte ADDR_L;
byte ADDR_H;
byte FUNC;
byte DATA;

#if MHZ12
code StartSpeed = 26;
code SpeedMask = 0x03;
#else
code StartSpeed = 24;
code SpeedMask = 0x1F;
#endif

```

/\* End of PROG H \*/

Второй файл, "pr015.c", содержит собственно текст программы. Ниже приведен фрагмент файла "pr015.c".

#### Фрагмент 2

```

/*****
/* PR015 C ver 15 00 Program For Programmer AT89C2051 */
/* Created by O Nicolaiuciu 27 10 97 Last Modify 05 02 99 */
/*****

```



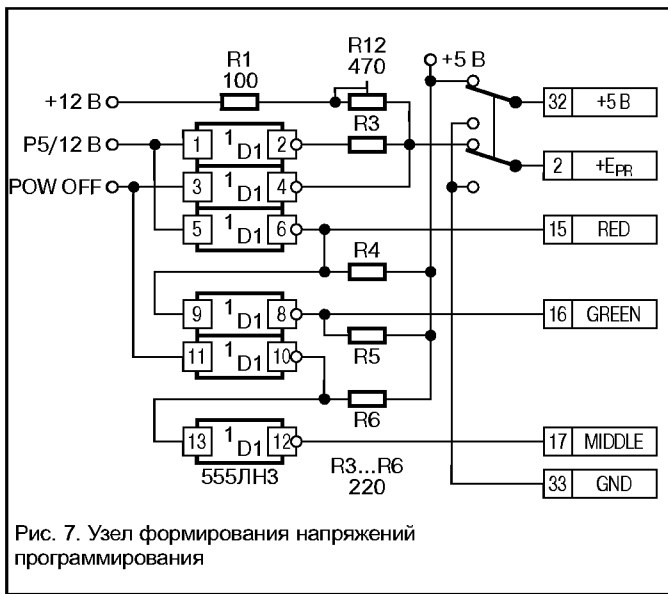


Рис. 7. Узел формирования напряжений программирования

```

void SetFunc (void) { P1=FUNC; RG_Func=1;
RG_Func=0; P1=0xFF;}
void SetData (void) { P1=DATA; RG_Data=1;
RG_Data=0; P1=0xFF;}
/***** Подпрограммы переключения регистра данных *****/
void OutputOn (void) { ADDR_H=(ADDR_H&0x7F)|0x80; SetAH0;}
void OutputOff (void) { ADDR_H=(ADDR_H&0x7F);
SetAH0;}
/***** Подпрограммы установки регистра функций *****/
void RST_H (void) { FUNC=(FUNC&0x3F)|0x40;
SetFunc0;}
void RST_L2 (void) { FUNC=(FUNC&0x3F);
SetFunc0;}
void Set_RS (void) { FUNC=(FUNC&0xF0);
SetFunc0;}
void Set_RCD (void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x0C;
SetFunc0;}
void Set_WCD (void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x0E;
SetFunc0;}
void Set_WLB1 (void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x0F;
SetFunc0;}
void Set_WLB2 (void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x03;
SetFunc0;}
    
```

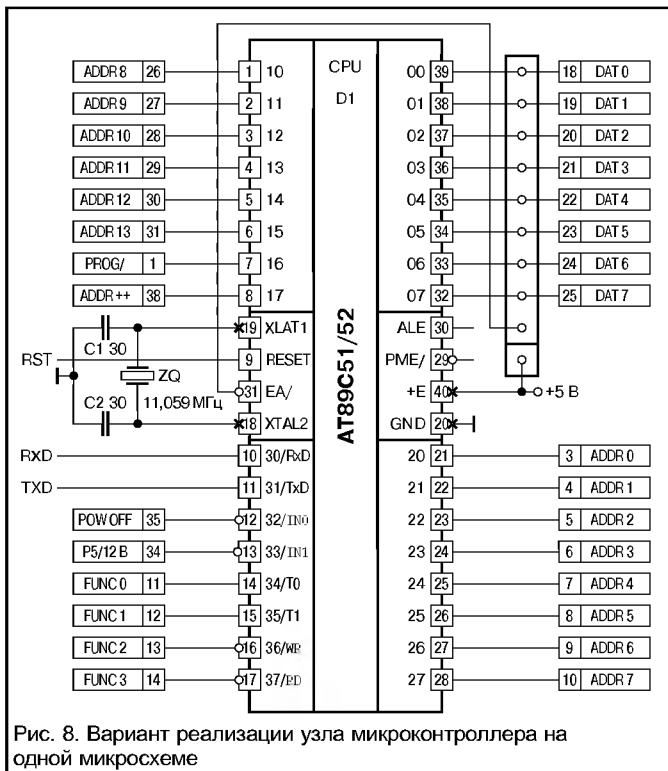


Рис. 8. Вариант реализации узла микроконтроллера на одной микросхеме

```

void Set_WLB3(void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x05;
SetFunc0;}
void Set_CE (void) { FUNC=(FUNC&0xF0)|0x01;
SetFunc0;}
void Prog_H (void) { FUNC=(FUNC&0xEF)|0x10;
SetFunc0;}
void Prog_L (void) { FUNC=(FUNC&0xEF);
SetFunc0;}
void Puls_H (void) { FUNC=(FUNC&0xDF)|0x20;
SetFunc0;}
void Puls_L (void) { FUNC=(FUNC&0xDF);
SetFunc0;}
/***** Подпрограммы формирования импульсов *****/
void Puls (void) { Puls_H0; Time(2); Puls_L0;}
void Prog (void) { Prog_L0; Time(15); Prog_H0;}
void DoTest (void) /* Передать тестовую последова-
тельность */
{
byte i;

Delay (1);
for (i=0; i<255; i++) SendB (i);
SendB (0xFF);
}

void GetData (void) /* Программа чтения данных */
{
P1 =0xFF; /* Порт на ввод */
OE_INP =1; /* Открыть шинный формирователь дан-
ных */
Time (1); /* Задержка */
DATA =P1; /* Считать данные */
Time (1); /* Задержка */
OE_INP =0; /* Закрыть шинный формирователь дан-
ных */
SendB (DATA); /* Передать считанные данные */
}

void NextAdd (void) /* Установить следующий адрес */
{
if (ADDR_L<0xFF) /* Если младший байт адреса < 0xFF */
ADDR_L++; /* Увеличить младший байт */
else /* Иначе */
{
ADDR_L=0; /* Младший байт обнулить */
ADDR_H++; /* Увеличить старший байт */
}
SetAL0; /* Установить младший адрес */
SetAH0; /* Установить старший байт */
Puls 0; /* Увеличить адрес микроконтроллеров
89Cxx51 */
}

void Counter_RST (void) /* Сбросить счетчик адреса */
{
ADDR_L=0; SetAL0; /* Обнулить младший байт адреса */
}
/* ADDR_H=0x40; SetAH0; /* Обнулить старший байт адреса */
FUNC =0xCC; SetFunc0; /* RST=L, ReadSignature, Prog_L,
Puls_L */
OE_INP=0; /* Закрыть шинный формирова-
тель данных */
Delay (10); /* Задержка ~ 10 мС */
Prog_H0; /* Установить начальные уровни... */
}

RST_H0;
Delay (3); /* Задержка ~ 3 мС */
}

void ReadFlash (void) /* Читать байт из Flash */{ Set_RCD0;
/* Установить код функции чтения */ P1=0xFF;
/* Порт на ввод */OE_INP=1; /* От-
крыть шинный формирователь */
Time(1); /* Задержка */
DATA =P1; /* Считать данные */
Time(1); /* Задержка */
OE_INP=0; /* Закрыть шинный формирова-
тель */
NextAdd 0; /* Установить следующий адрес */
SendB (DATA); /* Передать считанный байт */
}

void RProg (void) /* Последовательность програм-
мирования */
{
RST_L20; /* Установить напряжение про-
    
```

## цифровая техника

```

граммирования 12В */      Time (15);          /* Задержка */
Prog0;                    /* Импульс программирования */
OutputOff0;               /* Закрыть регистр данных */ Delay
(4);                      /* Задержка */
RST_H0;                   /* Установить напряжение программиро-
вания 5В */
Time(5);                  /* Задержка */
}

void WriteFlash (void)    /* Записать байт во Flash */
{
    DATA =GetB0;         /* Получить байт для записи */
    Set_WCD0;             /* Установить код функции запи-
си */
    SetData0;             /* Установить данные */
    OutputOn0;            /* Открыть регистр данных */
}

RProg0;                   /* Последовательность программирования */
}

void LockBit1 (void)      /* Записать "Lock Bit1" */
{
    Counter_RST0;        /* Сбросить счетчик адреса */
    Set_WLB10;           /* Установить код функции запи-
си "Lock Bit1" */
    RProg0;              /* Последовательность программирования */
}

void LockBit2 (void)      /* Записать "Lock Bit2" */
{
    Counter_RST0;        /* Сбросить счетчик адреса */
    Set_WLB20;           /* Установить код функции запи-
си "Lock Bit2" */
    RProg0;              /* Последовательность программирования */
}

void LockBit3 (void)      /* Записать Lock Bit3 */{
Counter_RST 0;           /* Сбросить счетчик адреса */
Set_WLB30;              /* Установить код функции записи "Lock
Bit3" */
RProg0;                 /* Последовательность программирования */
}

void ChipErase (void)     /* Очистить (Стереть) Flash */
{
    Counter_RST0;        /* Сбросить счетчик адреса */
    Set_CE0;             /* Установить код функции "Chip
Erase" */
    RST_120;             /* Установить напряжение про-
граммирования 12В */
    Time(15);            /* Задержка */
    Prog_L0;             /* Начать импульс стирания */
    Delay(10);           /* Задержка ~ 10 mS */
    Prog_H0;             /* Завершить импульс стирания */
    Time(15);            /* Задержка */
    RST_H0;              /* Установить напряжение программиро-
вания 5В */
}

void main (void)          /* Монитор команд */
{
    byte a;

    Counter_RST 0;       /* Установить счетчики адреса */
    TI=1;                /* Установить флаги передачи и
приема */
    RI=0;
    TimersInit0;         /* Инициализировать таймеры */
    SpeedInit (StartSpeed); /* Установить начальную скорость 2400 */
    Delay(5);            /* Задержка ~ 5 mS */

    while (1)            /* Основной командный цикл */
    {
        while (!TD;      /* Ожидание приема ..... */
        if (RI)
            goto get;
        Ready=0;
        TI=0;
        ES=1;
        while (1)
        {
            PCON = PCON | 0x80; /*idle/pdown*/
            if (Ready)          /* Если байт принят */

```



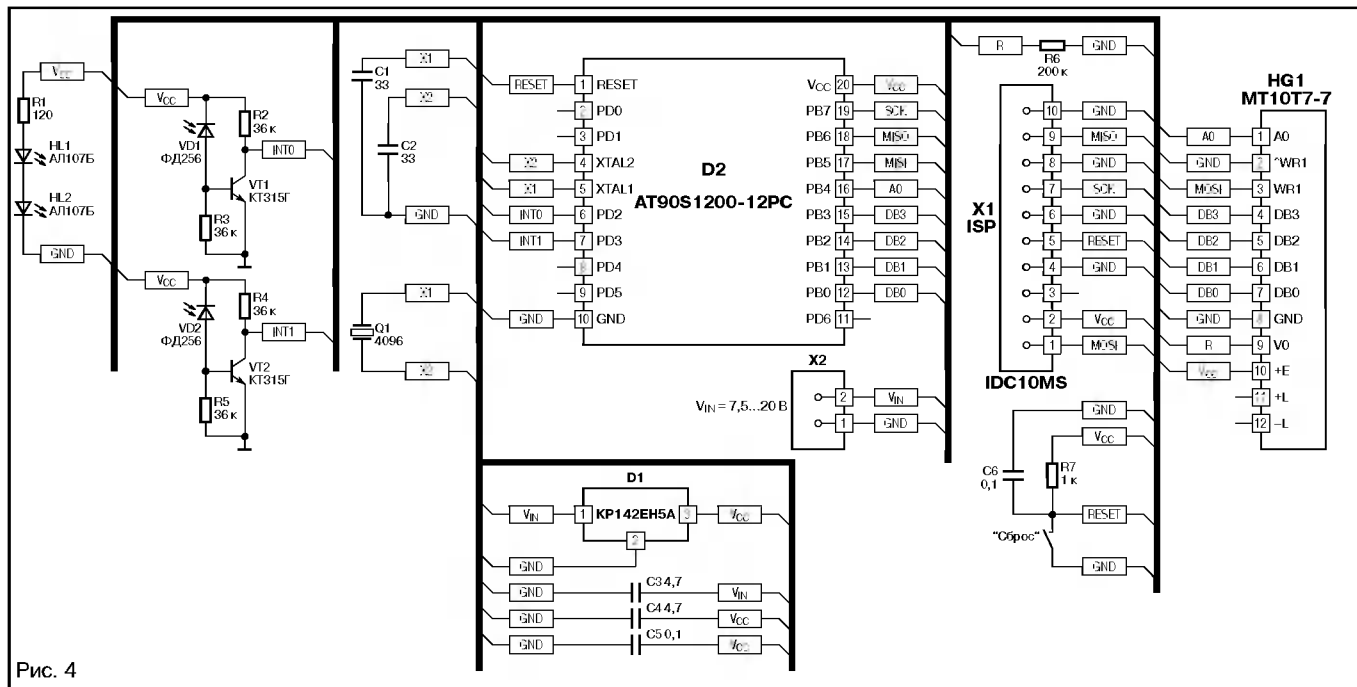


Рис. 4

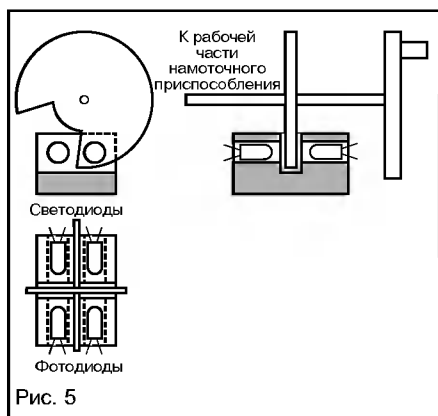


Рис. 5

подачи питания на электрическую схему. Кварцевый резонатор — любой на частоту 4 МГц. Микроконтроллер — AT90S2313-4PI, AT90S2313-12PI, AT90S2313-4PC, AT90S2313-12PC. Последние буквы в названии обозначают тип корпуса — PDIP и рабочий диапазон температур. Микросхема D1 — KP142EH5A или ее зарубежный аналог 7805 — интегральный стабилизатор напряжения 5 В. Транзисторы VT1, VT2 — KT315Г, служат для преобразования аналогового сигнала фотодиода в напряжения лог. 1 и лог. 0, которые может воспринимать микроконтроллер. Используются фотодиоды типа ФД256, светодиоды — типа АЛ107Б. Можно применять и другие типы фотодиодов и светодиодов, но при этом следует учитывать, что они должны быть рассчитаны на один диапазон излучения, то есть, если используется светодиод ИК диапазона, то следует применять и фотодиод, предназначенный для работы в ИК диапазоне.

Для питания схемы можно использовать сетевой адаптер с выходным напряжением 7,5...15 В.

При настройке схемы, возможно, придется подобрать значение сопротивле-

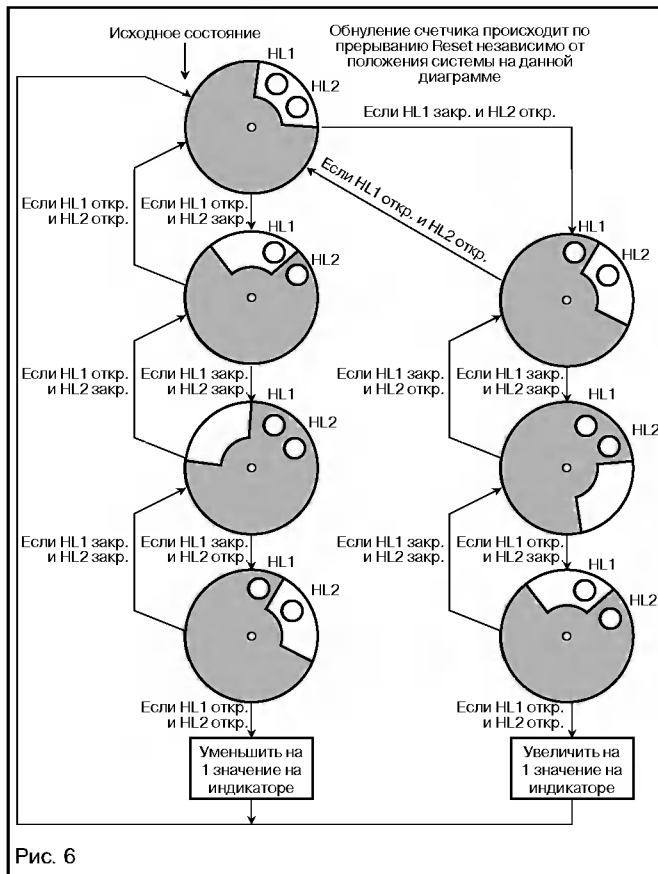


Рис. 6

ния резистора R1, чтобы обеспечить необходимый уровень освещенности фотодиода для нормального срабатывания схемы. Проверить это можно следующим образом: вольтметром измеряют напряжение на коллекторе транзистора VT1. При этом закрывают доступ излучению светодиода к фотодиоду (металлической пластинкой) и наблюдают за показаниями прибора. Запомнив значение напряжения, убирают пластинку и снова измеряют его. В одном положении напряжение должно

быть близким к напряжению питания, в другом — к нулю, другими словами, напряжение на выходе схемы должно соответствовать логическим уровням "0" и "1" в зависимости от того, попадает излучение светодиода на фотодиод или нет. После проверки работы фотодатчиков следует занести программу в микроконтроллер с помощью программатора. Интересной особенностью применяемого микроконтроллера является возможность так называемого внутрисхемного программирования — записи

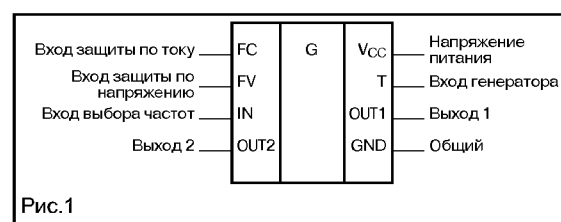
Михаил Голубцов,  
mgolubtsov@hotmail.com

# Сирена для личной охраны на микросхеме 1211ЕУ1

*В дороге нас постоянно заботит сохранность личных вещей и багажа. Существенно облегчить жизнь пассажира в этой ситуации поможет специализированная охранная система. Такой "сторож" не должен занимать много места и обременять владельца, и в то же время его задача - отлично выполнять свои функции. Большие габариты, сложность изготовления, низкий уровень звукового сигнала и недостаточно низкое потребление энергии от источника питания в дежурном режиме - все эти недостатки затрудняют применение таких систем [1].*

Применение современной элементной базы позволяет устранить многие недостатки и разработать современное и удобное в эксплуатации устройство.

Для электронных пускорегулирующих аппаратов разработана микросхема специализированного контроллера типа КР1211ЕУ1, обеспечивающая режим работы компактных люминесцентных ламп [2]. Область применения - автомобильная техника с напряжением бортовой сети постоянного тока 3...24 В. Однако ее с успехом можно



применить в персональном охранном устройстве пассажира.

Микросхема КР1211ЕУ1 производится по КМОП-технологии и выпускается в пластмассовом корпусе типа DIP-8 или в корпусе для поверхностного монтажа типа SOP-8. Расположение и назначение ее выводов показано на рис. 1.

Микросхема содержит следующие функциональные узлы: задающий генератор, делитель частоты, формирователь импульсов и выходные усилители. Кроме

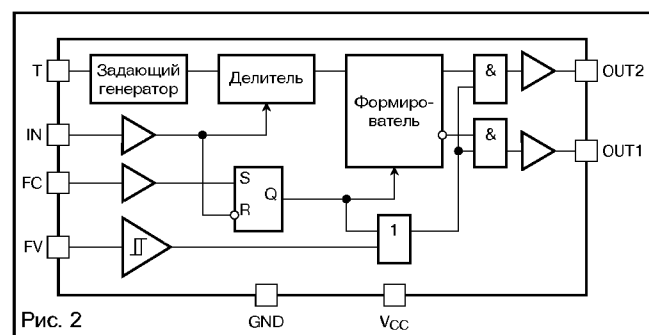


Таблица 1

Параметр	Значение параметра	Единица измерения	Примечание
Напряжение питания	3...9	В	
Ток потребления при ГТ=0	10	мкА	не более
Частота задающего генератора	5	МГц	не более
Средний выходной ток для каждого выхода	150	мА	
Входное напряжение высокого уровня	0,7 V <sub>CC</sub>		не менее
Входное напряжение низкого уровня	0,2 V <sub>CC</sub>		не более
Входной ток ВЫСОКОГО уровня	1	мкА	не более
Входной ток НИЗКОГО уровня	1	мкА	не более

того, на входах управления установлены формирователи сигнала (рис. 2).

Задающий генератор вырабатывает тактовые импульсы с частотой повторения  $f_T$ , которая определяется времязадающей RC-цепочкой, подключаемой к входу Т (выв. 7).

Период следования выходных импульсов генератора незначительно зависит от напряжения питания, а потребляемый микросхемой ток увеличивается с повышением частоты генератора.

С выхода генератора тактовые импульсы поступают на переключаемый делитель частоты и далее на формирователь. На вход формирователя поступают симметричные противофазные импульсы, а он формирует паузу между ними длительностью в один период тактовой частоты.

Противофазные импульсы с так называемой "просечкой" поступают через логические схемы управления на выходные двухтактные усилители (выв. 4, 6).

Микросхема КР1211ЕУ1 имеет три входа управления: FC, FV и IN.

Через вход IN (выв. 3) управляется переключаемый делитель частоты. При низком уровне напряжения на входе IN происходит сброс RS-триггера выключения выходного каскада и формирования, а также изменяется коэффициент деления делителя частоты. При подаче на вход IN высокого уровня сигнала коэффициент деления равен 18, при подаче низкого - 14.

Входы FC и FV выполняют защитные функции. При подаче на любой из них сигнала высокого уровня происходит выключение выходных каскадов микросхемы - на выходах OUT1 и OUT2 появляется низкий уровень сигнала. Разница между входами управления заключается в том, что вход FV выключает выходные каскады только на время подачи сигнала высокого уровня, а вход FC - до сброса RS-триггера по входу IN.

Основные электрические параметры

микросхемы приведены в табл. 1, а предельные в табл. 2.

Очевидно, что незначительный ток потребления (до 10 мкА) и мостовой выходной каскад, позволяющий развить мощность до 0,5 Вт, хорошо подходят

для применения в схеме сирены для личной охраны.

Принципиальная схема охранного устройства приведена на рис. 3. Оно питается от батареи типа "Крона" напряжением 9 В. Тактовая частота определяется времязадающей цепью R1R2C1 и составляет около 37 кГц. При этом допускается ее регулировка в небольших пределах. Это необходимо для установки согласованной с излучателем звука выходной частоты. Оптимальной для пьезоизлучателя является резонансная частота (около 2,5 кГц), но не самого излучателя, а собственно всей конструкции. Поэтому для получения максимальной громкости звука устанавливать его частоту следует в собранной конструкции устройства.

Были опробованы два варианта охранного устройства: с пьезоизлучателем типа ЗП-22 и динамиком типа 0,25ГДШ-2 (с сопротивлением 50 Ом). В первом случае ток потребления не превышал 3 мА, а во втором - 109 мА. Большая потребляемая мощность (0,9 Вт) определяла и большую громкость звука с динамиком. В этом случае стабильность частоты почти не сказывается на выходной мощности. Применение пьезоизлучателя позволяет получить громкий звук на резонансной частоте, однако даже незначительный уход частоты приводит к снижению громкости.

Таблица 2

Параметр	Значение параметра	Единица измерения
Напряжение питания	12	В
Входное напряжение ВЫСОКОГО уровня	$V_{CC}+0,5 В$	
Входное напряжение НИЗКОГО уровня	- 0,5 В	
Максимальный выходной ток для каждого выхода	250	мА
Рассеиваемая мощность	750	мВт
Максимальная емкость	1000	пФ

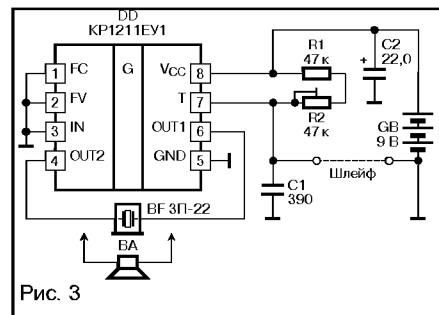


Рис. 3

Функционирование охранного устройства происходит следующим образом. Сторожевой шлейф замыкает конденсатор C1 и устанавливает дежурный режим. Устройство располагают скрытно и закрепляют на багаже пассажира. При несанкционированном перемещении багажа или другого охраняемого предмета происходит разрыв цепи, и начинает работать тактовый генератор микросхемы.

Охранное устройство издает громкий непрерывный звук. Шлейф устанавливается так, чтобы злоумышленник не мог его быстро подключить. В то же время владелец багажа должен иметь возможность быстро выключить охранное устройство.

Конструкция сторожевого шлейфа во многом зависит от объекта охраны, поэтому конкретные технические решения мы рассматривать не будем, предоставив это фантазии читателей.

Предлагаемое охранное устройство содержит девять деталей – на шесть меньше, чем у прототипа. Соответственно, проще и сама конструкция. При этом громкость звука и экономичность устройства значительно выше.

Микросхема позволяет также спроектировать устройство с прерывистым зву-

ковым сигналом. Как показали эксперименты, вход FV имеет гистерезис величиной около 1,4 В. При этом нижний порог переключения составляет 3,2 В, а верхний – 4,6 В. Таким образом, если в схему (рис. 4) ввести интегрирующую RC-цепочку R1R2C1, подключенную к одному из выходов, получится сигнал управления входом FV. Он периодически выключает выходные каскады, благодаря чему звуковой сигнал становится прерывистым. Подбирая параметры RC-цепочки, можно выбрать желаемую частоту прерывания звука. В данном случае она составляет около 2 Гц.

При использовании такой схемы охранного устройства за счет меньшего времени звучания сигнала повышается его экономичность (особенно с динамиком типа 0,25ГДШ-2). Желательно также дополнительно установить выключатель питания.

Игорь Кольцов,  
editor@dian.ru

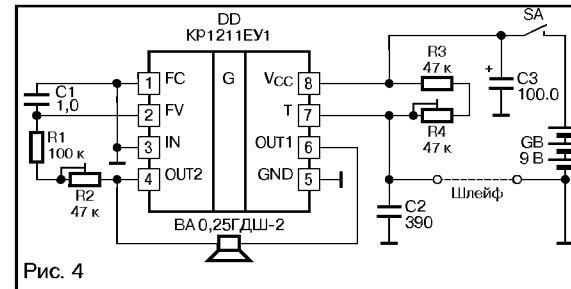


Рис. 4

### Литература

1. Ю. Виноградов, "Ночной сторож" пассажира. – Радио №5, 1997.
2. "Микросхемы для импульсных источников питания", изд. 2-е, испр. и дополн. – М.: "ДОДЭКА", 2000.

# Устройство сложения телевизионных сигналов

В магазинах радиотоваров и на радиорынках в продаже имеется множество устройств, сложения телевизионных сигналов, но, как показывает практика, большинство из них представляет два гнезда соединенных, в лучшем случае, через резисторы. Такие сумматоры не могут обеспечить качественный прием, так как не позволяют устранить взаимного влияния двух антенн. Автор делится своей конструкцией устройства сложения телевизионных сигналов с минимальным количеством покупных элементов.

Прошло то время, когда в большинстве населенных пунктах вещание телевизионных передач ограничивалось одной-двумя программами. Тогда для этих целей были задействованы один или два канала метрового диапазона волн.

В связи с бурным развитием коммерческого и муниципального телевидения в дома телезрителей пришло множество новых программ, вещание которых ведется как в метровом, так и в дециметровом диапазоне. Для успешного приема всех программ приходится устанавливать несколько антенн работающих в разных частотных диапазонах. Старые отечественные телевизионные приемники были оборудованы двумя антенными входами — метрового и дециметрового диапазона, что не вызвало сложности при подключении антенн разных диапазонов. В настоящее время почти все отечественные и импортные телевизоры выпускаются с одним универсальным входом на все диапазоны. Поэтому возникает проблема подключения антенн разных диапазонов к одному входу. Конечно, можно каждый раз подключать к телевизору ту антенну, на которую ведется прием нужной передачи, но это сводит на нет все преимущества дистанционного управления, и постепенно выводит из строя входное гнездо селектора каналов. В конечном итоге потребуется его замена, а это недешево.

Для одновременного подключения ко входу телевизора двух антенн на разные диапазоны и были разработаны телевизионные сумматоры.

В продаже имеется множество таких устройств, но об их качестве трудно судить, не проведя испытаний сумматоров в работе. К тому же, как показывает практика, большинство из них представляют два гнезда соединенных, в лучшем слу-

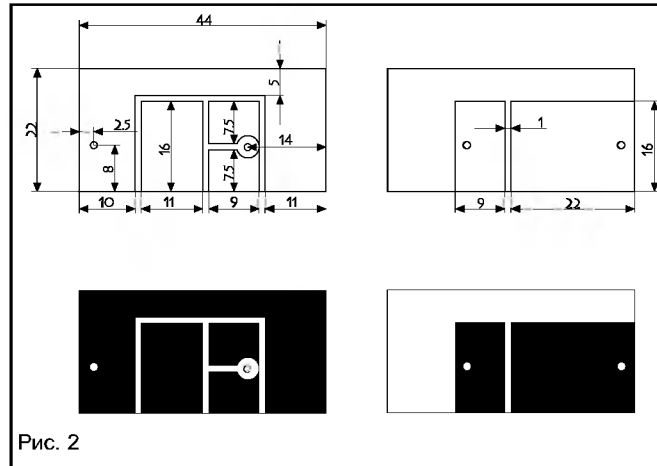


Рис. 2

чае, через резисторы. Такие сумматоры не могут обеспечить качественного приема, так как не позволяют устранить влияние двух антенн друг на друга.

Предлагается конструкция простого и надежного сумматора телевизионных сигналов, включающая в себя минимальное число покупных элементов и обеспечивающего хорошую частотную развязку.

Схема устройства показана на рис. 1.

Сумматор состоит из фильтра верхних частот (ДМВ) на C1, C2 и L1 и фильтра нижних частот (МВ) на L2, L3 и C3.

Причем данный смеситель собран без применения традиционных конденсаторов. Роль последних выполняют площадки на плате, выполненной из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм.

Внешний вид платы и размеры печатных проводников приведены на рис. 2.

Плату можно изготовить как путем травления фольгированного стеклотекстолита, так и при помощи резака из старого ножовочного полотна. Важно только при изготовлении соблюдать размеры площадок фольги, так как от этого зависит величина емкостей конденсаторов.

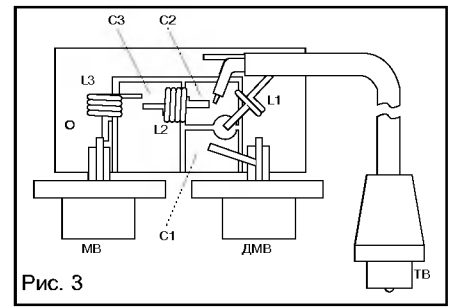


Рис. 3

Катушки индуктивности бескаркасные, намотаны проводом ПЭВ2-0,8 на оправке диаметром 4 мм. Катушка L1 содержит 1,5 витка, а катушки L2 и L3 — по 4,5 витка. В качестве гнезд для подключения антенн используются обычные антенные гнезда, применяемые в отечественных телевизорах. Устройство соединяется с телевизором коротким кабелем РК75 длиной 100...150 мм.

Для подключения используется обычный антенный штекер.

Внешний вид собранного сумматора и расположение элементов показаны на рис. 3.

Устройство размещено в пластмассовой коробке подходящих размеров. Как показала практика, никакой дополнительной экранировки устройство не требует, и прекрасно работает с антеннами разных диапазонов, не создавая взаимных помех.

**Александр Столовых**  
<http://www.chat.ru/~alekssam>  
 alekssam@mail.ru

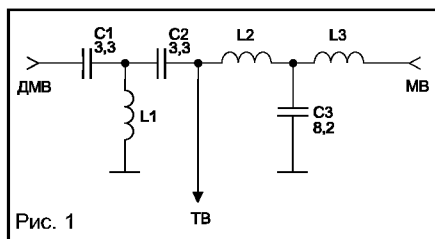


Рис. 1