Схемотехника

№ 1 октябрь 2000

И.О. Главного редактора

Павел Асташкевич

Редколлегия

Алексей Сигаев
Александр Фрунзе
Виктор Йовчик
Светлана Хабарова
Павел Правосудов

Верстка и дизайн

Виктория Листова
Виктория Сычева (обложка)

Редакторы-переводчики

Андрей Асташкевич
Владимир Волков

Отдел распространения

Юрий Рубичев
Александр Кондор

Адрес редакции

121351, Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, к. 1, стр. 2
Т./ф. (095) 737-9279, 768-9456
E-mail: compitech@mtu-net.ru
www.compitech.ru

Издатель, учредитель

ИД СКУМЕНЪ

Отпечатано в ЗАО «Красногорская типография»
Тираж 3000 экз. Зак. № 3096

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

Редакция не несет ответственности за информацию, приведенную в рекламных материалах

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

Содержание

Автоэлектроника

Простая противоугонная система 2
Автомобильный маршрутный компьютер 4

Аудиотехника

Предварительный усилитель с микроконтроллерной системой управления 6

Измерительная техника

Калибратор для осциллографа 12

Основы схемотехники

Датчики температуры 14
Усилитель сигнала термопары с компенсацией напряжения на опорном спае 18
Емкости и конденсаторы 19
Программируемые логические интегральные схемы: обзор архитектур и особенности применения 23
Конструкторы Velleman— для начинающих и не только 26

Питающие устройства

Зарядное устройство с голосовой индикацией 27
Обзор системы сквозного проектирования электронных устройств Veribest 28
Трансформаторы и дроссели для импульсных источников питания 30

Просто и доступно

Две простые схемы температурных регуляторов 34
Второй звонок для телефона 35
Часы — «Пропеллер» 36
Доработка электропаяльного набора 37
Простой индикатор разряда батарей 38

Системы безопасности

Охранная система на пять зон слежения 42
Сигнализатор задымления 43
Имитатор электронных ключей IButton 44

Технологии

Технологии изготовления печатных плат 47

Цифровая техника

Как связать микроконтроллер и компьютер по каналу RS-232 50
Простой конвертер RS-232-TTL 53
Самый простой интерфейс для PCI 55
Средства поддержки разработки для микроконтроллеров AVR 58

Справочный листок

Интегральные стабилизаторы напряжения широкого применения 62

Дорогие читатели!

Вы держите в руках первый номер нового российского научно-популярного журнала «СХЕМОТЕХНИКА». Он ориентирован на самый широкий круг читателей. На его страницах мы будем представлять как разнообразные отдельные схемотехнические решения, так и законченные устройства, использующие в основном преимущества элементной базы, появившейся и ставшей доступной отечественным электронщикам в последние несколько лет. Тематика журнала — цифровая и аналоговая техника, силовая электроника и источники питания, устройства автоматики, управления и регулирования, аудиотехника, телефония, автомобильная электроника, системы безопасности, измерительные устройства, малотиражные радиоэлектронные технологии, программное обеспечение, а также полезная справочная информация для электронщиков.

Каждый номер журнала будет содержать несколько десятков разнообразных электронных схем и статей различного уровня сложности по перечисленным выше темам, благодаря чему на его страницах должны найти интересные для себя материалы как пытливые радиолюбители, так и профессиональные разработчики со стажем. Читатели также будут получать информацию о том, как правильно и эффективно применять доступную им элементную базу, какие решения используют их западные и опытные отечественные коллеги, уже накопившие опыт работы с новейшей продукцией лидеров мировой электронной продукции.

«СХЕМОТЕХНИКА» призвана заполнить некий вакуум, образовавшийся между радиолюбительскими журналами, публикующими схемотехнические решения и описания законченных устройств не основе морально устаревших элементов двадцатилетней давности, и профессиональных журналов, дающих аннотации и описания современных электронных компонентов, но не достаточно уделяющих внимания технике их использования.

Мы обращаем ваше внимание на то, что авторы материалов, размещаемых в журнале, получают гонорары. Для многих из вас это отнюдь не лишне. При этом в первую очередь мы хотели бы увидеть описания схем и конструкций, использующих современные электронные компоненты. Однако мы считаем, что наших читателей заинтересуют любые материалы, содержащие интересные идеи, независимо от того, с использованием какой элементной базы они реализованы. Поэтому призываем вас стать авторами в нашем журнале.

Простая противоугонная система

Несмотря на обилие появившихся в последние годы противоугонных систем («Alligator», «Mongoose» и т .д.), интерес к простым противоугонным системам не пропал.

Безусловно, не последнюю роль играют высокие цены на фирменные изделия, хотя защищаемая машина стоит гораздо дороже. Но главное — потенциальные угонщики хорошо знают эти системы, их уязвимые места, типичные ошибки при их установке и в состоянии угнать машину, даже несмотря на функционирующую противоугонную систему. Конечно, не бывает систем защиты, с которыми не мог бы справиться подготовленный специалист-угонщик. Но если противостоящая система ему незнакома, вероятность ее взлома резко падает. С этой точки зрения самодельные системы, выполненные в единичных экземплярах и известные чаще всего только авторам, их изготовившим, весьма эффективны.

Одна из подобных схем, прототип которой лет 15 назад был опубликован

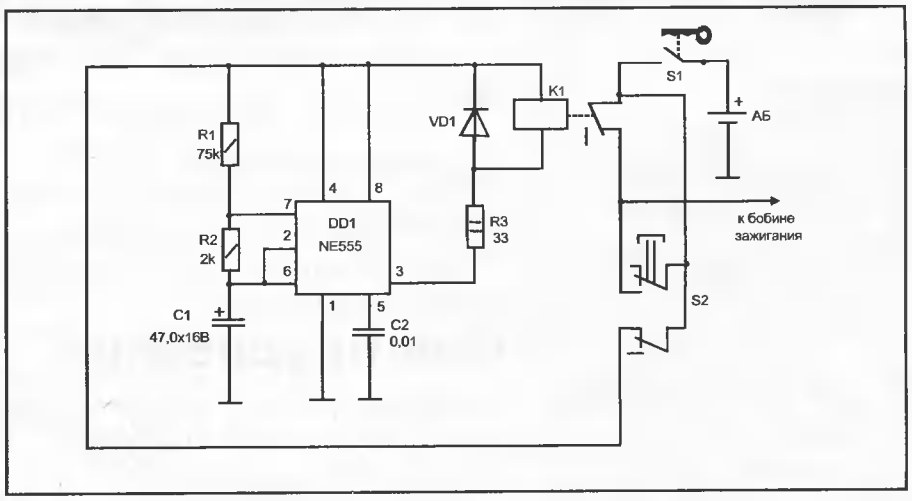


Рис. 1

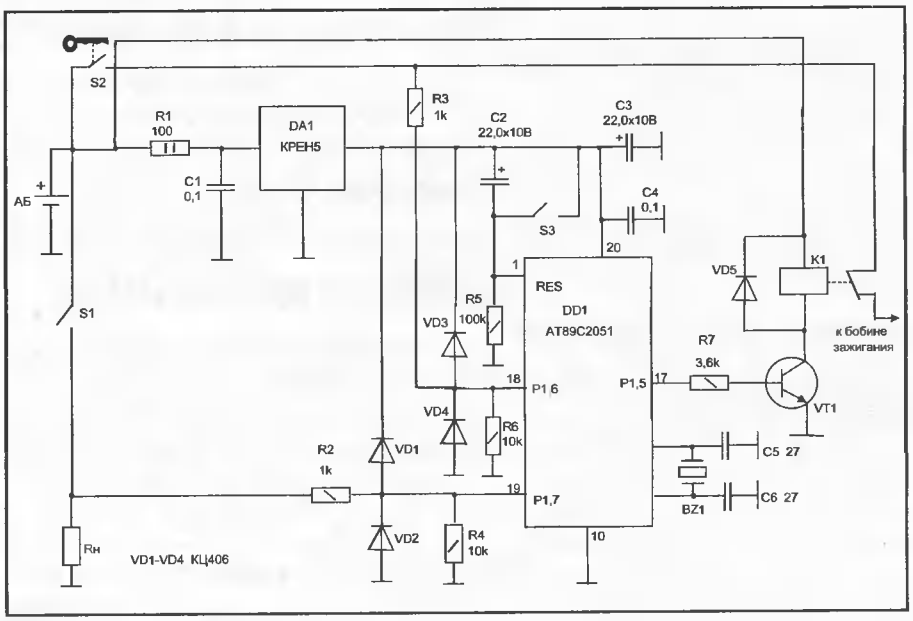


Рис.2

в одном из зарубежных радиолюбительских журналов, изображена на рис. 1. Основу ее составляет широко распространенный таймер NE555 (КР1006ВИ1), включенный по схеме автогенератора. Мощный (до 200 мА) выход его управляет реле К1, нормально замкнутые контакты которого включены в цепь бобины зажигания.

Система включается тумблером S2. Когда режим охраны отключен, одна пара контактов тумблера, включенная параллельно контактам реле, блокирует его. При этом противоугонное устройство никак не влияет на функционирование системы зажигания. Включение охранного режима (контакты S2 в верхнем по схеме положении) разрывает цепь блокирования контактов реле. Если в этом случае ключ зажигания подает напряжение на бобину, то одновременно с этим через нижнюю по схеме группу контактов S2 подается питание на таймер DD1. Как отмечалось, он функционирует в режиме автогенератора, вырабатывая на выходе 3 короткие импульсы длительностью несколько менее 0,5 секунды с периодом повторения около 5 секунд. На время действия импульса срабатывает реле К1, его контакты обесточивают бобину зажигания, и двигатель глохнет. Его можно завести снова, он заведется, но через несколько секунд опять заглохнет. Внешне это выглядит так, как будто бы автомобиль попросту неисправен, и в большинстве случаев этого достаточно, чтобы угонщик оставил его в покое.

Описанное устройство имеет по крайней мере два недостатка. Первый — постоянное время между поворотом ключа зажигания и моментом, когда двигатель глохнет. Если идея данной системы оказалась взломщику знакомой, такое постоянство может подсказать ему, что он имеет дело с подобной системой. Правда, вероятность такого сценария не очень велика, особенно если ваш автомобиль не блещет новизной. Второе — включение/отключение системы производится тумблером. Хозяева автомобиля, естественно, стараются спрятать его в укромное место, чтобы злоумышленник как можно дольше не мог его найти. Но увы. опытный взломщик знает гораздо больше мест, где обычно располагается тумблер отключения системы защиты, чем мы можем придумать. Поэтому этот тумблер часто обнаруживается довольно быстро. В свете сказанного было бы неплохо, чтобы включение/отключение охранной системы осуществлялось штатным выключателем — из тех, которыми включается вентилятор обогрева, ближний свет и т. д. (но при этом спустя несколько секунд после включения, когда противоугонная система отключится, должна быть возможность вернуть этот выключатель в нейтральное положение, поскольку нельзя ездить с постоянно включенными фарами или отопителем). Удовлетворяющая этому требованию схема приведена на рис. 2.

Основой ее является микроконтроллер DD1 (автором использован AT89C2051 фирмы Atmel, хотя в данном случае это непринципиально, можно использовать практически любой другой; идеально было бы применить контроллер, работающий от 12 В напрямую, если такой окажется в вашем распоряжении). Требуемые для DD1 5 В формирует стабилизатор DA1 (КРЕН5А), резистор R1 ограничивает на безопасном для него уровне ток, протекающий через него. Один из выводов контроллера (в данном случае P1.5) сконфигурирован как выход, и он управляет транзистором VT1, в коллекторной цепи которого находится обмотка реле К1, разрывающего цепь зажигания. Выводы P1.6 и P1.7 являются входами, на них поступают ограниченные диодными ограничителями напряжения, возбуждающие бобину зажигания и (в нашем случае) вентилятор отопителя Rн. К аккумуляторной батарее АБ устройство подключено постоянно. Остальные его элементы очевидны и не требуют пояснения.

Работает устройство следующим образом. Как только оно оказывается подключенным к питанию (или нажата кнопка сброса S3), микроконтроллер конфигурирует нужным образом свои выводы P1.5-P1.7 и устанавливает на выходе P1.5 логический 0. Транзистор VT1 закрывается, К1 обесточивается, и через его нормально замкнутые контакты бобина зажигания оказывается подключенной к выводу замка зажигания S2. После этого микроконтроллер начинает постоянно опрашивать состояние входа P1.6 на предмет определения момента включения зажигания. Как только он определил, что ключ зажигания повернут и напряжение подано на бобину, он анализирует уровень сигнала на Rн (точнее, на P1.7). Если на P1.7 в этот момент оказывается 1, микроконтроллер трактует это как подтверждение того, что «противоугонный режим» включать не надо, сохраняет P1.5 в 0 и начинает опрашивать P1.6 с целью определения момента выключения зажигания (т.е. когда на P1.6 устанавливается 0). Вентилятор Rн после этого в любой момент можно выключить — его включение/выключение уже не влияет на работу устройства. Как только DD1 определит, что S2 разомкнулся, цикл повторится.

Если в момент включения S2 на P1.7 окажется 0, DD1 трактует это как несанкционированный запуск двигателя, и спустя некоторое время (от 3 до 12 с, значение выбирается псевдослучайным образом) формирует на P1.5 короткий положительный импульс, открывающий реле и глушащий двигатель. После этого DD1 начинает опрашивать P1.6 с целью определения момента выключения зажигания и как только определит, что S2 разомкнулся, цикл повторится. Алгоритм программы приведен на рис. 3. Ввиду ограниченного объема журнала коды программы здесь не приводятся, и те, кому они необходимы, могут обратиться в редакцию или на сайт журнала (**www.compitech.ru/data/shem/01_00/#1**)

Устройство должно быть выполнено в небольшой коробке и размещено в труднодоступном месте (тем более что в оперативном доступе к нему нет необходимости).

Очевидно, что ресурсов контроллера вполне достаточно, чтобы заставить его еще выполнять и функции охранной сигнализации (естественно, с добавлением некоторых дополнительных аппаратных ресурсов), но об этом — в другой статье.

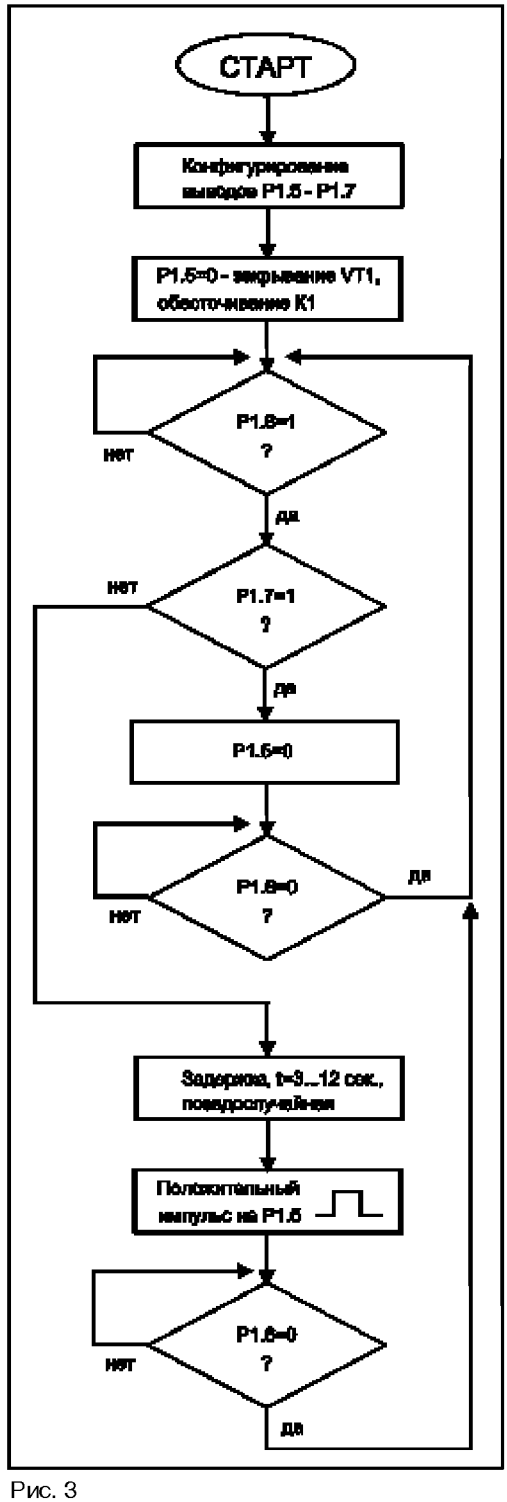


Рис. 3

Владимир Кисилев, Одесса

Автомобильный маршрутный компьютер

В последнее время все большую популярность приобретают соревнования на внедорожных автомобилях. Один из наиболее интересных этапов таких соревнований — ориентирование по легенде. В этих соревнованиях экипажу необходимо пройти с заданным скоростным режимом трассу, описанную легендой. В легенде последовательно прописаны ориентиры (развилки, пересечения дорог, здания) и расстояния между ними. В заранее неизвестных точках на трассе находятся пункты контроля времени, в которых производится проверка времени прохождения трассы и, в случае его отклонения от заданного скоростного режима, начисляется штраф. Для успешных выступлений на таких соревнованиях удобно иметь спидометр, позволяющий измерять расстояния с точностью до 10 метров, с режимом обратного отсчета (на случай, если вы заблудились и вынуждены вернуться), и секундомер, чтобы контролировать среднюю скорость прохождения дистанции.

Ниже предложен простой, но достаточно эффективный вариант подобного прибора. Он обеспечивает следующие функции: подсчет пройденного расстояния от трех различных точек с точностью до 10 метров (старт, последний пункт контроля времени и последняя точка легенды) и подсчет времени движения от двух из них (старт и пункт контроля времени). Предусмотрены режимы «заморозки» показаний, обратного отсчета расстояния, три разных режима индикации данных.

Для подсчета пройденного расстояния используется герконовый датчик Sw1. Датчик устанавливается рядом с карданом, полуосью, ступицей или другой вращающейся частью трансмиссии, на которой закрепляется магнит. Импульсы с датчика поступают через схему подавления дребезга, собранную на таймерах DD1 и DD2, на вход T0 микроконтроллера DD1.

Для перевода числа импульсов в пройденное расстояние необходимо установить параметр калибровки, соответствующий числу импульсов на 10 метров. Этот параметр хранится в двух байтах: Cal_Hi — целое число импульсов на 10 метров и Cal_Lo — дробная часть с точностью до одной сотой (в формате BCD). Для подсчета импульсов используется 8-битный счетчик Timer/Counter0 и дополнительный регистр Dst_Counter. Счетчик запрограммирован на подсчет импульсов со входа T0 и генерацию прерывания по переполнению. В начальный момент времени значение счетчика инициализируется числом 256-cal_hi, а значение Dst_Counter — нулем. Таким образом, первое прерывание от счетчика произойдет после поступления числа импульсов, равного целой части числа импульсов на 10 метров. При обработке прерывания регистр Dst_Counter увеличивается на значение Cal_Lo. Если при этом происходит переполнение, то в качестве очередного значения для инициализации счетчика используется не 256-Cal_Hi, а 256-Cal_Hi-1. Это приводит к тому, что до следующего прерывания от счетчика поступит на один импульс больше. Этот алгоритм позволяет учитывать и корректировать накапливающуюся погрешность при вычислении расстояния. Процедура обработки прерывания от счетчика также увеличивает или уменьшает (в зависимости от режима) счетчики расстояний на единицу.

Для подсчета времени используется деление частоты тактового генератора процессора (6МГц). Подсчет импульсов осуществляет 32-битный Timer/-Counter2. Он настроен на подсчет импульсов, поступающих с тактового генератора через пределитель на 64. Таким образом на вход таймера подается частота 93750 Hz. Начальное значение таймера устанавливается равным 0xDB61 (0xDB61 = 65536 — 9375), что обеспечивает генерацию прерываний переполнения с частотой 10 Гц. Во время обработки прерывания инкрементируется счетчик Timer_Counter, и его значение сравнивается с константой Timer_Limit. При достижении значения Timer_Limit переменная Timer_Counter обнуляется и увеличиваются значения счетчиков времени. Константа Timer_Limit устанавливается равной 6. что обеспечивает увеличение счетчиков времени каждые 0,6 с или 0,01 мин. Таким образом, прибор отображает время в сотых долях минуты, что облегчает вычисление средней скорости. Если необходимо подсчитывать время в секундах, то нужно поменять значение Timer_Limit на 10 и скорректировать процедуру увеличения счетчика времени так, чтобы увеличение счетчика минут происходило при достижении счетчиком секунд значения 60, а не 100.

Индикация пройденного расстояния и времени осуществляется восемью 7-сегментными светодиодными индикаторами с общим анодом, сгруппированными в две группы по 4 цифры. В зависимости от режима работы каждая из этих групп отображает один из измеряемых параметров в соответствии с табл. 1.

Вывод значений на индикаторы производится с использованием динамической индикации, так что в каждый момент времени отображаются по две цифры. При этом на базу одного из транзисторов VT1,...,VT4 подается отрицательный импульс, чем обеспечивается выбор одной из групп цифр, а на выходах портов A и C устанавливаются уровни, обеспечивающие загорание соответствующих сегментов.

Для индикации текущего режима работы устройства используются 5 светодиодов HL1,...,HL5. Процедура отображения информации последовательно выводит информацию на 7-сегментные индикаторы и эту группу светодиодов. Так как время включения каждого индикатора в таком режиме мало, рекомендуется использовать светодиодные индикаторы большой яркости зарубежного производства, например Kingbright DA56-11SRWA.

После каждого цикла вывода информации опрашивается состояние кнопок SW2,...,SW8. Если состояние оказывается постоянным в течение пяти опросов (подавление дребезга), то производится действие, соответствующее нажатым кнопкам. Функции кнопок приведены в табл. 2.

Для питания устройства можно использовать три батарейки AA или стабилизированное напряжение бортовой сети. Схема стабилизатора на базе интегрального стабилизатора 7805 показана на рис. 2.

Для установки устройства на автомобиль нужно выбрать место, которое позволяло бы установить магнит на какой-либо вращающейся части трансмиссии, и разместить рядом с ним герконовый датчик. После установки следует убедиться, что датчик реагирует на прохождение магнита и при этом никакие детали автомобиля при движении не будут задевать датчик или магнит. Если предполагается эксплуатировать машину в условиях бездорожья, то следует позаботиться о том, чтобы место установки датчика было защищено от возможных ударов различными предметами со стороны дороги.

После установки датчика прибор необходимо откалибровать, для чего нужно определить число импульсов на один километр. Для этого сначала значения калибровки нужно установить следующим образом: Cal_Hi = 1, Cal_Lo = 0. Это обеспечит увеличение счетчика расстояния после каждого импульса от датчика. С этими значениями калибровки необходимо проехать участок, выбранный в качестве мерного километра, и запом-

Таблица 1

	Режим 1 Общее время гонки	**Режим 2** Время от последней точки проверки	**Режим 3** Время от последней точки проверки
Число 1			
Число 2	Расстояние от старта	Расстояние от последней точки проверки	Расстояние на последнем интервале легенды

Табпица 2

Кнопка	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6	SW7	SW8
Функция	Переключает режим прямого/обратного отсчета расстояния	Включает/ выключает режим заморозки показаний	Включает 1-й режим индикации, выключает режим заморозки показаний	Включает 2-й режим индикации, выключает режим заморозки показаний	Включает 3-й режим индикации, выключает режим заморозки показаний	Сбрасывает счетчик интервала расстояния по легенде	В 1-м режиме индикации сбрасывает все счетчики расстояния и времени. В других режимах сбрасывает счетчики расстояния и времени от точки проверки времени и счетчик интервала по легенде

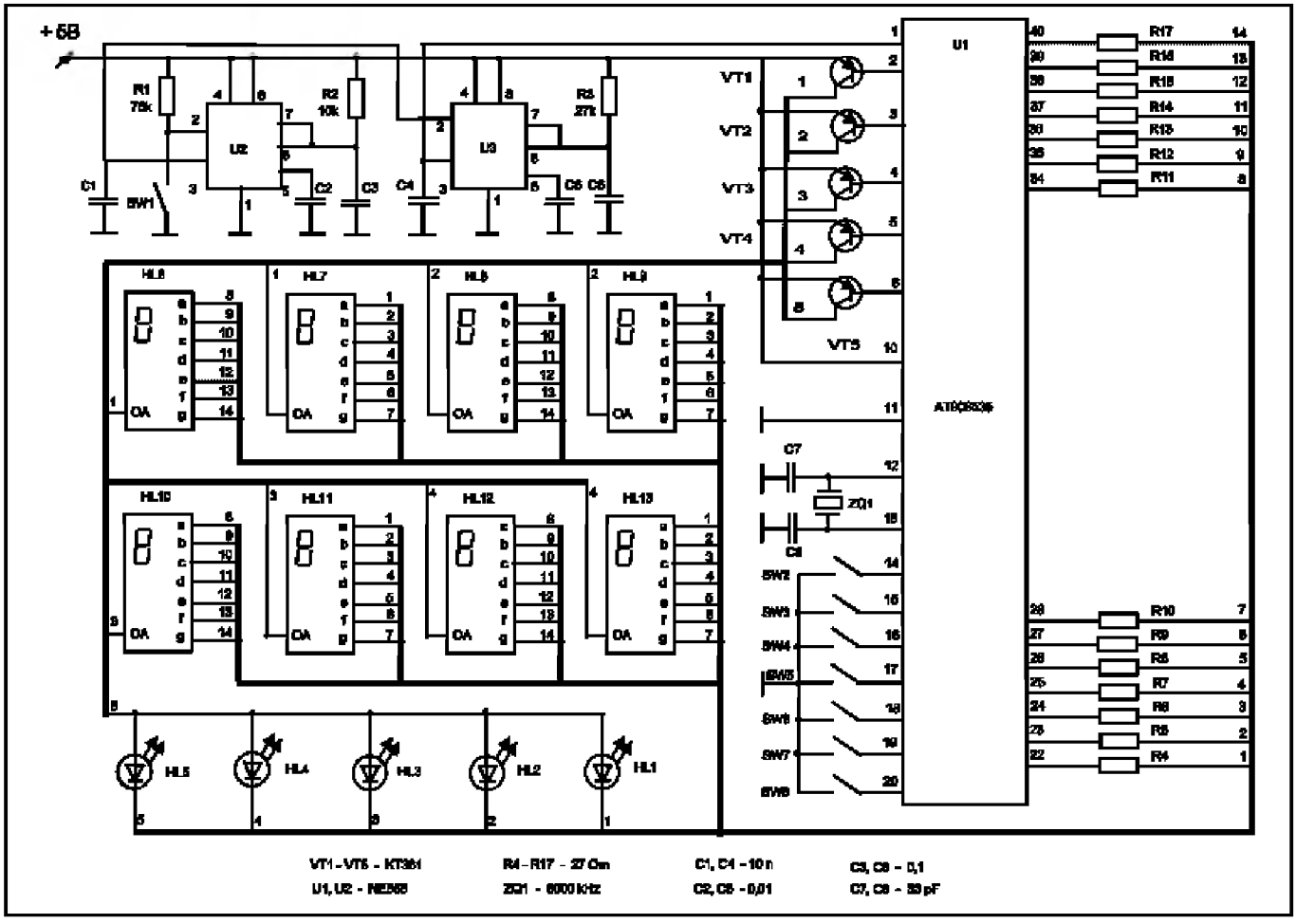


Рис. 1

нить полученное число. Для увеличения точности рекомендуется проехать по этому участку несколько раз и усреднить полученные значения. Затем значение константы Cal_Hi нужно установить равным двум старшим разрядам полученного числа, а Cal_Lo — двум младшим (при этом необходимо помнить, что значение в Cal_Lo храниться в двоично-десятичной системе, Cal_Hi — в двоичной). Программа прошивки микроконтроллера размещена по адресу **www.compitech.ru/data/shem/01_00/#2**.

Устройство было впервые опробовано на соревнованиях «Весенняя распутица», проведенных Тверским джип-клубом «Лебедушка» 21-23 апреля 2000 года в окрестностях г. Твери. Применение данного устройства сыграло большую роль в том, что автору, впервые участвовавшему в подобных соревнованиях, удалось сразу занять 8-е место на этапе «ночное ориентирование», пропустив вперед только более опытные московские экипажи. Дальнейшая эксплуатация устройства на тренировках и соревнованиях джип-клуба «Лебедушка» подтвердила эффективность его использования.

После минимальных изменений в программе возможно «мирное» применение подобного устройства как электронного таймера/одометра с несколькими независимыми счетчиками расстояния и времени (например, общий пробег за поездку, пробег от заправки, пробег от последнего поворота).

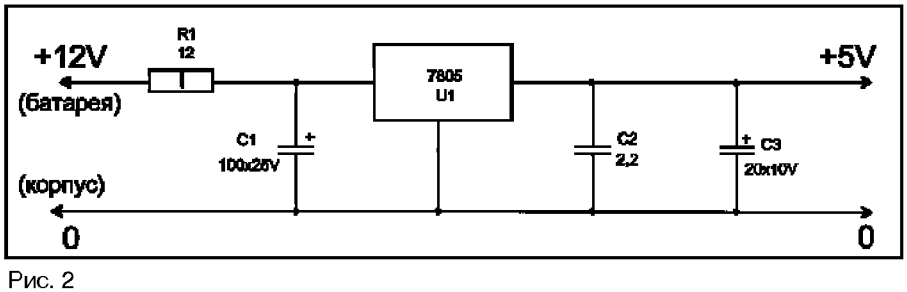


Рис. 2

Сергей Сорокин, Тверь

Предварительный усилитель с микроконтроллерной системой управления

Наверное, не нужно доказывать, что усилитель является центральным компонентом звуковоспроизводящего комплекса. Его параметры оказывают влияние на качество звучания комплекса в целом, причем не важно, какой источник сигнала при этом используется: почти забытый проигрыватель виниловых дисков или катушечный магнитофон, кассетная дека или CD-плейр. В любом случае усилитель является частью звуковоспроизводящего тракта. Поэтому очень важно, чтобы он был достаточно качественным и не являлся ограничивающим фактором в достижении хорошего звучания комплекса.

В последнее время миниатюризация коснулась практически всех составляющих такого комплекса. Получили широкое распространение миди- и мин-исистемы. Теоретически уменьшение объема лазерного проигрывателя, кассетной деки или тюнера непосредственно на качество звучания повлиять не может. Действительно, предпосылками миниатюризации стало появление миниатюрных компонентов, поверхностного монтажа. Все большая степень интеграции микросхем и достижения схемотехники позволяют сейчас реализовать на одной микросхеме целый узел, который раньше содержал десятки, а то и сотни элементов. Если открыть верхнюю крышку полноразмерной (с шириной передней панели около 42 см) кассетной деки или лазерного проигрывателя, то можно увидеть, что порядка семидесяти процентов внутреннего объема пустует. Поэтому вполне логично, что эти аппараты все чаще стали делать в корпусах миди- и мини-типоразмера. Однако миниатюризация не может пройти безболезненно для таких компонентов, как акустические системы и усилители. Параметры акустических систем находятся в прямой зависимости от геометрических размеров. Усилитель же представляет собой мощное устройство, которое слабо поддается миниатюризации: он должен иметь силовой трансформатор значительных размеров, большие электролитические конденсаторы, массивные радиаторы для охлаждения выходных транзисторов. Владельцы миди- и мини-систем проигрывают в качестве звучания в основном из-за плохих усилителей и акустических систем.

Современный усилитель несет в себе довольно много функций. Часто он является коммутационным центром, позволяющим выбирать источник сигнала. Система коммутации усилителя позволяет записывать сигнал на деку с одного источника, а прослушивать при этом сигнал с другого. Иногда усилитель позволяет коммутировать несколько акустических систем, которые находятся, например, в разных помещениях. Кроме того, он позволяет производить различные оперативные регулировки. Регулятор громкости (пожалуй, наиболее часто используемый орган управления во всем звуковоспроизводящем комплексе) тоже находится в усилителе. Из-за обилия функций управления, возложенных на усилитель, становится очень важным вопрос удобства эксплуатации. Давно прошли те времена, когда регулировки можно было производить только с передней панели аппарата. Сейчас практически вся звуковоспроизводящая аппаратура имеет дистанционное управление. Такой аппарат, как правило, работает под управлением встроенного микроконтроллера, на который, помимо функции декодирования сигналов дистанционного управления, возложено еще много других «обязанностей», что делает общение с аппаратом более комфортным для пользователя. Иногда можно услышать мнение, что дистанционное управление вместе с другими цифровыми схемами управления и индикации неуместно в высококачественном усилителе ввиду трудноустранимых помех. На самом деле это не так. Грамотное конструирование позволяет свести уровень помех от встроенной цифровой схемы управления до значения, лежащего ниже уровня собственных шумов аналогового тракта. Опыт показывает, что с помехами со стороны процессора не возникает никаких проблем даже в кассетной деке, где с микропроцессором соседствует усилитель воспроизведения, имеющий высокую чувствительность. Гораздо больше проблем в таком случае возникает, например, с

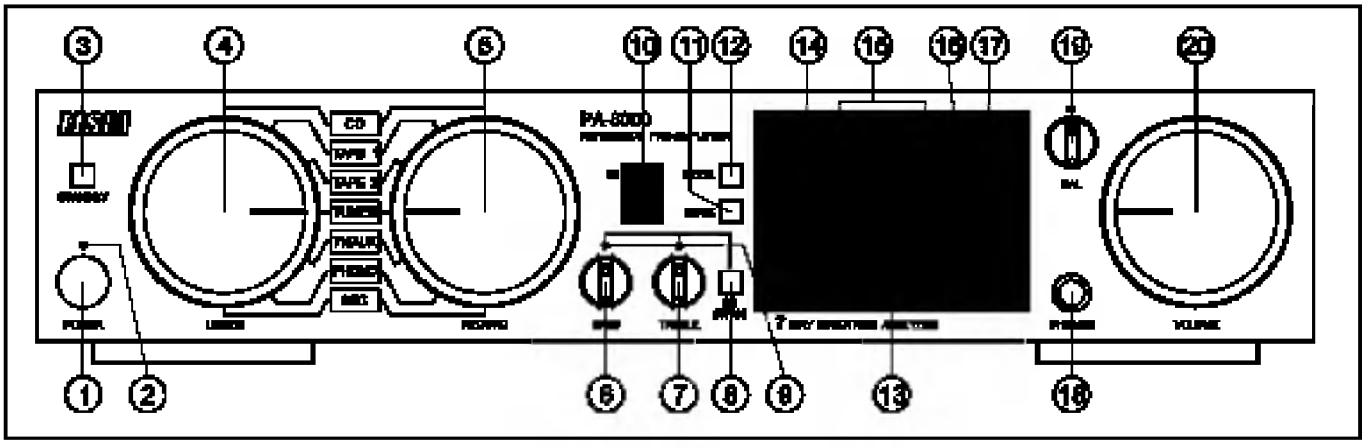


Рис. 1. Передняя панель усилителя

1- Кнопка полного отключения питания
2- Индикатор включения дежурного питания
3- Кнопка включения дежурного режима
4- Селектор входов для прослушивания (электропривод)
5- Селектор входов для перезаписи
6- Регулятор тембра низших частот
7- Регулятор тембра высших частот
8- Кнопка отключения регуляторов тембра
9- Индикаторы отключения регуляторов тембра
10- Приемник дистанционного управления
11- Кнопка включения режима «MUTE»
12- Кнопка переключения стереорежимов
13- 7-полосный спектроанализатор
14- Индикатор режима «MUTE»
15- Индикаторы стереорежимов
16- Индикатор «SWAP»
17- Индикатор включения входа «DAT»
18- Гнездо стереотелефонов
19- Регулятор стереобаланса
20- регулятор громкости (электропривод)

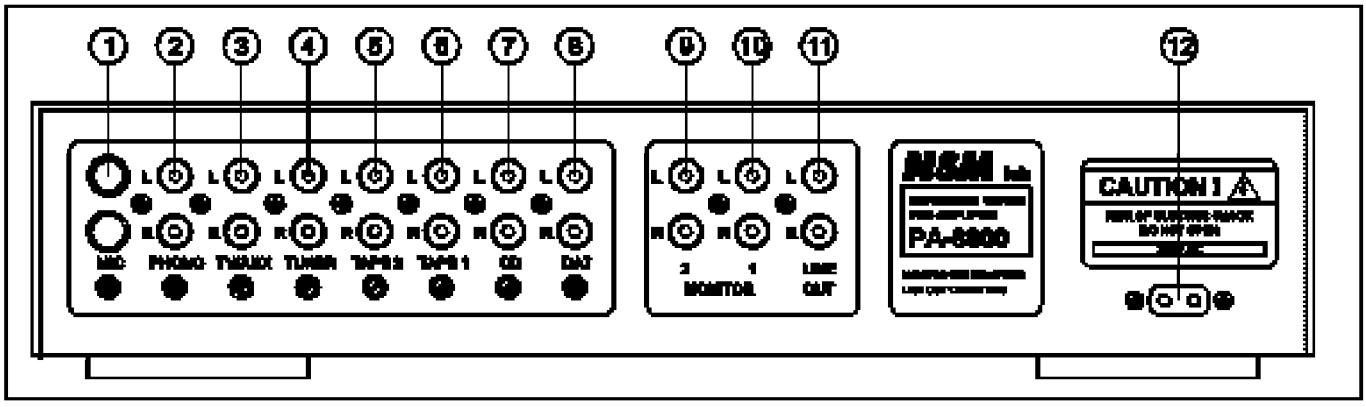


Рис. 2. Задняя панель усилителя

1- Вход микрофона с регулятором чувствительности
2- Вход магнитного звукоснимателя (MM) с регулятором чувствительности
3- Вход TV/дополнительный с регулятором чувствительности
4- Вход тюнера с регулятором чувствительности
5- Вход деки 2 с регулятором чувствительности
6- Вход деки 1 с регулятором чувствительности
7- Вход проигрывателя компакт-дисков с регулятором чувствительности
8- Вход цифрового магнитофона с регулятором чувствительности
9- Выход для перезаписи на деку 2
10- Выход для перезаписи на деку 1
11- Выход на усилитель мощности
12- Разъем сетевого питания

наводками со стороны силового трансформатора блока питания на магнитную головку. Сказанное выше не означает, что помехи отсутствуют в любом случае. В случае неграмотного конструирования можно получить в аппарате весьма сложную обстановку в плане помех, устранить которые будет очень трудно. Нежелательным с этой точки зрения является, например, применение в светодиодном дисплее динамической индикации.

Высококачественные усилители часто делают двухблочными. Для этого есть все основания. Усилитель разбивают на предварительный усилитель и усилитель мощности. Предварительный усилитель несет на себе все функции управления, а усилитель мощности таковых не имеет и порой содержит одну лишь кнопку включения питания. У этих усилителей очень мало общего. Даже блоки питания желательно использовать раздельные, чтобы исключить взаимное влияние входных и мощных каскадов. Для того чтобы объединить эти блоки в одном корпусе, не ухудшив технических характеристик, необходимо преодолеть существенные технические трудности. Например, большое количество разъемов на задней панели затрудняет установку там радиаторов. Немаловажен и вопрос электромагнитной совместимости. Дело в том, что выходной ток усилителя мощности достигает десятков ампер, что вынуждает очень тщательно делать разводку общего провода и цепей питания, так как падение напряжения в них может оказаться приложенным к входу усилителя и станет причиной повышенного коэффициента гармоник. Конструктивно сложно в одном корпусе разместить большие мощные платы и большое количество слабосигнальных схем. Их желательно разделить экраном, а это не что иное, как практически два раздельных корпуса. Преимуществом двухблочного усилителя является также гибкость в выборе компонентов. Например, имеется предварительный усилитель с достаточным набором сервисных функций. Для того чтобы увеличить мощность усилителя, достаточно заменить один блок — усилитель мощности. И наоборот, если имеется хороший усилитель мощности, то можно заменить только предварительный усилитель.

Вообще говоря, усилитель мощности можно использовать и без предварительного усилителя, если цель — максимально укоротить сигнальный тракт. Для этого можно подключить вход усилителя мощности (через переменный резистор в качестве регулятора громкости) к выходу лазерного проигрывателя. При этом будет обеспечена максимально линейная АЧХ при минимальных искажениях.

Предварительный усилитель можно использовать и «в одиночку». Обычно он имеет выход для подключения стереотелефонов. Нужно отметить, что даже у довольно дорогих аппаратов (лазерный проигрыватель, кассетная дека) хоть и имеется гнездо для подключения стереотелефонов, встроенный телефонный усилитель часто бывает очень низкого качества. Это проявляется в повышенном уровне шумов, сравнительно высоком коэффициенте гармоник, который резко растет при повышении уровня сигнала. Качество звучания можно сильно улучшить, используя предварительный усилитель в качестве телефонного. Более того, при этом доступны регулировки тембра и коммутация, так что при переходе от источника к источнику не потребуется переставлять штекер.

Вашему вниманию предлагается предварительный усилитель с микроконтроллерной системой управления, который получил название PA-8000. В данной статье основное внимание уделяется не отдельным частям сигнального тракта усилителя, как это делается обычно, а усилителю как законченному устройству. Основное внимание уделено системе управления, пользовательским функциям, дизайну. В то же время отдельные узлы усилителей, такие как предусилитель-корректор, регулятор громкости и тембра, были неоднократно описаны в литературе, и не составляет труда в предлагаемом усилителе заменить аналоговую электронику на какой-либо другой вариант. В данной конструкции схема предусилителя-корректора и микрофонного усилителя заимствована из [1], схема регулятора тембра и буферных каскадов — из [2]. Поскольку параметры звукового тракта практически полностью определены этими узлами, в данной статье они не приводятся.

Усилитель выполнен в корпусе формата MIDI. Передняя панель усилителя изображена на рис. 1.

После знакомства с внешним видом аппарата можно перейти к реализованному в нем набору пользовательских функций.

PA-8000 имеет два селектора входов. Один селектор используется для выбора источника для прослушивания (Listen), а другой — для выбора источника для записи (Record). Схема коммутации устроена таким образом, что входное сопротивление не зависит от того, выбран ли данный вход для прослушивания, записи или для того и другого сразу. Управление селектором входов осуществляется с помощью двух переключателей.

В качестве коммутационных элементов использованы электромагнитные реле, что обеспечивает очень низкое проникновение сигнала с отключенного источника и низкие искажения.

Контакты переключателей не используются для непосредственного управления реле. Положение переключателей считывается микропроцессором и выполняется программная операция переключения. Переключение входов происходит в следующей последовательности: включается режим «Mute», отключается текущий вход, подключается новый вход, отключается режим «Mute». Такая последовательность предотвращает щелчки при переключении. Включение входа происходит только в том случае, если переключатель остается в одном и том же положении некоторое время. Это предотвращает включение промежуточных входов в процессе переключения.

PA-8000 имеет восемь входов:

- Mic — микрофонный вход, имеющий встроенный предусилитель с чувствительностью 1мВ;
- Phono — вход магнитного звукоснимателя с подвижным магнитом (MM);
- TV/Aux — вход TV-тюнера или дополнительный;
- Tuner — вход тюнера;
- Tape 1 — вход деки 1;
- Tape 2 — вход деки 2;

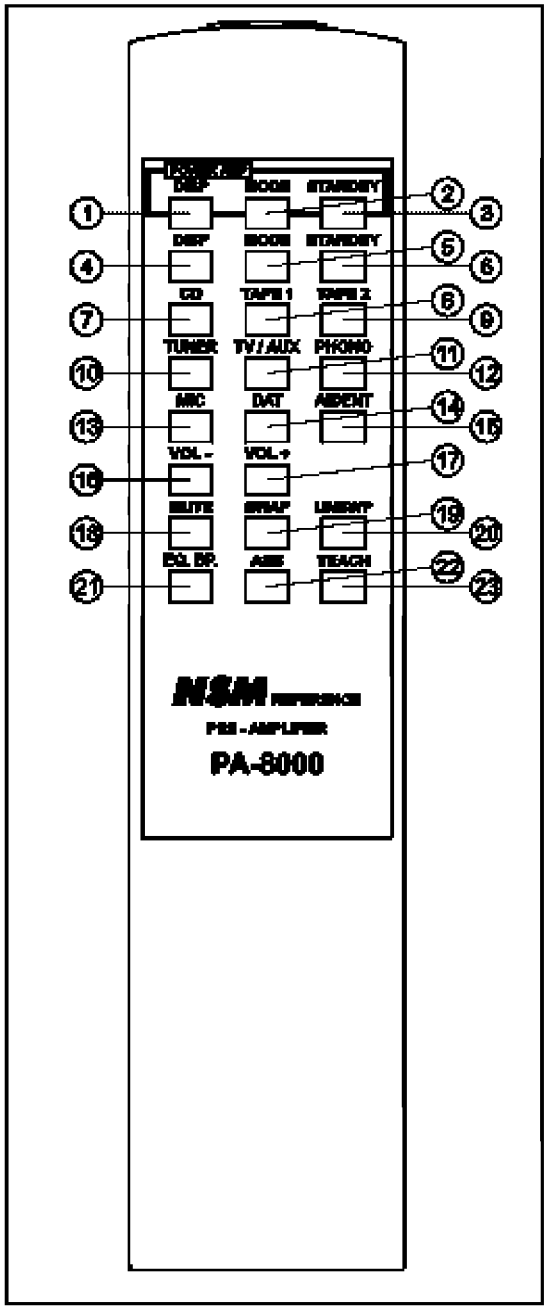


Рис. 3. Пульт управления

1,2,3- Кнопки управления усилителем мощности
4- Кнопка отключения дисплея
5- Кнопка переключения стереорежимов «Stereo», «Rev. stereo», «Mono L», «Mono R», «Mono L+R»
6- Кнопка включения дежурного режима
7- Кнопка выбора входа проигрывателя компакт-дисков
8- Кнопка выбора входа деки 1
9- Кнопка выбора входа деки 2
10- Кнопка выбора входа тюнера
11- Кнопка выбора входа TV/дополнительный
12- Кнопка выбора входа магнитного звукоснимателя
13- Кнопка выбора входа микрофона
14- Кнопка выбора входа цифрового магнитофона
15- Кнопка автоматического поиска входа, на котором присутствует сигнал
16- Кнопка уменьшения уровня громкости
17- Кнопка увеличения уровня громкости
18- Кнопка включения режима «Mute»
19- Кнопка включения режима свопирования входов
20- Кнопка восстановления прежнего порядка входов
21- Кнопка выключения регуляторов тембра
22- Кнопка включения/выключения режима автоматического перехода в дежурный режим (Auto Standby). Включение сопровождается одним звуковым сигналом, выключение — двумя
23- Кнопка включения режима обучения командам дистанционного управления другой аппаратуры. Программно эта функция пока не поддерживается

- CD — вход проигрывателя компакт-дисков;
- DAT — вход цифрового магнитофона.

Входные разъемы расположены на задней панели усилителя (рис. 2).

Переключатель «Listen» оборудован электродвигателем, что позволяет управлять им с пульта дистанционного управления (рис. 3).

Пульт содержит кнопки, с помощью которых возможен прямой выбор любого входа для прослушивания. При этом переключатель устанавливается электродвигателем в соответствующее положение. На пульте дистанционного управления имеется восемь кнопок, в то время как переключатель входов на передней панели имеет семь положений. Поэтому вход «DAT» можно включить только с пульта. Выбор источников для записи используется сравнительно редко, поэтому пульт дистанционного управления такой функции не имеет.

Для удобства подключения источников логическая связь между входными разъемами и положениями переключателей не является жесткой. Любому положению переключателя можно поставить в соответствие любой вход. Конфигурация сохраняется в энергонезависимой памяти. Надписи у разъемов и у переключателей соответствуют конфигурации «по умолчанию». Благодаря технологии свопирования можно производить подключение источников к входным разъемам в любом порядке (исключение составляют лишь входы с предусилителями: Mic и Phono). Затем можно задать необходимое соответствие. Для этого нужно:

1. Включить один из источников сигнала (например, CD).
2. Переключая входы, «найти» сигнал источника.
3. Нажать кнопку «Swap» на пульте, при этом на дисплее начнет мигать надпись «Swap».
4. Включить вход, который должен соответствовать данному источнику (например, CD). При этом надпись «Swap» начинает гореть постоянно, индицируя, что данный вход и вход, на котором был первоначально обнаружен сигнал, поменялись местами. Новая конфигурация сразу запоминается в энергонезависимой памяти.

Конфигурацию «по умолчанию» можно восстановить нажатием кнопки «UnSwap».

PA-8000 имеет функцию автоматического поиска входного сигнала. Эта функция позволяет автоматически найти и включить вход, на который поступает сигнал источника. Включить ее можно нажатием кнопки «AIdent» на пульте. При этом усилитель начинает последовательно переключать входы, пока сигнал не будет обнаружен. После этого найденный вход остается включенным. Если сигнала нет ни на одном из входов, усилитель осуществляет 10 циклов сканирования и поиск прекращается.

Предварительные усилители обычно имеют специальный выход, сигнал с которого используется для записи на магнитофонную деку. Такой выход обычно называют мониторным. PA-8000 имеет два мониторных выхода, сигнал с которых может быть подан на две деки для записи. При попытке записи с деки на ту же деку соответствующий мониторный выход автоматически отключается. Иначе у усилителя деки окажутся замкнутыми вход и выход и возможно его самовозбуждение. Номинальный уровень сигнала на мониторных выходах равен 775 мВ. Режим «Mute» на мониторные выходы не действует. Часто в предварительных усилителях имеется кнопка «контроль сквозного канала», которая включает сигнал с выхода сквозного канала деки. Поскольку PA-8000 имеет раздельные селекторы входов, контроль сквозного канала производится с помощью переключателя «Listen» той деки, на которую ведется запись.

В высококачественных предварительных усилителях регулятор тембра часто делают отключаемым. PA-8000 имеет отключаемый двухполосный регулятор тембра с глубиной регулировки ±10дБ. Такая глубина регулировки является вполне достаточной. Включение/отключение регулятора производится с помощью кнопки «Eq.Bp», которая есть как на пульте, так и на передней панели. При отключении регулятора загораются два светодиода в середине шкал регуляторов, символизируя линейную АЧХ. Состояние выключателя регулятора запоминается в энергонезависимой памяти и восстанавливается при включении усилителя.

Спектроанализатор не является необходимой частью усилителя. Более того, большое число пользователей являются его противниками. PA-8000 имеет встроенный 7-полосный спектроанализатор. Однако при желании его можно выключить с помощью кнопки «Disp» на пульте. Спектр отображается на дисплее с помощью светодиодных линеек, каждая из которых состоит из девяти светодиодов. Для исключения помех на аналоговые цепи со стороны индикации динамическая индикация не используется. Центральные частоты полос спектроанализатора отображаются внизу дисплея. Регулятор тембра влияет на показания спектроанализатора.

Очень важным при прослушивании стереопрограмм является соблюдение правильности подключения стереоканалов. Когда входы подключаются с помощью разъемов типа RCA, очень легко перепутать стереоканалы. Чтобы не создавать неудобств в этом случае, усилитель должен иметь возможность менять стереоканалы местами. Кроме того, иногда усилителю приходится работать от монофонического источника сигна-

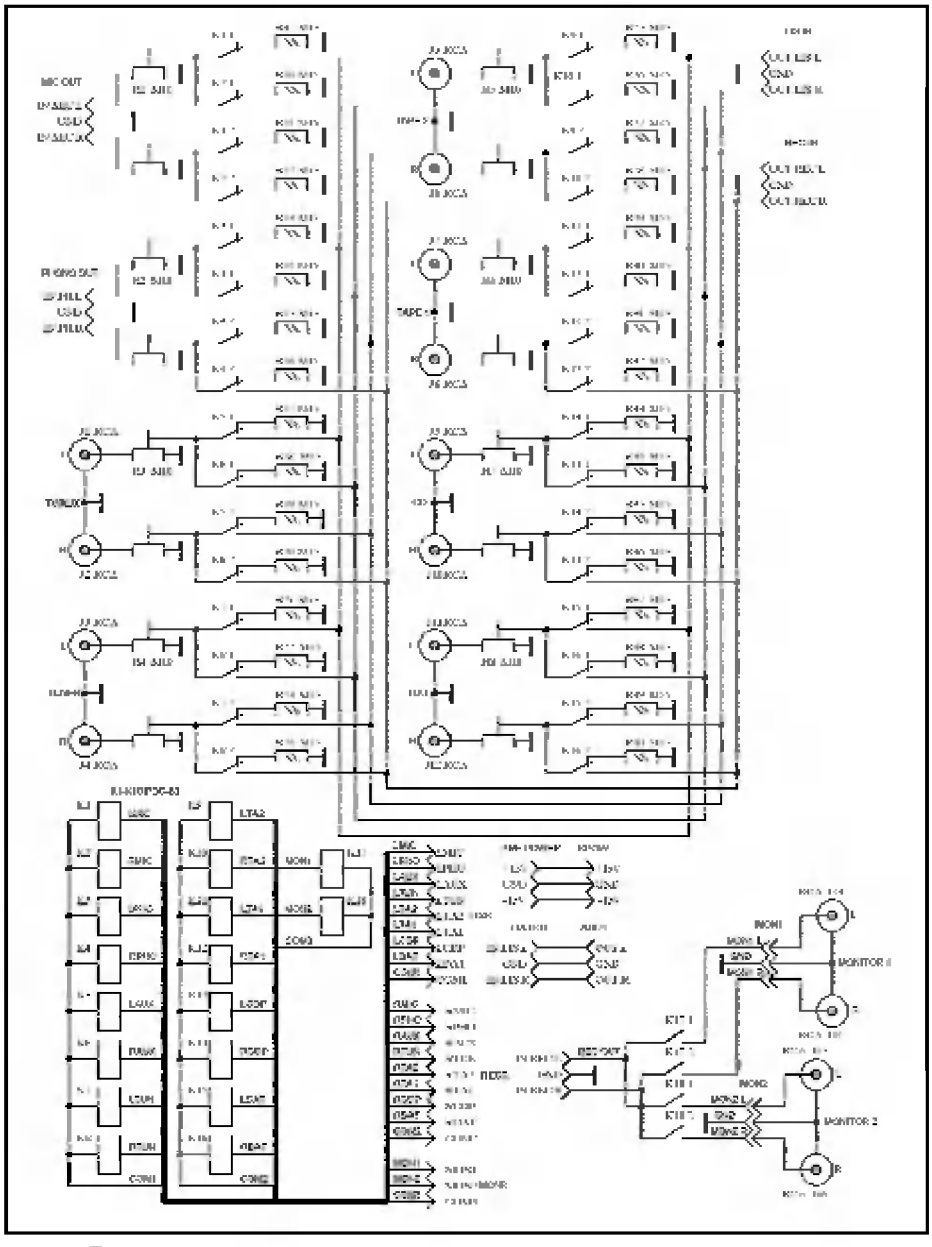


Рис. 4. Блок коммутации

ла (например, телевизор, диктофон, магнитофон плюс раритетные монофонические записи и т. д.). Поэтому необходимо наличие возможности распределения монофонического источника на два канала.

PA-8000 имеет исключительно гибкую систему коммутации стереоканалов. Он может работать в пяти различных режимах:

1. Обычное стерео. На дисплее этот режим не индицируется.
2. Reverse — каналы меняются местами. На дисплее горит «Rev».
3. Mono L — сигнал левого канала поступает на два стереоканала. На дисплее горит «Mono L».
4. Mono R — сигнал правого канала поступает на два стереоканала. На дисплее горит «Mono R».
5. Mono L+R — сигналы правого и левого каналов суммируются. На дисплее горит «Mono L R».

Переключение режимов производится с помощью кнопки «Mode», которая есть как на пульте, так и на передней панели. Состояние переключателя запоминается в энергонезависимой памяти и восстанавливается при включении усилителя.

Часто требуется оперативно на некоторое время приглушить звучание усилителя. Пользоваться в таких ситуациях регулятором громкости неудобно. Поэтому для этой цели обычно вводят специальный режим «Mute». Этот режим работает в разных аппаратах по-разному: иногда это полное выключение звука, а иногда только приглушение, чаще всего, на 20 dB. В PA-8000 режим «Mute» сделан двухступенчатым. Управление режимом «Mute» осуществляют с помощью кнопки «Mute», которая есть как на пульте дистанционного управления, так и на передней панели. Одно нажатие на кнопку вызывает уменьшение громкости на 20 дБ. При этом на дисплее начинает мигать надпись «Mute». Двойное нажатие отключает звук полностью, на дисплее при этом надпись «Mute» горит постоянно. При включении и выключении усилителя режим «Mute» включается автоматически, что предотвращает щелчки, вызванные переходными процессами. Режим «Mute» включается также в момент переключения входов.

Наличие режима «Standby» стало стандартным во всей современной аппаратуре. Удобство этого режима заключается в том, что включение и выключение аппаратуры можно производить с пульта дистанционного управления. Потребляемая мощность в режиме «Standby» настолько мала, что полным отключением аппаратуры от сети можно и не пользоваться. В некоторых современных зарубежных аппаратах такой выключатель попросту отсутствует. Естественно, режим «Standby» есть и у PA-8000. В этом режиме питание подается только на микропроцессор. При этом энергопотребление усилителя резко снижено, и усилитель может находиться в этом режиме сколь угодно долго. Перевести усилитель в этот режим можно нажатием кнопки «Standby» на пульте или на передней панели. Снова включить усилитель можно еще одним нажатием кнопки «Standby» или нажатием любой другой кнопки управления. В режиме «Standby» дисплей выключается и горит только светодиод «Power».

PA-8000 имеет режим автоматического отключения в случае, если входной сигнал отсутствует более пяти минут и в это время не используются никакие кнопки управления. При автоматическом отключении усилитель переходит в режим «Standby». Функцию автоматического отключения можно выключить с помощью кнопки «ASB» («Auto Standby») на пульте. При выключении функции раздаются два звуковых сигнала, а при включении — один. Состояние функции запоминается в энергонезависимой памяти.

Закончив рассмотрение сервисных функций, коснемся немного общей концепции построения сигнального тракта усилителя.

В высококачественных предварительных усилителях зарубежного производства часто можно встретить операционные усилители, собранные на дискретных элементах. Основная причина их применения — более широкий динамический диапазон по сравнению с интегральными ОУ. Сверху динамический диапазон обычно ограничен напряжением питания, снизу — шумами. Современные интегральные ОУ достаточно малошумящие, и при питании ±15 В можно получить достаточный динамический диапазон, если правильно распределить усиление между каскадами. Поэтому при современном уровне развития интегральных ОУ применение усилителей на дискретных элементах вряд ли оправдано.

Очень важный вопрос для достижения максимально возможного динамического диапазона — это распределение усиления между каскадами. С одной стороны, номинальный сигнал в тракте усилителя должен быть как можно ниже для получения хорошей перегрузочной способности, с другой стороны — как можно выше для достижения максимального отношения сигнал — шум. Несмотря на то что в каскадах предварительного усилителя сигнал испытывает постепенное усиление, при не-

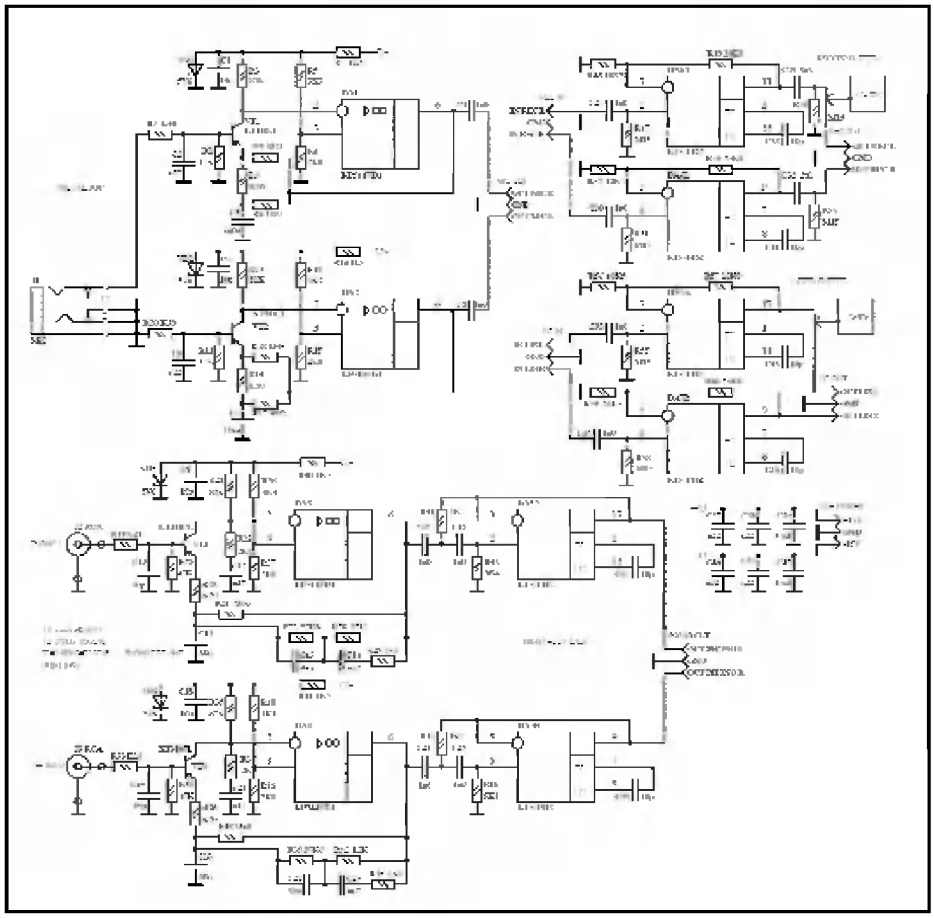


Рис. 5. Блок предусилителей

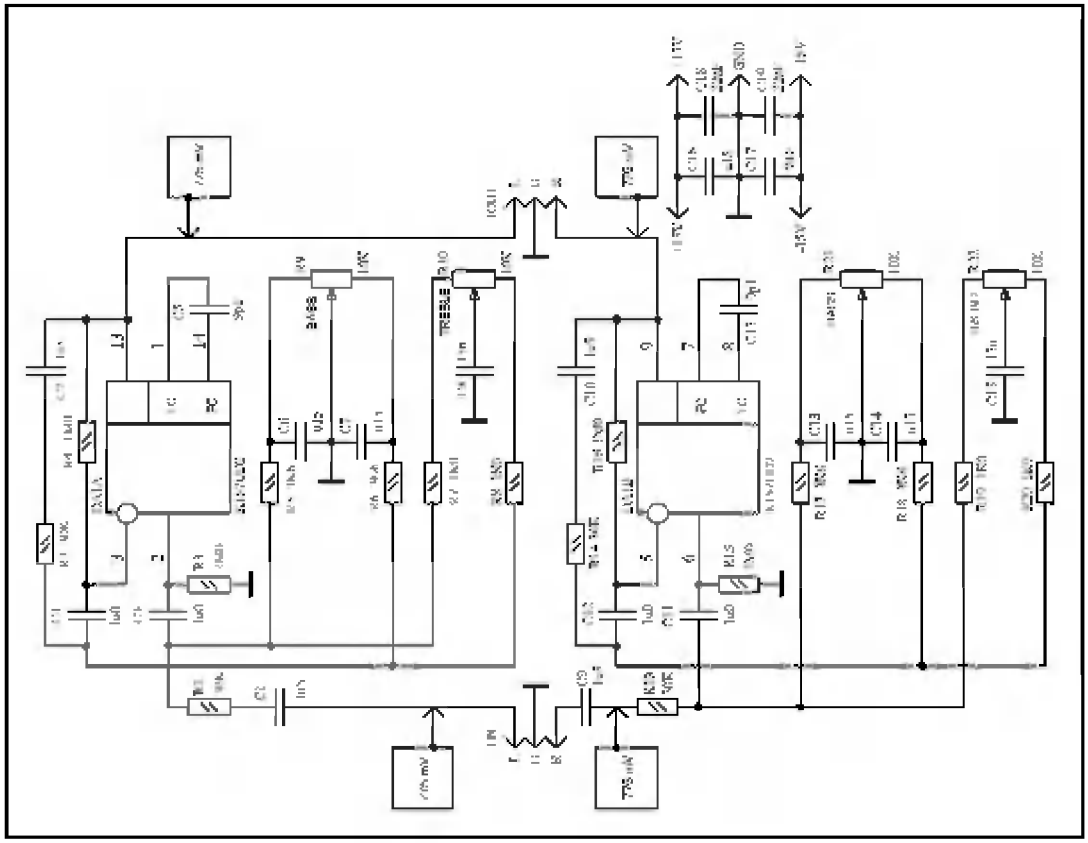


Рис. 6. Блок регуляторов тембра

правильном конструировании усилителя может перегрузиться не выходной каскад, а входной или какой-либо промежуточный. Предпосылка для этого — наличие регулятора громкости в цепи сигнала. Действительно, если на вход усилителя подать слишком сильный сигнал, то, установив регулятор громкости в положение вблизи минимума, можно получить на выходе номинальный сигнал. Но каскады усиления, установленные перед регулятором громкости будут перегружены. В высококачественных предварительных усилителях иностранного производства встречаются различные схемотехнические решения. Например, в предварительном усилителе CX-1 фирмы «Yamaha» в качестве регулятора громкости применен счетверенный блок переменных резисторов. Это сделано для того, чтобы равномернее распределить ослабление сигнала регулятором между каскадами усилителя. В некоторых усилителях фирмы «Marantz» дополнительные секции регулятора громкости включены в цепь обратной связи первого каскада.

Одной из серьезных проблем, которая мешает оптимальному построению усилителя, является большое разнообразие выходных уровней сигналов разных источников. Раньше для бытовой аппаратуры номинальным уровнем сигнала на линейном выходе считался уровень 250 мВ. В профессиональной аппаратуре — 775 мВ. На практике эти стандарты почти никогда не выполняются. Самый маленький уровень, вплоть до 150 мВ, имеют тюнеры и радиоприемники. Магнитофоны и магнитофонные деки имеют на линейном выходе более высокий сигнал — 250–775мВ. Лазерные проигрыватели имеют большой уровень на линейном выходе — около 2 В (все значения среднеквадратические). Предварительный усилитель, естественно, обязан работать с любым из этих источников сигнала. При этом не остается ничего другого, как ориентироваться на самый «слабый» источник и делать чувствительность усилителя порядка 150 мВ. Так и сделано в большинстве промышленных усилителей. При этом предварительный усилитель приходится эксплуатировать при положениях регулятора громкости, близких к минимальному, что уменьшает перегрузочную способность и нарушает правильную работу системы тонкомпенсации. Кроме того, поскольку разные источники имеют разные выходные уровни, при переключении входов изменяется громкость. Это вынуждает при каждом переключении входов корректировать громкость регулятором, что неудобно и ведет к преждевременному износу регулятора.

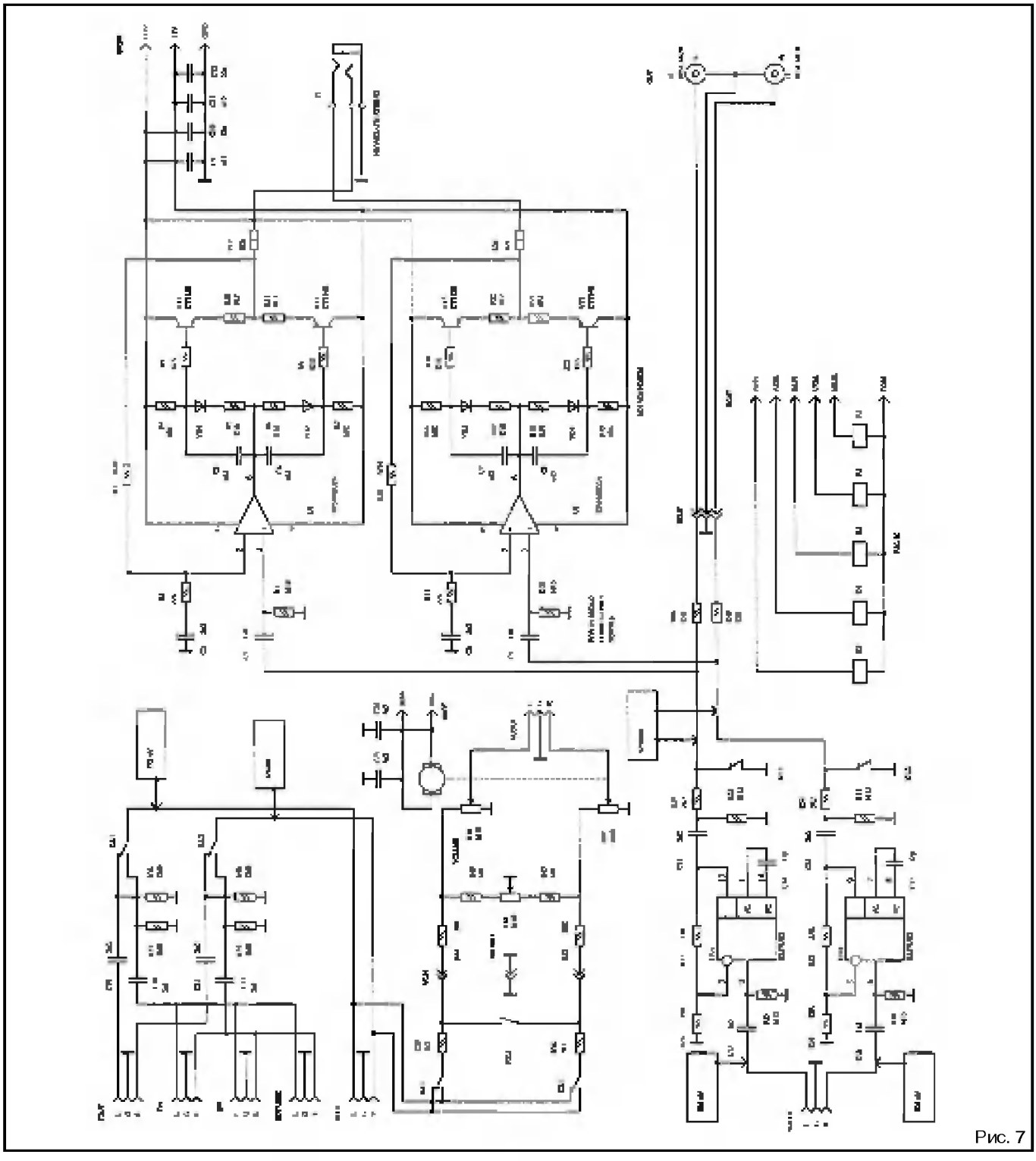


Рис. 7

Выходом из этого положения является нормирование сигнала на входе усилителя. РА-8000 имеет на всех входах пассивные регуляторы уровня, с помощью которых уровни сигналов приводятся к одному значению, равному 250 мВ. Это значение определяет максимальную чувствительность входов, которая достаточна для работы со всеми современными источниками сигнала. Подстроечные резисторы нормировки входных сигналов расположены на задней панели под соответствующими входными разъемами. На практике, для каждого источника нужно отрегулировать уровень сигнала, например, пользуясь показаниями спектроанализатора, примерно на одинаковое значение.

Теперь вернемся к вопросу о распределении усиления в тракте усилителя. В РА-8000 этот вопрос решен следующим образом.

После нормировки и коммутации (рис. 4) сигнал поступает на входной буферный усилитель с коэффициентом усиления 10 дБ (рис. 5), который доводит уровень до 775 мВ. Этот уровень является номинальным для регулятора тембра (рис. 6), который обеспечивает глубину регулировки АЧХ ±10 дБ и имеет единичный коэффициент передачи в режиме линейной АЧХ. За регулятором тембра следует пассивная схема регулировки громкости и стереобаланса, а за ней — выходной усилитель (рис. 7) с коэффициентом усиления 8 дБ, который доводит уровень сигнала до 1250 мВ, что достаточно для работы усилителя мощности. Такое построение тракта исключает возможность перегрузки выходного усилителя даже при максимальном подъеме АЧХ регулятором тембра.

В следующем номере журнала мы более подробно рассмотрим принципиальную схему усилителя.

Леонид Ридико,
Минск

Продолжение следует

Калибратор для осциллографа

Устройство для калибровки усилителя вертикального отклонения и горизонтальной развертки осциллографа

Большинство осциллографов не содержат встроенного генератора эталонного сигнала. Конечно, некоторые старшие модели имеют калибровочный выход с полной амплитудой сигнала в 1 В, однако этот выход ограничен частотой 50 Гц и недостаточно точен для проведения настройки. Несколько большие возможности по настройке предоставляет специальный калибратор осциллографа, описанный в данной статье. Этот блок вырабатывает прямоугольный сигнал с амплитудным значением 1 В и частотой 1кГц, который можно использовать для настройки усилителя вертикального отклонения и горизонтальной развертки осциллографа.

Данный прибор можно также использовать для подстройки элементов компенсации осциллографического щупа или как источник сигнала для измерения переходных процессов в аудиоусилителях. Для обеспечения портативности в этом устройстве используется батарейное питание. Схема прибора малочувствительна к изменению питающего напряжения: выходная частота остается постоянной при изменении напряжения батареи от 7.7 до 9.8 В. Кроме того, низкий ток потребления — около 2 мА — позволяет значительно продлить срок службы батареи.

Описание схемы

На рис. 1 показана принципиальная схема калибратора. Колебательная часть содержит две из шести секций КМОП-инвертора 4049 (DD2.1 и DD2.2), а также времязадающие компоненты C2, R7, R8, и R9. Элементы данной части схемы определяют выходную частоту. Точное значение частоты может быть рассчитано по формуле:

f=2,2(C2)(R7R8).

Допустим, что вход DD2.2 (вывод 5) вначале находится в низком состоянии, тогда выход DD2.2 (вывод 4) будет в высоком. Поскольку вход DD2.1 (вывод 3) также будет в высоком состоянии, на выходе DD2.1 (вывод 2) появится сигнал низкого уровня. Высокое напряжение с выхода DD2.2 будет заряжать конденсатор C2 через R7 и R8. Когда напряжение на конденсаторе C2 достигнет порогового значения, выход элемента DD2.2 и вход инвертора DD2.1 окажутся в низком состоянии. По этой причине выход DD2.1 переключится в состояние высокого уровня. Поскольку напряжение на конденсаторе C2 не может измениться мгновенно, напряжение на входе DD2.2 значительно повысится и достигнет примерно 150 % от напряжения питания. Эта петля положительной обратной связи переключает логические уровни с максимальной частотой, которая может быть получена на КМОП-элементе. Когда логический уровень инвертируется на DD2.1 и DD2.2, C2 перезаряжается в другом направлении и напряжение на выводе 5 начинает понижаться. При достижении порогового уровня на выводе 5, выход DD2.2 и вход DD2.1 переключатся в состояние высокого уровня, а выход DD2.1, соответственно, перейдет в состояние низкого уровня. Снова в этом случае напряжение на C2 не может измениться мгновенно, и напряжение на входе DD2.2 упадет примерно на 50 % ниже напряжения питания. Это, в свою очередь, инвертирует логические уровни на выходах указанных элементов. Резистор R9 ограничивает ток на входе DD2.2, когда напряжение на C2 превышает питающие напряжения, защищая таким образом входные диоды от разрушения. Этот резистор не допускает того, чтобы времязадающая RC цепочка разряжалась через внутренние защитные диоды. В противном случае имеется тенденция к затягиванию фронтов сигнала. В результате форма прямоугольного сигнала с 50 % заполнением сравнительно мало зависит от напряжения источника питания.

Прямоугольный сигнал с выхода DD2.1 поступает на параллельно соединенные входы четырех оставшихся инверторов из корпуса 4049, выходы которых также соединены параллельно. В момент, когда напряжение на этих выходах становится низким, источник опорного напряжения 2.5В LM336Z (DD1) включается через резистор R1 и диод D1. В этот момент напряжение на выходе калибратора становится высоким.

Комбинированная нагрузочная способность четырех инверторов с DD2.3 по DD2.6 превышает 14 мА. В схеме используется только 2 мА от этого тока, обеспечивая крутые фронты выходного прямоугольного сигнала. Для того чтобы обеспечить амплитуду выходного калибровочного напряжения 1 В, используется резисторная сборка R2-R6 с 2 % точностью. Резисторы в этой сборке имеют сопротивление 470 Ом и секционированы таким образом, чтобы обеспечить 40 % от 2,5 В амплитуды прямоугольного сигнала, что соответствует 1 В на контакте J1 (выход калибратора). Контакт J2 используется как «Общий». Когда на выходе инверторов появляется импульс выходного напряжения, то напряжение на диоде D1 не превышает 0,5 В. При этом он закрыт, и выходной ток не протекает через R1 и DD1. В этот момент выходной калибровочный сигнал равен нулю. Двустороннее ограничение выходного сигнала обеспечивается, с одной стороны, динамическим сопротивлением порядка 0.2 Ом LM336Z в открытом состоянии и, с другой стороны, полностью выключенным током в момент, когда на выходе инверторов DD2.3—DD2.6 присутствует напряжение высокого уровня.

Точность амплитуды калибровочного сигнала поддерживается благодаря DD1 в диапазоне до 1 %. Несмотря на то что резистивная сборка имеет заявленную точность 2 %, отклонения сопротивлений между отдельными резисторами в ней гораздо меньше. Выходное сопротивле-

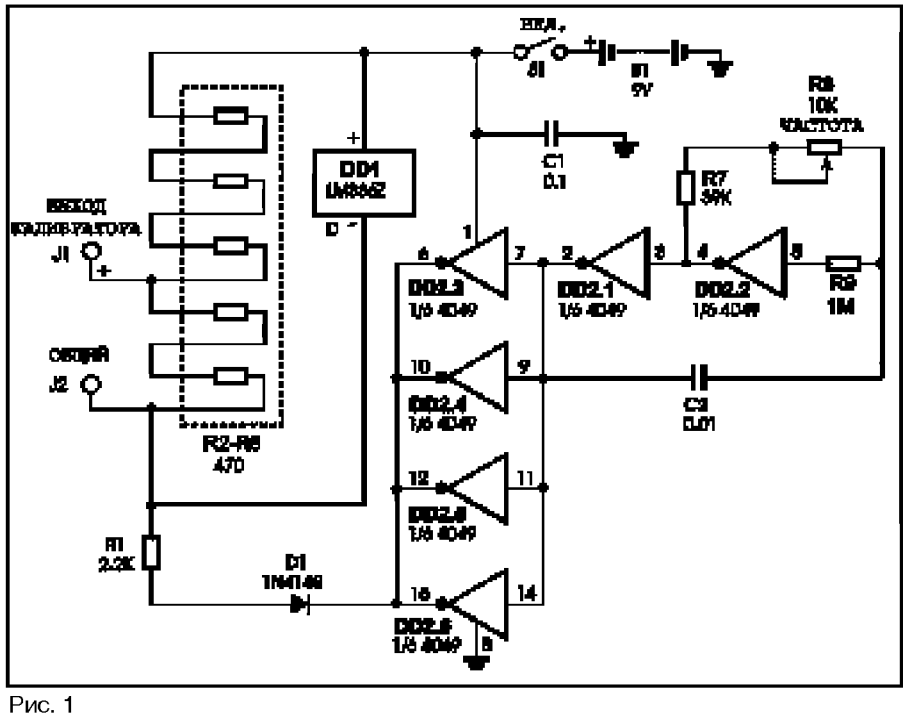


Рис. 1

ние данной схемы составляет приблизительно 1000 Ом.

Выходной прямоугольный сигнал зависит в основном от тока через R2-R6, так что фильтрующий конденсатор большой емкости на 9-вольтовую батарею B1 не требуется. Конденсатор C1 нужен только для сглаживания пиковых бросков тока в момент переключения инвертора DD1.

Полупроводниковые компоненты:
DD1 — LM336Z прецизионный источник опорного напряжения (Jameco 23771 или аналогичный)
DD2 — 4049 шесть КМОП-инверторов
D1 — 1N4148 кремниевый диод
Пассивные компоненты:
Резисторы (все постоянные резисторы 0,25 Вт, 5%, кроме указанных особо)
R1 — 2,2 кОм
R7 – 39 кОм
R8 — 10 кОм, подстроечный (см. текст)
R9 — 1 МОм
R2-R6 — 470Омх5, 2 % резисторная сборка
Дополнительные детали и материалы:
C1 — 0,1 мкФ керамический дисковый конденсатор
C2 — 0,01 мкФ пленочный прецизионный конденсатор
S1 – миниатюрный выключатель
J1, J2-наконечники (красный и черный)
B1 — 9 В батарейка

Конструкция

Авторский прототип был собран на специальной макетной плате. Разводка компонентов в данном устройстве не является критичной, поэтому можно использовать любые удобные

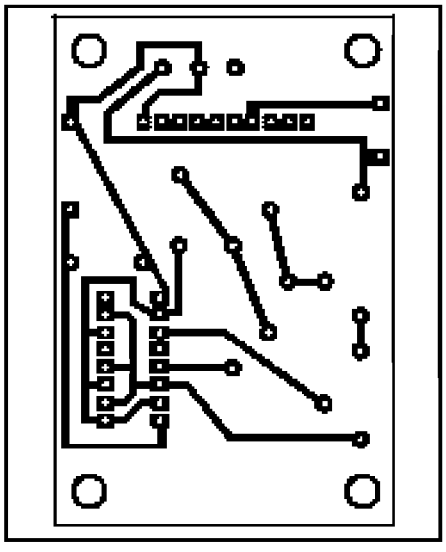


Рис. 2

для вас варианты. Для тех, кто захочет построить это устройство на печатной плате, на рис.2 приведен чертеж разводки, а схема на рис. 3 показывает размещение компонентов.

В соответствии с правильной последовательностью монтажа, вначале следует устанавливать наименее чувствительные компоненты. Припаяйте провода батарейной панельки, колодку под DD2, выключатель, затем потенциометр и выходной разъем. Потом установите остальные пассивные элементы: сначала резисторы, затем конденсаторы. Для достижения минимального дрейфа частоты выходного сигнала конденсатор C2 должен быть пленочным, R7-металло-оксидный резистор с погрешностью 2 %, а в качестве R8 желательно использовать проволочный многооборотный потенциометр. В последнюю очередь необходимо устанавливать D1, DD1 и DD2. Проверьте внимательно ориентацию полярных компонентов, и если вы не использовали печатную плату, то проверьте проводные соединения.

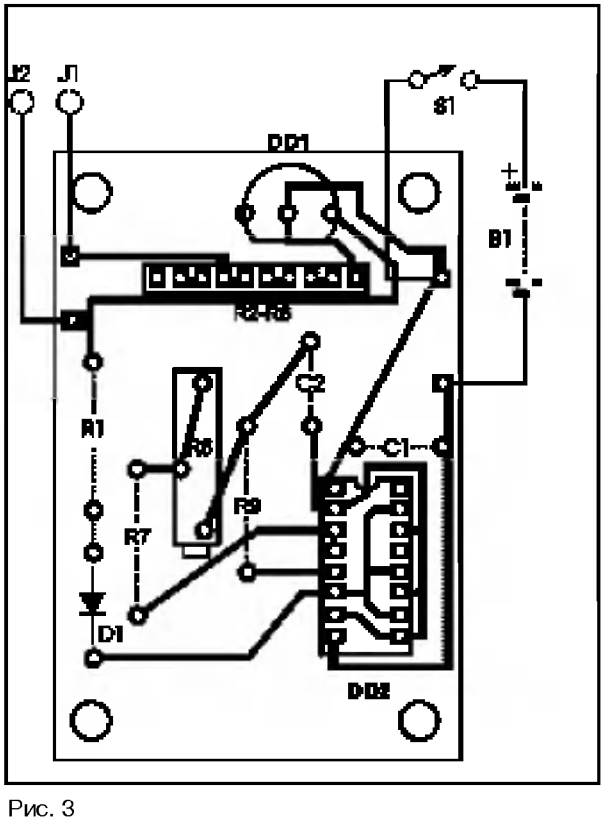


Рис. 3

В зависимости от чувствительности осциллографа, вам, возможно, потребуется другое значение амплитуды выходного сигнала. Если это так, то вы можете переделать выходной каскад схемы следующим образом: подключите два LM336Z последовательно и уменьшите сопротивление резистора R1 для поддержания тока около 1 мА в делителе и LM336Z. Это обеспечит в два раза большее напряжение на выходе.

Настройка и калибровка

Выходное напряжение калибратора можно проверить любым хорошим цифровым мультиметром. Временно замкните точку соединения R1 и D1 на землю. Это установит выход устройства в постоянное напряжение 1 В. Проверьте и убедитесь, что это так.

Для проверки выходной частоты вы можете использовать цифровой частотомер. Однако есть и другой точный метод, который можно использовать при наличии тестового компакт-диска. Включите тестовый диск на воспроизведение синусоидальной частоты 1кГц и подключите его к одному каналу стереоусилителя. К другому каналу подключите свой калибратор для осциллографа. Вращением потенциометра R8 подстройте выходную частоту калибратора так, чтобы получить нулевые биения звуковой частоты. Этот процесс звуковой балансировки подобен тому, как обычно настраивают пианино или гитару.

Использование калибратора

Усилитель вертикального отклонения осциллографа можно проверить, подключив калибратор и сравнив размах прямоугольного сигнала на экране осциллографа с разметкой, нанесенной на электронно-лучевой трубке. Генератор развертки проверяют, установив ручку развертки в положение 1 мс и сравнив прямоугольные фронты сигнала с вертикальной разметкой трубки. Кроме того, с помощью данного калибратора можно проверить входной пробник-делитель осциллографа (x10, x100). Поскольку фронты прямоугольного сигнала, формируемого калибратором, достаточно крутые, любые искажения его формы становятся очень заметными. Если выносной пробник имеет в своем составе подстроечные элементы, то их регулировкой можно добиться восстановления исходной прямоугольной формы калибровочного сигнала, проходящего через делитель.

Charles Hansen
Перевод и обработка
Владимир Волков, Москва,
по материалам сайта
www.poptronix.com

Датчики температуры

Различного рода датчики в современной электронике играют исключительно важную роль. Любой разработчик в своей практической деятельности рано или поздно сталкивается с необходимостью использования этих устройств. Хорошей справочной литературы по датчикам в нашей стране практически нет, тогда как специалисты американской компании Analog Devices подготовили прекрасный учебник «Practical techniques for sensor signal conditioning», адресованный инженерам, использующим датчики в своих разработках. Мы приняли решение постепенно переводить и публиковать на страницах нашего журнала некоторые главы из этой книги. Первый цикл публикаций использует материалы седьмой главы и посвящен датчикам температуры.

Спектр использования температурных датчиков чрезвычайно широк: от зарядных устройств до дорогостоящих портативных приборов. Везде, где характеристики системы так или иначе зависят от температурных факторов, применяются эти приборы.

Все термодатчики, за исключением собранных на ИС, имеют нелинейную зависимость выходного сигнала от температуры. В прошлом для корректировки этой нелинейности был разработан широкий спектр аналоговых схемотехнических решений. Эти схемы зачастую требовали индивидуальной калибровки. Чтобы достичь заданной точности, в них использовались прецизионные резисторы. Сегодня, благодаря наличию АЦП с высокой разрешающей способностью, сигналы с датчиков могут быть оцифрованы непосредственно, без предварительного усиления и линеаризации. Линеаризация, компенсация напряжения на опорном спае и другая обработка выполняются затем цифровыми способами, что позволяет снизить сложность и стоимость системы.

Термометры сопротивления (Resistance Temperature Devices, RTDs) точны, но требуют, чтобы через них был пропущен электрический ток (excitation current, возбуждающий ток), и используются обычно в мостовых схемах. Термисторы наиболее чувствительны, но при этом имеют высокую нелинейность. Они наиболее популярны в портативных приборах и используются при измерении температуры батарей, а также других критических, в отношении температуры, узлов в системах.

Современные полупроводниковые датчики температуры характеризуются высокой точностью и линейностью в диапазоне температур от -55 °C до +150 °C. Встроенные усилители позволяют подобрать усиление и смещение так, чтобы выходной сигнал имел заранее заданную температурную зависимость, например 10 мВ/°C. Они широко применяются в схемах компенсации напряжения на опорных спаях широкодиапазонных термопар. Полупроводниковые датчики могут быть интегрированы в многофункциональные микросхемы, которые выполняют определенное количество аппаратных мониторинговых функций.

В табл. 1 перечислены наиболее распространенные температурные датчики и их основные особенности.

Таблица 1

Термопара	RTD	Термистор	Полупроводниковый датчик
Широчайший диапазон: 184 °C...+ 2300 °C	Диапазон: -200°C...+ 850°C	Диапазон: 0°C...+100°C	Диапазон: -55°C...+150 °C
Высокая точность и воспроизводимость	Превосходная линейность	Сильная нелинейность	Линейность: 1 °C Точность: 1 °C
Требует компенсации напряжения на холодном (опорном) спае	Требует токового возбуждения	Требует токового возбуждения	Требует токового возбуждения
Низковольтный выход	Низкая цена	Высокая чувствительность	Типовой выходной сигнал – 10 мВ/°C, 20 мВ/°C или 1 мкА/°C

Принцип работы термопары и компенсация напряжения на холодном спае

Термопары — маленькие, прочные и сравнительно недорогие устройства. Вдобавок из всех температурных датчиков они работают в самом широком диапазоне температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2300 °C) в агрессивных средах. Они вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для последующей обработки. К тому же необходимо применять компенсацию напряжения на холодном спае, которая вкратце будет обсуждена ниже. Они гораздо более линейны, чем многие другие датчики, а их нелинейность на сегодняшний день хорошо изучена и описана в специальной литературе.

В табл. 2 приведены наиболее распространенные термопары. При их изготовлении обычно применяют такие металлы, как железо, платина, родий, рений, вольфрам, медь, алюмель (сплав никеля с алюминием), хромель (сплав никеля с хромом) и константан (сплав меди и никеля).

На рис. 1 представлены зависимости ЭДС от температуры трех наиболее распространенных типов термопар, у которых температура опорного спая поддерживается равной 0 °C. Термопары типа J наиболее чувствительны и развивают наибольшее выходное напряжение при одном и том же изменении температуры. С другой стороны, термопары типа S являются наименее чувствительными. Как видно из приведенных характеристик, сигналы, развиваемые термопарами, очень малы и требуют малошумящих усилителей с большим коэффициентом усиления и малым дрейфом. Это необходимо учитывать при проектировании схем обработки сигналов с термопарных датчиков.

Чтобы понять поведение термопар, рассмотрим, как изменяется их выходной сигнал при изменении температуры чувствительной части термопары (горячего спая). Рисунок 1 показывает связь между температурой горячего спая и выходным сигналом, развиваемым разными типами термопар (во всех случаях температура холодного спая поддерживается равной 0 °C). Очевидно, что отдача термопар нелинейна, но природа этой нелинейности до сих пор не вполне ясна.

Рисунок 2 показывает, как зависит от температуры горячего спая коэффициент линейности (Seebeck coefficient), то есть прирост выходного напряжения, соответствующий росту температуры горячего спая на 1 °C, иными словами, первая производная зависимости выходного сигнала от температуры. Отметим, что мы попрежнему рассматриваем тот случай, когда температура холодного спая поддерживается равной 0 °C.

При выборе термопары для производства замеров температур в достаточно широком диапазоне следует выбирать ту термопару, коэффициент линейности которой изменяется менее других в рамках этого диапазона.

Например, для термопары типа J в диапазоне от 200 до 500 °С коэффициент линейности изменяется менее чем на 1 мкВ/°С, что делает ее идеальной для использования в этом диапазоне.

Приведенные на рис. 1 и 2 данные полезны вдвойне: во-первых, рис. 1 показывает диапазон и чувствительность трех типов термопар, так что разработчик может с одного взгляда определить, что термопара типа S имеет самый широкий диапазон измерений, но типа J — более чувствительная; во-вторых, знание коэффициента Сибека (рис. 2) позволяет быстро определить, какова линейность выбранной термопары. Используя рис. 2, разработчик для работы в диапазоне 400...800 °С выберет термопару типа K, коэффициент линейности которой в этой области минимальный, а для диапазона 900...1700 °С — типа S. Поведение коэффициента линейности термопары оказывается определяющим в тех случаях, когда некоторое отклонение от заданной температуры критичнее, чем само значение заданной температуры. Эти данные также показывают, какими характеристиками должны обладать устройства, работающие в схеме управления совместно с той или иной термопарой.

Таблица 2

Хромель-алюмель	-184...1260	39	K
Платина (13%)родий-платина	0...1593	11,7	R
Платина (10%)родий-платина	0...1538	10,4	S
Медь-константан	-184...400	45	T

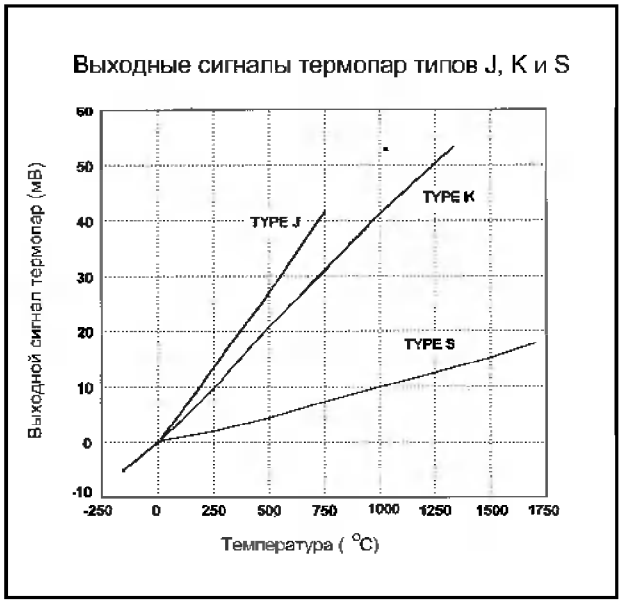


Рис. 1

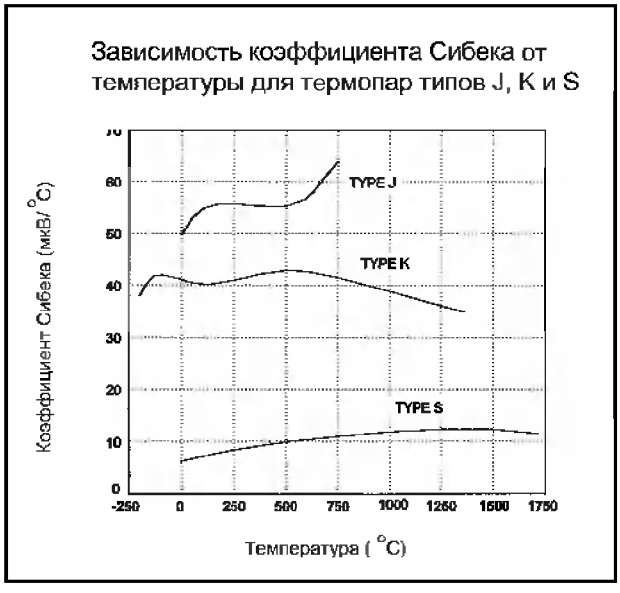


Рис. 2

Чтобы успешно использовать термопары, необходимо понимать основные принципы их работы. Рассмотрим схемы, изображенные на рис. 3.

Если мы соединим два разнородных металла при какой-либо температуре, превышающей абсолютный нуль (-273,16 °С), то между ними будет разность потенциалов (так называемая, термоЭДС — Thermoelectric EMF, или «контактная разность потенциалов»), которая является функцией температуры соединения (рис. 3, *а*). Если мы соединим два провода в двух местах, сформируются два спая (рис. 3, *б*) Если эти спаи имеют разную температуру, то в цепи образуется термоЭДС, по проводникам потечет ток, величина которого определяется значением термоЭДС и сопротивлением проводников.

Разорвав один из проводников, мы увидим, что напряжение в точках разрыва будет равным термоЭДС, и если замерить это напряжение, то полученное значение можно использовать, чтобы определить разность температур между двумя спаями (рис. 3, *в*).

Необходимо помнить, что термопара изменяет разницу температур между двумя спаями, а не абсолютную температуру в одном из них. Определить температуру в измеряемом спае мы можем лишь в том случае, если знаем температуру второго спая (часто называемого «опорным» или «холодным»).

Но не так легко измерить напряжение, образуемое термопарой. Предположим, что мы подключили вольтметр в контур схемы (рис. 3, *г*). Провода, подключенные к вольтметру, также образуют термопары в месте их присоединения. Если обе эти дополнительные термопары находятся под одинаковой температурой (не имеет значения, какой), то они не окажут воздействия на общую термоЭДС системы. Если же их температуры различаются, то могут возникнуть ошибки. Поскольку каждая пара находящихся в контакте разнородных металлов вырабатывает термоЭДС (включая медь/припой, ковар/медь (ковар — сплав, используемый для формирования подложки микросхемы), алюминий/ковар [в соединении внутри микросхемы)), очевидно, что в реальных рабочих контурах возникают гораздо более серьезные проблемы, чем описано выше. Поэтому необходимо постараться обеспечить, чтобы все контакты разнородных металлов в контуре вокруг термопары (естественно, помимо спаев самой термопары) находились при одинаковой температуре.

Термопары создают напряжение, хотя и очень маленькое, но не требующее токового возбуждения. Показанная на рис. 3, *г* термопара имеет два спая (T1 — температура измерительного спая, T2 — опорного). Если T2 = T1, тогда V2 = V1 и выходное напряжение V = 0. Выходное напряжение термопары обычно определено как значение, полученное при поддержании температуры холодного спая, равной 0 °С. Отсюда и происхождение термина «холодный спай» или «спай при температуре тающего льда». Таким образом, если измерительный спай будет помещен в среду с нулевой температурой, на выходе термопары будет нулевое напряжение.

Чтобы проводить высокоточные измерения, необходимо тщательно поддерживать температуру холодного спая, которая должна быть строго определена (хотя не обязательно равна 0°С). Простая реализация этого требования представлена на рис. 4. Ванна с тающим льдом может быть легко реализована в любых условиях, хотя на практике это не всегда удобно.

Сегодня «спай при температуре тающего льда» с требуемой для его реализации ванной со льдом и водой успешно вытесняется электроникой. Температурный датчик другого типа (чаще полупроводниковый, а иногда и термистор) измеряет температуру холодного спая, а полученный результат используется для формирования дополнительного напряжения в цепи термопары, компенсирующего разницу между фактической температурой холодного соединения и его идеальным значением (обычно 0 °С), как показано на рис. 5. В идеале напряжение компенсации должно подбираться

строго в зависимости от разности напряжений. Корректирующее напряжение является функцией от температуры опорного спая T2, причем более сложной, нежели простая линейная зависимость, описываемая произведением

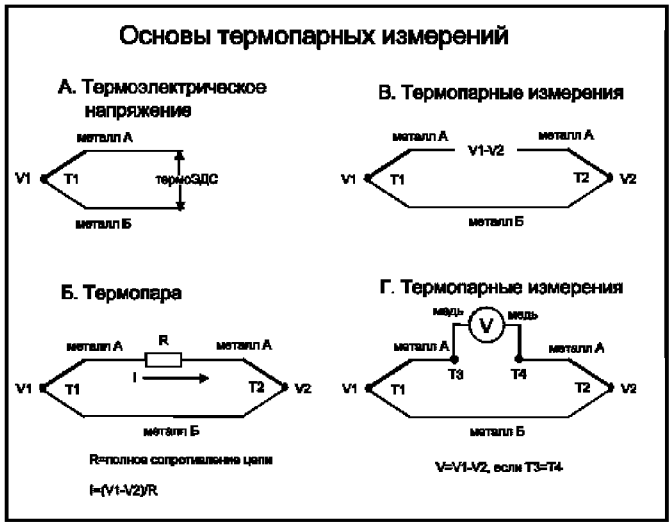


Рис. 3

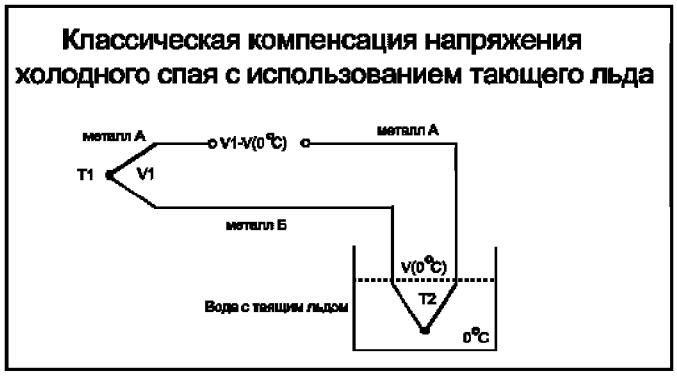


Рис. 4

Рис. 5

Когда используется электронная компенсация напряжения на холодном спае, на практике соединение проводов с концами термопары заключают в изотермический блок, как показано на рис. 6. Когда соединения металл А — медь и металл В — медь находятся при одной температуре, это эквивалентно спаю металл А — металл В, как показано на рис. 5.

Схема, приведенная на рис. 7, обеспечивает измерение температуры от 0 °С до 250 °С при помощи термопары типа К с компенсацией напряжения холодного спая. Питание схемы осуществляется однополярным напряжением от 3,3 до 12 В. Причем схема была спроектирована таким образом, чтобы коэффициент преобразования составлял 10 мВ/°С.

Коэффициент передачи термопары типа К приблизительно равен 41 мкВ/°С. Следовательно, примененный для компенсации датчик напряжения с температурным коэффициентом 10 мВ/°С TMP35 используется с делителем на R1 и R2, обеспечивающим требуемое значение 41 мкВ/°С. Ликвидация неизотермичности между дорожками печатной платы и проводами термопары предотвращает появление ошибок в процессе измерения при изменении температур. Такая компенсация подходит для схем, работающих при температуре окружающей среды от 20 до 50 °С.

Если температура рабочего спая термопары достигла 250 °С, ее выходное напряжение будет составлять 10,151 мВ. Поскольку при этом выходной сигнал схемы должен быть равен 2,5 В, то усилитель должен иметь коэффициент усиления, равный 246,3. Выбор R4, равного 4,99 кОм, предопределяет для R5 значение 1,22 МОм. Наиболее близкое однопроцентное значение для R5 составляет 1,21 МОм, в связи с чем для точной настройки размаха выходного сигнала совместно с R5 используется потенциометр сопротивлением 50 кОм.

Хотя OP193 допускает питание от одного источника, его выходные каскады не предназначены для работы в режиме rail-to-rail и минимальное значение сигнала на его выходе не должно быть ниже +0,1 В. С этой целью резистор R3 добавляет ко входу ОУ небольшое напряжение, увеличивающее выходной сигнал на 0,1 В для питающего напряжения 5 В. Это смещение (соответствующее 10 °С) должно быть вычтено после обработки или считывания сигнала с выхода OP193. R3 также обеспечивает определение обрыва термопары: если термопара отсутствует, выходной сигнал становится больше чем 3 В. Резистор R7 балансирует входное сопротивление OP193 по постоянному току, а пленочный конденсатор емкостью 0,1 мкФ снижает помехи от термопары на его неинвертирующем входе.

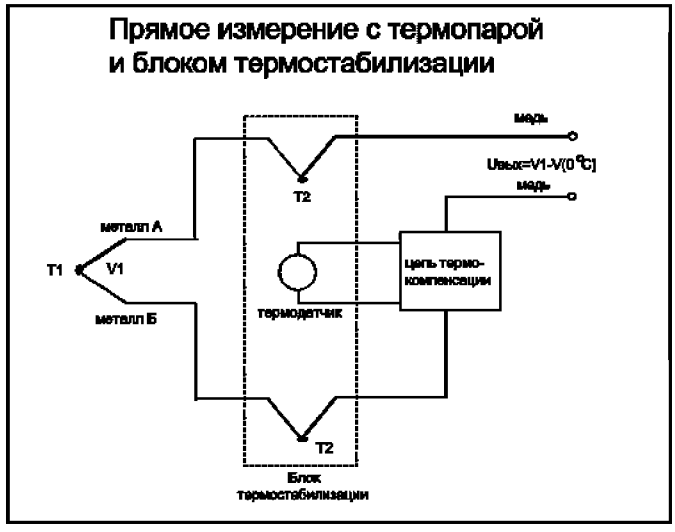


Рис. 6

KxT2, где K — простая константа. На практике, поскольку холодные спаи обычно находятся при температуре лишь на несколько десятков градусов выше 0 °С и ее значение колеблется в пределах ±10 °С, линейная аппроксимация компенсирующего напряжения оказывается допустимой. Другими словами, хотя реальное значение корректирующего напряжения и определяется многочленом в соответствии с формулой $V=K_1xT+K_2xT^2+K_3xT^3+...$, но значения коэффициентов K_2, K_3 и т. д. очень малы для всех известных типов термопар. Значения этих коэффициентов для всех термопар можно найти в справочной литературе.

AD594/AD595 — инструментальный усилитель и компенсатор напряжения холодного спая, выполненный в одном чипе (рис. 9). Эта микросхема осуществляет привязку к «точке таяния льда» и содержит предварительно откалиброванный усилитель, который обеспечивает получение выходного напряжения высокого уровня (10 мВ/°С) непосредственно с выхода термопары. AD594/AD595 может быть использована как линейный усилитель-компенсатор либо в качестве переключаемого контроллера, используемого для постоянного или мобильного управления и регулирования. Схема может быть также использована для прямого усиления компенсируемого

напряжения, выполняя при этом функции преобразователя температуры в напряжение с коэффициентом преобразования 10 мВ/°С. В ряде случаев очень важно, чтобы чип находился при той же температуре, что и холодный спай термопары. Обычно это достигается путем размещения обоих в непосредственной близости друг от друга и изоляции их от источников тепла.

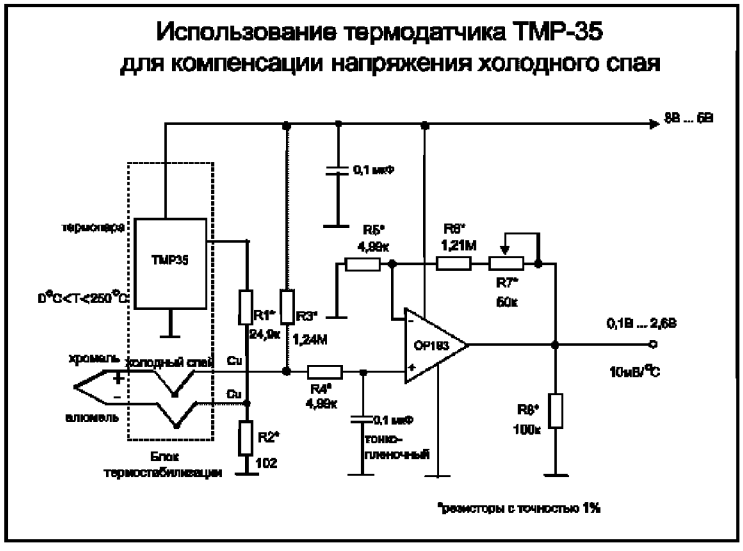


Рис. 7

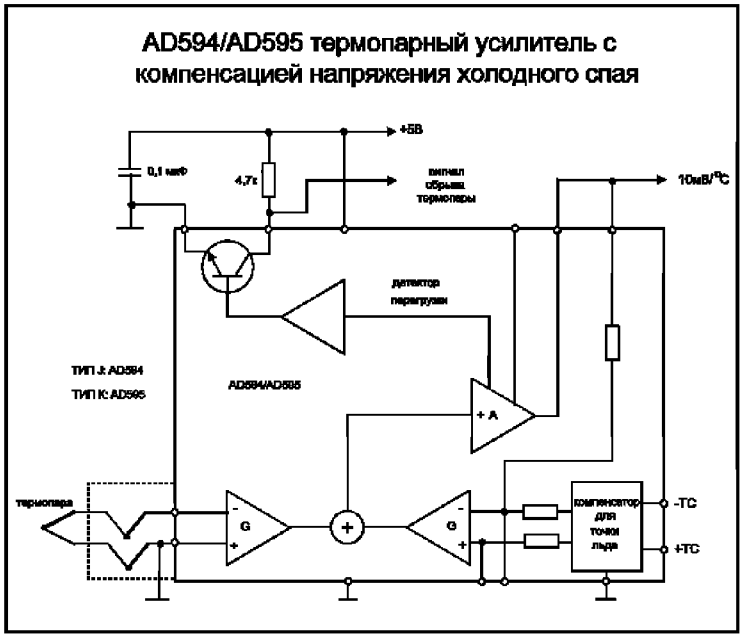


Рис. 8

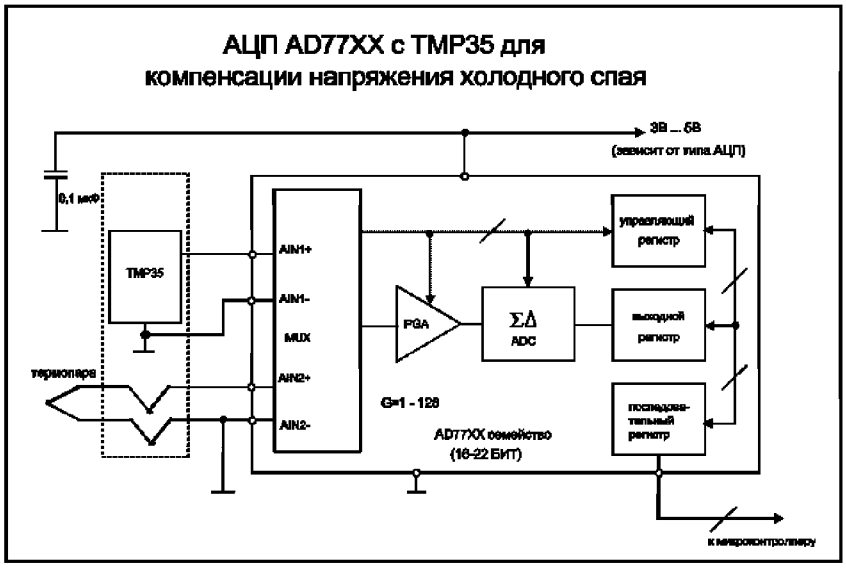


Рис. 9

AD594/AD595 включает датчик повреждения термопары, который показывает, что либо один, либо оба конца термопары отсоединены от микросхемы. Аварийный выход достаточно гибкий и в состоянии формировать TTL-сигнал. Прибор запитывается от одного положительного источника (напряжение на нем может быть всего 5 В), но подача отрицательного напряжения позволяет измерить температуру ниже 0 °С. Для уменьшения самонагрева собственное потребление AD594/AD595 (без нагрузки) снижено до 160 мкА, при этом микросхемы в состоянии отдать в нагрузку ток до ±5мА.

Благодаря лазерной подгонке сопротивлений внутри AD594 схема настроена на работу с термопарами типа J (железо/константан), а AD595 — с термопарами типа K (хромель/алюмель). Напряжения смещения и коэффициенты усиления микросхем могут изменяться при помощи внешних элементов, так что каждая из них может быть перекалибрована под термопару любого другого типа. Допустимо также с помощью внешних элементов осуществить более точную калибровку термопары для специальных применений.

AD594/AD595 выпускаются в двух модификациях: «С» и «А», — калибрующихся с точностью ±1 °С и ±3 °С соответственно. Оба исполнения допускают поддержание температуры холодного спая в пределах от 0°С до 50 °С. Схема, представленная на рис.9, непосредственно работает с термопарой типа J (AD594) или типа K AD595) и позволяет измерять температуру от 0 °С до 300 °С.

AD596/AD597 — монолитные контроллеры, оптимизированные для использования в условиях любых температур в различных случаях. В них осуществляется компенсация напряжения холодного спая и усиление сигналов с J- или K-термопары таким образом, чтобы получить сигнал, пропорциональный температуре. Схемы могут быть подстроены так, чтобы обеспечить выходное напряжение 10 мВ/°С непосредственно от термопар типа J или K. Каждый из чипов размещен в металлическом корпусе с десятью выводами и настроен на работу при температуре окружающей среды от 25 °С до 100 °С.

AD596 усиливает сигналы термопары, работающей в температурном диапазоне от -200 °С до +760 °С, рекомендованном для термопар типа J, в то время как AD597 работает в диапазоне от -200 °С до +1250 °С (диапазон термопар типа K). Усилители откалиброваны с точностью ±4 °С при температуре окружающей среды 60 °С и характеризуются температурной стабильностью 0,05°С/°С при изменении температуры окружающей среды в пределах от 25 °С до 100 °С.

Все вышеописанные усилители не в состоянии компенсировать нелинейность термопары: они способны лишь корректировать и усиливать сигнал с термопарного выхода. АЦП с высокой разрешающей способностью, входящие в семейство AD77xx, могут использоваться для прямой оцифровки сигнала с выхода термопары, без предварительного усиления. Преобразование и линеаризацию осуществляет микроконтроллер, сопряженный с таким АЦП. как показано на рис.10. Два мультиплексируемых входа АЦП используются для прямой оцифровки сигнала с термопары и с теплового датчика, находящегося в контакте с ее холодным спаем. Вход PGA (программируемого усилителя) программируется на усиление от 1 до 128, и разрешающая способность АЦП лежит в пределах от 16 до 22 бит в зависимости от того, какая из микросхем выбрана пользователем. Микроконтроллер осуществляет как компенсацию напряжения холодного спая, так и линеаризацию характеристики.

Wall Kestler, James Bryant, Wall Jung
Перевод и обработка
Андрея Асташкевича, Александра Фрунзе, Москва

Усилитель сигнала термопары с компенсацией напряжения на опорном спае

При всех безусловных плюсах представленного читателям руководства по датчикам, написанного специалистами Analog Devices, книга имеет один существенный недостаток. Она ориентирована на инженеров, знакомых с основами схемотехники. А как быть тем, кто не столь хорошо подготовлен в этой области? Им мы можем, во-первых, посоветовать ознакомиться с руководством П. Хоровица, У. Хилла «Искусство схемотехники», которое издавалось в нашей стране, по крайней мере, трижды и есть во многих библиотеках. А во-вторых, для них приведем практическую схему усилителя сигнала термопары типа S (платинородий-платина), чаще всего используемого в качестве рабочего и образцового средства измерения температуры.

Термопары типа S — наиболее широкодиапазонные и стабильные, поэтому они получили широкое распространение. Однако им присущ серьезный недостаток: крайне малый коэффициент преобразования, всего 5,88 мкВ/°С при 20 °С (у термопары типа J — 51,45 мкВ/°С, типа К — 40,28 мкВ/°С). Поэтому при не очень больших температурах (менее 500 °С) вырабатываемый ими сигнал крайне мал. Проблема усиления такого сигнала связана с большими синфазными помехами промышленной частоты и радиочастотными наводками. Усилитель должен хорошо подавлять 50-герцовый сигнал и иметь стабильное дифференциальное усиление. Его входное сопротивление должно быть достаточно высоким (более 10 кОм).

Приведенная ниже схема позволяет решить указанные проблемы. Она представляет собой описанный в главе 7 книги П. Хоровица, У. Хилла [Л] дифференциальный усилитель с Т-образной цепью обратной связи, имеющий достаточно высокий коэффициент усиления по напряжению (200) и относительно большое входное сопротивление. В качестве ОУ лучше всего применить прецизионный chopper-усилитель с крайне малым смещением (менее 10 мкВ) и столь же ничтожным температурным дрейфом (< 100 нВ на градус). К таким усилителям относятся LTC1050, LTC1052 фирмы Linear Technology, ICL7650, ICL7652 фирм Intersil и Maxim, а также только появившийся AD8551 от Analog Devices. Следует учесть, что максимальное питающее напряжение (от +Uпит. до - Uпит.), которое можно подать на последний, не превышает 6 В, а на остальные — 10...12 В, и к тому же все, кроме последнего, требуют использования двух внешних конденсаторов, задающих частоту внутреннего преобразования (подробнее см. в каталогах фирм-производителей).

Шунтирующие конденсаторы на входе усилителя ослабляют ВЧ-радиопомехи (термопары с их длинными соединительными проводами ведут себя подобно радиоантеннам). Достаточно большая инерционность термопар приводит к тому, что их выходные сигналы низкочастотны, благодаря чему появляется возможность ограничения полосы частот усилителя, подключив параллельно 250-килоомным резисторам конденсаторы номиналом 0,01 мкФ. Если этого окажется мало, можно перед входными шунтирующими конденсаторами добавить ВЧ-дроссели и экранировать входные провода.

В качестве датчика температуры опорного спая используется находящаяся в тепловом контакте с ним AD590, вырабатывающая ток, пропорциональный ее абсолютной температуре (1мкА на градус). Температуре 0 °С соответствует абсолютная температура 273 К, и следовательно, AD590 выработает ток 273 мкА; температуре 25 °С — соответственно 298 К и 298 мкА, и т. д. Так как основной усилитель DA2 имеет коэффициент усиления 200, то компенсирующее напряжение, вырабатываемое усилителем DA1, должно составлять 200×5,88= 1,176 мВ/°С. Это обеспечивается включением в обратную связь DA1 резистора сопротивлением 1,176 кОм (точнее, нескольких резисторов, например, двух, включенных последовательно, с сопротивлениями 1,10 кОм и 76О м). Кстати, все используемые постоянные резисторы обязательно должны быть прецизионными, например, типа С2-14 или С2-29. Использование обычных резисторов класса МЛТ, С2-23 и им подобных с попыткой подобрать с помощью цифрового омметра нужное сопротивление категорически недопустимо. Во всяком случае, если вы хотите, чтобы термопара измеряла температуру на горячем спае, а не погоду на Аляске. Если опорный спай находится при температуре 0 °С, на выходе DA1 должно присутствовать нулевое напряжение, так как при нулевой температуре опорного спая коррекция не нужна. Однако AD590 в этом случае вырабатывает ток 273мкА, который, проходя через резистор сопротивлением 1,176кОм, создает на нем падение напряжения 1,176кОм×0,273мА= 0,321 В. Для того чтобы скомпенсировать этот сигнал, на неинвертирующий вход DA1 подается напряжение с делителя напряжения R2-R4, формирующего совместно с прецизионным стабилитроном VD1 (LM336Z-2,5 или любым аналогичным) требуемое напряжение. Точная регулировка осуществляется подстроечным резистором R4.

При использовании термопар других типов необходимо аналогично тому, как это сделано выше, пересчитать значение сопротивления R5 (для термопары типа J, например, оно должно быть равно (200×51,45мкВ/°С)/(1мкА/°С)= 10290Ом≈10,3 кОм) и корректирующего напряжения на неинвертирующем входе DA1 (для J-термопары оно должно быть равно 273 мкА×10,3 кОм≈2,81 В, что потребует применения более высоковольтного источника опорного напряжения, например 5-вольтового REF-02, а номиналы резисторов R2, R3, R4 должны быть соответственно 22 кОм, 27 кОм и 2 кОм).

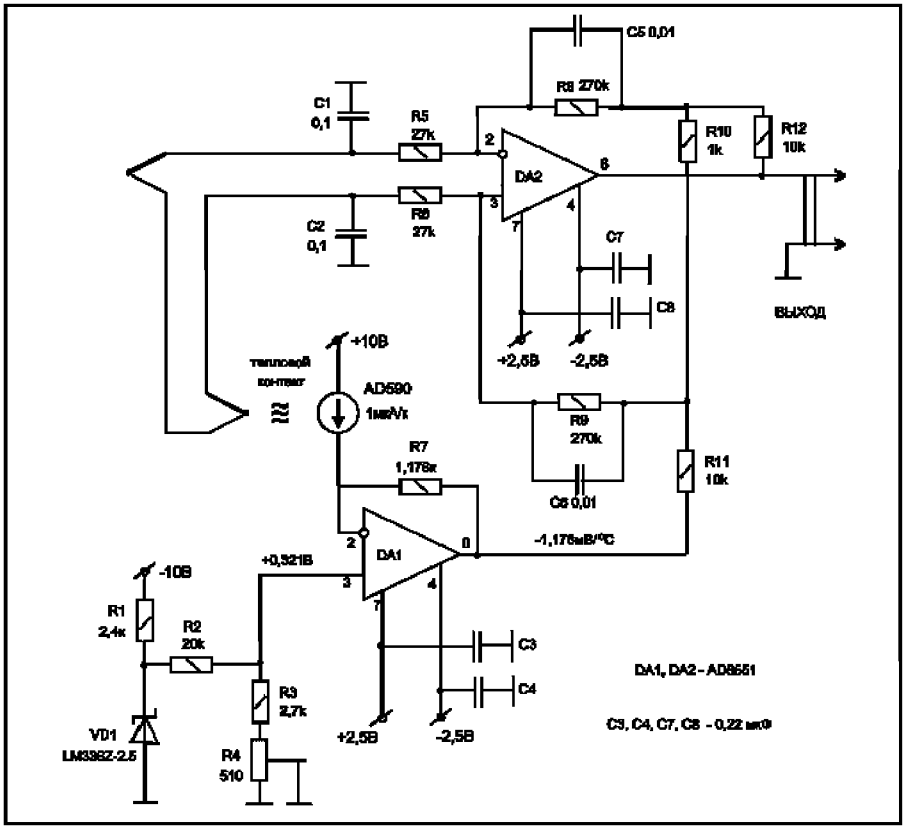


Рис. 1

Литература:

Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х т. Пер. с англ. М.: Мир, 1986.

Редакция журнала

Емкости и конденсаторы

Часто возникает необходимость выбора того или иного типа конденсатора для конкретного применения, но не совсем понятны преимущества и недостатки различных типов. Выбор правильного типа конденсатора для конкретного применения в действительности не так уж сложен.

Паразитные эффекты в конденсаторах

Часто возникает необходимость выбора того или иного типа конденсатора для конкретного применения, но не совсем понятны преимущества и недостатки различных типов. Выбор правильного типа конденсатора для конкретного применения в действительности не так уж сложен. Вообще говоря, большинство конденсаторов по назначению можно разделить на следующие четыре основные категории:

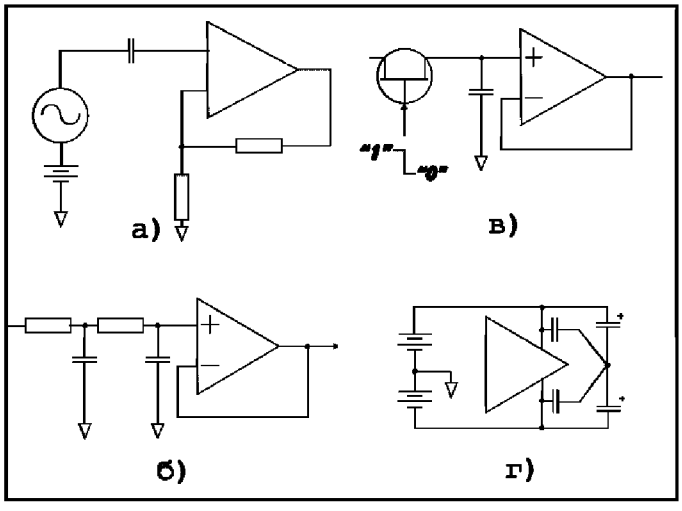


Рис.1. Примеры использования конденсаторов

- для связи по переменному току, включая шунтирование (передача переменного сигнала с фильтрацией постоянной составляющей) (рис. 1*а*);
- блокировочные (фильтрация переменного сигнала, наложенного на постоянный, или фильтрация высоких частот, наложенных на сигнал низкой частоты в сигнальных схемах, контурах опорного напряжения или питания) (рис.1*в*);
- активные/пассивные RC фильтры и частотно — избирательные схемы (рис. 1*б*);
- аналоговые интеграторы и схемы выборки — хранения (накопление и хранение заряда) (рис. 1*г*).

Даже если существует около дюжины наиболее распространенных типов конденсаторов, включая поликристаллические, пленочные, керамические, электролитические и т. д., вы обнаружите, что только один или два типа будут наиболее приемлемы для конкретного применения, поскольку использование других типов конденсаторов вызовет паразитные эффекты.

В отличие от идеальной модели конденсатора реальный конденсатор обладает дополнительными паразитными компонентами (или неидеальным поведением), которые проявляются в форме резистивных и индуктивных элементов, нелинейности и диэлектрической памяти. Характеристики конденсатора, обусловленные наличием этих компонентов, обычно указываются в спецификации изготовителя. Чтобы правильно выбрать тип конденсатора для каждого конкретного применения, необходимо понимать последствия, связанные с паразитными компонентами конденсатора.

Самыми распространенными паразитными эффектами конденсатора являются (рис. 2): утечка заряда конденсатора (параллельное сопротивление — R_L), эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС — R_{ESR}), эквивалентная последовательная индуктивность (ЭПИ — R_{ESL}) и диэлектрическая абсорбция (память — R_{DA}, C_{DA}).

Утечка заряда конденсатора (R_L) является важным параметром при использовании конденсаторов для связи по переменному току и в приложениях, связанных с хранением заряда, таких как аналоговые интеграторы и схемы выборки-хранения, а также при использовании конденсаторов в высокоимпедансных цепях.

У идеального конденсатора (рис. 3 *а*), заряд Q изменяется только в соответствии с задаваемым внешним током. Однако, в реальном конденсаторе (рис. 3 *б*) заряд может стекать через сопротивление утечки со скоростью, определяемой постоянной времени R-C-цепочки.

Конденсаторы электролитического типа (танталовые и алюминиевые), отличающиеся высокой емкостью, имеют очень большой ток утечки (обычно порядка 5–20 нА/1 мкФ) из-за плохого сопротивления изоляции и потому не пригодны для применения в схемах хранения заряда и связи по переменному току.

Для этих целей лучше выбрать тефлон (политетрафторэтилен) и другие поликристаллические типы конденсаторов (полипропилен, полистирол и т. д.)

Под эквивалентным последовательным сопротивлением (ЭПС, R_{ESR}) подразумевают сопротивление выводов конденсатора последовательно с эквивалентным сопротивлением пластин конденсатора. Наличие ЭПС приводит к рассеянию энергии на конденсаторе (и, следовательно, снижению производительности) при протекании по нему больших переменных токов. Это может иметь серьезные последствия при использовании конденсаторов в высокочастотных схемах или при блокировки питания, когда через конденсатор текут значительные пульсирующие токи. Однако в прецизионных высокоимпедансных низкоуровневых аналоговых схемах маловероятно проявление этого эффекта.

Наименьшим ЭПС обладают слюдяные и пленочные конденсаторы.

Эквивалентная последовательная индуктивность (ЭПИ, R_{ESL}) конденсатора представляет собой индуктивность выводов конденсатора последовательно с эквивалентной индуктивностью пластин конденсатора. Подобно ЭПС, ЭПИ также может создать проблемы на высоких частотах, даже если сами прецизионные схемы работают на низких частотах или при постоянном напряжении. Причина в том, что транзисторы, используемые в прецизионных аналоговых схемах, могут иметь коэффициент усиления больше единицы в полосе частот (F), определяемой сотнями мегагерц или даже единицами гигагерц. На таких частотах наличие даже малой индуктивности может повлечь усиление резонанса в цепи. Поэтому важно, чтобы выводы питания таких схем были соответствующим образом развязаны на высоких частотах.

Электролитические, бумажные или пластиковые пленочные конденсаторы не обеспечивают должной развязки на высоких частотах. Они состоят из двух полос металлической фольги, разделенной слоями бумажного или пластикового диэлектрика и свернутой в рулон. Такая структура обладает значительной собственной индуктивностью и уже на частотах в несколько мегагерц ведет себя скорее как катушка индуктивности, а не как конденсатор.

Наиболее уместны для развязки на высоких частотах монолитные керамические конденсаторы, обладающие очень малой последовательной индуктивностью. Такие конденсаторы представляют собой многослойную структуру из металлических пластин и керамического диэлектрика. Эти пластины соединены между собой параллельно двумя электрическими шинами, а не свернуты в рулон.

Некоторым недостатком керамических конденсаторов является то, что они могут быть чувствительны к вибрациям (микрофонный эффект). Некоторые типы могут даже быть саморезонансными с относительно высокой добротностью Q, поскольку наряду с низкой индуктивностью они обладают малым последовательным сопротивлением. С другой стороны, дисковые

керамические конденсаторы иногда обладают значительной индуктивностью, хотя и стоят они дешевле.

В таблицах выбора типа конденсатора иногда встречается термин «фактор рассеяния». Поскольку указать в отдельности характеристики эквивалентной последовательной индуктивности, эквивалентного последовательного сопротивления и утечки конденсатора достаточно сложно, многие производители объединяют утечку, ЭПС и ЭПИ единым термином — «фактор рассеяния» (dissipation factor — DF), который, по существу, описывает неэффективность конденсатора. Фактор рассеяния определяется как отношение энергии, рассеиваемой на конденсаторе за один такт, к энергии, сохраненной за этот такт. Поскольку на высоких частотах потери энергии на конденсаторе моделируются, главным образом, как последовательное сопротивление, фактор рассеяния можно оценить как отношение эквивалентного последовательного сопротивления, ЭПС, к общей реактивности конденсатора:

$$DF \approx w R_{ESR} C$$

Оказывается, фактор рассеяния эквивалентен обратной величине добротности конденсатора, Q, которая иногда включается в спецификацию производителя.

Монолитные керамические конденсаторы могут прекрасно служить для развязки на высоких частотах, но они обладают значительной диэлектрической абсорбцией (R_{DA}, C_{DA}), что делает их непригодными для хранения заряда в усилителях выборки — хранения. Диэлектрическая абсорбция представляет собой гистерезисоподобное внутреннее распределение заряда. Если заряженный конденсатор быстро разрядить, а затем разомкнуть его цепь, наличие диэлектрической абсорбции приведет к частичному восстановлению заряда конденсатора (рис. 4). Количество восстановленного заряда зависит от предыдущего заряда конденсатора. В сущности, этот эффект является зарядовой памятью конденсатора и вызовет ошибки в любом усилителе выборки-хранения, где такой конденсатор используется для хранения заряда.

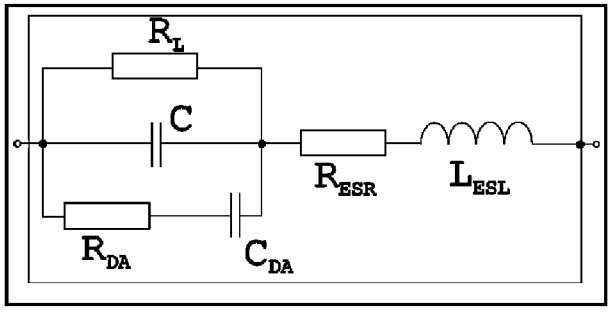


Рис. 2. Эквивалентная схема реального конденсатора

Для таких приложений лучше использовать конденсаторы поликристаллических типов, о которых упоминалось ранее, то есть полистирольные, полипропиленовые или тефлоновые. Эти конденсаторы обладают очень малой диэлектрической абсорбцией (обычно <0,01 %).

В табл. 1 дается общее сравнение характеристик различных типов конденсаторов.

Чтобы быть уверенным в том, что аналоговый контур развязан соответствующим образом как на высоких, так и на низких частотах, лучше всего устанавливать параллельно конденсатор электролитического типа и монолитный керамический конденсатор. Такая комбинация будет иметь высокую емкость на низких частотах, и сохранит ее на достаточно высоких частотах. Вообще говоря, нет необходимости устанавливать на каждую интегральную микросхему отдельный танталовый конденсатор, за исключением некоторых критических случаев. Если расстояние между каждой микросхемой и конденсатором не превышает 10 см, вполне возможно использовать один танталовый конденсатор на несколько ИС.

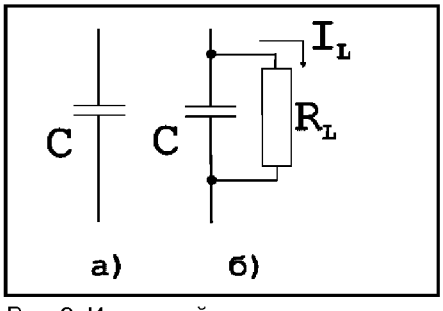


Рис. 3. Идеальный конденсатор и модель утечки

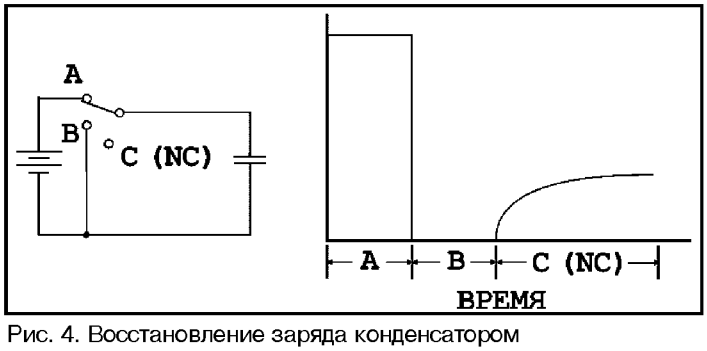


Рис. 4. Восстановление заряда конденсатором

Другой немаловажный момент, который не следует забывать при развязке на высоких частотах, — это физическое расположение конденсатора (рис. 5). Даже короткий отрезок провода обладает значительной индуктивностью, поэтому монтаж конденсаторов необходимо проводить как можно ближе к корпусу ИС и использовать достаточно широкие и короткие дорожки печатной платы.

Идеальным вариантом для развязки на высоких частотах являются конденсаторы для поверхностного монтажа. Их использование позволяет избежать влияния индуктивности выводов конденсатора. Однако может подойти и обычный конденсатор с проволочными выводами при условии, что длина выводов не превышает 1,5 мм.

Вот основные рекомендации по использованию развязывающих конденсаторов:

- используйте конденсаторы, обладающие низкой индуктивностью (монолитные керамические);
- располагайте конденсатор как можно ближе к ИС;
- используйте конденсаторы для поверхностного монтажа;
- используйте короткие, широкие дорожки печатной платы.

Паразитная емкость

Только что мы обсудили паразитные эффекты, которыми обладает конденсатор как конструктивный элемент схемы. Поговорим теперь о так называемой паразитной емкости. Подобно обычному конденсатору, образованному двумя параллельными пластинами, паразитная емкость образуется всякий раз, когда два проводника расположены близко друг к другу (особенно если они параллельны) и при этом не соединены между собой, а также не разделены друг от друга экраном Фарадея (рис. 6):

где C — емкость в пФ,

E_R — диэлектрическая постоянная для воздуха (диэлектрическая проницаемость),

$$C=0.0085*E_R*\frac{A}{d},$$

A — площадь параллельного проводника в мм^2,

d — расстояние между проводниками в миллиметрах.

Паразитная емкость обычно образуется между параллельными дорожками печатной платы (рис. 7*а*) или между дорожками и полигонами на противоположных сторонах печатной платы (рис.7 *б*). К сожалению, проявление и следствия паразитной емкости — особенно на высоких частотах — наблюдаются чаще всего при непосредственном моделировании схемы и могут вызвать серьезные проблемы уже тогда, когда плата системы собрана и запрограммирована. В качестве примеров нарушений работы схемы, вызванных паразитной емкостью, можно привести повышенный уровень шума, снижение частотного диапазона работы устройства и даже нестабильность.

Вычислим емкость, возникающую между дорожками на противоположных сторонах печатной платы, по приведенной выше формуле. Для стандартного материала, из которого изготавливаются платы (E_R=4,7, d=1,5 мм), емкость между проводниками, расположенными на противоположных сторонах печатной платы, составляет около 3 пФ/см^2. На частоте 250 МГц емкость в 3пФ будет обладать реактивностью в 212,2 Ом!

Строго говоря, полностью устранить паразитную емкость невозможно. Единственный верный способ — предпринять соответствующие меры, чтобы свести этот эффект к минимуму.

Один из возможных способов снижения влияния паразитной емкости — использование экрана Фарадея. Экран Фарадея представляет собой обычный заземленный проводник, расположенный между источником воздействия и контуром, который необходимо экранировать. Ниже, на рис. 8, изображена эквивалентная схема, на которой показано как источник высокочастотного шума VN через паразитную емкость C влияет на общий импеданс цепи Z1. Если возможности по управлению источником шума V_N или расположением цепи Z1 ограничены или отсутствуют вообще, введение экрана Фарадея будет наилучшим решением.

$$V_{coupled} = V_N * \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}\right)$$

Как показано ниже (рис. 9*а*), экран Фарадея разрывает связующее электрическое поле. Обратите внимание на то, что шумы и токи наводки замыкаются экраном на сам источник, исключая их влияние на Z_1 (рис. 9*б*).

Еще одним примером может служить емкостная связь в керамических корпусах интегральных схем (рис. 10). В некоторых таких корпусах к металлизированному ободу, расположенному в верхней части корпуса, припаивается крышка из кобальт-никелевого сплава. Производители корпусов предлагают только два варианта: металлизированный ободок может соединяться с одним из угловых выводов корпуса или же может остаться в подвешенном состоянии. В большинстве логических микросхем в одном из углов корпуса располагается вывод заземления, и тем самым крышка оказывается за-

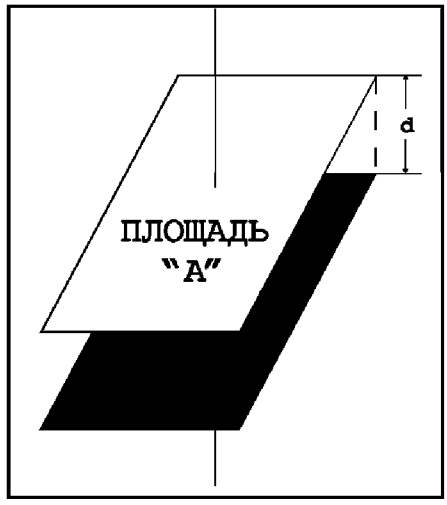


Рис. 6.

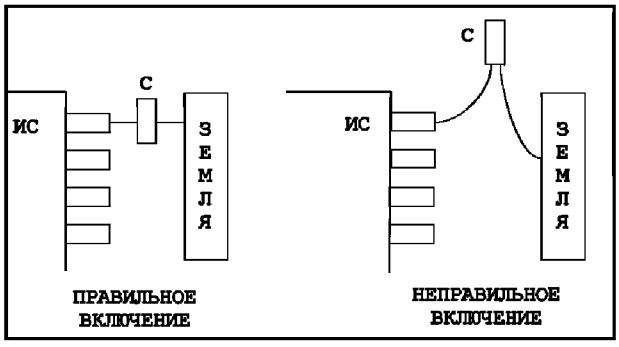


Рис. 5. Примеры включения конденсатора

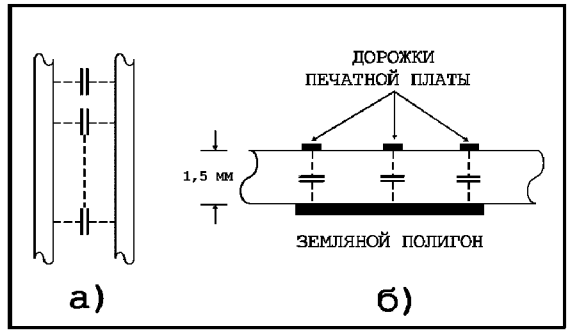


Рис.7.

Таблица 1. Сравнительные характеристики типов конденсаторов

Тип	Диэлектрическая абсорбция (DA)	Преимущества	Недостатки
NPO керамические	< 0,1 %	Малый размер корпуса Невысокая стоимость Хорошая стабильность Широкий выбор номиналов Много поставщиков Низкая индуктивность	DA обычно мала, но может не указываться в спецификации
Полистирол	0,001 %–0,02 %	Недорогие Самый низкий DA Широкий выбор номиналов Хорошая стабильность	Повреждается при температуре выше +85 °С Большие размеры корпуса Высокая индуктивность
Полипропилен	0,001 %–0,02 %	Недорогие Самый низкий DA Широкий выбор номиналов	Повреждается при температуре выше +105 °С Большие размеры корпуса Высокая индуктивность
Тефлон	0,003 %–0,02 %	Самый низкий DA Хорошая стабильность Работа при температуре выше +125 °С Широкий выбор номиналов	Относительно дорогие Большие размеры Высокая индуктивность
МОП	0,1 %	Хорошая стабильность Низкая цена Работа при температуре выше +125 °С Низкая индуктивность	Доступны только малые номиналы емкости
Поликарбонат	0,1 %	Хорошая стабильность Низкая цена Широкий диапазон температур	Большие размеры DA ограничивает применение только до восьмиразрядных приложений Высокая индуктивность
Полиэфир	0,3 %–0,5 %	Приемлемая стабильность Низкая цена Широкий диапазон температур Низкая индуктивность	Большие размеры DA ограничивает применение только до восьмиразрядных приложений Высокая индуктивность
Монолитные керамические **Слюдяные**	> 0,2 % > 0,003 %	Низкая индуктивность Широкий выбор номиналов Малые потери на ВЧ Низкая индуктивность Высокая стабильность Номиналы доступны с точностью 1 % и выше	Низкая стабильность Плохая DA Слишком большие размеры Малые номиналы (< 10 нФ) Дорогие
Электролитические (алюминий)	Высокая	Большие номиналы Большие токи Высокие напряжения Малые размеры	Значительная утечка Обычно поляризованные Плохая стабильность Плохая точность Достаточно индуктивны
Электролитические (тантал)	Высокая	Малые размеры Большие номиналы Умеренная индуктивность	Очень большая утечка Обычно поляризованные Дорогие Плохая стабильность Плохая точность

земленной. Однако это не касается аналоговых микросхем, многие из которых не имеют вывода заземления в углу корпуса. В этом случае крышка остается в подвешенном состоянии. Существуют такие типы микросхем, в которых крышка соединена с питанием, а не с землей!

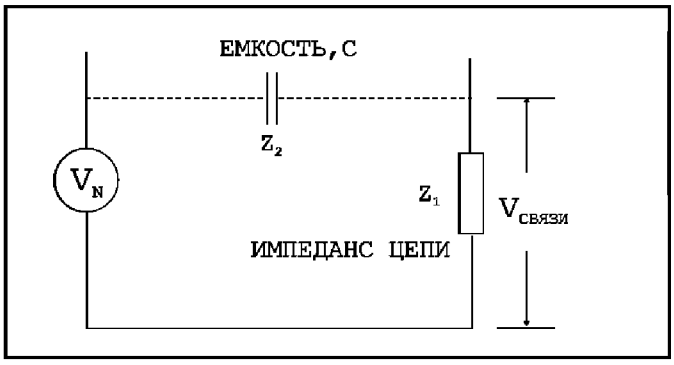


Рис. 8.

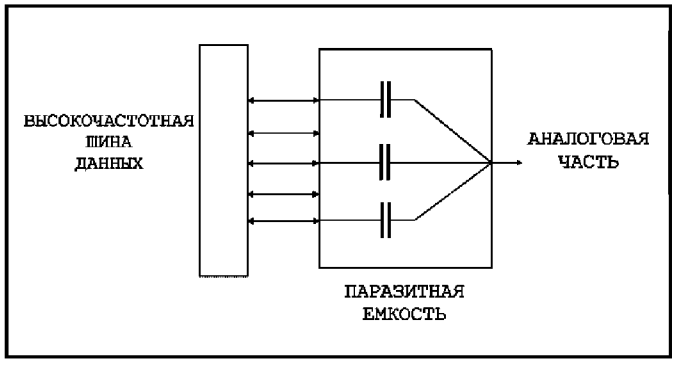


Рис. 12.

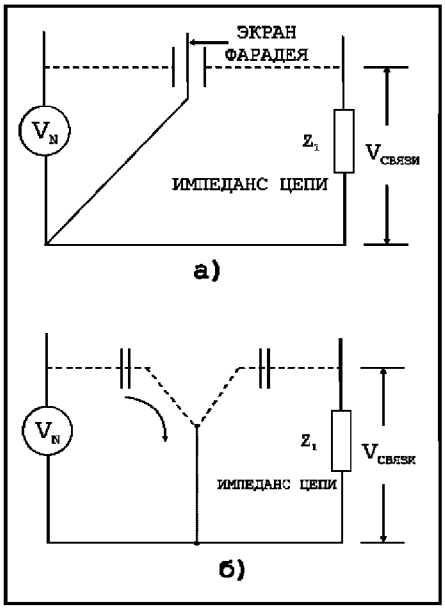


Рис. 9.

шенном состоянии. Оказывается, такие микросхемы гораздо более уязвимы к воздействию электрического поля, чем та же самая схема в неэкранированном пластиковом DIP- корпусе.

В любом случае, независимо от уровня электрических наводок, лучше самостоятельно заземлять крышку корпуса керамической микросхемы там, где это не сделано самим производителем. Для заземления можно использовать обычный проводник, припаянный к крышке

Рис. 10.

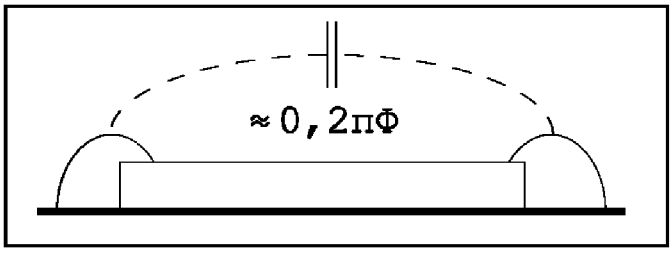


Рис. 11.

(это не повредит микросхему, так как сама схема термически и электрически изолирована от крышки корпуса). Там, где пайка неприемлема, можно использовать проводящую краску или зажим из фосфористой бронзы. Никогда не пытайтесь заземлить крышку корпуса, предварительно не проверив, что она находится в под-

К сожалению, экран Фарадея оказывается непрактичен для устранения паразитной емкости между вывода-

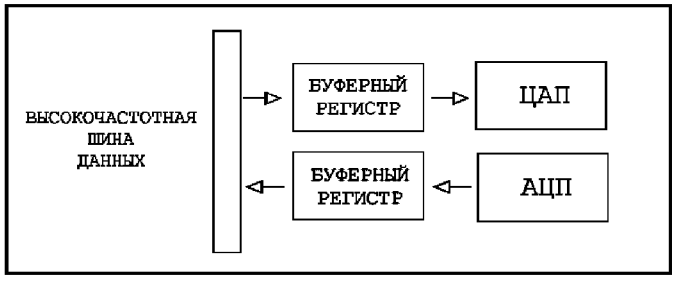


Рис. 13.

ми корпуса интегральной микросхемы (рис. 11). Это имеет важные последствия. Паразитная емкость между двумя выводами и связанной с ними выводной рамкой обычно составляет порядка 0,2 пФ. Реально наблюдаемая величина лежит в пределах 0,05–0,6 пФ.

Рассмотрим преобразователь (АЦП или ЦАП) с высокой разрешающей способностью, подключенный к высокоскоростной шине данных (рис. 12). Каждая линия шины, которая переключается со скоростью 2–5 В/нс, способна через паразитную емкость воздействовать на аналоговый порт преобразователя. В результате проникающие в аналоговую часть преобразователя цифровые фронты снизят производительность преобразователя в целом.

Эта проблема может быть решена, если между цифровой шиной и преобразователем поместить буферный регистр (рис. 13). Несмотря на то что такой способ требует дополнительных элементов, которые занимают место на плате, увеличивают потребление устройства в целом, а также повышают его стоимость, он может значительно улучшить соотношение сигнал-шум преобразователя.

Сергей Груздев, Москва

По материалам фирмы Analog Devices

ОТЛАДОЧНЫЕ СРЕДСТВА
ВНУТРИСХЕМНЫЕ ЭМУЛЯТОРЫ
для микропроцессоров:

DALLAS	DS87C520/530, DS80C320
ATMEL	AT89C51/52/55, AT89C2051
INTEL	80C31/32, 80C85, 80C86
PHILIPS	80C552/562
TEXAS Inst.	TMS320C10

НПФ «АСАН»
тел: (095) 286-8475
E-mail: asgor @ orc.ru

Программируемые логические интегральные схемы: обзор архитектур и особенности применения

Что такое ПЛИС, объясните, плиз...
Из вопросов на конференции фирмы «Телесистемы» www.telesys.ru

Программируемые логические интегральные схемы становятся в последнее время все более распространенной и привычной элементной базой для разработчиков цифровых устройств. Последние годы характеризуются резким ростом плотности упаковки элементов на кристалле, многие ведущие производители либо начали серийное производство, либо анонсировали ПЛИС с эквивалентной емкостью более 1 миллиона логических вентилей. Цены на ПЛИС неуклонно падают. Так, еще год — полтора назад ПЛИС емкостью 100 000 вентилей стоила в Москве, в зависимости от производителя приемки и быстродействия от $1500 до $3000. Сейчас такая микросхема стоит от $50 до $350, то есть цены упали практически на порядок, и эта тенденция устойчива. Что касается ПЛИС емкостью 10000—30000 логических вентилей, то появились микросхемы стоимостью менее 10 у.е.

В табл. 1 приведена динамика развития рынка ПЛИС (по данным [1])

В связи с этим появляется ряд вопросов, касающихся того, какую элементную базу и как использовать в новых разработках, а также при проведении модернизации существующих систем.

Таблица 1. Объем рынка ПЛИС, млн $

Область продаж	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Военно-промышленная и космическая	43	68	92	119	150	188
Гражданская	684	1125	1538	2146	2823	3678
Итого	727	1193	1630	2265	2973	3866

Рассмотрим особенности выбора элементной базы на примере проектирования устройств цифровой обработки сигналов.

Современные алгоритмы обработки сигналов функционально можно разделить на следующие основные классы.

1. Алгоритмы цифровой фильтрации (в том числе алгоритмы нелинейной, оптимальной, адаптивной фильтрации, эвристические алгоритмы, полиномиальные фильтры, алгоритмы фильтрации изображений и др.). Подробная классификация алгоритмов цифровой фильтрации и перспективы путей реализации алгоритмов на ПЛИС приведены в [2].

2. Алгоритмы, основанные на применении ортогональных преобразований (быстрые преобразования Фурье, Хартли, Уолша, Адамара, преобразование Карунена-Лоэва и др.).

3. Алгоритмы, реализующие кодирование и декодирование, модуляторы и демодуляторы, в том числе сложных сигналов (псевдослучайных, хаотических и др.).

4. Алгоритмы интерфейсов и стандартных протоколов обмена и передачи данных.

Далее рассмотрим перспективы тех или иных путей реализации алгоритмов ЦОС на базе ПЛИС.

Реализация алгоритмов ЦОС на базе ПЛИС

Основными достоинствами ПЛИС при использовании их в средствах обработки сигналов являются:

- высокое быстродействие;
- возможность реализации сложных параллельных алгоритмов;
- наличие средств САПР, позволяющих провести полное моделирование системы;
- возможность программирования или изменения конфигурации непосредственно в системе;
- совместимость при переводе алгоритмов на уровне языков описания аппаратуры (VHDL, AHDL, Verilog и др.);
- совместимость по уровням и возможность реализации стандартного интерфейса;
- наличие библиотек мегафункций, описывающих сложные алгоритмы;
- архитектурные особенности ПЛИС как нельзя лучше приспособлены для реализации таких операций, как умножение, свертка и т. п.

В настоящее время быстродействие ПЛИС достигло величин порядка 250–300 МГц, что позволяет реализовать многие алгоритмы в радиодиапазоне.

Рассмотрим историю развития архитектур ПЛИС. В конце 1970 годов на рынке появились ПЛИС, имеющие программируемые матрицы «И» и «ИЛИ». В зарубежной литературе эти архитектуры носили название FPLA (Field Programmable Logic Array) и FPLS (Field Programmable Logic Sequensers). В те времена отечественная электронная промышленность была еще «на плаву», и вскоре появились отечественные схемы К556РТ1, РТ2, РТ21. Недостаток такой архитектуры — слабое использование ресурсов программируемой матрицы «ИЛИ».

Идя по пути совершенствования такой архитектуры, разработчики ПЛИС предложили более простую и изящную архитектуру программируемой матричной логики (PAL — Programmable Array Logic и GAL — Gate Array Logic). Это ПЛИС, имеющие программируемую матрицу «И» и фиксированную матрицу «ИЛИ». У ПЛИС GAL на выходе имеется триггер. К этому классу относится широкая номенклатура ПЛИС небольшой степени интеграции. В качестве примеров можно привести отечественные ИС КМ1556ХП4, ХП6, ХП8, ХЛ8, ранние разработки (середина-конец 1980-х годов) ПЛИС фирм Intel, Altera, AMD, Lattice и др. Помимо PAL и GAL архитектур были разработаны ПМЛ, имеющие только одну программируемую матрицу «И», например, схема 85С508 фирмы Intel. Другим подходом к уменьшению избыточности программируемой матрицы «ИЛИ» является программируемая макрологика. ПЛИС, построенные по данной архитектуре, содержат единственную программируемую матрицу «И-НЕ» или «ИЛИ-НЕ», но за счет многочисленных инверсных обратных связей способны формировать сложные логические функции. К этому классу относятся, например, ПЛИС PLHS501 и PLHS502 фирмы Signetics, имеющие матрицу «И-НЕ», а также схема XL78C800 фирмы Exel, основанная на матрице «ИЛИ-НЕ».

Перечисленные выше архитектуры ПЛИС, содержащие небольшое число ячеек, к настоящему времени морально устарели и применяются для реализации относительно простых устройств, для которых не существует готовых ИС средней степени интеграции. Естественно, для реализации серьезных алгоритмов управления или ЦОС они не пригодны.

В начале 1980-х годов на мировой рынок микроэлектронных изделий выходят три ведущие фирмы-производители ПЛИС. В июне 1983 года основана фирма Altera Corporation (www.altera.com), в феврале 1984 — компания Xilinx, Inc. (**www.xilinx.com**), в 1985 году — Actel Corporation (**www.actel.com**). Эти три компании занимают до 80 % всего рынка ПЛИС и являются основными разработчиками идеологии их применения. Если ранее ПЛИС являлись одним из множества продуктов, выпускаемых такими гигантами, как Intel, AMD и др., то начиная с середины 1980-х годов на рынке ПЛИС происходит специализация и законодателями мод становятся фирмы, специализирующиеся только на разработке и производстве ПЛИС.

С новыми производителями появились и новые архитектуры. ИС ПМЛ

Таблица 1. Объем рынка ПЛИС, млн $

	EPM3032A	EPM3064A	EPM3128A	EPM3256A
Логическая емкость, эквивалентных вентилей	600	1250	2500	5000
Число макроячеек	32	64	128	256
Число логических блоков	2	4	8	16
Число программируемых пользователем выводов	34	66	96	158
Задержка распространения сигнала вход-выход, t_{PD}, нс	04.май	04.май	5	6
Время установки глобального тактового сигнала, t_{SU}, нс	3.0	3.0	03.фев	03.июл
Задержка глобального тактового сигнала до выхода, t_{CO1}, нс	02.авг	02.авг	3.0	03.мар
Максимальная глобальная тактовая частота, f_{CNT}, МГц	192.3	192.3	181.8	156.3

имеют архитектуру, весьма удобную для реализации цифровых автоматов. Развитие этой архитектуры — CPLD (Complex Programmable Logic Devices) — ПЛИС, содержащие несколько логических блоков (ЛБ), объединенных коммутационной матрицей. Каждый ЛБ представляет собой структуру типа ПМЛ, то есть программируемую матрицу «И» и фиксированную матрицу «ИЛИ». ПЛИС типа CPLD, как правило, имеют довольно высокую степень интеграции (до 10 000 эквивалентных вентилей, до 256 макроячеек). К этому классу относятся ПЛИС семейства MAX5000 и MAX7000 фирмы Altera, схемы XC7000 и XC9500 фирмы Xilinx, а также большое число микросхем других производителей (Atmel, Vantis, Lucent и др.). Рассмотрим эту архитектуру на примере ПЛИС семейства MAX3000 фирмы Altera. Их архитектура близка к архитектуре семейства MAX7000, однако имеется ряд небольших отличий. В таблице приведены основные параметры ПЛИС MAX3000.

Микросхемы семейства MAX-3000 выполнены по CMOS EPROM технологии, при соблюдении технологических норм 0.35 мкм, что позволило существенно удешевить их по сравнению с семейством MAX7000S. Все ПЛИС MAX-3000 поддерживают технологию программирования в системе (ISP, In-System Programmability) и периферийного сканирования (boundary scan) в соответствии со стандартом IEEE Std. 1149.1 JTAG. Элементы ввода-вывода (ЭВВ) позволяют работать в системах с уровнями сигналов 5 В, 3.3 В, 2.5 В. Матрица соединений имеет непрерывную структуру, что позволяет реализовать время задержки распространения сигнала до 4,5 нс. ПЛИС MAX3000 имеют возможность аппаратной эмуляции выходов с открытым коллектором (open-drain pin) и удовлетворяют требованиям стандарта PCI. Имеется возможность индивидуального программирования цепей сброса, установки и тактирования триггеров, входящих в макроячейку. Предусмотрен режим пониженного энергопотребления. Программируемый логический расширитель позволяет реализовать на одной макроячейке функции до 32 переменных. Имеется возможность задания бита секретности (security bit) для защиты от несанкционированного тиражирования разработки.

Реализация функции программирования в системе поддерживается с использованием стандартных средств загрузки, таких как ByteBlasterMV, BitBlaster, MasterBlaster. Также поддерживается формат JAM.

ПЛИС MAX3000 выпускаются в корпусах от 44 до 208 выводов.

На рис. 1 представлена функциональная схема ПЛИС семейства MAX3000.

Основными элементами структуры ПЛИС семейства MAX3000 являются:

- логические блоки (ЛБ, LAB, Logic Array Blocks);
- макроячейки (МЯ, macrocells);
- логические расширители (expanders), параллельный (parallel) и разделяемый (shareable);
- программируемая матрица соединений (ПМС, Programmable Interconnect Array, PIA);
- элементы ввода/вывода (ЭВВ, I/O control block).

ПЛИС семейства MAX3000 имеют четыре вывода, закрепленных за глобальными цепями (dedicated inputs). Это глобальные цепи синхронизации сброса и установки в третье состояние каждой макроячейки. Кроме того, эти выводы можно использовать как входы или выходы пользователя для «быстрых» сигналов, обрабатываемых в ПЛИС.

Как видно из рис. 1, в основе архитектуры ПЛИС семейства MAX3000 лежат логические блоки, состоящие из 16 макроячеек каждый. Логические блоки соединяются с помощью программируемой матрицы соединений. Каждый логический блок имеет 36 входов с ПМС.

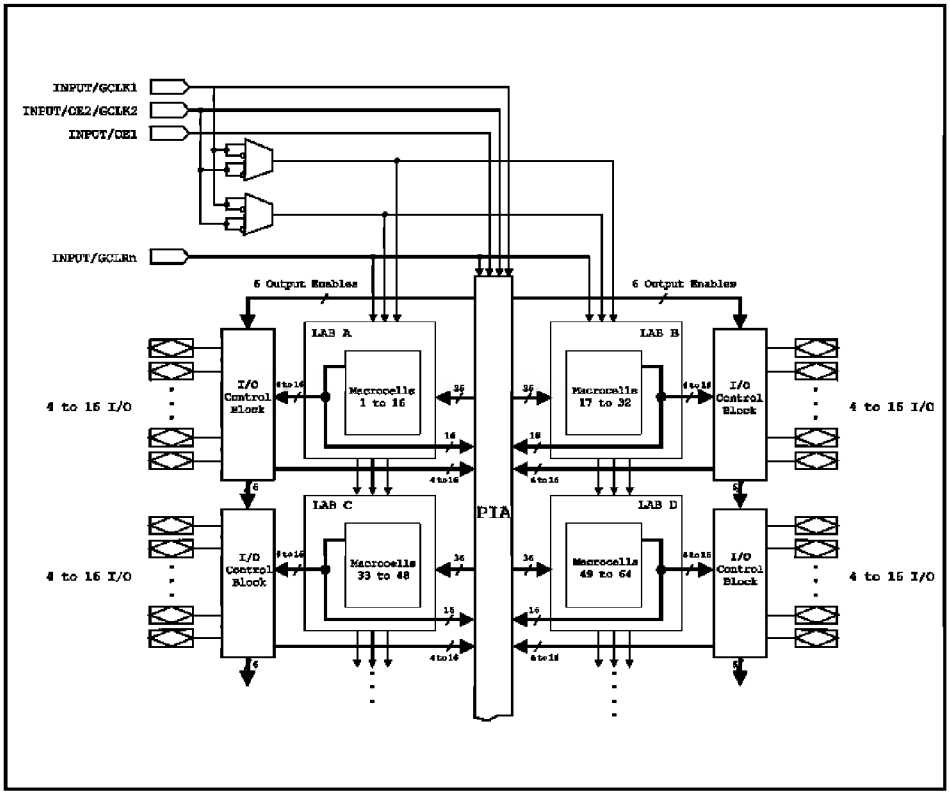


Рис. 1. Функциональная схема ПЛИС семейства MAX3000

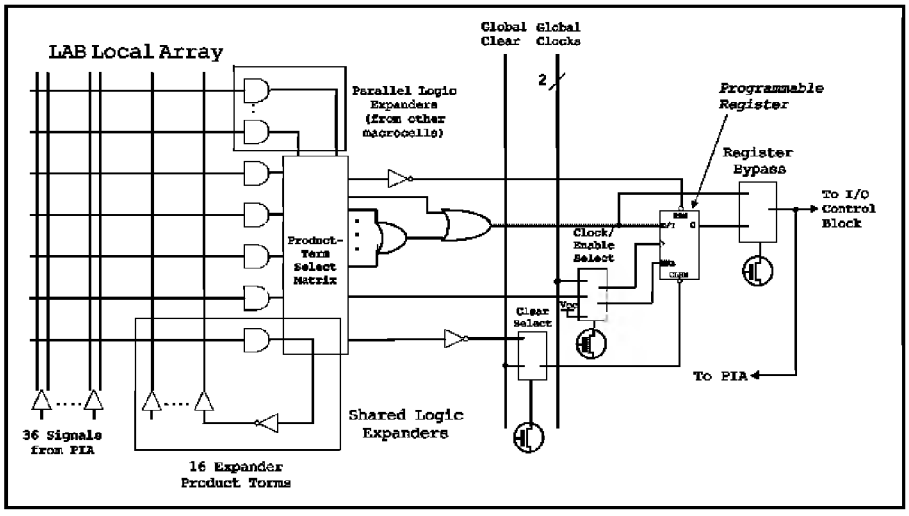


Рис. 2. Структурная схема макроячейки ПЛИС семейства MAX3000

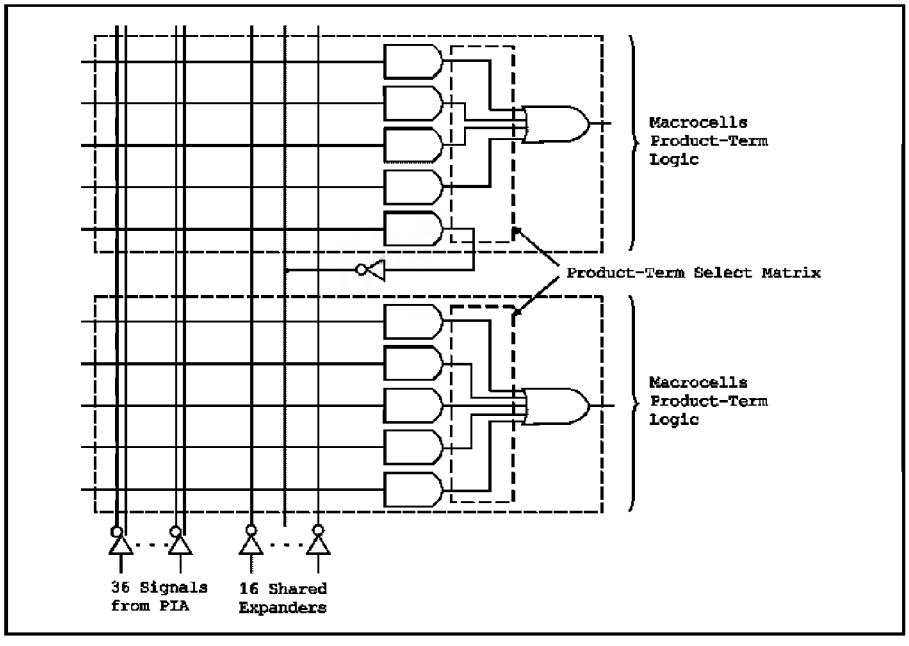


Рис. 3. Разделяемый логический расширитель

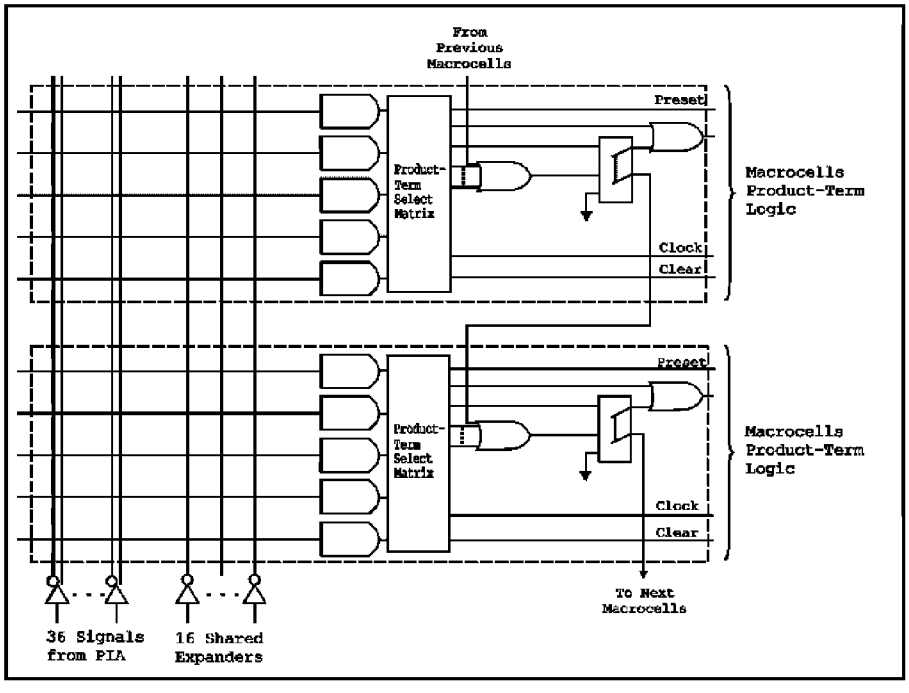


Рис. 4. Параллельный логический расширитель

На рис 2. приведена структурная схема макроячейки ПЛИС семейства MAX3000.

МЯ ПЛИС семейства MAX3000 состоит из трех основных узлов:

- локальной программируемой матрицы (LAB local array);
- матрицы распределения термов (product-term select matrix);
- программируемого регистра (programmable register).

Комбинационные функции реализуются на локальной программируемой матрице и матрице распределения термов, позволяющей объединять логические произведения либо по ИЛИ (OR), либо по исключающему ИЛИ (XOR). Кроме того, матрица распределения термов позволяет скоммутировать цепи управления триггером МЯ.

Режим тактирования и конфигурация триггера выбираются автоматически во время синтеза проекта в САПР Max+Plus II в зависимости от выбранного разработчиком типа триггера при описании проекта.

В ПЛИС семейства MAX3000 доступно 2 глобальных тактовых сигнала, что позволяет проектировать схемы с двухфазной синхронизацией.

Для реализации логических функций большого числа переменных используются логические расширители.

Разделяемый логический расширитель (рис. 3) позволяет реализовать логическую функцию с большим числом входов, предоставляя возможность объединить МЯ, входящие в состав одного ЛБ. Таким образом, разделяемый расширитель формирует терм, инверсное значение которого передается матрицей распределения термов в локальную программируемую матрицу и может быть использовано в любой МЯ данного ЛБ. Как видно из рис. 3, имеется 36 сигналов локальной ПМС, а также 16 инверсных сигналов с разделяемых логических расширителей, что позволяет в пределах одного ЛБ реализовать функцию до 52 термов ранга 1.

Параллельный логический расширитель (рис. 4) позволяет использовать локальные матрицы смежных МЯ для реализации функций, в которые входят более 5 термов. Одна цепочка параллельных расширителей может включать до 4 МЯ, реализуя функцию 20 термов. Компилятор системы Max+Plus II поддерживает размещение до 3-х наборов не более 5 параллельных расширителей в каждом.

На рис. 5 приведена структура программируемой матрицы соединений.

На ПМС выводятся сигналы от всех возможных источников: ЭВВ, сигналов обратной связи ЛБ, специализированных выделенных выводов. В процессе программирования только необходимые сигналы «заводятся» на каждый ЛБ. На рис 5 приведена структурная схема формирования сигналов ЛБ.

На рис. 6 приведена схема элемента ввода-вывода (ЭВВ) ПЛИС семейства MAX3000. ЭВВ позволяет организовать режимы работы с открытым коллектором и третьим состоянием.

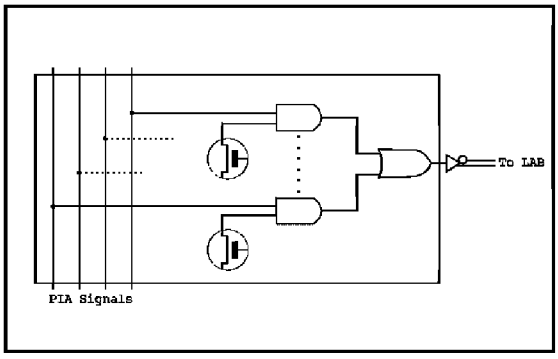


Рис. 5. Структура ПМС ПЛИС семейства MAX3000

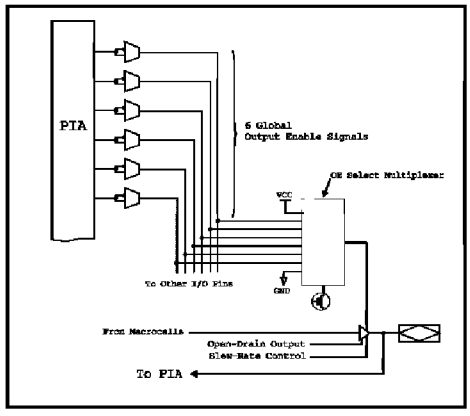


Рис. 6. Элемент ввода-вывода

Литература

1. Вицын Н. Современные тенденции развития систем автоматизированного проектирования в области электроники // Chip News, № 1, 1997. С. 12–15.
2. Губанов Д. А., Стешенко В. Б., Храпов В. Ю., Шипулин С. Н. Перспективы реализации алгоритмов цифровой фильтрации на основе ПЛИС фирмы ALTERA // Chip News, № 9–10, 1997, с. 26–33.

Владимир Стешенко, Москва

Конструкторы Velleman — для начинающих и не только

В советские времена отечественная промышленность выпускала довольно много, хотя и убогих, но все-таки работоспособных радиоконструкторов для начинающих. Их примитивность и несовершенство порой давали даже положительный эффект: у каждого, кто сталкивался с ними, сразу же возникало желание внести какие-либо изменения в схему с целью улучшения параметров. Иногда даже получалось так, что купленный радиоконструктор использовался просто как набор дефицитных в то время радиодеталей.

В наши дни, казалось бы, ситуация должна была в корне измениться. Свободный доступ к современной элементной базе позволяет создавать действительно интересные и относительно недорогие наборы, самостоятельная сборка устройств из которых позволила бы новичкам быстро освоить основы современной схемотехники. Однако, полки магазинов отнюдь не впечатляют нас обилием конструкторов — их там просто нет. Это отражает сегодняшнее отношение к образованию в нашей стране в целом: про него просто забыли, считая, что есть куда более актуальные проблемы.

К счастью, иностранные производители не забывают о том, что подрастающему поколению необходимо на чем-то учиться, и выпускают достаточно широкий спектр радиоконструкторов. Одним из наиболее известных в нашей стране производителей является фирма Velleman.

В число выпускаемых этой фирмой радиоконструкторов входят как совсем простые наборы, основной целью которых является обучение, так и сложные устройства, имеющие практическое применение. Все выпускаемые наборы условно можно разделить на 10 групп:

- мини-наборы, в состав которых входят совсем простые радиоконструкторы, из которых можно собрать разного рода игрушки, часы и прочие несложные схемы;
- наборы для создания автомобильных устройств; в их состав входят системы зажигания, тахометры, парковочные радары, автосигнализации и прочие автомобильные устройства;
- конструкторы, для создания аудиоустройств; сюда включен широкий диапазон устройств, от простых сирен и генераторов до hi-fi аудиоусилителей;
- интерфейсные модули, предназначенные для управления различного рода нагрузками, шаговыми двигателями и организации интерфейса с персональным компьютером;
- модули, применяемые в радиоконструкторах; сюда входят источники питания, низкочастотные усилители и другие устройства;
- различные автоматы световых эффектов, а также устройства для управления светоизлучающими приборами;
- измерительные устройства; к их числу относятся функциональные генераторы, вольтметры, измерители давления, уровня жидкости, а также устройства индикации измеряемых величин;
- источники электропитания; наборы из этой группы позволяют собрать различные универсальные блоки питания и зарядные устройства для аккумуляторов;
- модули для организации дистанционного управления: инфракрасные и радиочастотные пульты управления и платы приемников к ним;
- таймеры и системы управления, позволяющие организовать включение/выключение устройств по заданному расписанию или в зависимости от показаний датчиков температуры, оборотов электродвигателя и т.п.;
- видео компоненты; эта группа представлена приемником и передатчиком видеосигнала, платой захвата видео для персонального компьютера, а также конвертером композитного видеосигнала в RGB.

Легко заметить, что в спектре продукции фирмы Velleman присутствуют как простые наборы, так и устройства, изготовление которых может заинтересовать даже радиолюбителей со стажем. В России конструкторы Velleman можно купить в магазинах «Чип&Дип».

Алексей Сигаев, Тверь
По материалам сайта www.velleman.be

Зарядное устройство с голосовой индикацией

В настоящее время известно достаточно много различных видов аккумуляторов. Однако наибольшее распространение в бытовой технике получили аккумуляторы трех следующих типов: никель-кадмиевые (NiCd), металл-гидридные (NiMH) и литий-ионные (Li-Ion), причем аккумуляторы двух последних типов распространены пока значительно менее никель-кадмиевых. Связано это с тем, что NiMH и Li-Ion аккумуляторы имеют значительно более сложный по сравнению с NiCd режим зарядки, хотя и обладают значительно большей удельной емкостью.

Современные типы аккумуляторов могут заряжаться токами различной величины. Стандартным для NiCd аккумуляторов считается режим зарядки током С/10 (С — емкость аккумулятора) в течение 14–15 часов. Основным преимуществом этого режима является то, что отсутствует необходимость строгого соблюдения времени зарядки. При зарядке током С/10 аккумуляторы способны выдерживать в зарядном устройстве время, значительно превышающее 15 часов, практически без каких бы то ни было последствий.

Однако существует и другой режим зарядки, при котором аккумуляторы заряжаются значительно большим током за меньший промежуток времени. Зарядный ток при этом может иметь величину вплоть до Сг2, а время зарядки полностью разряженного аккумулятора при таком токе составляет порядка 3-х часов. Но здесь возникает проблема: при пропускании через уже заряженный аккумулятор большого зарядного тока в аккумуляторе происходят необратимые изменения, которые ведут к значительному сокращению срока его службы. Чтобы этого не происходило, необходимо использовать специальную схему, которая следила бы за окончанием зарядного процесса и отключала зарядное устройство. В принципе для решения этой проблемы можно было бы использовать таймер, который отключал бы зарядное устройство по истечении некоторого времени с момента начала зарядки. Однако этот метод нельзя использовать, если установленный в зарядное устройство аккумулятор не был полностью разряжен, поскольку при этом он зарядится за меньший промежуток времени и все оставшееся время будет подвержен разрушительному воздействию. Выходом из этой ситуации является создание устройства, которое определяло бы окончание зарядки по некоторым критериям, связанным со свойствами аккумуляторов. Современное зарядное устройство должно использовать для NiCd аккумуляторов следующие критерии определения момента окончания зарядного процесса:

- превышение максимального времени зарядки; при этом время, необходимое для зарядки полностью разряженного аккумулятора, можно получить из примерного соотношения **T = C/I 1.4**, где С — емкость аккумулятора в Аг·ч, I — зарядный ток в амперах; например, если емкость аккумулятора составляет 1.5 Аг·ч, а зарядный ток поддерживается на уровне 0.5 А, то максимальное время зарядки составит чуть более 4 часов;
- превышение напряжением на аккумуляторе некоторого порогового значения; для NiCd аккумуляторов это значение составляет порядка 1.85 В (на рис.1 представлен типичный график зависимости напряжения на аккумуляторе от степени заряженности);
- наличие отрицательного прироста напряжения на аккумуляторе; в течение всего процесса зарядки напряжение на аккумуляторе плавно возрастает, и лишь в конце зарядного процесса оно начинает падать; в качестве критерия окончания зарядки можно использовать падение напряжения на аккумуляторе более чем на 20 мВ;
- при очень больших зарядных токах (порядка 2 гС) желательно наличие контроля температуры аккумулятора и отключение зарядного устройства при ее превышении или ускоренном росте (на рис. 2 представлен график зависимости температуры аккумулятора от степени заряженности).

Представленное ниже зарядное устройство позволяет использовать для контроля процесса зарядки любой из перечисленных выше критериев, кроме температуры. Оно разрабатывалось для замены электроники в стандартном зарядном устройстве фирмы ICOM — BC-133. Стандартная схема BC-133 представляет собой простой стабилизатор тока, рассчитанный на зарядный ток порядка 100 мА (устройство используется для зарядки батарей из восьми NiCd аккумуляторов емкостью 1050 мАг·ч). Разработка новой схемы была вызвана желанием получить быстрое зарядное устройство с контролем окончания зарядки и индикацией уровня заряженности аккумулятора. Предлагаемая вашему вниманию схема имеет целый ряд особенностей, связанных с разработкой ее именно для замещения стандартной электроники и желанием максимально использовать детали и компоненты стандартной схемы.

При разработке зарядного устройства ставилась задача обеспечения вывода информации о степени заряженности аккумулятора. В силу некоторых конструктивных особенностей используемого корпуса оказалось неудобным применять для отображения стандартные светодиодные индикаторы, поэтому было принято решение оснастить устройство голосовым информатором, сообщающим всю необходимую информацию о прохождении процесса зарядки.

Рассмотрим теперь более подробно схему устройства, которая приведена на рис. 1.

Основу данной схемы составляет микроконтроллер AT90S4433 фирмы Atmel (U3). Выбор микроконтроллера был обусловлен наличием у него как минимум трех каналов АЦП и достаточного количества портов ввода-вывода. Микроконтроллер осуществляет управление процессом зарядки, а также вывод звуковой информации. Следует обратить внимание на некоторую нестандартность получения необходимого для питания микроконтроллера напряжения +5 В, для чего используется линейный стабилизатор на -5 В LM79L05 (U2), подключенный общим проводом к +15 В (напряжение блока питания устройства). Таким образом, напряжение на общем проводе микроконтроллера составляет +10В (15–5В) относительно «-» источника питания.

Для вывода звука используется ЦАП, собранный на восьми резисторах (R2-R9), подключенных к портам С и D микроконтроллера. Для ЦАП можно использовать резисторы и других номиналов: главное, чтобы их сопротивления соотносились как 128:64:32:...:1. Сигнал с ЦАП поступает на интегральный аудиоусилитель LM386 (U4), к которому через разделительный конденсатор подключен малогабаритный динамик LS1

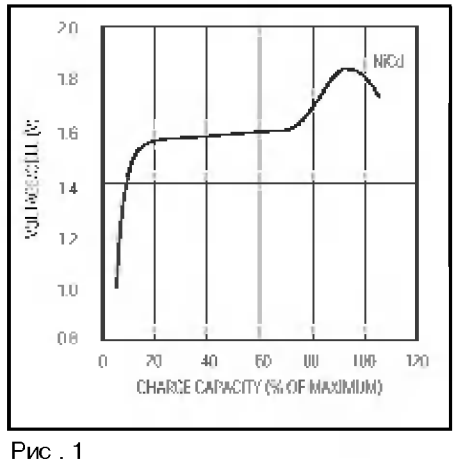


Рис . 1

(использовалась миниатюрная динамическая головка с сопротивлением катушки 8 Ом).

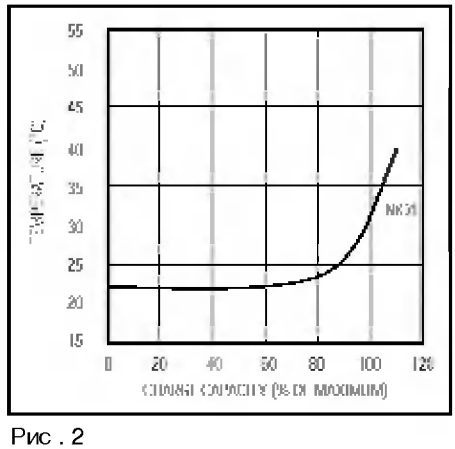


Рис . 2

Все необходимые звуковые сигналы и фразы хранятся в оцифрованном виде в микросхеме flash-памяти AT45D041 фирмы Atmel (U1), объем которой составляет 2048 страниц по 264 байта. Этого достаточно для хранения до 70 секунд звука, оцифрованного с частотой дискретизации 8 КГц (разрядность

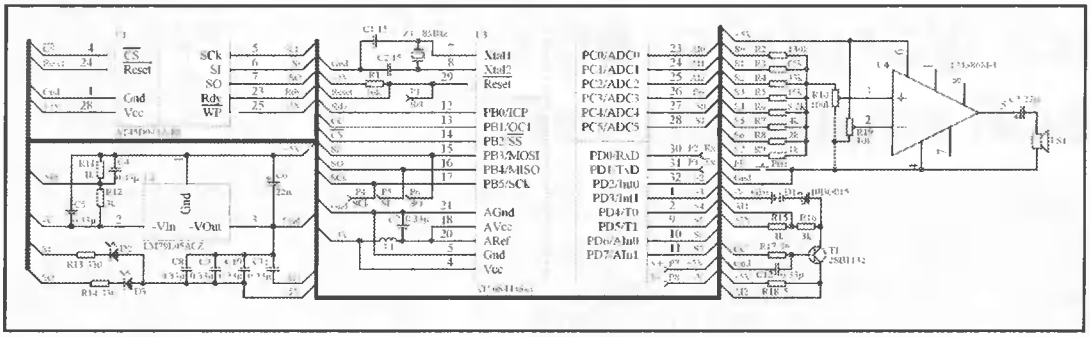


Рис . 3

оцифровки 8 бит). Память подключена к микроконтроллеру с использованием встроенного в него контроллера Serial Peripherals Interface (SPI). В устройстве не применялось никаких алгоритмов сжатия звука, поскольку указанного выше объема памяти вполне достаточно для хранения всех необходимых фраз. Однако в случае необходимости можно сжимать звук каким-либо из простейших способов, что даст удвоение длительности звучания.

Заряжаемый аккумулятор минусом подключается к минусовому проводу источника питания, а плюсом через диод Шоттки D1 к коллектору транзистора T1. Управление транзистором осуществляется микроконтроллером с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ), для чего применяется встроенный в него модуль Pulse Width Modulator (PWM). Для анализа хода зарядки в микроконтроллере задействованы три из шести каналов АЦП, которые через делители подключены к отрицательному напряжению питания, коллектору транзистора T1 и резистору R18. Резистор R18, имеющий сопротивление 5 Ом, включен в схему для ограничения и измерения зарядного тока.

Помимо звуковой индикации устройство имеет также два светодиода красного и зеленого цвета, которые отображают текущее состояние. Для управления используется кнопка PB1, при нажатии которой зарядное устройство сообщает голосом всю необходимую информацию о процессе зарядки.

В следующем номере журнала будут подробно рассмотрены вопросы, связанные с программой микроконтроллера, подключением устройства к компьютеру и начальной инициализацией содержимого flash-памяти.

Алексей Сигаев,
Тверь

Обзор системы сквозного проектирования электронных устройств Veribest

В 1991-м году мне дали возможность поработать в P-CAD. Впечатление от него было огромное. Я часами просиживал за 286-м, разбираясь в его возможностях и ограничениях. Книжки Сучкова у меня не было, а поэтому первая плата прошла производственный цикл лишь спустя год.

Зато я смог досконально изучить особенности P-CAD. В 1997-м году попробовал в работе автотрассировщик Specctra и, восхитившись его мощью, написал конвертер P2S (P-CAD to Specctra). Потом освоил пакет Design Lab, потому как плату развести — дело конечно важное, но ведь и схема должна быть спроектирована правильно. Правда, первое знакомство с продуктом фирмы Microsim состоялось намного раньше. PSpice открывал для широкого круга разработчиков доселе неведомые возможности. А появление в составе пакета редактора печатных плат и интерфейса с системой синтеза программируемой логики фактически поставило крест на использовании P-CAD. Некоторые недостатки Design Lab заставляют меня искать ему альтернативу, хотя уже в течение более чем двух лет я использую Design Lab как основной и единственный инструмент для разработки.

Вот в этих исканиях я совершенно случайно и наткнулся на диск с полным пакетом программ от Veribest. Приятное удивление посетило меня при первых же пробах. Особенно поразил Expedition PCB. Но об этом позднее.

Состав пакета

Veribest-99 (именно об этой версии и пойдет речь в дальнейшем), в принципе, можно назвать полноценным пакетом сквозного проектирования. В нем есть все, что необходимо разработчику! Естественно, редактор схем и редактор печатных плат, Spice-подобный аналоговый симулятор, HDL-редактор, дизайнер машины состояний, SDL-редактор, HDL-code generator, FPGA, CPLD и ASIC интерфейсы и огромная библиотека. Если ставить все компоненты, как рекомендуют разработчики, то пакет займет что-то около 500 мегабайт дисковой памяти. При умелом использовании общих ресурсов, можно, конечно, сэкономить мегабайт двести.

Остановимся теперь более подробно на наиболее важных в работе разработчика компонентах комплекса Veribest-99.

Design Capture

В программе, а точнее комплексе программ и утилит под названием Design Capture сосредоточена почти половина всех функций пакета Veribest-99:

- редактор схем;
- HDL-редактор;
- дизайнер машины состояний;
- SDL-редактор.

Первое, что я попробовал, — нарисовать схему. Однако все оказалось не так то просто. Ввиду большого разнообразия способов первичного ввода информации, разработчиками было введено понятие проект. Так вот в начале работы необходимо этот проект создать. После этого в него можно добавлять уже существующие блоки схем, таблиц, машин состояний, HDL и SDL. Также появляется возможность создавать и редактировать новые блоки. Конструкторы, имеющие опыт работы с OrCad, найдут много общего у Capture от Veribest и Capture от OrCad.

Вторая проблема, с которой я столкнулся, — библиотека элементов. До сих пор остаются некоторые вопросы, на которые я не смог найти ответа. Например, на листе можно расположить символ элемента, а также поместить некий «Device». Это уже впоследствии я понял, что в Veribest методика моделирования и проектирования печатных плат различается и именно поэтому в программе существует двоякое толкование одних и тех же понятий. Видимо, на разработку пакета Veribest оказал влияние стандарт де-факто, определенный концерном Mentor Graphics. Он (Mentor Graphics) до сих пор является законодателем мод в области CAD на платформе UNIX, а ныне — и владельцем объекта нашего разбирательства. Подход Mentor достаточно специфичен. Он заключается в максимальной изоляции разнородных элементов. Этот подход я впервые ощутил, тренируясь с Integra Station. Например, компонент имеет следующие характеристики: резистор, 1,01 кОм, отклонение 1 %, мощностью 0,125 Вт. Для него имеется точка входа в библиотеку, как и для другого элемента, со следующими характеристиками: резистор, 1,01 кОм, отклонение 0.5 %, мощностью 0,125 Вт. Разница лишь в параметре «допуск», но этого уже достаточно, чтобы вводить новый объект. Это входит в противоречие с совершенно иной концепцией, использующей принципы наследования и механизм атрибутов. Правда, у такого подхода есть плюс — существенно увеличивается надежность обратной инженерной корректировки.

Схему я, в конце концов, нарисовал. Попробовал упаковать, чтобы впоследствии загрузить список цепей на плату для последующей разводки, но не тут то было. Выясняется, что в библиотеке есть символы, пригодные к упаковке, а есть непригодные. Если быть точным, то почти все символы, в отличие от Device, не пакуются. Зато Device непригодны для моделирования. Вот такие они, эти библиотечки!

Второе, что я сделал, это написал маленькую программку на VHDL и попытался запихнуть ее в одну из микросхем от Altera, Vantis или Xilinx. Достаточно долго пришлось разбираться с методикой синтеза логики. Это мне удалось, но тут я хочу вас разочаровать. В Veribest задача синтеза из HDL-текста возложена на, дополнительно приобретаемый программный пакет FPGA-Express фирмы Synopsys. Design Capture здесь играет лишь роль CASE-системы, генерирующей код из введенных вами графов переходов, машин состояний и SDL-диаграмм. Аналогичным продуктом, выполняющим такие же функции, является Renoir (опять же от Mentor Graphics; Renoir использует для синтеза пакет Exemplar Logic). Полностью оценить возможности Design Capture я не смог по причине отсутствия документации. Этому также мешает некоторое недоверие к

генераторам HDL. При скудности ресурсов современных CPLD и FPGA, когда фактор цены играет решающую роль, доверять синтез CASE-машине нежелательно, если, конечно, вы не синтезируете DSP или микропроцессор. Возможно, я не прав, и так рассуждают программисты, отказывающиеся от компилятора C++, считая, что их мозг и компилятор ассемблера соорудит более надежный и оптимальный код. В качестве краткого итога по методике синтеза можно сказать, что процесс достаточно сложен и требует от пользователя огромного терпения. Также отсутствует возможность смешанного моделирования, но я не хочу относить это к недостаткам, так как на сегодняшний день мне неизвестны программы, в которых эта возможность реализована. Программа PSpice во внимание не принимается, так как после приобретения ее фирмой OrCad это свойство в продукте заблокировано. А жаль!

Что не понравилось

- Работа с библиотекой показалась мне достаточно трудоемкой. В наших реалиях сегодняшнего дня эта проблема может оказать решающее влияние на принятие решения о выборе пакета для проектирования. Особый подход требует целевого капиталовложения разработчика пакета в поддержку обширной номенклатуры элементов, доступности глобальной библиотеки для всех, официально зарегистрированных пользователей, регулярное ее пополнение и исправление ошибок. Mentor Graphics имеет такую службу, и остается надеяться, что с приобретением Veribest влияние корпорации распространится и в этом направлении. Правда, эта служба вряд ли пригодится постсоветскому инженеру, работающему на ворованном программном обеспечении.
- Файл помощи не оказывает существенной помощи в освоении пакета. Возможно, что в фирменной документации многие вопросы освещены более глубоко.

Что понравилось:

- Простота выполнения основных операций.
- Высокая степень интеграции различных программ в одной оболочке.
- Прекрасная работа с многолистовыми и иерархическими проектами. Возможность выбрать метод генерации списка цепей (плоский и иерархический).
- Мощный сервис.
- Кросс-проба с Expedition PCB.

Expedition PCB

Программа фактически состоит из четырех составных частей

- редактор топологии проводников;
- редактор размещения компонентов;
- графический редактор для неэлектрических объектов;
- модуль автоматической разводки.

Каждый модуль выполняет действия исходя из названия.

Редактор топологии имеет три уровня содействия.

На первом уровне (Gloss = Off) работа в редакторе не отличается от аналогичных программных продуктов. Действия пользователя беспрекословно выполняются, правда лишь до тех пор, пока не нарушаются правила (зазоры). Допускается делать петли, правда, даже на этом уровне, программа следит за наложением сегментов друг на друга. Но в этом уровне редактор не расталкивает мешающие проводники и не меняет топологии окрестных трасс и переходных отверстий.

На третьем уровне (Gloss = On) редактор оказывает максимальное содействие при редактировании топологии платы. Осуществляется растаскивание мешающих проводников и переходных отверстий. Правила повторной разводки — наиболее оптимальные. Правда, в некоторых случаях эта помощь может оказаться вредной.

Второй уровень (Gloss = Partial) является компромиссным. Топология близлежащих трасс изменяется по минимуму, только в пределах острой необходимости.

Наличие кнопки, позволяющей изменять уровень содействия, существенно облегчает ручную работу.

Редактор топологии имеет встроенный механизм перестановки логически эквивалентных вентилей и выводов. Перестановка опять же допустима только при соблюдении зазоров, так как взаимная замена вентилей и выводов инициирует процесс повторной разводки подключенных к ним трасс. Поэтому, если переставить выводы не удается, необходимо удалить трассы, подведенные к ним.

Редактор топологии учитывает не только длину проводника, но и прохождение сигнала через толщину платы. Данное утверждение относится также и к модулю автоматической трассировки. Для некоторых проектов эта особенность может оказаться весьма полезной.

Модуль автоматической разводки достаточно эффективен. По принципу работы он относится к категории бессеточных разводчиков. Его настройки позволяют выполнять выборочную разводку, задавать приоритеты цепям и классам цепей, а также исполнять разводку с использованием различных алгоритмов и по определенному сценарию. Встроенный в Expedition PCB модуль автоматической разводки соизмерим по возможностям и конкурентоспособен по производительности со всемирно известной программой Specctra.

Редактор размещения компонентов очень удобен. На начальном этапе все компоненты имеют статус «не размещен» и на плате отсутствуют. Установка таких компонентов осуществляется через диалог, имеющий окно предварительного просмотра. Автоматического размещения редактор не имеет, но возможности интерактивной части с лихвой покрывают этот недостаток.

Операция удаления компонента на любом этапе проекта не уничтожает ссылку на него в базе данных, а лишь присваивает ему статус «не размещен». Реальное удаление каких-либо объектов производится только через операции прямой или обратной инженерной корректировки.

Генерация файлов для производства плат осуществляется достаточно быстро. Большое внимание уделяется специфическим настройкам, при работе по негативной технологии (имеются в виду слои питания многослойных печатных плат). Программа для работы с gerber-файлами GerberTool, предлагаемая разработчиками, мне не нравится, но это не мешает использовать для обработки gerber-файлов другие инструменты, например мощный пакет CAM350.

Что не понравилось

Большие требования к памяти — необходимо не менее 48 мегабайт свободной оперативной памяти для нормальной работы с платой формата 6U (220 x 233.5 мм). На меньшем размере памяти работать, конечно, можно, но спустя некоторое время поведение системы начинает вызывать раздражение. Инерционность становится очень значительной, и реакция на действия оператора существенно замедляется. Плохо работать с трассами, проведенными под углом, отличным от 45 градусов. Провести трассу под таким углом, используя инструменты редактора, конечно, возможно, но документация настоятельно не рекомендует это делать, вплоть до окончания разводки. Неприятные эффекты возникают при работе с проектами, импортированными из Microsim PCBoards или P-CAD, так как там нет ограничений на угол, за исключением формальных фильтров при вводе трассы. Дуги в трассах отсутствуют, при импорте они аппроксимируются в набор отрезков конечной длины.

Что понравилось

- Модуль автоматической трассировки прекрасно разводит плату, причем не только по ортогональным осям, но и под углами в 45 градусов, причем делает это очень быстро.
- Редактор имеет удобный интерфейс. Для какого-либо действия не нужно нажимать десяток кнопок. Некоторые функции адаптируются под контекст текущей операции.
- Интерактивное редактирование не вызывает отрицательных эмоций. Особенно мне понравилось, как редактор реагирует на действия пользователя при перемещении переходных отверстий и компонентов.
- Большой интерес представляет механизм, обеспечивающий сужение трассы при подводе к контактной площадке компонентов с малым шагом и увеличение ширины трассы в местах, допускающих это. Есть процедура образования каплевидных подводов к выводам и скругления углов. Эти опции очень важны при проектировании высокочастотной техники.

Мне хватило и десяти минут, чтобы понять, что Expedition PCB — один из лучших интерактивных трассировщиков печатных плат. Можно сказать, что все мечты воплотились в этом продукте. Да и автоматическая разводка вполне приличная.

Veribest Analog

Функционально работоспособный пакет аналогового моделирования узлов. Имеет достаточно большую библиотеку. Как утверждает разработчик, Veribest Analog имеет гораздо лучшую сходимость при решении уравнений переходных процессов, чем аналогичные программные продукты. Формат входного списка цепей и элементов библиотек сильно похож на формат PSpice. Скорость работы вполне удовлетворительная. Пример, входящий в состав поставки, дает наглядную демонстрацию возможностей пакета. В этом примере рассматривается довольно сложный электрохимический процесс зарядки аккумулятора, сочетающий в себе довольно противоречивые для симулятора условия — быстрые и медленные переходы в одном узле.

Что не понравилось

- Чрезвычайно запутанная процедура предварительной настройки и последующей работы.
- Отсутствие маркеров в Design Capture.
- Засекреченность некоторых фирменных библиотек.

Что понравилось

- Хорошая сходимость, особенно заметная при решении задач с катушками индуктивности. Правда, у меня есть смутное подозрение, что дело вовсе не в продвинутом алгоритме, а в ограничении минимальной величины проводимости.

Заключение

В настоящем обзоре я не коснулся проблем проверки целостности сигналов. Но несмотря на это, можно сделать определенные выводы.

Хорошо представляя сложность реализации такого проекта, хочется отметить, что выглядит он, по всем показателям, вполне прилично. А редактор PCB — целый шедевр в мире CAD. Это подтолкнуло меня к необходимости встроить интерфейс к Veribet-99 в свою программу PCB Shell. Возможно, в следующих обзорах я постараюсь затронуть некоторые вопросы более подробно. Пишите!

Евгений Кнышев,
Обнинск

Трансформаторы и дроссели для импульсных источников питания

Одним из наиболее трудных вопросов, возникающих в процессе конструирования ИИП, является вопрос расчета трансформаторов и катушек индуктивности, в том числе и дросселей. Как известно, дроссель — это катушка индуктивности, выполненная таким образом, что способна выдерживать большие токи и имеет незначительные потери в рабочем режиме. Чаще всего дросселями называют катушки индуктивности, работающие при большом уровне постоянного тока, протекающего через обмотку. Трансформатор тоже является разновидностью катушки индуктивности. Для краткости далее везде катушки индуктивности будем обозначать КИ.

Изложенный ниже материал дает возможность не только создавать КИ самостоятельно. Автор надеется также, что читатели смогут использовать эту информацию для проверки и изменения параметров КИ при повторении и ремонте радиолюбительских или промышленных конструкций. Ведь часто главным препятствием для этого являются трудности в приобретении ферритовых сердечников указанного типа или намоточного провода определенного диаметра.

Следует оговориться, что приводимые ниже формулы и таблицы могут применяться при расчете любых КИ, а не только при расчете дросселей и трансформаторов для ИИП. Точность расчета параметров КИ на основе изложенной ниже методики составляет 25–35 %, что в большинстве случаев достаточно для практических целей. Встречаемые же иногда в литературных источниках претензии на более высокую точность расчета вызывают некоторое сомнение, поскольку справочные данные изготовителей сердечников сами по себе имеют точность порядка 25 % и только некоторые ферриты для сигнальных цепей определены более точно.

Основные характеристики

Основными электрическими характеристиками КИ являются индуктивность, омическое сопротивление обмотки, максимальный рабочий ток и величина потерь в сердечнике. Кроме того, немаловажными характеристиками являются габаритные размеры и вес, а также цена и трудоемкость изготовления.

Требования к КИ варьируются в зависимости от конкретного применения. Например, для многих понижающих преобразователей и для большинства помехоподавляющих фильтров индуктивность дросселя может быть выбрана большей, чем требуется по расчету. При этом качество работы преобразователя или фильтра не ухудшается, а, напротив, становится лучше. В то же время дроссели для инвертирующих и повышающих преобразователей должны иметь определенную, довольно строго заданную расчетом величину индуктивности. В таких случаях существенное отклонение индуктивности примененной КИ от требуемой — как ее уменьшение, так и увеличение — приводит к нежелательным режимам работы ИИП, излишним потерям и перегрузкам полупроводниковых приборов.

Аналогичная картина наблюдается и для трансформаторов. В некоторых применениях, таких как двухтактные преобразователи и однотактные преобразователи с передачей энергии «на прямом ходе ключа», индуктивность первичной обмотки трансформатора не является критичной и всегда может быть увеличена или при соблюдении некоторых условий даже уменьшена. В то же время однотактные преобразователи «на обратном ходе ключа», которые по своей сути являются инвертирующими преобразователями, весьма чувствительны к величине индуктивности трансформатора. В этом случае трансформатор фактически является видоизмененным дросселем.

Что касается максимального рабочего тока и сопротивления обмоток, то здесь предела улучшению нет: практически любой дроссель или трансформатор можно успешно заменить на дроссель или трансформатор с большим максимально допустимым значением рабочего тока и меньшим сопротивлением обмоток.

Индуктивность

Индуктивность КИ рассчитывается по формуле:

$$L = A_L * N^2 \text{ (мкГн)}, \qquad (1)$$

где A_L — справочный параметр сердечника, мкГн;

N — количество витков в обмотке.

Для кольцевого сердечника с замкнутым магнитным сердечником без зазора параметр A_L легко вычислить самостоятельно по формуле:

$$A_L = \mu_0 * \mu_i * \frac{S_e}{l_e} \text{ (мкГн)}, \qquad (2)$$

где μ_i — начальная магнитная проницаемость материала сердечника;

μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, физическая константа имеющая значение 1.257×10-3 мкГн/мм;

S_e — эффективная площадь сечения магнитопровода, мм2;

l_e — эффективная длина сердечника, мм.

Справочные данные ряда сердечников без зазора приведены в таблицах 1–4. Там же указаны эффективные геометрические параметры сердечников l_e и S_e, а также относительная магнитная проницаемость феррита. При использовании материала с другим значением магнитной проницаемости значение параметра A_L следует пересчитать:

$$A_L = A_{L\,[табл]} * \mu_i / \mu_{i\,[табл]}, \qquad (3)$$

где $A_{L\,[табл]}$ — табличное значение коэффициента индуктивности сердечника;

$\mu_{i\,[табл]}$ — магнитная проницаемость феррита, указанная в таблице;

μ_i — магнитная проницаемость используемого материала.

Известно, что обозначение марки отечественных ферритов включает в себя указание на их начальную магнитную проницаемость, например, феррит 1000НМ имеет магнитную проницаемость mi =1000 и так далее. Типичный диапазон проницаемости для ферритов лежит в пределах 100-10000. Практически все разъемные сердечники для силовой электроники выполняются из ферритов с высокой магнитной проницаемостью: 1500 и более. Следует иметь в виду, что чем выше магнитная проницаемость феррита, тем выше потери в сердечнике на высоких частотах. Разъемные сердечники из материала с низкой проницаемостью предназначены для сигнальных цепей. их не рекомендуется использовать в силовых цепях ИИП.

Технические данные некоторых зарубежных ферритов приведены в табл. 5. Из-за недостатка места относительно подробный перечень приведен только для ферритов фирмы Philips, для других фирм автор ограничился популярными силовыми ферритами для разъемных сердечников ИИП.

Наиболее часто для разъемных сердечников ИИП употребляются марганец-цинковые ферриты следующих марок:

- 3C85, 3C90, 3F3 фирмы Philips;
- N27, N41, N47, N67 фирмы Siemens;
- PC30, PC40 фирмы TDK;
- B50, B51, B52 фирмы Thomson-LCC;
- F44, F5, F5A фирмы Neosid, и т.д.

Никель-цинковые ферриты предпочтительны для использования на частотах более 2 МГц, что выходит за рамки рабочего диапазона частот большинства современных ИИП. Как видно из приведенной таблицы, ферриты разных изготовителей имеют схожие параметры и образуют взаимозаменяемые семейства. Их можно заменить в

том числе и отечественными ферритами марок 1500ММ, 2000ММ, 2500ММ.

Кольца фирм Philips и Siemens имеют пластиковую оболочку, цвет которой указывает на марку феррита или порошкового железа. На разъемных сердечниках марка материала, как правило, указана в текстовом виде. К сожалению, не все магнитные сердечники имеют надлежащую маркировку. Приблизительно оценить магнитные свойства феррита можно следующим образом: как правило, ферриты с более высокой проницаемостью темные, почти черные, они обнаруживают заметно зернистую структуру на сколах и разломах, тогда как ферриты с относительно низкой проницаемостью имеют серый цвет и более однородную структуру.

Значение A_L для сердечников с зазором тоже можно получить на основе табличных данных. При увеличении зазора эффект получается такой же, как если бы магнитная проницаемость материала сердечника уменьшалась. Даже сравнительно небольшие зазоры уменьшают проницаемость сердечника в десятки и сотни раз. Получаемая при этом эффективная магнитная проницаемость me зависит в основном от геометрических размеров и почти не зависит от магнитной проницаемости материала:

$$\mu_e = \frac{l_e}{g} \qquad (4)$$

где l_e — эффективная длина средней магнитной линии сердечника, мм;

g — суммарная толщина зазора, мм.

Формула (4) справедлива при выполнении следующих условий: me много меньше проницаемости материала сердечника mi, а зазор g много меньше размеров поперечного сечения сердечника.

Обратите внимание на то, что для разъемных сердечников в табл. 2–4, помимо значения магнитной проницаемости феррита μ_i, приведено и значение эффективной магнитной проницаемости me для сердечника без зазора, которое имеет меньшую величину. Дело в том, что реально разъемный сердечник всегда имеет некий зазор, хотя и очень маленький. Кроме того, часть магнитных линий проходит мимо сердечника, особенно если размеры его малы, а форма значительно отличается от кольцевой.

При очень малых зазорах или малой проницаемости феррита соотношение (4) неточно, ведь даже при нулевом зазоре эффективная магнитная проницаемость не может превысить магнитной проницаемости материала сердечника. При очень больших зазорах форма магнитного поля в них искажается, что приводит к дополнительным погрешностям при использовании формулы (4). Выражение «много меньше» подразумевает отношение в 10 и более раз. Пусть читателей не смущает кажущаяся ограниченность области применения формулы (4), она покрывает подавляющее большинство практических случаев.

Например, возьмем сердечник, состоящий из двух Ш-образных магнитопроводов E20/10/5, изготовленных из материала 3C85, то есть из феррита с проницаемостью μ_i=2000. Длина средней магнитной линии сердечника 42,8 мм, размеры поперечного сечения 3.5×5.0 мм в тонкой части магнитопровода. Введем в сердечник прокладку из немагнитного материала толщиной 0.25мм, ширина зазора получится 2×0,25=0,5 мм. Эффективная магнитная проницаемость сердечника с зазором μ_e=42,8/0,5=85,6. При этом условия применимости формулы (4) соблюдены: μ_e=85,6 много меньше, чем 2000; зазор g=0,5 мм много меньше 3.5 мм.

Окончательная формула для расчета параметра A_L сердечника с зазором такова:

$$A_L = \frac{A_{L\,[табл]} * l_e}{\mu_{e\,[табл]} * g} \qquad (5)$$

где $A_{L\,[табл]}$ и $\mu_{e\,[табл]}$ — табличные значения, а условия применимости такие же, как у формулы (4).

Продолжим приведенный выше пример с сердечником E20/10/5 из феррита 3C85. Его табличные значения

$A_{L\,[табл]}$=1,3 мкГн, $\mu_{e\,[табл]}$=1430. После введения зазора 0,5 мм формула (5) дает результат A_L=0,074 мкГн.

Ограниченный объем журнальной статьи не позволяет поместить данные всех имеющихся на рынке видов сердечников. Выход из положения подсказывают следующие рассуждения.

Значение A_L зависит только от двух факторов: магнитной проницаемости и геометрии сердечника. Практически любой замкнутый сердечник можно рассматривать как «деформированное кольцо». Например, сердечник, состоящий из двух Ш-образных половин, можно представить так: большое кольцо разрезали вдоль на два тонких кольца, затем эти тонкие кольца деформировали в прямоугольники и составили вместе в виде «восьмерки». Очень важно, что при таком геометрическом (топологическом) преобразовании параметр A_L изменяется незначительно. Следовательно, любой замкнутый сердечник сложной формы можно мысленно подвергнуть и обратному преобразованию в кольцо.

Таким образом, становится ясно, как поступать с сердечниками, не описанными в таблицах: надо измерить их геометрические размеры, вычислить длину средней магнитной линии и усредненное поперечное сечение магнитопровода, а затем найти A_L сердечника по формуле (2).

Например, для того же сердечника E20/10/5, имеющего длину средней магнитной линии приблизительно 45мм и усредненное сечение магнитопровода приблизительно 5x6=30 мм², расчет по формуле (2) дает результат A_L=1,257 мкГн. Это недалеко от «истинной» табличной величины A_L=1,3 мкГн, которая сама по себе имеет точность 25 %.

Есть и другой путь. Нетрудно найти значение A_L по результатам измерения индуктивности пробной обмотки. Намотайте небольшую обмотку на проверяемый сердечник, например, 10 витков (N=10). Затем измерительным мостом или LC-метром измерьте получившуюся индуктивность **L** и рассчитайте A_L по формуле:

$$A_L = \frac{L}{N^2} \qquad (6)$$

Найти, сколько витков должна иметь обмотка для получения заданной индуктивности, можно по формуле:

$$N = (L/A_L)^{1/2} \qquad (7)$$

Легко видеть, что обе последние формулы являются простыми преобразованиями формулы (1).

Насыщение сердечника

В случае когда через катушку с сердечником протекает большой ток, магнитный материал сердечника может войти в насыщение. При насыщении сердечника его относительная магнитная про-

Таблица 1. Некоторые кольцевые ферритовые сердечники фирмы Philips

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Примечание. Обозначения колец [illegible] размеров в [illegible] отверстием / наружным диаметром / высотой.

Таблица 2. Сердечники RM и P (броневые)

	Тип сердечника	RM4	RM5	RM6	RM7	RM8	RM10	RM12
	Габаритные размеры (мм)	9,3x9,3x7,3	12,7x12,7x9,4	15,5x15,5x12,4	18,5x18,5x15,4	23,7x23,7x19,4	29,8x29,8x24,8	38,8x38,8x31,8
	Эффективный объем, Ve (мм^3)	305	574	990	2115	4140	8210	16400
	Эффективная длина, le (мм)	23,3	28,2	32,5	38	46,4	57,8	69,8
	Эффективное сечение, Ae (мм^2)	13,8	20,3	30,4	44,7	89	142,6	235
	Масса двух половин (г)	1,7	3,3	4,9	7,7	15	32	63
Проницаемость (марка феррита)								
1500 (3F3)	Проницаемость сердечника, ue	1282	1320	1360	1320	1440	1390	1360
	AL (мкГн)	3,35	3,5	3,65	3,5	3,8	3,65	3,65
2000 (3C85 или 3C90)	Проницаемость сердечника, ue	-	1840	1910	1910	1955	1922	1910
	AL (мкГн)	-	4,8	5,35	5,7	5,85	5,4	5,5
2300 (3B9 или 3H1)	Проницаемость сердечника, ue	-	1990	2030	2030	2082	2022	2030
	AL (мкГн)	-	-	2,6	3	3,5	4,36	6,2
3300 (3E1)	Проницаемость сердечника, ue	2400	2550	2570	2570	2833	2900	2930
	AL (мкГн)	3,3	3,75	4,7	4,75	5,3	8	9,2
4300 (3E4)	Проницаемость сердечника, ue	3250	3550	3650	3640	3833	4340	4300
	AL (мкГн)	3,6	4,3	6,75	6,6	8	-	13,2
5300 (3E5)	Проницаемость сердечника, ue	4300	4330	5300	5300	5833	5900	-
	AL (мкГн)	3,6	5,7	8,6	8,5	12,5	15	-

Примечание. Для сердечников типа P размер в (мм) указан в их названии в виде: (наружный диаметр)*(выс. эта).
Сердечники типа P соответствуют отечественным броневым сердечникам Б.

Таблица 3. Сердечники из двух Ш-образных половин

	Тип сердечника	E32/16/9	E30x14x7	E42/21/15	E55/28/21	E65/32/27	EP13/7/4	EP17/8/5	EP20/10/6	EP25/13/7
	Сечение средней части (мм)	9x6	7x7	12x15	17x21	22x27	3,8x3,5	4,5x4,5	5x5	7,5x7,5
	Сечение наружных частей (мм)	4x5	5x7	9x15	8,5x21	12x27	2x3,5	2,3x4,5	3x5	3,5x7,5
	Эффективный объем, Ve (мм^3)	1340	4000	11550	43700	73800	384	751	1530	3030
	Эффективная длина, le (мм)	42,8	57	97	123	147	29,5	37,5	44,9	57,5
	Эффективное сечение, Ae (мм^2)	31,2	70	152	354	532	13	20,1	33,5	52,7
	Вес каждой половины (г)	4	11	44	115	305	3,3	5,5	8,7	15
Проницаемость (марка феррита)										
1500 (3F3)	Проницаемость сердечника, ue	1200	1400	1530	1550	1550	1320	1320	1320	1400
	AL (мкГн)	1,15	1,5	3,6	6,7	7,3	0,7	0,9	1,2	1,5
2000 (3C85 и 3C90)	Проницаемость сердечника, ue	1450	1700	1850	1880	1880	1600	1600	1450	1700
	AL (мкГн)	1,1	1,9	3,9	5	5,1	0,9	1	1,15	2
4300 (3C11)	Проницаемость сердечника, ue	2350	2950	3400	3500	3500	2300	2700	2700	2700
	AL (мкГн)	2,5	3,3	3	3,3	3,7	1,2	1,5	2,5	3,1

Примечание. Обозначение сердечника указывает на габариты и размер каждой Ш-образной половины в следующем порядке: длина/ширина/толщина.

ницаемость резко уменьшается, что влечет за собой пропорциональное уменьшение индуктивности. Снижение индуктивности вызывает дальнейший ускоренный рост тока через КИ, и т. д. В большинстве ИИП насыщение сердечника крайне нежелательно и может приводить к следующим негативным явлениям:

- повышенный уровень потерь в материале сердечника и увеличенный уровень омических потерь в проводе обмотки приводят к неоправданно низкому КПД ИИП;
- дополнительные потери вызывают перегрев КИ, а также расположенных поблизости радиодеталей; уместно будет упомянуть, что надежность электронной аппаратуры обычно снижается вдвое при увеличении температуры на каждые 6 градусов;
- сильные магнитные поля в сердечнике в сочетании с уменьшением его магнитной проницаемости являются многократно усиленным, по сравнению с нормальным режимом работы, источником помех и наводок на малосигнальные цепи ИИП и другие приборы;
- ускоренно нарастающий ток через КИ вызывает ударные токовые перегрузки ключей ИИП, повышенные омические потери в ключах, их перегрев и преждевременный выход из строя;
- ненормально большие импульсные токи КИ влекут за собой перегрев электролитических конденсаторов фильтров питания, а также повышенный уровень помех, излучаемых проводами и дорожками печатной платы ИИП.

Список можно продолжить, но и так уже ясно, что следует избегать работы сердечника в режиме насыщения. Ферриты входят в насыщение, если величина плотности потока магнитной индукции превышает 300 мТ (миллитесла), причем эта величина не так уж сильно зависит от марки феррита. То есть 300 мТ является как бы врожденным свойством именно ферритов, другие магнитные материалы имеют другие величины порога насыщения. Например, трансформаторное железо и порошковое железо насыщаются при величине плотности потока магнитной индукции примерно 1Т, то есть могут работать в гораздо более сильных полях. Более точные значения порога насыщения для разных ферритов указаны в табл. 5.

Величина плотности потока магнитной индукции в сердечнике рассчитывается по следующей формуле:

$$B = 1000 * \mu_0 * \mu_e * \frac{I * N}{l_e} (\text{мТ}), \qquad (8)$$

где μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, 1.257×10^{-3}, мкГн/мм;

μe — относительная магнитная проницаемость сердечника (не путать с проницаемостью материала сердечника);

I — ток через обмотку, А;

N — количество витков в обмотке;

l_e — длина средней магнитной линии сердечника, мм.

Несложное преобразование формулы (8) поможет найти ответ на практический вопрос: какой максимальный ток может проходить через дроссель до того, как сердечник войдет в насыщение?

$$I_{макс} = 0.001 \frac{B_{макс} * l}{\mu_0 * \mu_e * N} (\text{А}), \qquad (9)$$

где **Вмакс** — табличное значение, вместо которого можно использовать значение 300 мТ для любых силовых ферритов

Для сердечников с зазором удобно подставить сюда выражение (4). После сокращений получаем:

$$I_{макс} = 0.001 \frac{B_{макс} * g}{\mu_0 * N} (\text{А}). \qquad (10)$$

Результат получается, на первый взгляд, довольно парадоксальный: величина максимального тока через КИ с зазором определяется отношением размера зазора к количеству витков обмотки и не зависит от размеров и типа сердечника. Однако этот кажущийся парадокс объясняется просто. Ферритовый сердечник настолько хорошо проводит магнитное поле, что все падение напряженности магнитного поля приходится на зазор. При этом величина потока магнитной индукции, одинаковая и для зазора, и для сердечника, зависит лишь от ширины зазора, тока через обмотку и количества витков в обмотке и не должна превышать 300 мТ для обычных силовых ферритов.

Для ответа на вопрос, какой величины суммарный зазор g надо ввести в сердечник, чтобы он выдержал без насыщения заданный ток, преобразуем выражение (10) к следующему виду:

$$g = \frac{\mu_0 * I * N}{0.001 * B_{макс}} (\text{мм}). \qquad (11)$$

Чтобы нагляднее показать влияние зазора, приведем следующий пример. Возьмем сердечник E30/15/7 без зазора, феррит 3C85, магнитная проницаемость me=1700. Рассчитаем количество витков, необходимое для получения индуктивности 500 мкГн. Сердечник, согласно таблице, имеет AL=1,9 мкГн. Воспользовавшись формулой (7), получаем

чуть более 16 витков. Зная эффективную длину сердечника le =67 мм, по формуле (9) вычислим максимальный рабочий ток: Iмакс=0,58 А.

Теперь введем в сердечник прокладку толщиной 1 мм, зазор составит g=2 мм. Эффективная магнитная проницаемость уменьшится. После несложных расчетов по формулам (5) и (7) находим, что для получения индуктивности 500 мкГн нам надо намотать 125 витков. По формуле (10) определяем максимальный ток КИ, он увеличился до 3,8 А, то есть более чем в 5 раз.

Отсюда следует и практическая рекомендация для читателей, самостоятельно конструирующих дроссели. Чтобы получить катушку индуктивности, работающую при максимально возможном токе, заполните сердечник проводом полностью, а затем создайте в сердечнике максимально возможный зазор. Если при проверочном расчете окажется, что дроссель имеет чрезмерный запас по току, то выбирайте меньший размер сердечника или, по крайней мере, уменьшайте количество витков в обмотке, чтобы снизить потери в меди, и одновременно уменьшайте зазор в сердечнике. Важно подчеркнуть, что эта рекомендация не относится к трансформаторам, в которых ток протекающий через первичную обмотку, определяется двумя составляющими: током, передаваемым во вторичную обмотку, и небольшим током, намагничивающим сердечник (ток магнетизации).

Как видим, зазор в сердечнике дросселя играет исключительно важную роль. Однако не все сердечники позволяют вводить прокладки. Кольцевые сердечники выполнены неразъемными, и вместо того, чтобы «регулировать» эквивалентную магнитную проницаемость при помощи зазора, приходится выбирать кольцо с определенной магнитной проницаемостью феррита. Этим и объясняется факт большого разнообразия типов магнитных материалов, применяемых промышленностью для изготовления колец, тогда как разъемные сердечники для ИИП, куда легко ввести зазор, почти всегда выполнены из ферритов с высокой магнитной проницаемостью. Наиболее распространенными при использовании в ИИП оказываются два типа колец: с низкой проницаемостью (в пределах 50...200) — для дросселей, и с высокой проницаемостью (1000 и более) — для трансформаторов.

Порошковое железо оказывается наиболее предпочтительным материалом для кольцевых неразъемных сердечников дросселей, работающих при больших токах подмагничивания. Проницаемость порошкового железа обычно находится в пределах 40...125, чаще всего встречаются кольца, выполненные из материалов с проницаемостью 50...80. В табл. 6 приведены справочные данные кольцевых сердечников из порошкового железа фирмы Philips.

Проверить, входит ли сердечник в насыщение при работе обычного ИИП, несложно: достаточно проконтролировать при помощи осциллографа форму тока, протекающего через КИ. Датчиком тока может служить низкоомный резистор или трансформатор тока. КИ, работающая в нормальном режиме, будет иметь геометрически правильную треугольную или пилообразную форму тока. В случае же насыщения сердечника форма тока будет искривлена.

Алексей Кузнецов, Сидней

Продолжение следует

Таблица 4. Сердечники из двух Ш-образных половин с круглым средним стержнем

	Тип сердечника	ETD34/17/11	ETD39/20/13	ETD44/22/15	ETD49/24/15	EC35/17/10	EC41/21/11	EC52/24/14	EC70/34/17
	Объем [мм^3]	5410	7540	11500	17300	24000	3530	10300	15800	40100
	Эффективная длина [мм]	75	87.1	115	173	371	34.3	121	134	279
	Эффективное сечение [мм^2]	14	20	30	47	55	18	35	56	115
Проницаемость марки материала	Вес каждой половины [г]									
1500	Проницаемость сердечника	1450	1450	1500	1500	1550	-	-	-	-
3F3	AL [мкГн]	-	2.3	3	3.1	3.5	-	-	-	-
2000	Проницаемость сердечника	1650	1500	1550	1650	1700	1500	1500	1500	1800
3C85 или 3C90	AL [мкГн]	2.2	2.6	2.8	3.8	4	2.1	2.7	3.5	3.9
4300	Проницаемость сердечника	3150	-	-	-	-	-	-	-	-
3C11	AL [мкГн]	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Обозначение сердечника указывает на габаритный размер каждой Ш-образной половины в следующем порядке: длина / ширина / толщина.

Таблица 5. Основные характеристики некоторых ферритов

Марка феррита	3D3	3H1	3H3	3E1	3E4	3E5	3E6	3C11	3C85	3C90
Изготовитель	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips
Материал феррита	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn
Начальная магнитная проницаемость	750	2300	2000	3300	4700	10000	2300	1300	2000	2000
Цвет пластикового покрытия корпуса	-	-	-	-	-	зеленый				коричневый
Предельное значение плотности потока магнитной индукции [мТл] при 25°С	320	350	330	350	385	385	420		420	430
[мТл] при 100°С	260	210	250	200	210	210	330	350	330	330
Тангенс потерь [10^-6 / кГц]	30	5	25	20	20	35	5			
Удельные потери [мВт/см^3] при 200 [мТ]	-	-	-	-	-		-	750	250	140
[кГц]	1	3.1	3	3	3	3.4	3.1	0.215	0.325	0.325
Индуктивность [мГн] при размерах 14/8/4 [мм]	0.248	0.37	0.305	0.242	0.261	0.261				
Удельное сопротивление [Ом*м]	3	1	2	1	1	0.5	2	-	1	2
Плотность [кг/м^3]	4700	4800	4700	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800

Примечания.

1. Ферриты 3S1 и 4S1 предназначены для подавления высокочастотных помех. Выпускаются в виде трубок и бусин, надеваемых на провод.
2. В квадратных скобках приведены удельные потери при 100 [мТ].

Таблица 6. Кольцевые сердечники фирмы Philips из порошкового железа

Сердечник	TN7.5/4.1/3	TN12/8/3.4	TN19.5/13.4	TN20/13/6	TN24/15/7.5	TN27/15/11	TN35/20/11
Объем, [мм^3]	23	290	635	1020	1295	3720	6200
Эффективная длина [мм]	17.3	30.9	40.2	49.9	57.8	81.6	80
Эффективное сечение [мм^2]	4.81	9.37	15.8	20.4	32.8	60.4	65
Масса [г]	0.6	2	5	7.5	13	26	35
Марка материала	2P40	2P40	2P40	2P40	2P40	2P40	2P40
AL [мкГн]	0.014	0.016	0.002	0.021	0.029	0.049	0.041
Марка материала	2P50	2P50	2P50	2P50	2P50	2P50	2P50
AL [мкГн]	0.018	0.019	0.025	0.026	0.036	0.062	0.051
Марка материала	2P65	2P65	2P65	2P65	2P65	2P65	2P65
AL [мкГн]	0.023	0.025	0.032	0.034	0.047	0.08	0.067
Марка материала	2P80	2P80	2P80	2P80	2P80	2P80	2P80
AL [мкГн]	0.028	0.031	0.04	0.041	0.057	0.094	0.082
Марка материала	2P90	2P90	2P90	2P90	2P90	2P90	2P90
AL [мкГн]	0.03	0.033	0.042	0.044	0.061	0.105	0.087

Примечания.

1. Обозначение колец включает их размеры в [мм] в следующем порядке: (наружный диаметр)/(внутренний диаметр)/(толщина).
2. Последние две цифры в обозначении порошкового железа фирмы Philips указывают на его магнитную проницаемость, например, 2P65 имеет μ=65 и т. д.
3. Цвет пластиковой оболочки. 2P40 — темно-желтый, 2P50 — темно-синий, 2P65 — темно-красный, 2P80 — темно-зеленый, 2P90 — темно-коричневый.

Две простые схемы температурных регуляторов

В измерительной технике и химии нередко возникает необходимость поддерживать постоянной температуру корпуса небольшого прибора, кюветы с раствором и т. д. Если эта температура выше температуры окружающей среды (например, от 35 до 50 °С), то для таких целей можно с успехом применить описываемые ниже схемы.

Первая схема, приведенная на рис. 1, выполнена на основе компаратора КР554СА3 (DA1). В качестве датчика температуры использован 10-килоомный терморезистор КМТ-17вВ (R3), имеющий гибкие выводы и диаметр менее 5 мм. Вместе с постоянным резистором R2 и подстроечным резистором R3 он образует мост, питаемый постоянным напряжением 12 В. С диагонали моста через резисторы R4 и R5 сигнал подается на входы компаратора. Последний охвачен неглубокой положительной обратной связью (R6), обеспечивающей его устойчивое переключение. Установка температуры, поддерживаемой терморегулятором, осуществляется при помощи резистора R1.

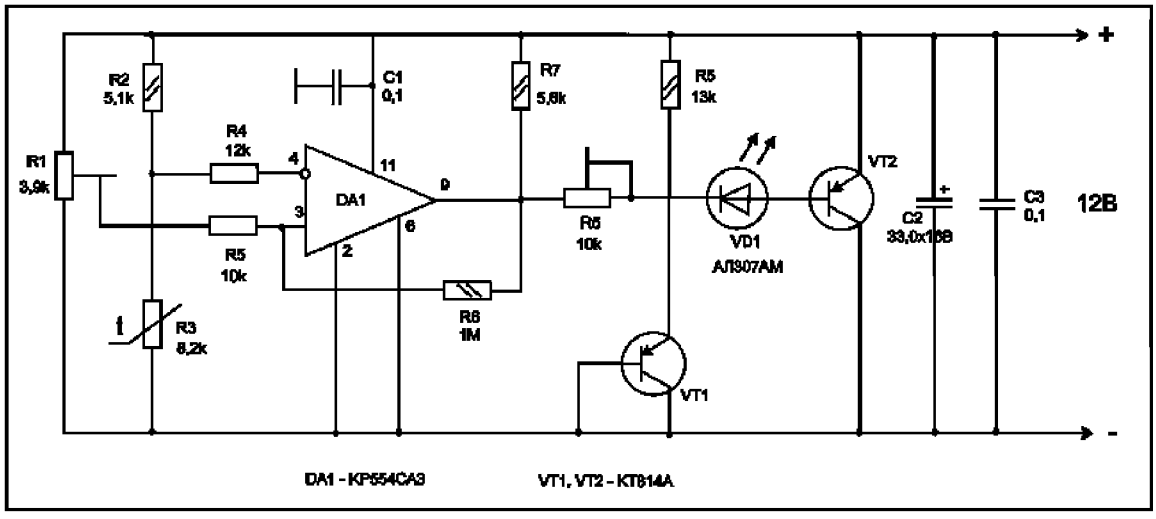


Рис. 1

Выходной сигнал компаратора управляет транзистором VT2 (КТ814А). Коллектор транзистора, соединенный с металлической подложкой, по схеме соединен с общим проводом. Благодаря тому, что выбранный транзистор имеет p–n–p структуру, оказывается возможным обеспечить непосредственный контакт пластины коллектора с обычно заземленным корпусом прибора, без каких-либо изолирующих прокладок. Последнее оптимально с точки зрения теплопередачи — нагрев корпуса прибора осуществляется благодаря разогреву коллектора VT2.

Терморезистор R3 и транзистор VT2 должны быть размещены как можно ближе друг к другу и, естественно, быть в хорошем тепловом контакте с термостабилизируемой поверхностью.

Устройство работает следующим образом. В момент включения температура терморезистора равна температуре окружающей среды, и его сопротивление выше, чем в установившемся режиме. Вследствие этого потенциал на инвертирующем входе компаратора выше, чем на неинвертирующем, и на его выходе присутствует напряжение нулевого уровня. Возникающий при этом базовый ток открывает VT2. Одновременно с этим загорается включенный в базовую цепь светодиод VD1, индицирующий, что идет процесс нагревания. Мощность, выделяемая на VT2, определяется соотношением P (Вт) = 12 В× Ik (А), где Ik — коллекторный ток VT2, устанавливаемый резистором R8 в диапазоне 50...500 мА в зависимости от теплоемкости терморегулируемого корпуса.

По мере повышения температуры коллектора VT2 возрастает температура объекта регулирования и, естественно, термосопротивления. Потенциал на инвертирующем входе DA1 уменьшается и в момент превышения заданной температуры оказывается ниже, чем на неинвертирующем. На выходе компаратора устанавливается высокий логический уровень, VD1 гаснет, VT2 закрывается, и объект регулирования начинает остывать. Когда температура снижается ниже определенного уровня (примерно на 0,3...0,5 °С, если VT2 и R3 имеют хороший тепловой контакт с корпусом и расположены не далее чем в 5 мм друг от друга), DA1 снова переключается, VT2 открывается, начинается новый цикл нагревания и т. д.

Цепь R9VT1 предназначена для грубого измерения температуры, которая поддерживается постоянной в процессе термостабилизации. Транзистор VT1 также должен быть установлен вблизи VT2, и его коллекторная площадка, как и у VT2, должна быть в контакте с терморегулируемым корпусом. Падение напряжения на его прямосмещенном эмиттерном переходе линейно зависит от температуры и уменьшается примерно на 2 мВ с ростом температуры на 1 °С. Таким образом, замерив напряжение на эмиттере VT1 в момент включения и в момент, когда температура корпуса уже установилась (светодиод VD1 выключился и включился не менее 3–4 раз), можно найти температуру стаби-

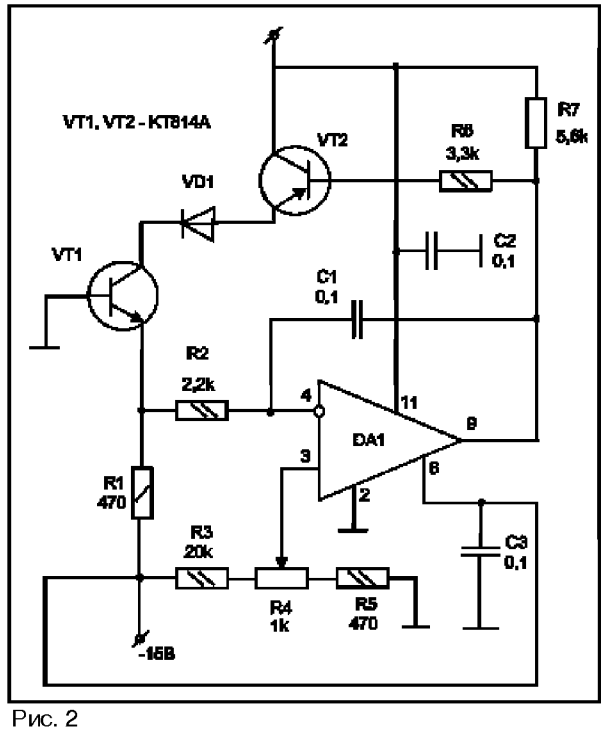


Рис. 2

лизации: Тстаб = Токр + [Uокр(мВ) — Uстаб(мВ)]/2, где Uокр и Uстаб — падение напряжения (в мВ) на эмиттере VT1 в момент включения и в момент термостабилизации соответственно.

Питание схемы может быть осуществлено от любого источника, обеспечивающего напряжение 12 В и ток нагрузки 1 А.

Одним из недостатков вышеописанной схемы является то, что нагревающий элемент (VT2) и датчик температуры (R3), сигнал с которого управляет компаратором, — разные элементы, и трудно обеспечить хороший тепловой контакт между ними. Вследствие этого точность поддержания температуры невелика (чуть лучше 0,5 °С). Гораздо лучшего результата можно достичь, используя схему, приведенную на рис. 2.

Компаратор DA1 сравнивает напряжения на эмиттерном переходе VT1 и на среднем выводе подстроечного резистора R4. Когда температура меньше заданной, высокий уровень на выходе DA1 открывает VT1, и протекающий через него ток, равный I = 15 В / R1 (Ом), нагревает транзистор VT1. По мере роста его температуры падение напряжения на его эмиттере уменьшается (примерно на 2...2,5 мВ с каждым градусом), и как только температура его эмиттера достигнет уровня, заданного резистором R4, DA1 переключится, и протекание тока через транзисторы прекратится. Когда эмиттер VT1 остынет примерно на 0,05...0,1 °С, на выходе DA1 снова появится высокое напряжение, ток снова потечет через транзисторы, вновь начнется процесс нагревания и т. д.

Отметим, что в последнем случае VT1 и VT2 должны быть электрически изолированы от термостабилизируемого корпуса (если он металлический) через тонкую слюдяную прокладку.

Питание схемы осуществляется от любого источника ±15 В, обеспечивающего ток не менее 100 мА.

Правильно собранные из исправных деталей схемы не требуют налаживания.

Виктор Ясиновский,
Тула

Второй звонок для телефона

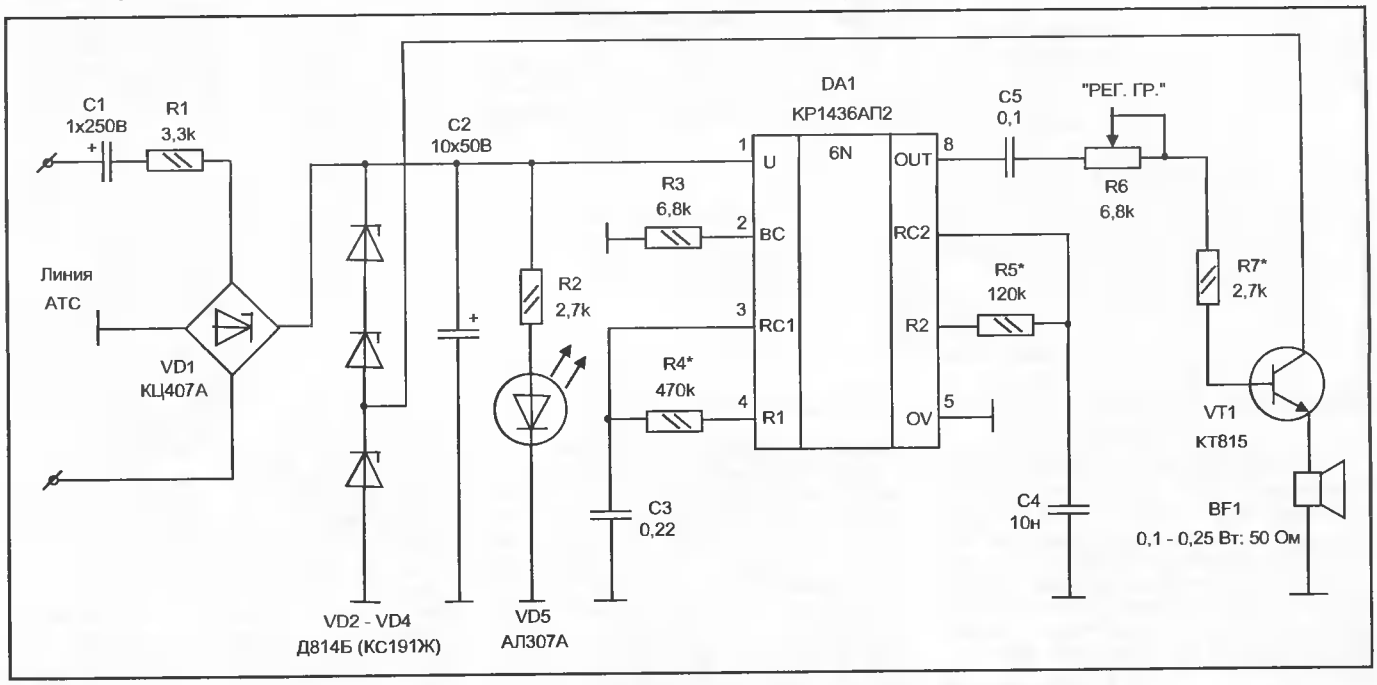
В данной статье предлагается схема вызывного устройства для телефона, см. рисунок. Это устройство будет незаменимо в многокомнатной квартире, где нецелесообразно устанавливать телефонный аппарат в каждой комнате. Однако звонок телефона, установленного в одной комнате, можно не услышать из другой комнаты или кухни.

Предлагаемое устройство имеет световую индикацию и плавную регулировку громкости вызывного сигнала, что выгодно отличает его от других подобных устройств. Кроме того, вызывной сигнал этого устройства аналогичен приятному мелодичному сигналу вызова, характерному для импортных телефонных аппаратов. Указанный факт позволяет применять это устройство в качестве замены электромеханическому звонку (с резким, неприятным звуком и плохо регулируемой громкостью) в старом телефонном аппарате. Возможно, ваш старый телефон обретет вторую молодость.

Важно также отметить, что в качестве источника звука в предлагаемой схеме используется малогабаритная динамическая головка BF1, которую легче приобрести и конструктивно удобнее установить в корпус устройства, чем пьезокерамический излучатель или электромеханический звонок.

В качестве генератора вызывного сигнала в схеме применена специализированная микросхема КР1436АП2, имеющая множество аналогов различных зарубежных фирм (FT2411, KA2411, BA8205, DBL5002, TA31002P, CIC-9106A,WTC9106A). Микросхема требует минимального количества навесных элементов и имеет низкий ток потребления. Кроме того, микросхема позволяет изменять тональность вызывного сигнала подбором номиналов навесных элементов (R4, R5).

В целом схема устройства проста в реализации, все элементы имеют малые габариты и могут уместиться в небольшой коробочке. Диодный мост можно заменить любым аналогичным или четырьмя диодами типа КД102А, КД105. Светодиод VD5 можно использовать любой, подобрав яркость свечения резистором R2. Регулятор громкости R6 — малогабаритный, любого типа. Элементы схемы располагают на печатной плате (можно использовать кусок макетной платы) и помещают в подходящий корпус. Устройство подключают параллельно телефонной линии.



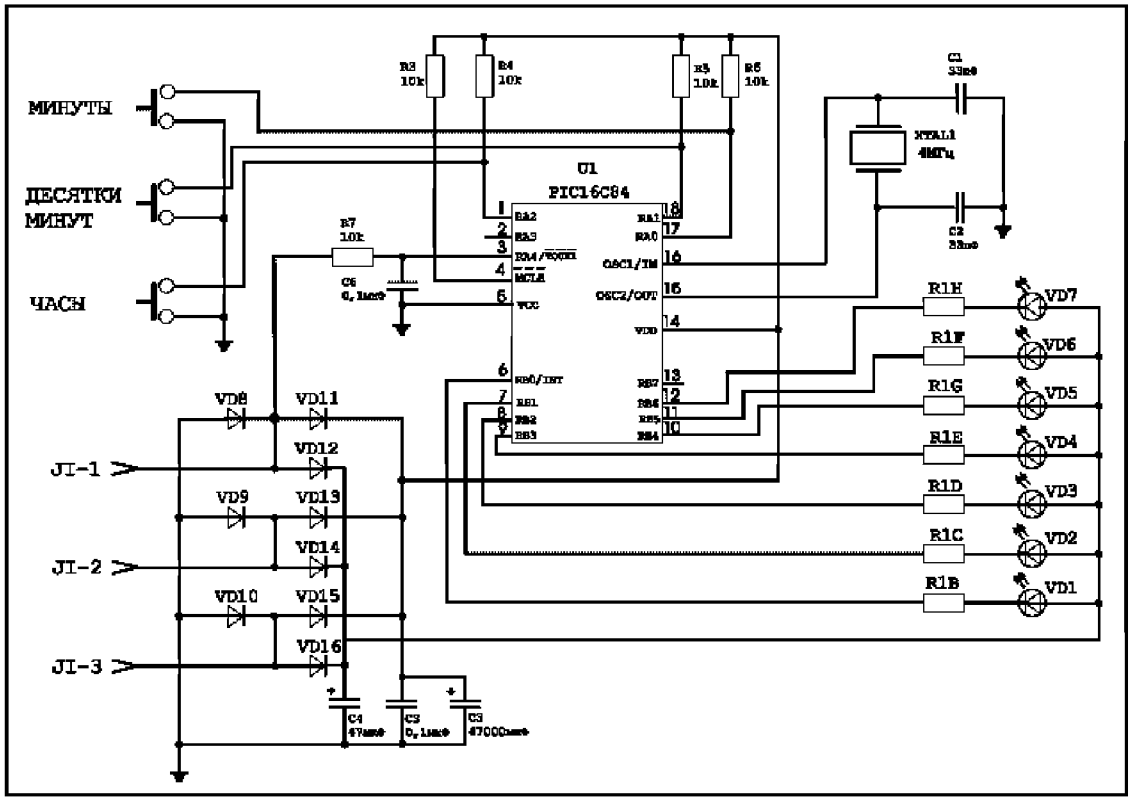
При правильной сборке и исправных деталях схема настройки не требует.

Эдуард Бананов,
Москва

Часы — «Пропеллер»

Эти забавные электронно-оптические часы создают иллюзию, что цифры висят прямо в воздухе. Быстро вращающаяся полоска из семи светодиодов подсвечивается в определенные моменты времени, от чего возникает оптический эффект, что перед глазами находится дискретное табло размером семь на тридцать точек. Как же они работают?

На вал электродвигателя насаживается небольшая монтажная плата, на которой собрана электронная начинка и семь светодиодов, расположенных вертикально. При быстром вращении любой точечный источник света воспринимается человеком как непрерывная полоса света. Микропроцессор, в соответствии с заложенной программой, модулирует (включает и выключает) во времени подсветку каждого светодиода так, что возникает эффект отображения цифр, которые как бы подвешены в воздухе, поскольку сама плата мелькает настолько быстро, что глаз не в состоянии отследить за ее перемещением. Подобный эффект используется, например, в электронно-лучевой трубке, где в определенные моменты подается сигнал на непрерывно сканирующий экран электронный луч.



Конструкция

Часы собраны на небольшой монтажной плате. Эта плата с компонентами и светодиодами вращается на валу электродвигателя. Возникает вопрос о том, как подводить энергию к плате? Для решения этой проблемы были рассмотрены разные варианты. Во-первых, можно использовать два двигателя: один основной, вращающий схему, и второй, находящийся на его валу, работающий в режиме генератора. Можно также использовать вращающийся трансформатор или токосъемные кольца. Однако более удобный способ состоит в том. чтобы снимать напряжение с обмоток ротора основного двигателя. Для этого нужно подвергнуть двигатель небольшой доработке: убрать подшипник с одной стороны вала, оставив свободным отверстие, через которое можно пропустить провода.

Внутри двигателя находятся три обмотки, через которые протекает переменный ток, сдвинутый по фазе на 120°. К концам этих обмоток нужно припаять провода, которые затем подключить к трехфазному выпрямителю на плате, чтобы получить опять постоянный ток. К достоинствам такого способа можно отнести то, что одновременно можно контролировать положение вала электродвигателя, если одну фазу подвести к измерительному входу микроконтроллера.

Доработка электродвигателя

Возьмите ненужный двигатель блока вращающихся головок от видеомагнитофона Sharp или Samsung. Мотор, который используется в данном проекте, имеет маркировку JPA1B01, но, согласно спецификации, он называется RMOTV1007GEZZ. Аккуратно извлеките щетки (через небольшие отверстия в корпусе). Обратите внимание, что ротор закреплен одним концом в шарикоподшипнике, а другим концом упирается в крышку с подшипником скольжения, которую необходимо снять. Приклейте или припаяйте ее сверху на ось с шарикоподшипником (с другой стороны) для укрепления вала. Отрегулируйте высоту оси, зажав ее в тиски и слегка постучав. Припаяйте три проводника к трем монтажным площадкам на роторе двигателя. Приклейте небольшую резьбовую втулку на ось с той стороны, где она выходит из отверстия, закрепите под ней проводники и соберите мотор. Для большей устойчивости конструкции можно приклеить этот мотор к блоку видеоголовок.

Монтаж электронных компонентов

Компоненты часов припаяны к монтажной плате с металлизированными отверстиями. Выводы соединены проводниками. Под микропроцессор 16С84 необходимо установить 18-выводную панельку, поскольку он программируется в отдельном программаторе. Под семь нагрузочных резисторов R1B...R1H удобно использовать соответствующую резисторную матрицу в DIP исполнении, что позволит экспериментировать с яркостью свечения светодиодов. Можно использовать и дискретные резисторы сопротивлением 120 Ом. Они работают нормально, хотя и на пределе импульсного тока 16С84. Заранее продумайте, как вы будете балансировать эту плату, чтобы на ней было предусмотрено для этого место. Можете заменять компоненты на другие, с близкими характеристиками. Автор использовал в схеме сверхемкий накопительный конденсатор в 47000 мкФ для того, чтобы показания часов не сбрасывались после отключения питания двигателя во время коррекции и установки времени. Можно использовать вместо него ионистор на 0,47 мкФ. Помните только, что светодиоды должны запитываться в обход него. Следует применять керамический резонатор только на частоту

4 МГц, поскольку от него зависит точность хода часов (либо при использовании резонатора на другую частоту необходимо произвести соответствующую модификацию программы).

Программирование 16С84

Для программирования микроконтроллера 16С84 можно использовать любой доступный для этого программатор. На сайте в Интернет по адресу **http://www.bobblick.com/bob/projects/mclock/mclock8.hex** находится двоичный файл прошивки. Исходный текст на языке ассемблера можно найти на этом же сайте **http://www.bobblick.com/bob/projects/mclock/mclock8.asm**.

При программировании обязательно установите следующие опции: wathdog timer (WDT)- OFF, резонатор — нормальный XT- кристалл.

Окончательная сборка и установка времени

Закрепите плату с деталями и светодиодами на валу двигателя. Припаяйте три питающих проводника. Подайте напряжение на двигатель. Номинальное напряжение составляет 6,2 В, но вы можете изменять его в диапазоне от 5 В до 7,5 В. Необходимо только учитывать, что из-за падения на диодах выпрямителя напряжение 5 В на плате соответствует питающему напряжению двигателя 6,2 В. После подачи напряжения на часах должно высветиться 12:00. Если это не так, то, возможно, дело в том, что не полностью разрядился накопительный конденсатор. Выключите питание и для сброса микроконтроллера кратковременно замкните выводы 4 и 5 вместе. После этого можно опять включить питание, убедиться, что часы работают, выключить питание и установить точное время кнопками «Часы», «Десятки минут», «Минуты». Если цифры высвечиваются задом наперед, поменяйте полярность напряжения на двигателе. Вы можете поэкспериментировать с балансировкой платы, подкладывать пенопласт под основание двигателя для уменьшения вибрации и т.п.

Модификации

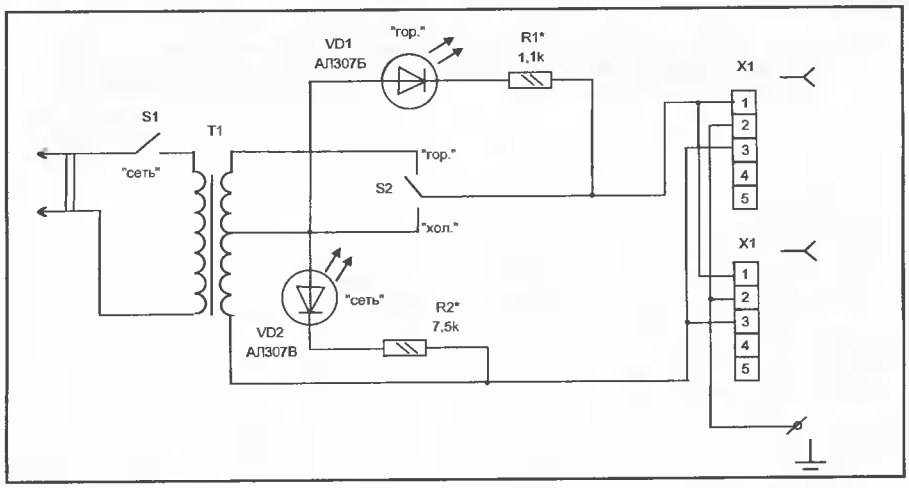
Если вы внимательно просмотрели текст программы на ассемблере, то заметили, что переменная «dot rate» задает ширину цифр независимо от скорости вращения вала. Мотор, который использовал автор, имел щетки, развернутые на 90°, так что сигнальная метка появлялась два раза за полный поворот. Поэтому время высвечивается с двух сторон за оборот на 180°. Если вы используете мотор с щетками, разнесенными на 180°, то цифры будут гореть только с одной стороны, но станут в два раза шире. Чтобы исправить этот недостаток, измените программу в секции, обозначенной D_lookup_3.

Bob Blick,
www.bobblick.com/bob/projects/mclock/
Перевод и обработка
Владимира Волкоаа, Москва

Доработка электропаяльного набора

В данной статье предлагается доработка питающего устройства широко известного и популярного в радиолюбительской среде электропаяльника ЭПСН 25/24.

Паяльник имеет сменное резьбовое жало, дополнительный провод заземления жала, выведенный под клемму, что очень удобно. Для питания этого паяльника используется устройство с двумя фиксированными уровнями напряжения для получения двух уровней температуры жала паяльника. Выбор питающего напряжения осуществляется подключением паяльника к соответствующему выходному гнезду питающего устройства. Необходимо отметить, что простота данной конструкции как раз и позволила этому электропаяльному набору завоевать популярность среди радиолюбителей. Всем известно, что в радиолюбительской практике не всегда оправдано применение паяльников со сложными устройствами для плавной регулировки температуры жала паяльника, а вполне достаточно двух уровней температуры жала паяльника. Однако, несмотря на описанные выше преимущества, указанная конструкция имеет свои недостатки. Для изменения температуры жала паяльника необходимо отключать его от питающего устройства и переключать в другое гнездо, что не всегда удобно, так как питающее устройство зачастую располагается на полу, под столом и т. п. Кроме того, выходные гнезда питающего устройства выглядят совершенно одинаково и имеют неудобочитаемые надписи «I» и «II», поэтому приходится каждый раз вспоминать, какое же из них соответствует более высокой температуре жала паяльника, а какое — более низкой. К недостаткам можно отнести и отсутствие сетевого выключателя питающего устройства: для того чтобы сделать перерыв в процессе пайки и выключить паяльник, необходимо отключить вилку питающего устройства от сети или паяльник от питающего устройства.



Устранить указанные недостатки позволяет предлагаемая простейшая доработка питающего устройства паяльника. На рисунке представлена принципиальная схема доработанного питающего устройства. Суть доработки заключается в том, что выходные гнезда питающего устройства включаются параллельно, и теперь паяльник можно подключать к любому гнезду. Выбор температуры осуществляется тумблером S2. Кроме того, вводится выключатель сети S1 и элементы индикации VD1, R1, VD2, R2. Если паяльник подключен к сети и установлен низкий уровень температуры жала, то светится только один зеленый светодиод «СЕТЬ». Если выбран повышенный уровень температуры жала паяльника, то дополнительно светится красный светодиод «ГОР». Для доработки применены малогабаритные импортные переключатели клавишного типа. Их располагают в верхней части питающего устройства так, чтобы можно было нажимать и рукой и ногой. Рядом с ними располагают соответствующие светодиоды. В устройстве можно применить любые светодиоды, подобрав резисторами R1 и R2 нормальный уровень яркости их свечения. Также рекомендуется любым доступным способом сделать надписи возле установленных переключателей.

Данная доработка проста в реализации, не требует особых затрат и вместе с тем в значительной степени повышает удобство пользования паяльником.

Олег Итов,
Санкт-Петербург

Простой индикатор разряда батарей

Для миниатюрной электронной аппаратуры и приборов, питающихся от аккумуляторных батарей или гальванических элементов, весьма полезным устройством является индикатор разрядки источника питания. Такой индикатор позволяет, обнаружив разрядку, своевременно предпринять меры для перезаряда аккумуляторов или замены гальванических элементов.

На рис.1 для примера приведены характерные кривые разряда никель-кадмиевых аккумуляторов токами от I=0,2C до I=3C, где C — емкость аккумулятора в амперчасах , из которой видно, что при разрядке на 80...90% напряжение на них падает приблизительно на 0,15 В от номинальной величины 1,25 В. Сходно ведут себя и никель-металло-гидридные аккумуляторы. Что касается обычных марганцево-цинковых или алкалиновых гальванических элементов, то их падение напряжения при той же степени разрядки составляет приблизительно 0,2...0,25 В от номинальных 1,5 В. Исключение составляют лишь литиевые элементы, которые практически до полного разряда сохраняют номинальное напряжение.

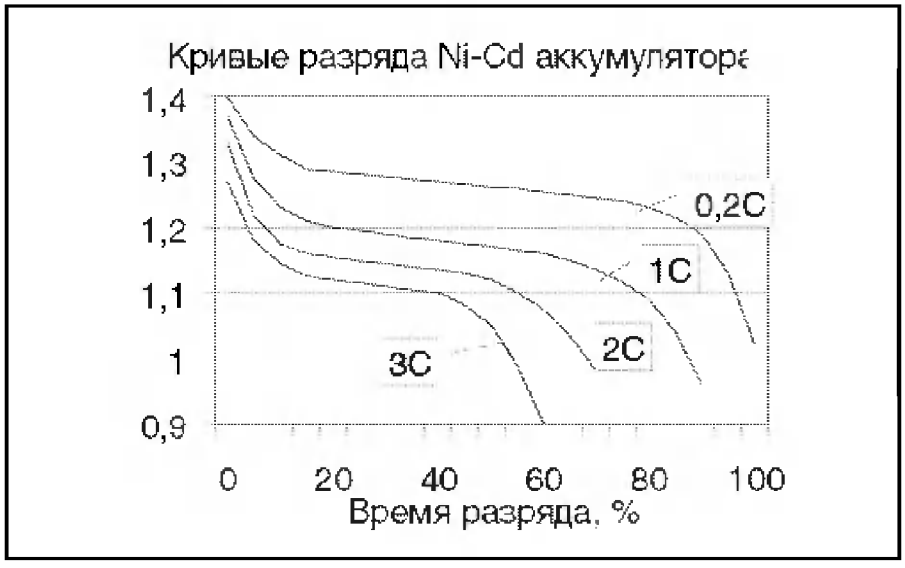


Рис. 1

Таким образом, для индикации разрядки подавляющего большинства гальванических источников питания достаточно регистрировать уменьшение их напряжения на величину примерно от 150 мВ у одного аккумулятора до 2...2,5 В у батареи из 8...10 гальванических элементов.

Обычно такие индикаторы реализуются на основе микросхем, уже включающих в себя компаратор напряжения. В других случаях для этого, как правило, используются операционные усилители, на которых также собирается компаратор.

Здесь предлагается индикатор, построенный на цифровой микросхеме. Его компаратор выполнен на КМОП — инверторе, в качестве которого применен базовый элемент микросхемы К561ЛН2.

Опорное напряжение U_o подается на вход инвертора, а сравниваемое положительное напряжение источника питания $U_{и.п.}$ на ножку 14 питания микросхемы. Из характерных кривых на рис.2 видно что в достаточно широкой области вокруг произвольно выбранного номинального значения $U_{и.п.}$ напряжение переключения инвертора $U_п$ связано с напряжением его питания соотношением $U_п=\xi U_{и.п.}$, где ξ=const и ξ»0,4 при переключении инвертора из состояния логической «1» в «0» и ξ»0,6 в обратном случае. Следовательно, с уменьшением напряжения питания при прохождении точки $U_{и.п.}$»2,5U_o инвертор, выход которого предварительно находился в состоянии «1», будет изменять его на противоположное. Крутизна переходной характеристики инверторов 561 серии при работе на высокоомную нагрузку вполне достаточна для фиксации перепада контролируемого напряжения порядка десятка милливольт.

Принципиальная схема индикатора разрядки для источников питания с номинальным напряжением в пределах 3...6 В приведена на рис.3. Компаратор выполнен на инверторе DD1.1. Опорное напряжение формируется цепочкой R1, R2, VD1, где VD1 — источник опорного напряжения КА.336-2.5. Часть напряжения, падающего на VD1, а для КА.336-2.5 это 2,48 В, подается на вход DD1.1 через резистор R2, которым устанавливается порог срабатывания компаратора. Нормальное и разряженное состояния источника питания индицируются светодиодами VD2 и VD4 соответственно. Инвертор DD1.2 выполняет функцию буфера, препятствующего уменьшению крутизны переключательной характеристики инвертора при включении светодиода VD2.

Помимо светового сигнала, разряженное состояние источника индицируется и звуковым сигналом пьезозвонка BQ1, который возбуждается мультивибратором, собранным на инверторах DD1.5, DD1.6. Резистор R7 используется для подстройки частоты мультивибратора под резонансную частоту пьезозвонка. Значение емкости конденсатора C2 дано для случая, когда применен пьезозвонок с резонансной частотой около 3 кГц и выше. Если применяется пьезозвонок с более низкой резонансной частотой, емкость конденсатора C2 следует соответственно увеличить. В противном случае громкость звукового сигнала может оказаться недостаточной.

Манипулятор на инверторах DD1.3, DD1.4 формирует импульсы для питания светодиода VD4 и управляет мультивибратором. При указанных на схеме номиналах времязадающей цепочки C1, R6 частота переключения манипулятора приблизительно равна 3 Гц. Разделительные диоды VD3 и VD5 позволяют последовательно управлять манипулятором и мультивибратором.

Собранный индикатор поключается к любому прибору или устройству просто путем присоединения выводов 7 и 14 микросхемы К561ЛН2 к минусовой и плюсовой шинам питания соответственно.

Индикатор работает следующим образом. В исходном состоянии кнопка S1 разомкнута и на входе инвертора DD1.1 присутствует логический «0». Соответственно логический «0» присутствует и на выходе инвертора DD1.2. При этом диод VD3 шунтирует вход инвертора DD1.3 на «землю» и таким образом стопорит манипулятор, на выходе которого также оказывается логический «0», благодаря чему через диод VD5 на «землю» шунтируется и вход инвертора DD1.5 и мультивибратор находится в ждущем режиме. В результате светодиоды VD2 и VD4 не горят и звуковой сигнал отсутствует.

При нажатии на кнопку S1 напряжение питания Uи.п. подается на анод светодиода VD2 и в цепочку формирования опорного напряжения R1, R2, VD1. Если окажется, что Uи.п. велико настолько, что напряжение переключения инвертора DD1.1 из «1» в «0» при данном питании больше чем опорное напряжение, установленное на его входе, то на выходе инвертора DD1.2 сохранится состояние логического «0». При этом манипулятор и, соответственно, мультивибратор останутся в ждущем режиме, а светодиод VD2 загорится, свидетельствуя о нормальном состоянии источника питания. Если же Uи.п. понизится так, что напряжение переключения инвертора DD1.1 из «1» в «0» при данном питании окажется меньше, чем опорное напряжение на его входе , то при нажатии на

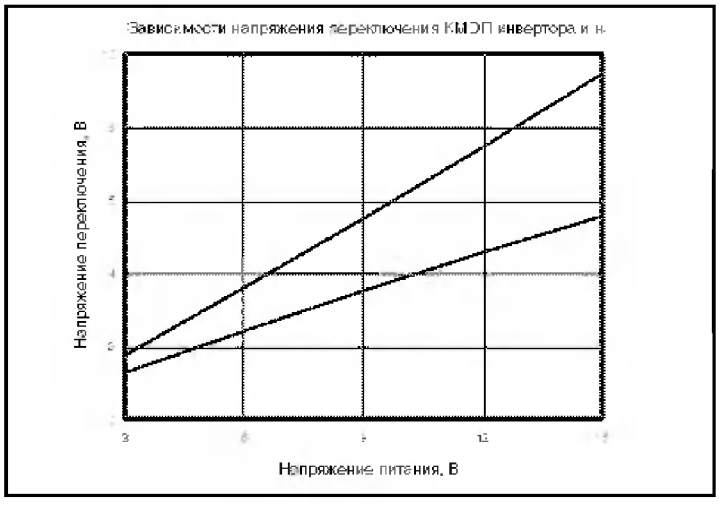


Рис. 2

кнопку S1 инвертор DD1.1 переключится и на выходе инвертора DD1.2 появится логическая «1». В результате светодиод VD2 погаснет, а диод VD3 запрется и запустится манипулятор, формируя импульсы питания светодиода VD4 и управления мультивибратором. Мультивибратор начнет генерировать пачки импульсов. Мигание светодиода VD4 и одновременные звуковые сигналы будут свидетельствовать о разрядке источника питания и необходимости его перезарядки или замены.

Правильно собранное устройство начинает работать сразу. Настройка сводится к установке величины порога срабатывания. Для этого необходимо запитать устройство от регулируемого источника напряжением, которое выбрано в качестве критерия разряда гальванического источника питания. Например, для аккумуляторной батареи из четырех никель-кадмиевых аккумуляторов с номинальным напряжением 5 В это будет приблизительно 4,4 В. Замкнуть кнопку S1, повернуть движок резистора R2 в положение, при котором горит светодиод VD2, и медленно поворачивать его в обратном направлении до момента, когда светодиод VD2 погаснет и замигает светодиод VD4. После этого увеличить напряжение на 0,5...1 В, светодиод VD2 при этом загорится вновь. Затем начать плавно его снижать и зафиксировать величину, при которой светодиод VD2 погаснет опять и снова замигает светодиод VD4. Если полученное значение напряжения переключения будет отличаться от требуемого — процедуру повторить. Производить установку опорного напряжения не как описано выше, а наоборот, добиваясь переключения светодиода VD2 из погашенного состояния, нельзя, поскольку напряжение переключения инвертора из «1» в «0» отличается от напряжения переключения из «0» в «1».

В конструкции в качестве светодиодов VD2 и VD4 использованы АЛ307Г и АЛ307К зеленого и красного цветов, диоды VD3, VD5 — любые, например КД510А или КД522Б. Номиналы резисторов R3, R4 даны для индикатора, работающего с батареей, состоящей из четырех аккумуляторов или гальванических элементов. В индикаторе для батареи из трех элементов с целью избежания потери яркости свечения светодиодов эти резисторы желательно уменьшить до 150 и 470 Ом соответственно

Если индикатор предназначен для источника питания с номинальным напряжением больше 6 В, в нем следует использовать более высоковольтный источник опорного напряжения. Так для индикаторов от 6 до 12 В подойдет источник LM336Z-5.0, жестко стабилизирующий опорное напряжение 4.98 В, или какой-нибудь его аналог. Номиналы резисторов R1,R3,R4 необходимо при этом увеличить так, чтобы ток через VD1 находился в пределах 1...2 мА, через VD2 — не более 10 мА, а через VD3 — не более 3 мА.

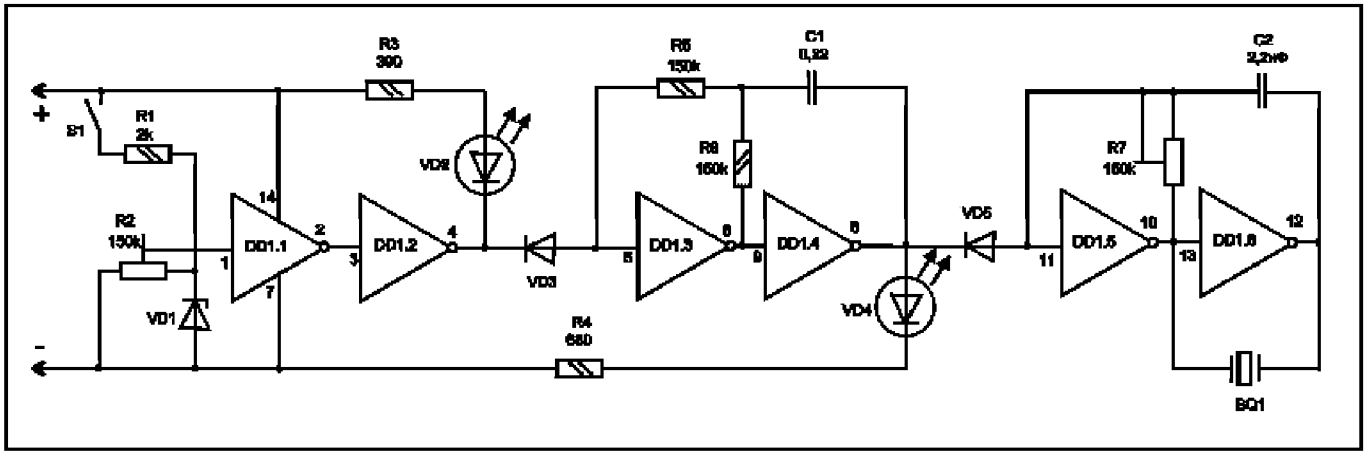


Рис. 3

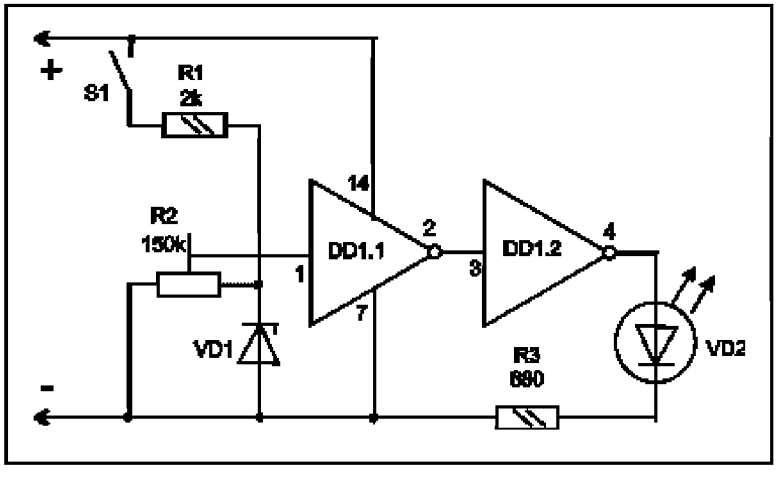


Рис. 4

В индикаторе возможно применение и обычных стабилитронов с соответствующей коррекцией величины R1, но точность срабатывания индикатора несколько уменьшится.

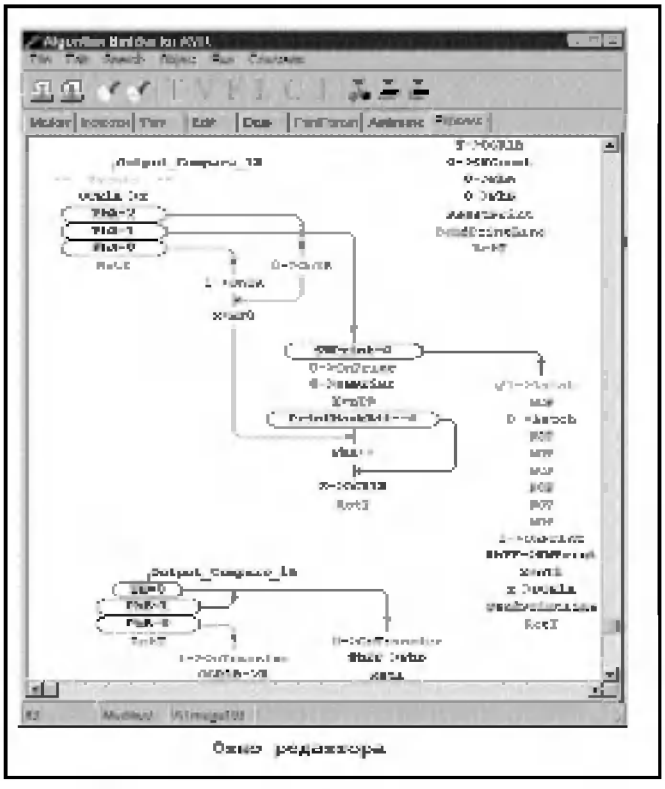
При разработке какого-либо изделия в него можно заложить индикатор по упрощенной схеме, представленной на рис.4, а оставшиеся инверторы использовать для других нужд. В этом случае о разрядке источника питания будет свидетельствовать только горение светодиода, а о нормальном его состоянии — отсутствие какой-либо реакции индикатора. Возможны и различные промежуточные комбинации. В завершение следует заметить что описанное устройство не требует собственного питания как такового и может использоваться совершенно самостоятельно как некий тестер — пробник, например, для контроля автомобильных аккумуляторов.

Александр Мясников, Москва

Графические технологии разработки программного обеспечения для микроконтроллеров

Программное обеспечение вдыхает жизнь в систему, основанную на микроконтроллере или микропроцессоре. Разработка его является центральным моментом общего процесса проектирования. Центр тяжести функциональных свойств таких систем ложится именно на программное обеспечение

Основным инструментом для профессиональной разработки программ является ассемблер, предполагающий детализацию на уровне команд микроконтроллера или микропроцессора. Только ассемблер позволяет максимально использовать ресурсы кристалла. Но очень удобной работу в ассемблере еще никто не называл. Существенным барьером между программистом и предметом программирования является текстовый редактор с его ограниченными возможностями.



Окно редактора

В данной публикации я хотел поговорить о технологии графического проектирования программного обеспечения для микроконтроллеров и микропроцессоров. Такая технология освобождает программиста от целого ряда неудобств, свойственных классическому ассемблеру. Использование ее предполагает существенное упрощение работы при возможности сохранения уровня детализации ассемблера. Примером среды в которой реализованы эти технологии является пакет «Algorithm Builder», в данный момент адаптированный под микроконтроллеры фирмы ATMEL с архитектурой AVR.

Вначале немного о мнемонике.

Мнемоника представляет собой короткий набор букв латинского алфавита однозначно определяющий соответствующую ему операцию в ядре микропроцессора. Конечно, по возможности разработчики старались вложить в этот набор букв смысл выполняемой операции, чтобы максимально облегчить жизнь программисту. И ряде случаев им это вполне удалось, в таких, как, например MOV, CALL, ADD, JMP и т.д. Но таких ситуаций отнюдь не большинство. Затем появляются такие как SBI, XTHL, BRBC, ADIW, XCHD и пр., которые начинают соперничать с китайской письменностью. Разумеется, все это можно запомнить и в конечном счете привыкнуть к такой форме, но все равно ничего хорошего в этом нет. Иных проблем достаточно.

Кроме того, те, кто имел дело с разными микропроцессорами, тот конечно обратил внимание, что общность мнемоник их ассемблеров составляет не более трети от общего количества. Среди тех, которые присутствуют практически во всех ассемблерах, можно перечислить MOV, ADD, SUB, CALL, AND, OR, INC, DEC, PUSH, POP, и еще некоторые. Основная же масса представлений уникальна, даже для ряда совершенно одинаковых операций. Например, в одном случае операция «исключающее или» записывается как XOR, в других — EOR. В одном случае обозначение операций переходов построено на основе слова JUMP, в другом — на основе слова BRANCH. И таких примеров можно привести множество. Но ведь редко кому удается пользоваться всегда только одним ассемблером. По жизни «коней» приходится менять, и с таким нежелательным разнообразием неизбежно приходится сталкиваться.

С учетом всего этого, в среде «Algorithm Builder» форма представления операций микроконтроллера построено иначе, в более удобочитаемом виде. Здесь использован визуально-функциональный принцип. Запись операции содержит образ выполняемого действия. Например:

вместо «`MOV R0,R1`» записывается «`R1->R0`»,
вместо «`LDI R16,63`» — «`63->R16`»,
вместо «`ST X,R2`» — «`R2->[X]`»,
вместо «`LSR r7`» — «`r7>>`»,
вместо «`SBI PortB,3`» — «`1->PortB.3`» и т. д.

В результате, время освоения системы команд сокращается до минимума, а смысл выполняемой операции становится понятным даже неподготовленному человеку.

Но не о мнемонике я хотел поговорить в этой статье. Эти изменения в форму записи операторов были внесены как бы заодно. В конце концов, если очень надо, то запомнить ее не так уж и сложно.

Одно из основных неудобств ассемблера (и не только его) состоит в

Окно программы

том, что в редакторе программа записывается и отображается в виде одной сплошной вертикальной колонки. И логическая структура тех или иных фрагментов может быть построена только в воображении программиста. В особо сложных случаях приходится прибегать к бумаге, предварительно прорисовывая необходимую структуру. Это дополнительно загружает, и без того, как правило, перегруженный мозг программиста, совершенно ненужной работой.

Главное предназначение графических сред — максимальное приведение интерфейса разработки в соответствие с природой человеческого восприятия, освобождение пользователя для чисто творческого процесса. Элементы этих технологий мы наблюдаем в таких языках программирования как Visual Basic, C-Builder, Delphi и др. Но там этот процесс ограничивается в основном конструированием содержимого окна. А с полным правом к этой категории можно пожалуй отнести такие среды как PCAD, OrCAD и др. Можно, конечно, электрическую схему

описать в текстовом редакторе, вводя список соединений, но бесконечно удобнее это делать в специализированном графическом редакторе. Но

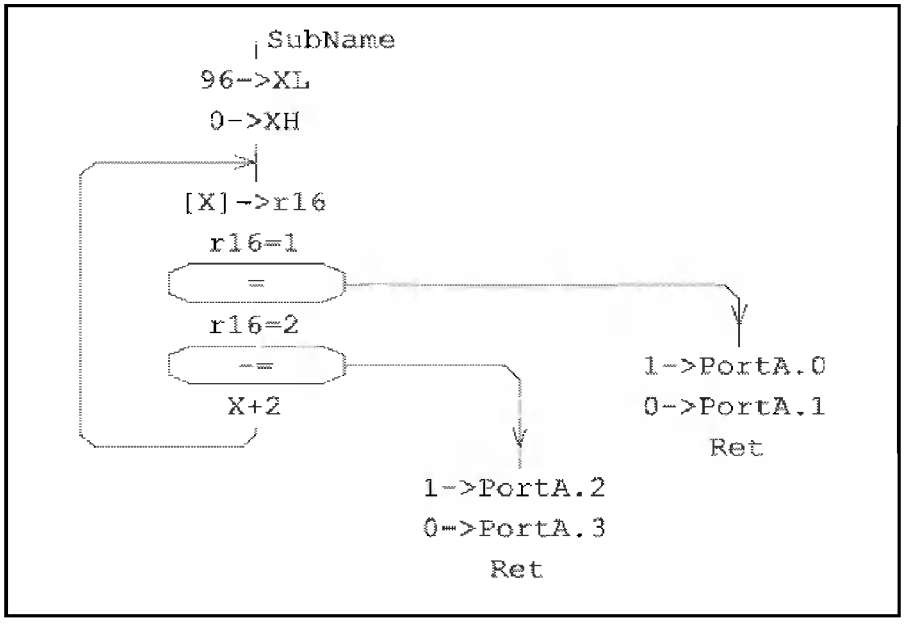


Рис. 1

эти пакеты из другой области.

Любая программа, написанная на уровне ассемблера, состоит из ряда законченных монотонных (или условно монотонных) цепочек, в которых ее исполнение возможно без ветвлений. Такие фрагменты всегда начинаются с метки (если это не само начало программы), а завершаются либо оператором безусловного перехода, либо оператором возврата из подпрограммы (RET или RETI), то есть оператором, который безо всяких условий перемещает ход исполнения программы в другое место. Такие участки программы представляют собой первичные логически завершенные блоки.

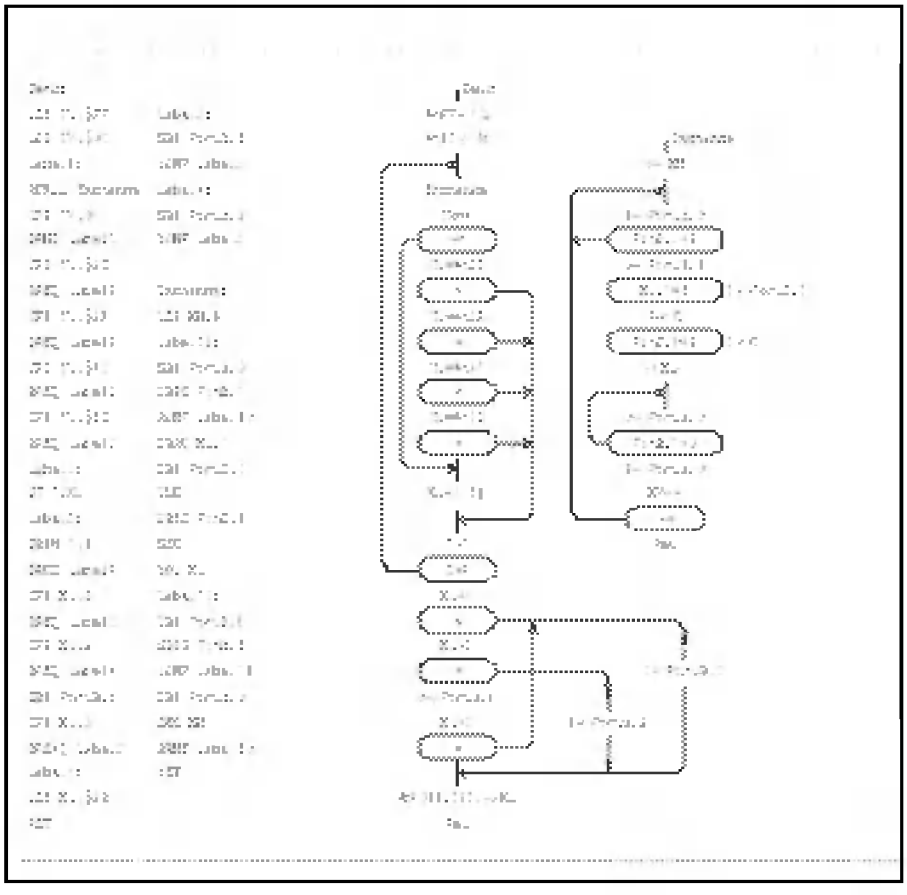


Рис. 2

Например, приведенная ниже подпрограмма содержит три таких блока:

```
SubName  LDI   XL,96
         LDI   XH,00
Label0:  LD    R16,X
         CPI   R16,1
         BREQ  Label1
         CPI   R16,2
         BRNE  Label2
         SBIW  X,2
         RJMP  Label0
Label1:  SBI   PortA,0
         CBI   PortA,1
         RET
Label2:  SBI   PortA,2
         CBI   PortA,3
         RET
```

Первый блок начинается с оператора «LDI XL,96» с меткой «SubName» а завершается оператором безусловного перехода RJMP, два других — начинаются с оператора «SBI» с метками «Label1» и Label2» соответственно, а заканчиваются оператором RET.

Визуальное разделение таких блоков на плоскости является одним из принципов графических методов. Другим принципом является возможность графического отображения ветвления в виде вектора, со стрелкой на конце, до необходимой точки в программе. Благодаря этому, обеспечивается возможность ввода программы на плоскости, в двух измерениях, в виде алгоритма с древовидной структурой, с визуальным отображением паутины условных и безусловных переходов. В результате — вся логическая структура как на ладони.

На рисунке 1 приведено отображение вышеприведенной программы в графической среде Algorithm Builder.

Поскольку, основная масса условных и безусловных переходов вводятся и отображаются графически, то программа освобождается от бесчисленных имен меток, которые в ассемблере являются неизбежным балластом, загромождающим текст программы. Необходимость имен для меток остается только для входов в подпрограммы.

Графическая технология ассемблера в среде Algorithm Builder реализуется посредством нескольких базовых объектов, из которых выстраивается конструкция алгоритма. Среди них:

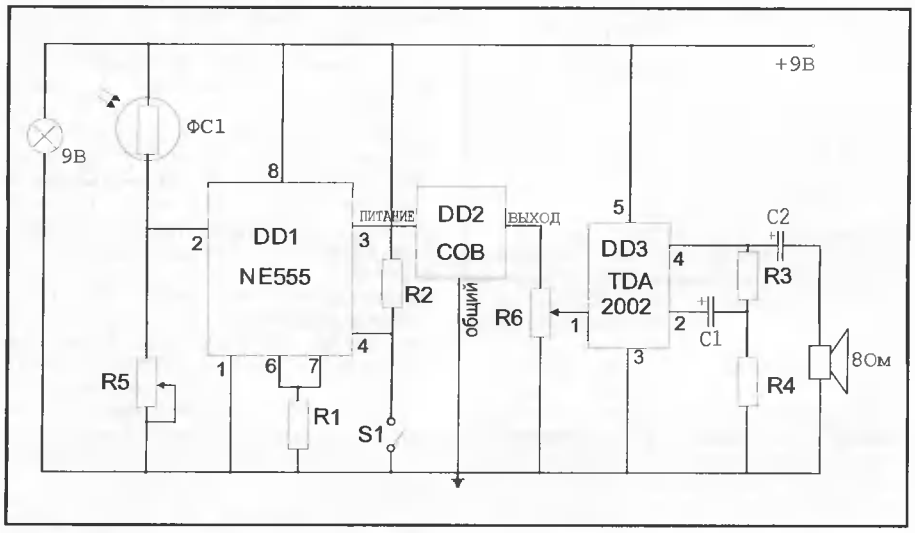
- Объект «Label» (метка) — отображается в виде вертикального штриха, расположенного на оси блока операторов. Метка может иметь необязательное имя, которое располагается слева или справа от штриха. Метки предназначены для подвода концов векторов переходов.
- Объект «Vertex» (вершина) используется в качестве начала блока, а по своему отображению и назначению аналогичен метке.
- Объект «Field» (поле) предназначен для записи операторов алгоритма и представляет собой отцентрированную строку в блоке.
- Объект «Condition» (условие) предназначен для обозначения операторов условных переходов.

Продолжение статьи см. на стр. 61

Сигнализатор задымления

Недавние события на Останкинской башне показали, что средства своевременной сигнализации о начале пожара остаются наиболее важной частью любой противопожарной системы. В случае раннего оповещения о возгорании ущерб от пожара может быть сведен к минимуму.

Представленное на рисунке устройство предназначено для своевременного предупреждения о начале возгорания. Его следует устанавливать в зонах возможного возгорания, таких, например, как кухни. Каждый, вероятно, знает, что когда пламя охватывает какой-либо предмет, то начинает выделяться дым. Когда этот дым попадает в промежуток между лампой и фоторезистором ФС1, падающий на резистор световой поток ослабевает. По этой причине сопротивление фоторезистора начинает расти, и напряжение на контакте 2 микросхемы 555 опускается ниже 1/3 напряжения питания, что перебрасывает триггерную часть схемы 555, и напряжение на выходе 3 становится высоким. Это высокое напряжение (около +9 В) используется для запитки звукового генератора СОВ (в качестве которого можно использовать готовые музыкальные звонки, сирены и т.д., однако, следя за тем, чтобы не превысить нагрузочную способность микросхемы 555). Сигнал с генератора подается на интегральную схему усилителя звуковой частоты TDA2002. Чувствительность схемы зависит от расстояния между лампой и фоторезистором, а также от положения движка подстроечного резистора R5. Таким образом, разместив лампу и фоточувствительный элемент на подходящем расстоянии друг от друга, установите оптимальную чувствительность, вращением потенциометра R5 настроив нужный порог срабатывания. Кнопка сброса S1 обеспечивает в схеме возможность отключения сигнала после того, как оповещение будет получено.



Резисторы:
R1 — 47 кОм, ±10%
R2 — 10 кОм, ±10%
R3 — 220О м, ±10%
R4 — 2,2О м, ±10%
R5, R6 — 100 кОм, ±20%

Конденсаторы:
C1 — 470 мкФ, 25В
C2 — 1000 мкФ, 25В

Перевод Владимира Волкова, Москва

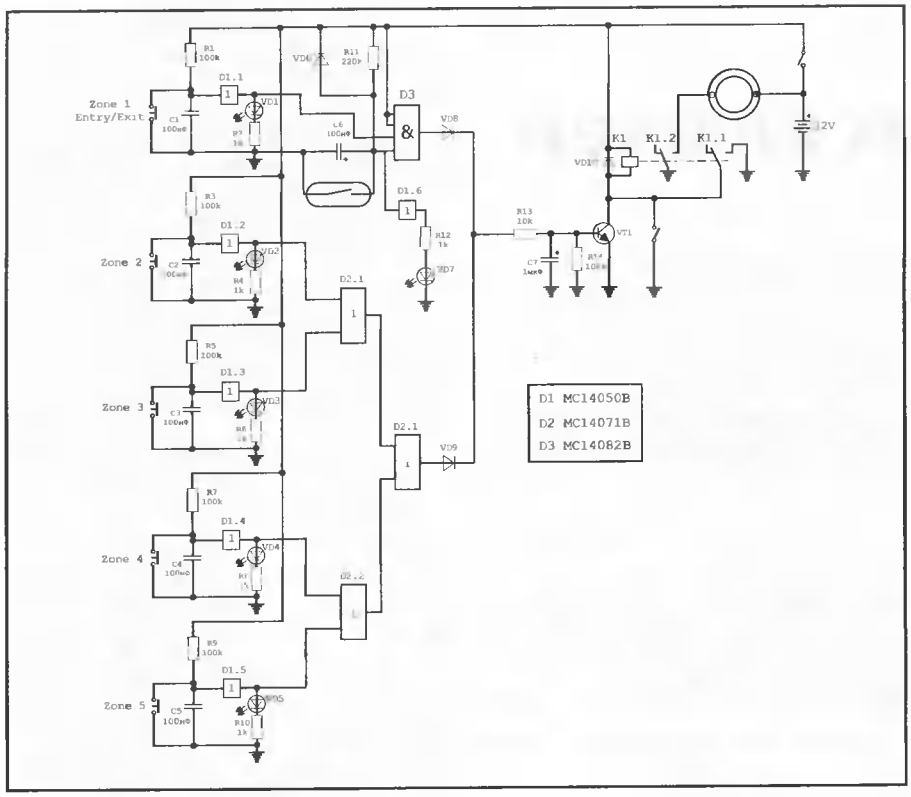
Охранная система на пять зон слежения

Это законченное устройство, оповещающее о нарушении в любой из пяти поставленных на охрану зон, может применяться дома или в небольших офисах. В нем используются всего три КМОП микросхемы, но при этом реализованы следующие функции:

- *непосредственная охрана в четырех зонах;*
- *задержка срабатывания сигнала во входной/выходной зоне;*
- *кнопка тревожной сигнализации;*
- *индикация состояния каждой зоны.*

Описание схемы

В каждой зоне используются датчики с нормально замкнутыми контактами, в качестве которых могут использоваться микропереключатели или стандартные контакты для сигнализаций (обычно язычкового типа). Зона 1 имеет таймер для задержки срабатывания при входе или выходе с охраняемой территории. В зонах 2–5 сигнализация срабатывает немедленно без всякой задержки и отключается только с центрального поста. Конденсаторы C1–C5 предназначены для подавления электромагнитных помех на длинных проводах, к которым подключаются датчики. C7 и R14 также подавляют переходные помехи. Замковый переключатель (желательно металлический с ключом) должен иметь состояния «Вкл./Выкл.» и «Сброс». В состоянии «Вкл.» конденсатор C6 заряжается через R11 в течение примерно 30 секунд, что определяет задержку для выхода из помещения. Это время может варьироваться при различных значениях C6 и R11. Как только время задержки истечет, индикатор VD7 загорится, сигнализируя, что система находится в режиме охраны. VD7 можно разместить отдельно, например в распределительной коробке или при входе для визуальной индикации работы охранной системы. В дальнейшем, даже при кратковременном разрыве любого из контактов в любой зоне, включая зону 1, триггерная схема запустит звуковую сигнализацию. Чтобы предотвратить включение сигнализации на время захода в помещение, в схему введен дополнительный секретный входной ключ.



Этот ключ замыкает конденсатор С6 и включает 30-секундную задержку. Желательно разместить этот ключ на входной двери, но незаметно для глаз. Дополнительно в схему введена кнопка тревожной сигнализации, которая принудительно переводит схему в режим тревоги. Выходной сигнал К1.1 обеспечивает управление замком, а К1.2 подключает сирену или звонок. В устройстве можно использовать КМОП микросхемы фирмы MOTOROLA D1 — MC14050B, D2 — MC14071B, D3 — MC14082B, которые работают в диапазоне питающего напряжения от 3 до 18 В и имеют нагрузочную способность по выходу — до 10 мА. Светодиоды — любые с рабочим током 5–8 мА.

Владимир Волков,
Москва,
по материалам сайта
www.mitedu.freeserve.co.uk./circuits/alarm/secur.htp

ООО СМП

КОМПОНЕНТЫ
ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА
Фирм MURATA, SPRAGUE, SINCERA

- Чип резисторы, керамические чип конденсаторы типоразмеры 1206, 0805, 0603, 0402...
- Танталовые конденсаторы, подстроечные конденсаторы и резисторы, высоковольтные конденсаторы до 2 КВ
- Индуктивности типоразмеры 1812, 0805, 0604 на ток до 3 А
- Диоды, диоды Шотки, ультрабыстрые диоды, диодные мосты
- Оптроны, светодиоды, варикапы, стабилитроны, транзисторы
- Интегральные стабилизаторы и другие микросхемы в SOT89, SOT23
- ПАВ резонаторы в корпусах SIP, TO на 433, 92 МГц
- Микросхема радиоприемника для ДУ и радиосистем передачи цифровой информации до 4,8 Кбит/сек
- Модуль приемника и передатчика для радиосистем передачи данных на небольшие расстояния, частота 433, 92 МГц
- Кнопки, батарейные отсеки, энкодер alps

т. (095) 158-7396 ф. 943-8780
E-mail: Sale@smp.aha.ru WWW.SMP.AHA.RU

ПЛАТАН ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВАШЕГО УСПЕХА

International IOR Rectifier

Схема управления балластами флюоресцентных ламп IR21571 фирмы International Rectifier

- Минимум дополнительных компонентов, простота подключения и адаптации к различным типам ламп
- Высоковольтный (600В) драйвер и схема управления в одном корпусе
- Программируемое время предварительного подогрева и программируемая частота
- Программируемое время ожидания и програмируемые характеристики поджига
- Автоматический рестарт
- Защита от перегрева, защита от нерезонансной работы
- Защита от электростатического пробоя
- Рабочая температура -55 +150 °C
- Максимальный ток до 500мА

Пример схемы применения

IR21571

MITSUBISHI ELECTRIC
Infineon
BOURNS
EPCOS
Honeywell
MOTOROLA
intersil
CRYDOM
DATA VISION
Kingbright
JAMICON

121351, Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, к. 1, стр.2 Почта: 121351, Москва, а/я 100
тел./факс: (095) 417-52-45, 417-08-11, 417-86-45 E-mail: bourns@platan.ru
www.platan.ru

Имитатор электронных ключей iButton

Внимание: данная статья предназначена исключительно для ознакомления с принципами работы с ключами серии iButton фирмы Dallas Semiconductor. Автор и редакция не несут ответственности за возможное незаконное использование всей или части приведенной в статье информации, схемотехнических или программных решений. Оригинальная разработка предназначалась для обеспечения возможности быстрого проникновения в помещения в случае возникновения экстремальной ситуации.

Имитатор электронных ключей фирмы Dallas Semiconductor типа DS1990A, который предлагается вашему вниманию, способен запоминать номера до 30 разных ключей, а затем имитировать любой ключ. Номера можно вводить двумя способами: непосредственным считыванием оригинала или ручным вводом в компьютер с последующей записью в имитатор по RS-232. В компьютере может быть создана база ключей, в которой указан тип, серийный номер и текстовое описание.

Touch Memory типа DS1990A представляет собой пассивное устройство (без внутреннего источника питания), которое содержит записанное с помощью лазера ПЗУ. ПЗУ содержит уникальный серийный номер. Для считывания данных с DS1990A используется 1-проводная шина фирмы DALLAS. DS1990A является подчиненным устройством, а мастером является обычно микропроцессор. Питание DS1990A во время обмена данными производится от 1-проводной шины. Эквивалентная схема интерфейсной части DS1990A показана на рис. 1*а*.

Аналогичную интерфейсную часть имеет и мастер (рис. 1*б*), отличие состоит в наличии подтягивающего резистора. В состоянии ожидания 1-проводная шина имеет высокий логический уровень. Последовательность доступа к DS1990A по 1-проводной шине следующая:

- Инициализация.
- Команда чтения ПЗУ.
- Чтение данных.

Все пересылки по 1-проводной шине начинаются с инициализации. Инициализация производится в следующей последовательности (рис. 2):

- Мастер посылает импульс сброса (reset pulse) — сигнал низкого уровня длительностью не менее 480 мкс.
- За импульсом сброса следует ответ подчиненного устройства (presence pulse) — сигнал низкого уровня длительностью 60–240 мкс, который генерируется через 15–60 мкс после завершения импульса сброса.

Ответ подчиненного устройства дает мастеру понять, что на шине присутствует устройство DS1990A и оно готово к обмену. После того как мастер обнаружил ответ, он может передавать команду чтения ПЗУ. Команда чтения ПЗУ имеет код 33Н. Передача данных ведется путем формирования специальных временных интервалов (time slots). Каждый временной интервал служит для передачи одного бита. Первым передается младший бит. Интервал начинается импульсом низкого уровня, длительность которого лежит в пределах 1–15 мкс. Поскольку переход из единицы в ноль менее чувствителен к емкости шины (он формируется открытым транзистором, в то время как переход из ноля в единицу формируется подтягивающим резистором), именно этот переход DS1990A использует для синхронизации с мастером. В DS1990A запускается схема временной задержки, которая определяет момент считывания данных. Номинальное значение задержки равно 30 мкс, однако оно может колебаться в пределах 15–60 мкс. За импульсом низкого уровня следует передаваемый бит. Он должен удерживаться на шине 60–120 мкс от начала интервала. Временной интервал завершается переводом шины в состояние высокого уровня на время не менее 1 мкс. Это необходимо для зарядки внутреннего конденсатора, который обеспечивает питание DS1990A. Аналогичным образом формируются временные интервалы для всех передаваемых битов (рис. 3).

Приняв команду чтения ПЗУ, DS1990A передает 8-битный код типа устройства (для DS1990A это 01Н), 48-битный серийный номер и 8-битную контрольную сумму. Временные интервалы для принимаемых битов тоже формирует мастер. Интервал начинается импульсом низкого уровня длительностью 1–15 мкс. Затем мастер должен освободить шину, чтобы дать возможность DS1990A вывести бит данных. По переходу из единицы в ноль DS1990A выводит на шину бит данных и запускает схему временной задержки, которая определяет, как долго бит данных будет присутствовать на шине. Это время лежит в пределах 15–60 мкс. Для того чтобы данные на шине гарантированно установились, требуется некоторое время. Поэтому момент считывания данных мастером должен отстоять чуть меньше, чем на 15 мкс от начала временного интервала (рис. 4).

Правильность принятых данных проверяется с помощью контрольной суммы. Если подсчитать контрольную сумму всех восьми считанных байтов (включая байт считанной контрольной суммы), то в случае отсутствия ошибок должен получиться ноль. Подпрограмма вычисления контрольной суммы приведена ниже:

```
DOW_CRC:   PUSH ACC          ;Save the Accumulator.
           PUSH B            ;Save the B register.
           PUSH ACC          ;Save bits to be shifted.
           MOV B,#8          ;Set to shift eight bits.
CRC_LOOP.  XRL A,TEMP        ;Calculate DQIN xor CRCT0.
           RRC A             ;Move it to the carry.
           MOV A,TEMP        ;Get the last CRC value.
           JNC ZERO          ;Skip if DQIN xor CRCT0 = 0.
           XRL A,#18H        ;Update the CRC value.
ZERO:      RRC A             ;Position the new CRC.
           MOV TEMP,A        ;Store the new CRC.
           POP ACC           ;Get the remaining bits.
           RR A              ;Position next bit in LSB.
           PUSH ACC          ;Save the remaining bits.
           DJNZ B,CRC_LOOP   ;Repeat for eight bits.
           POP ACC           ;Clean up the stack.
           POP B             ;Restore the B register.
           POP ACC           ;Restore the Accumulator.
           RET               ;Return.
```

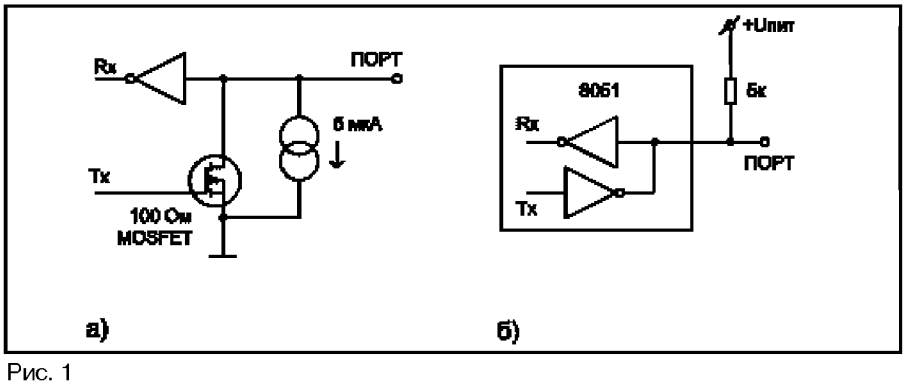


Рис. 1

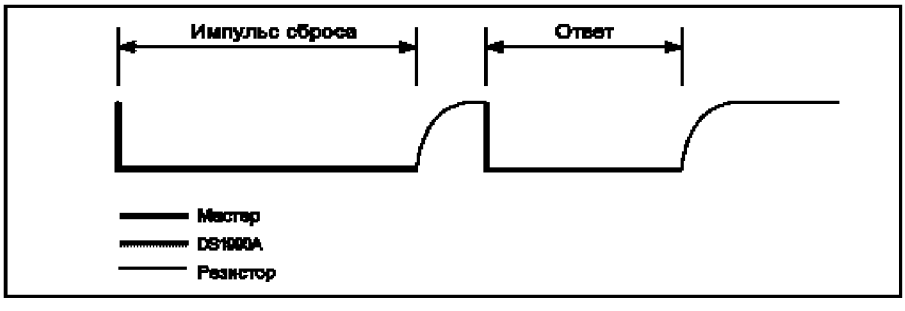


Рис. 2

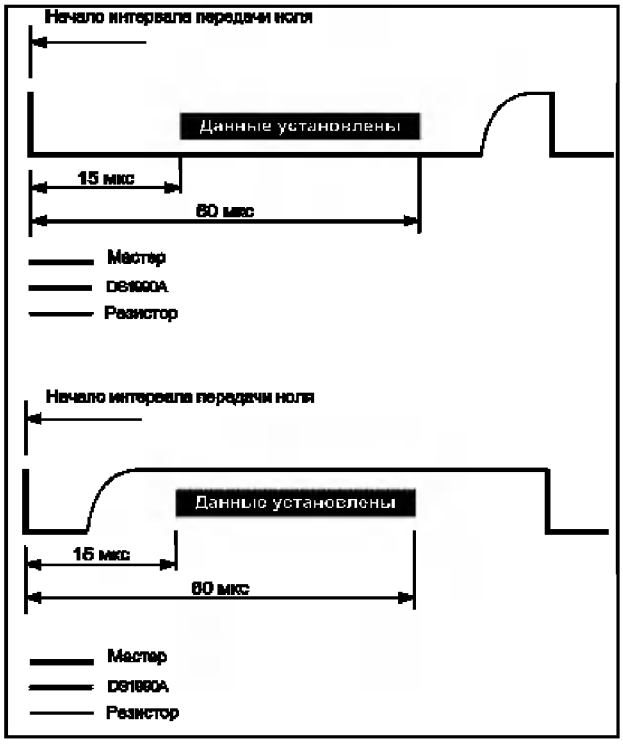


Рис. 3

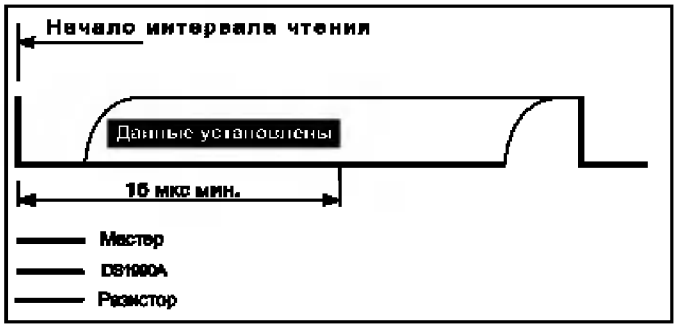


Рис. 4

Эта подпрограмма должна вызываться для каждого байта, участвующего в подсчете контрольной суммы. Байт должен быть помещен в А. Контрольная сумма получается в ячейке памяти TEMP (перед началом подсчета контрольной суммы эта ячейка должна быть обнулена).

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 5. Основой является микроконтроллер фирмы Atmel AT89C-2051. Этот микроконтроллер имеет встроенное ПЗУ программ с электрическим стиранием объемом 2 Кбайта. Микроконтроллер работает на тактовой частоте 12 МГц. Программа содержит довольно много фрагментов, критичных к времени выполнения, поэтому изменять тактовую частоту без соответствующей корректировки программы нельзя.

Для отображения номера текущего ключа в устройстве применен сдвоенный 7-сегментный светодиодный индикатор с общим анодом HG1. Для уменьшения количества элементов схемы применена динамическая индикация, реализованная программно. Катоды индикатора через токоограничивающие резисторы подключены к порту P1. Аноды управляются ключами VT1 и VT2. Ключами же управляют линии сканирования T0 и T1. Соединение катодов двух разрядов индикатора произведено в произвольном порядке, потому что так удобнее для топологии печатной платы. В связи с этим, для каждого разряда индикатора в программе использована отдельная таблица знакогенератора.

Те же линии порта P1, к которым подключены катоды индикаторов, используются и для сканирования кнопок SB1 и SB2. Линия возврата — порт P1.7. Диоды VD2 и VD3 предотвращают замыкание линий P1.0 и P1.1 (и нарушение работы индикации) при одновременном нажатии двух кнопок.

Для экономии портов контроллера микросхема энергонезависимой памяти, в которой сохраняются номера ключей, подключена к линиям сканирования индикатора T0 и T1. Процесс сканирования представляет собой чередующиеся условия «Старт» и «Стоп» шины I2C и на работу микросхемы памяти влияния не оказывает. Во время циклов записи/чтения по шине I2C процесс сканирования индикаторов приостанавливается. При этом индикаторы гасятся путем вывода в порт P1 всех единиц.

В качестве 1-проводного порта использована ножка INT0 микроконтроллера. Элементы R1, VD1 имеют защитную функцию. К выводам DQ и GND можно подключить параллельно touch probe DS9092 и touch port DS9092R. Однако их стоимость, пожалуй, больше стоимости всего устройства. Поэтому можно обойтись более простыми контактными устройствами.

Преобразователь уровней для порта RS-232 выполнен на транзисторах VT3 и VT4. Отрицательное напряжение питания поступает с порта компьютера через контакт RTS.

Питание устройства осуществляется от батареи из трех элементов (например, размера AAA) с суммарным напряжением 4,5 В. Работоспособность устройства сохраняется при снижении напряжения питания до 3 В.

Никакой настройки устройство не требует. Достаточно только, чтобы монтаж был выполнен без ошибок и из исправных деталей. Микросхему U2 можно заменить 24C08, 24C16, 24LC04, 24LC08, 24LC16. Важно только, чтобы она позволяла производить запись при снижении напряжения питания до 3 В (микросхемы некоторых производителей запрещают запись при напряжении менее 4,5 В). Вместо

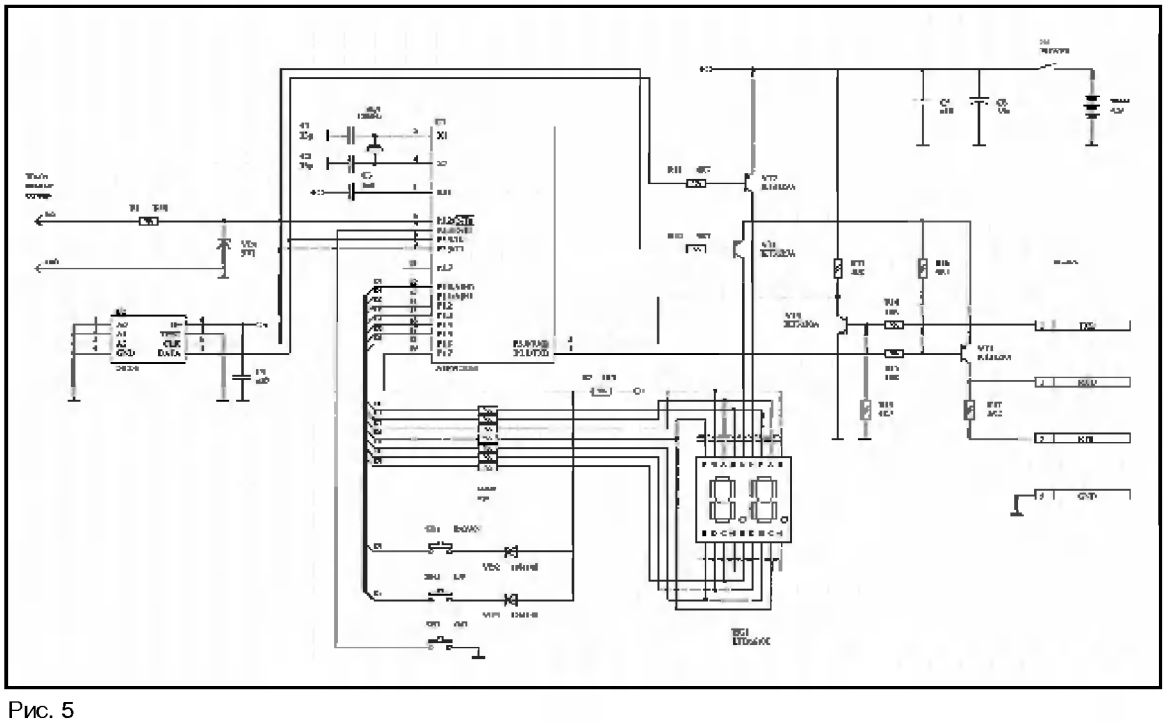


Рис. 5

индикатора HG1 можно применить два отдельных индикатора любого типа, необходимо только, чтобы они имели общий анод и, конечно, достаточную яркость свечения. Транзисторы можно применить любые маломощные соответствующей проводи-

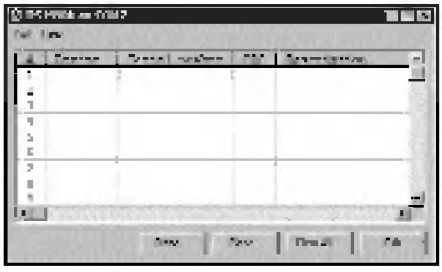


Рис. 6

мости с максимальным током коллектора не менее 50 мА. Для порта RS-232 применена вилка разъема D-SUB-9, которая предназначена для объемного монтажа. Плата входит между рядами контактов, которые припаиваются к соответствующим ламелям. Кнопки (без фиксации) и выключатель питания можно применить любые малогабаритные, однако при этом может потребоваться корректировка печатной платы.

При включении питания на индикаторах отображается текущий порядковый номер ключа. Порядковый номер запоминается в энергонезависимой памяти при входе в режим имитации. Всего может быть до 30 ключей. Пролистывать порядковый номер можно с помощью кнопок «Up» и «Down». Если к 1-проводному порту подключить DS1990A, то его серийный номер будет считан и записан в память под текущим порядковым номером. В случае удачного считывания на индикаторах на 2 секунды появляется надпись «Pr». Теперь устройство может имитировать считанный ключ. Для этого необходимо войти в режим имитации с помощью кнопки «Go». В этом режиме на индикатор выводится символ «P», а кнопки «Up» и «Down» не действуют. В режиме имитации 1-проводный порт можно подключить к считывателю touch memory, и он отреагирует на это как на подключение оригинальной DS1990A. Выйти из режима имитации можно вторичным нажатием кнопки «Go».

В имитаторе DS1990A возникла необходимость программно реализовать не только мастера, но и подчиненное устройство. Реализовать подчиненное устройство несколько сложнее ввиду того, что инициатором на шине является мастер. Однако это реализуемо, если во время имитации микроконтроллер не будет отвлекаться на другие задачи. Самая критичная по времени операция — это определение начала временного интервала (time slot). Для этого использована внутренняя логика прерываний. Роль порта 1-проводной шины выполняет ножка INT0 контроллера. Прерывание настроено таким образом, что флаг устанавливается при переходе входного сигнала из единицы в ноль. Само прерывание при этом запрещено, а флаг анализируется программно. Это позволяет устанавливать на шине данные с наименьшей задержкой относительно начала временного интервала:

```
JNB IE0,$          ;wait for interrupt flag
MOV DATA,C         ;DATA <- C
```

Вход в режим имитации осуществляется нажатием кнопки «Go». При этом программа начинает выполнять критичный по времени цикл и отвлекаться на сканирование индикатора и на опрос кнопок не может. В этом режиме индикация осуществляется статически, поэтому гореть может только один разряд (с несколько увеличенной яркостью). На индикаторе зажигается символ «P», для чего в порт P1 выводится соответствующая информация. Линия сканирования T0 устанавливается в ноль, при этом транзистор VT2 все время открыт, а второй разряд HG1 — все время включен. Выход из цикла имитации выполнен нестандартно. Кнопка «Go» подключена к ножке INT1 контроллера. При входе в цикл это прерывание разрешается. Его обработчик выглядит следующим образом:

```
GoKey:   MOV SP,#STACK
         MOV A,#LO(EDIT)
         PUSH ACC
         MOV A,#HI(EDIT)
         PUSH ACC
         RETI                ;return to Edit
```

Этот текст аналогичен по выполняемым действиям команде «LJMP Edit». Он осуществляет переход на метку EDIT в основной программе, где производится начальная инициализация. Однако применять команду LJMP нельзя, так как в этом случае логика прерываний не восстановит своего состояния (она останется в состоянии обработки прерывания, и прерывание больше не возникнет).

Кроме автономной работы, устройство может работать с PC, к которому оно подключается через порт RS-232 (поддерживаются порты COM1 — COM4). Программа на PC (рис. 6) отображает параметры ключей, записанных в память имитатора.

В колонке # отображается серийный номер, Device — тип устройства, например DS1990A, DS1992, DS1994 и т. д. Нужно отметить, что устройство может имитировать только DS1990A, но это не мешает распознавать другие типы touch memory. В колонке Serial number отображается серийный номер ключа, в колонке CRC — результат проверки контрольной суммы («Ok» или ничего). Колонка Description предназначена для текстового описания ключа. Текстовые описания всех ключей сохраняются в ini-файле. А вот серийные номера ключей в ini-файл не записываются и хранятся только в энергонезависимой памяти устройства. Поэтому, имея доступ только к компьютеру, нельзя получить серийные номера.

Перемещение по строчкам таблицы эквивалентно пролистыванию порядковых номеров ключей с помощью кнопок «Up» и «Down». При этом на индикаторах устройства также меняется текущее значение. Поля колонки Serial number доступны для редактирования. Поэтому в память устройства можно ввести серийный номер ключа, просто набрав его в таблице и нажав Enter.

Кнопка Read служит для считывания содержимого памяти имитатора в таблицу. С помощью кнопки Clear можно стереть текущий ключ, а с помощью Clear All — стереть все ключи.

Последовательный порт настраивается следующим образом: скорость 4800 бод, 8 бит данных, 1 стоп-бит. Бит паритета является признаком передачи адреса. Обмен всегда инициирует PC. Порядок обмена следующий: в ОЗУ контроллера имитатора организован буфер обмена. PC может прочитать или записать любой байт этого буфера. Для этого PC должен вначале передать адрес байта. Признак передачи адреса — бит паритета, равный единице. Адрес имеет длину 5 бит, хотя в данном контроллере буфер имеет размер всего 10 байт. Поэтому имеют смысл только первые 10 адресов. Вслед за передачей адреса PC должен передать байт данных, который будет записан в буфер по этому адресу. Для чтения данных PC должен передать адрес, у которого бит D7 равен единице. Это признак запроса чтения. После получения такого адреса, контроллер сам передаст байт данных из буфера. Формат передаваемых данных наглядно представлен в табл.1.

Табл. 1(а)

P	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0				Data Byte					- запись данных
1	0	0	X			Address			- запись адреса
1	1	0	X			Address			- запись адреса и запрос чтения

Буфер обмена имеет следующую структуру:

Табл. 1(б)

Адрес	Имя	Описание
0	Buff	Команда
1	Chan	Порядковый номер ключа
2	Fam_Code	Код семейства ключа
3	Ser_Num1	Серийный номер ключа, байт 1
4	Ser_Num2	Серийный номер ключа, байт 2
5	Ser_Num3	Серийный номер ключа, байт 3
6	Ser_Num4	Серийный номер ключа, байт 4
7	Ser_Num5	Серийный номер ключа, байт 5
8	Ser_Num6	Серийный номер ключа, байт 6
9	CRC_Byte	Контрольная сумма

Подробное описание параметров:

Табл. 1(*с*)

0	Buff	Команда

Этот параметр представляет собой код команды, которая будет выполнена контроллером. Возможные коды команд приведены в табл. 2:

Табл. 2(а)

Код в Buff	Команда
0	Нет операции
1	Установить порядковый номер
2	Записать буфер обмена в энергонезависимую память

Команда «Установить порядковый номер» включает текущий номер в соответствии со значением в ячейке Chan буфера обмена. Поэтому прежде чем передавать код этой команды, необходимо записать в Chan требуемый номер.

Команда «Записать буфер обмена в энергонезависимую память» осуществляет копирование серийного но-

мера из буфера обмена в энергонезависимую память. Перед тем, как передать код этой команды, необходимо правильно заполнить буфер и установить требуемый порядковый номер с помощью предыдущей команды.

После выполнения любой команды контроллер возвращает ее код в PC как подтверждение выполнения.

Табл. 2(б)

1	Chan	Порядковый номер ключа

Этот параметр задает порядковый номер ключа и может находиться в диапазоне от 1 до 30.

Табл. 2(с)

2	Fam_Code	Код семейства ключа

Этот параметр является кодом семейства ключа. Имеет смысл записывать только 01H (код семейства DS1990A).

Табл. 2(d)

3	Ser_Num1	Серийный номер ключа, байт 1
4	Ser_Num2	Серийный номер ключа, байт 2
5	Ser_Num3	Серийный номер ключа, байт 3
6	Ser_Num4	Серийный номер ключа, байт 4
7	Ser_Num5	Серийный номер ключа, байт 5
8	Ser_Num6	Серийный номер ключа, байт 6

В эти ячейки записывается серийный номер ключа.

Табл. 2(е)

9	CRC_Byte	Контрольная сумма

Этот параметр должен быть равен контрольной сумме предыдущих семи ячеек (Fam_Code, Ser_Num1 .. Ser_Num6).

Исходный текст программы на Delphi находится на сервере журнала.

Программа использует динамическую библиотеку ComAPI32.DLL, которую можно найти там же.

Исходный текст программы для микроконтроллера DS-1990A.Asm транслируется с помощью TASM 2.76. Использованы библиотеки LibReg.Asm, LibRTC.Asm, LibCom.Asm, LibMac.Asm. Все исходные тексты находятся на сервере журнала. Там же можно найти файлы топологии печатной платы и принципиальной схемы устройства.

Программу прошивки смотрите на www.compitech.ru/data/shem/01_00/#3

Леонид Ридико, Минск

Технологии изготовления печатных плат

Вопрос о том, как можно дешево изготавливать печатные платы в домашних условиях, волнует радиолюбителей всего мира, наверное, с самого момента изобретения печатных плат. И если несколько лет назад выбор технологий был не так уж велик, то сегодня благодаря развитию современной техники радиолюбители получают возможность быстро и качественно изготавливать печатные платы без применения какого-либо дорогостоящего оборудования. Данная статья является попыткой обобщения всей известной информации о процессе изготовления печатных плат в домашних условиях. Из всего множества существующих технологий были выбраны только те, которые не требуют значительных материальных затрат и достаточно просты в осуществлении.

Собственно, весь процесс изготовления печатной платы можно условно разделить на пять основных этапов:

- предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание);
- нанесение тем или иным способом защитного покрытия;
- удаление лишней меди с поверхности платы (травление);
- очистка заготовки от защитного покрытия;
- сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение.

Мы рассматриваем только наиболее распространенную «классическую» технологию, при которой лишние участки меди с поверхности платы удаляются путем химического травления. Помимо этого, возможно, например, удаление меди путем фрезерования или с использованием электроискровой установки. Однако эти способы не получили широкого распространения ни в радиолюбительской среде, ни в промышленности (хотя изготовление плат фрезерованием иногда применяется в тех случаях, когда необходимо очень быстро изготовить несложные печатные платы в единичных количествах).

Особенно хотелось бы отметить, что при изготовлении печатных плат в домашних условиях следует стремиться при разработке схемы использовать как можно больше компонентов для поверхностного монтажа, что в некоторых случаях позволяет развести практически всю схему на одной стороне платы. Связано это с тем, что до сих пор не изобретено никакой реально осуществимой в домашних условиях технологии металлизации переходных отверстий. Поэтому в случае, если разводку платы не удается выполнить на одной стороне, следует выполнять разводку на второй стороне с использованием в качестве межслойных переходов выводов различных компонентов, установленных на плате, которые в этом случае придется пропаивать с двух сторон платы. Конечно, существуют различные способы замены металлизации отверстий (использование тонкого проводника, вставленного в отверстие и припаянного к дорожкам с обеих сторон платы; использование специальных пистонов), однако все они имеют существенные недостатки и неудобны в использовании. В идеальном случае плата должна разводиться только на одной стороне с использованием минимального количества перемычек.

Остановимся теперь подробнее на каждом из этапов изготовления печатной платы.

Предварительная подготовка заготовки

Данный этап является начальным и заключается в подготовке поверхности будущей печатной платы к нанесению на нее защитного покрытия. В целом за продолжительный промежуток времени технология очистки поверхности не претерпела сколько-нибудь значительных изменений. Весь процесс сводится к удалению окислов и загрязнений с поверхности платы с использованием различных абразивных средств и последующему обезжириванию.

Для удаления сильных загрязнений можно использовать мелкозернистую наждачную бумагу («нулевку»), мелкодисперсный абразивный порошок или любое другое средство, не оставляющее на поверхности платы глубоких царапин. Иногда можно просто вымыть поверхность печатной платы жесткой мочалкой для мытья посуды с моющим средством или порошком (для этих целей удобно использовать абразивную мочалку для мытья посуды, которая похожа на войлок с мелкими вкраплениями какого-то вещества; часто такая мочалка бывает наклеена на кусок поролона). Кроме того, при достаточно чистой поверхности печатной платы можно вообще пропустить этап абразивной обработки и сразу перейти к обезжириванию.

В случае наличия на печатной плате только толстой оксидной пленки ее можно легко удалить путем обработки печатной платы в течение 3–5 секунд раствором хлорного железа с последующим промыванием в холодной проточной воде. Следует, однако, отметить, что желательно либо производить данную операцию непосредственно перед нанесением защитного покрытия, либо после ее проведения хранить заготовку в темном месте, поскольку на свету медь быстро окисляется.

Заключительный этап подготовки поверхности заключается в обезжиривании. Для этого можно использовать кусочек мягкой ткани, не оставляющей волокон, смоченный спиртом, бензином или ацетоном. Здесь следует обратить внимание на чистоту поверхности платы после обезжиривания, поскольку в последнее время стали попадаться ацетон и спирт со значительным количеством примесей, которые оставляют на плате после высыхания беловатые разводы. Если это так, то стоит поискать другой обезжиривающий состав. После обезжиривания плату следует промыть в проточной холодной воде. Качество очистки можно контролировать, наблюдая за степенью смачива-

ния водой поверхности меди. Полностью смоченная водой поверхность, без образования на ней капель и разрывов пленки воды, является показателем нормального уровня очистки. Нарушения в этой пленке воды указывают, что поверхность очищена недостаточно.

Нанесение защитного покрытия

Нанесение защитного покрытия является самым важным этапом в процессе изготовления печатных плат, и именно им на 90 % определяется качество изготовленной платы. В настоящее время в радиолюбительской среде наиболее популярными являются три способа нанесения защитного покрытия. Мы их рассмотрим в порядке возрастания качества получаемых при их использовании плат.

1. Ручное нанесение защитного покрытия. При этом способе чертеж печатной платы переносится на стеклотекстолит вручную при помощи какого-либо пишущего приспособления. В последнее время в продаже появилось множество маркеров, краситель которых не смывается водой и дает достаточно прочный защитный слой. Кроме того, для ручного рисования можно использовать рейсфедер или какое-либо другое приспособление, заправленное красителем. Так, например, удобно использовать для рисования шприц с тонкой иглой (лучше всего для этих целей подходят инсулиновые шприцы с диаметром иглы 0,3-0,6 мм), обрезанной до длины 5–8 мм. При этом шток в шприц вставлять не следует — краситель должен поступать свободно под действием капиллярного эффекта. Также вместо шприца можно использовать тонкую стеклянную или пластмассовую трубку, вытянутую над огнем для достижения нужного диаметра. Особое внимание следует обратить на качество обработки края трубки или иглы: при рисовании они не должны царапать плату, в противном случае можно повредить уже закрашенные участки. В качестве красителя при работе с такими приспособлениями можно использовать разбавленный растворителем битумный или какой-либо другой лак, цапонлак или даже раствор канифоли в спирте. При этом необходимо подобрать консистенцию красителя таким образом, чтобы он свободно поступал при рисовании, но в то же время не вытекал и не образовывал капель на конце иглы или трубки. Стоит отметить, что ручной процесс нанесения защитного покрытия достаточно трудоемок и годится только в тех случаях, когда необходимо очень быстро изготовить небольшую плату. Минимальная ширина дорожки, которой можно добиться при рисовании вручную, составляет порядка 0,5 мм.
2. Использование «технологии лазерного принтера и утюга». Данная технология появилась сравнительно недавно, однако сразу получила широчайшее распространение в силу своей простоты и высокого качества получаемых плат. Основу технологии составляет перенос тонера (порошка, используемого при печати в лазерных принтерах) с какой-либо подложки на печатную плату. При этом возможны два варианта: либо используемая подложка отделяется от платы перед травлением, либо, если в качестве подложки используется алюминиевая фольга, она стравливается вместе с медью. Первый этап использования данной технологии заключается в печати зеркального изображения рисунка печатной платы на подложке. Параметры печати принтера при этом должны быть установлены на максимальное качество печати (поскольку в этом случае происходит нанесение слоя тонера наибольшей толщины). В качестве подложки можно использовать тонкую мелованную бумагу (обложки от различных журналов), бумагу для факсов, алюминиевую фольгу, пленку для лазерных принтеров, основу от самоклеящейся пленки Oracal или какие-нибудь другие материалы. При использовании слишком тонкой бумаги или фольги может потребоваться приклеить их по периметру на лист плотной бумаги. В идеальном случае принтер должен иметь тракт для прохождения бумаги без перегибов, что предотвращает смятие подобного бутерброда внутри принтера. Большое значение это имеет и при печати на фольге или основе от пленки Oracal, поскольку тонер на них держится очень слабо, и в случае перегиба бумаги внутри принтера существует большая вероятность, что придется потратить несколько неприятных минут на очистку печки принтера от налипших остатков тонера. Лучше всего, если принтер может пропускать бумагу через себя горизонтально, печатая при этом на верхней стороне (как, например, HP LJ2100 — один из лучших принтеров для применения при изготовлении печатных плат). Хочется сразу предупредить владельцев принтеров типа HP LJ 5L, 6L, 1100, чтобы они не пытались печатать на фольге или основе от Oracal — обычно подобные эксперименты заканчиваются плачевно. Также помимо принтера можно использовать и копировальный аппарат, применение которого иногда дает даже лучшие по сравнению с принтерами результаты за счет нанесения толстого слоя тонера. Основное требование, которое предъявляется к подложке, — легкость ее отделения от тонера. Кроме того, в случае использования бумаги она не должна оставлять в тонере ворсинок. При этом возможны два варианта: либо подложка после перенесения тонера на плату просто снимается (в случае пленки для лазерных принтеров или основы от Oracal), либо предварительно размачивается в воде и потом постепенно отделяется (мелованная бумага). Перенос тонера на плату заключается в прикладывании подложки с тонером к предварительно очищенной плате с последующим нагревом до температуры, немного превышающей температуру плавления тонера. Возможно огромное количество вариантов как это сделать, однако наиболее простым является прижим подложки к плате горячим утюгом. При этом для равномерного распределения давления утюга на подложку рекомендуется проложить между ними несколько слоев плотной бумаги. Очень важным вопросом является температура утюга и время выдержки. Эти параметры варьируются в каждом конкретном случае, поэтому, возможно, придется поставить не один эксперимент, прежде чем вы получите качественные результаты. Критерий тут один: тонер должен успеть достаточно расплавиться, чтобы прилипнуть к поверхности платы, и в то же время должен не успеть дойти до полужидкого состояния, чтобы края дорожек не расплющились. После «приварки» тонера к плате необходимо отделить подложку (кроме случая использования в качестве подложки алюминиевой фольги: ее отделять не следует, поскольку она растворяется практически во всех травильных растворах). Пленка для лазерных принтеров и основа от Oracal просто аккуратно снимаются, в то время как обычная бумага требует предварительного размачивания в горячей воде. Стоит отметить, что в силу особенностей печати лазерных принтеров слой тонера в середине больших сплошных полигонов достаточно мал, поэтому следует по мере возможности избегать использования таких областей на плате, либо после снятия подложки придется подретушировать плату вручную. В целом использование данной технологии после некоторой тренировки позволяет добиться ширины дорожек и зазоров между ними вплоть до 0,3 мм.
3. Применение фоторезистов. Фоторезистом называется чувствительное к свету вещество, которое под воздействием освещения изменяет свои свойства. В последнее время на российском рынке появилось несколько видов импортных фоторезистов в аэрозольной упаковке, которые особенно удобны для использования в домашних условиях. Сущность применения фоторезиста заключается в следующем: на плату с нанесенным на нее слоем фоторезиста накладывается фотошаблон и производится ее засветка, после чего засвеченные (или незасвеченные) участки фоторезиста смываются специальным растворителем, в качестве которого обычно выступает едкий натр (NaOH). Все фоторезисты делятся на две категории: позитивные и негативные. Для позитивных фоторезистов дорожке на плате соответствует черный участок на фотошаблоне, а для негативных, соответственно, прозрачный. Наибольшее распространение получили позитивные фоторезисты как наиболее удобные в применении. Остановимся более подробно на использовании позитивных фоторезистов в аэрозольной упаковке.

Первым этапом является подготовка фотошаблона. В домашних условиях его можно получить, напечатав рисунок платы на лазерном принтере на пленке. При этом необходимо особое внимание уделить плотности черного цвета на фотошаблоне, для чего необходимо отключить в настройках принтера все режимы экономии тонера и улучшения качества печати. Кроме того, некоторые фирмы предлагают вывод фотошаблона на фотоплоттере — при этом вам гарантирован качественный результат.

На втором этапе на предварительно подготовленную и очищенную поверхность платы наносится тонкая пленка фоторезиста. Делается это путем распыления его с расстояния порядка 20 см. При этом следует стремиться к максимальной равномерности получаемого покрытия. Кроме того, очень важно обеспечить отсутствие пыли в процессе распыления — каждая попавшая в фоторезист пылинка неминуемо оставит свой след на плате.

После нанесения слоя фоторезиста необходимо высушить получившуюся пленку. Делать это рекомендуется при температуре 70 °С–80 °С, причем сначала нужно подсушить поверхность при небольшой температуре и лишь затем постепенно довести температуру до нужного значения. Время сушки при указанной температуре составляет порядка 20–30 мин. В крайнем случае допускается сушка платы при комнатной температуре в течение 24 часов. Платы с нанесенным фоторезистом должны храниться в темном прохладном месте.

Следующим после нанесения фоторезиста этапом является экспонирование. При этом на плату накладывается фотошаблон (желательно стороной печати к плате: это способствует увеличению четкости при экспонировании), который прижимается тонким стеклом или куском плексигласа. При достаточно небольших размерах плат для прижима можно использовать крышку от коробки компакт-диска либо отмытую от эмульсии фотопластинку. Поскольку область максимума спектральной чувствительности большинства современных фоторезистов приходится на ультрафиолетовый диапазон, для засветки желательно использовать лампу с большой долей УФ-излучения в спектре (ДРШ, ДРТ и др.). В крайнем случае, можно использовать мощную ксеноновую лампу. Время экспонирования зависит от многих причин (тип и мощность лампы, расстояние от лампы до платы, толщина слоя фоторезиста, материал прижимного покрытия и др.) и подбирается экспериментально. Однако в целом время экспонирования составляет обычно не более 10 минут даже при экспонировании под прямыми солнечными лучами.

Проявление большинства фоторезистов осуществляется раствором едкого натра (NaOH) — 7 граммов на литр воды. Лучше всего использовать свежеприготовленный раствор, имеющий температуру 20 °С–25 °С. Время проявления зависит от толщины пленки фоторезиста и находится в пределах от 30 секунд до 2 минут. После проявления плату можно подвергать травлению в обычных растворах, поскольку фоторезист устойчив к воздействию кислот. При использовании качественных фотошаблонов применение фоторезиста позволяет получить дорожки шириной вплоть до 0,15–0,2мм.

Травление

Известно много составов для химического стравливания меди. Все они отличаются скоростью протекания реакции, составом выделяющихся в результате реакции веществ, а также доступностью необходимых для приготовления раствора химических реактивов. Ниже приведена информация о наиболее популярных растворах для травления.

1. Хлорное железо ($FeCl^3$) — пожалуй, самый известный и популярный реактив. Сухое хлорное железо растворяется в воде до тех пор, пока не будет получен насыщенный раствор золотисто-желтого цвета (для этого потребуется порядка двух столовых ложек на стакан воды). Процесс травления в этом растворе может занять от 10 до 60 минут. Время зависит от концентрации раствора, температуры и перемешивания. Перемешивание значительно ускоряет протекание реакции. В этих целях удобно использовать компрессор для аквариумов, который обеспечивает перемешивание раствора пузырьками воздуха. Также реакция ускоряется при подогревании раствора. По окончании травления плату необходимо промыть большим количеством воды, желательно с мылом (для нейтрализации остатков кислоты). К недостаткам данного раствора следует отнести образование в процессе реакции отходов, которые оседают на плате и препятствуют нормальному протеканию процесса травления, а также сравнительно низкую скорость реакции.
2. Персульфат аммония ($(NH^4)2S2O8$) — светлое кристаллическое вещество, растворяется в воде исходя из соотношения 35 г вещества на 65 г воды. Процесс травления в этом растворе занимает порядка 10 минут и зависит от площади медного покрытия, подвергающегося травлению. Для обеспечения оптимальных условий протекания реакции раствор должен иметь температуру порядка 40 °С и постоянно перемешиваться. По окончании травления плату необходимо промыть в проточной воде. К недостаткам этого раствора относится необходимость поддержания требуемого температурного режима и перемешивания.
3. Раствор соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода (H_2O_2). Для приготовления этого раствора необходимо к 770 мл воды добавить 200 мл 35 % соляной кислоты и 30 мл 30 % перекиси водорода. Готовый раствор должен храниться в темной бутылке, не закрытой герметически, так как при разложении перекиси водорода выделяется газ. Внимание: при использовании данного раствора необходимо соблюдать все меры предосторожности при работе с едкими химическими веществами. Все работы необходимо производить только на свежем воздухе или под вытяжкой. При попадании раствора на кожу ее необходимо немедленно промыть большим количеством воды. Время травления сильно зависит от перемешивания и температуры раствора и составляет порядка 5–10 минут для хорошо перемешиваемого свежего раствора при комнатной температуре. Не следует нагревать раствор выше 50 °С. После травления плату необходимо промыть проточной водой. Данный раствор после травления можно восстанавливать добавлением H_2O_2. Оценка требуемого количества перекиси водорода осуществляется визуально: погруженная в раствор медная плата должна перекрашиваться из красного в темно-коричневый цвет. Образование пузырей в растворе свидетельствует об избытке перекиси водорода, что ведет к замедлению реакции травления. Недостатком данного раствора является необходимость строгого соблюдения при работе с ним всех мер предосторожности.

Очистка заготовки, сверловка, нанесение флюса, лужение

После завершения травления и промывки платы необходимо очистить ее поверхность от защитного покрытия. Сделать это можно каким-либо органическим растворителем, например, ацетоном.

Далее необходимо просверлить все отверстия. Делать это нужно остро заточенным сверлом при максимальных оборотах электродвигателя. В случае, если при нанесении защитного покрытия в центрах контактных площадок не было оставлено пустого места, необходимо предварительно наметить отверстия (сделать это можно, например, шилом). Прижимное усилие в процессе сверления не должно быть слишком большим, чтобы на обратной стороне платы не образовывались бугорки вокруг отверстий. Обычные электродрели практически не подходят для сверления плат, поскольку, во-первых, имеют низкие обороты, а во-вторых, обладают достаточно большой массой, что затрудняет регулирование прижимного усилия. Удобнее всего для сверления плат использовать электродвигатели типа ДПМ-35Н и им подобные с насаженным на их вал небольшим цанговым патроном. После сверловки нужно обработать отверстия: удалить все зазубрины и заусенцы. Сделать это можно наждачной бумагой.

Следующим этапом является покрытие платы флюсом с последующим лужением. Можно использовать специальные флюсы промышленного изготовления (лучше всего смываемые водой или вообще не требующие смывания) либо просто покрыть плату слабым раствором канифоли в спирте. Лужение можно производить двумя способами: погружением в расплав припоя либо при помощи паяльника и металлической оплетки, пропитанной припоем. В первом случае необходимо изготовить железную ванночку и заполнить ее небольшим количеством сплава Розе или Вуда. Расплав должен быть полностью покрыт сверху слоем глицерина во избежание окисления припоя. Для нагревания ванночки можно использовать перевернутый утюг или электроплитку. Плата погружается в расплав, а затем вынимается с одновременным удалением излишков припоя ракелем из твердой резины.

Заключение

В данной статье мы постарались осветить все наиболее удобные для применения в домашних условиях технологии изготовления печатных плат. Использование современных фоторезистов или технологии лазерного принтера и утюга позволяет получить достаточно хорошие результаты. Таким образом, у радиолюбителей появляется возможность изготовления печатных плат с минимальной шириной проводника порядка 0,2-0,3 мм, что еще десять лет назад было практически недостижимым даже при серийном производстве.

Алексей Сигаев,
Москва

Как связать микроконтроллер и компьютер по каналу RS-232

Настоящая статья задумывалась как пример реализации разработки микроконтроллерного устройства, управляемого персональным компьютером по последовательному каналу. Она предназначена для тех, кто еще не имеет опыта подобных разработок. Разобравшись с тем, как ПК управляет микроконтроллером, отображает, обрабатывает и сохраняет полученную от него информацию, вы сможете применить эти знания для собственных разработок. К тому же описанное устройство имеет еще и самостоятельную ценность: это управляемый цифровой вольтметр, результаты измерения которого перед отображением могут быть обработаны компьютером по заранее заданному алгоритму, а также сохранены в файле на винчестере вашего ПК, просмотрены и распечатаны. Все это делает описанное устройство основой для простой системы сбора, обработки и документирования данных, полезной для электронщиков, имеющих недостаточный для самостоятельных разработок уровень знания микроконтроллерной техники.

Введение

Целью данной работы была разработка и создание простейшего измерительного устройства на базе микроконтроллера все еще самого распространенного на сегодняшний день семейства x51, которое могло бы обмениваться информацией с персональным компьютером. В устройстве предполагалось реализовать измеритель напряжения, который в дальнейшем мог быть дополнен различными приставками, преобразующими другие непосредственно измеряемые физические величины в напряжение. Подобное устройство позволило бы легко проводить серии измерений, будучи управляемым компьютером, а также накапливать результаты и проводить их компьютерную обработку. Подвергнутое непринципиальным изменениям, оно смогло бы легко превратиться в систему дистанционного контроля и управления оборудованием или иными приборами и устройствами.

Общее описание устройства. Электрическая часть устройства

Устройство (рис.1), по сути, представляет собой цифровой вольтметр. На входе вольтметра стоит операционный усилитель (DA1), имеющий высокое входное сопротивление. За операционным усилителем следует АЦП (DD2), позволяющий оцифровать интересующее нас напряжение для последующей передачи в микроконтроллер. Микроконтроллер DD3 является главным управляющим звеном устройства, так как он считывает информацию из АЦП и общается с персональным компьютером по последовательному каналу. В устройство также входят преобразователи питания для выработки +5 В для цифровой части и для выработки +/-10 В для операционного усилителя, а также микросхема преобразования уровней (логические «0» и «1» в -15...+15 В и обратно) для обмена информации по последовательному каналу типа RS232.

Значение, посылаемое в компьютер, лежит в диапазоне 0...4095 (что соответствует разрядности АЦП), 0 соответствует входному уровню 0В, 4095 — уровню 5В, зависимость линейная.

Скорость обмена информацией может быть выбрана как меньше 9600 бод, так и выше — до 115 200 бод. На достаточно старых компьютерах, типа 386 и более ранних, верхний предел гораздо ниже — 19200 бод. Это связано с тем, что микросхемы последовательного порта, установленные в этих компьютерах, не были рассчитаны на более высокие скорости.

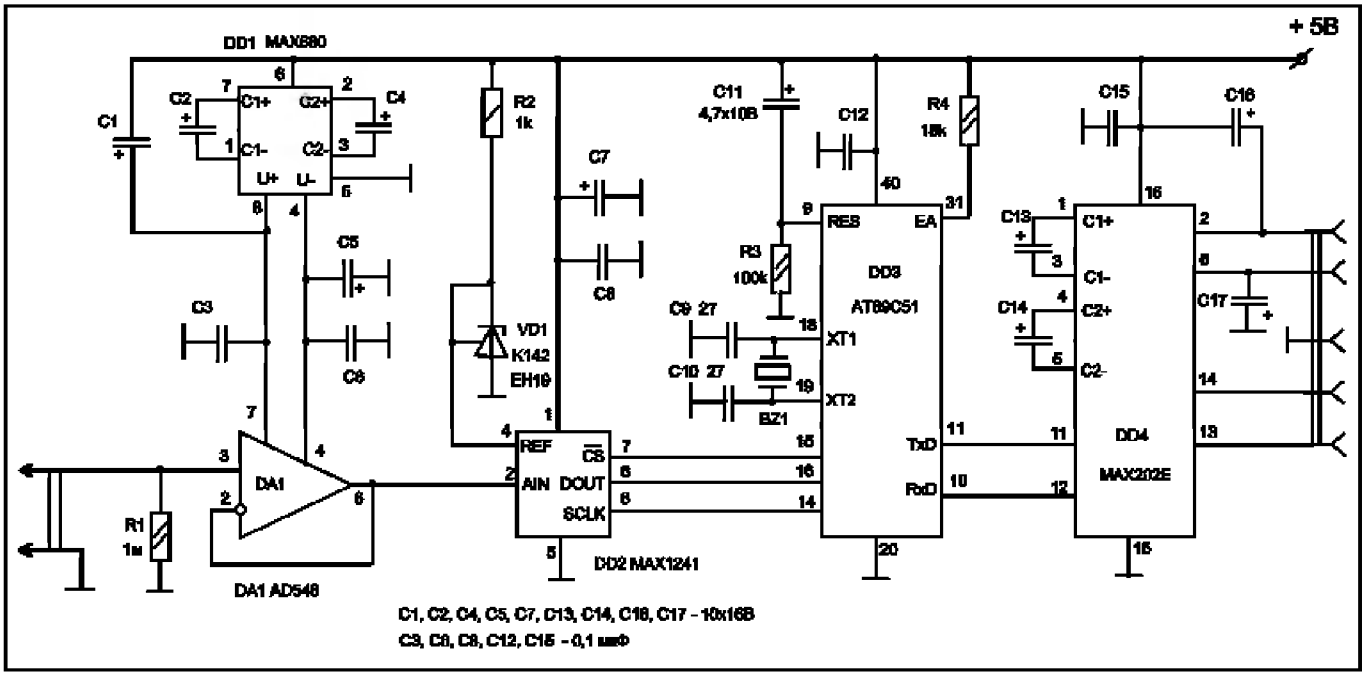


Рис. 1

Описание микросхем

Преобразователь питающего напряжения MAX680

Операционные усилители обычно требуют подачи на них двуполярного питания (например, +10 В и -10 В относительно общего провода). Радиолюбители, мало знакомые с современной элементной базой, используют обычно для получения такого напряжения трансформатор с двумя вторичными обмотками (или с одной, но с отводом от середины), два фильтрующих конденсатора, два стабилизатора и т. д. Однако если у вас есть в распоряжении стабилизированное напряжение 5В, а используемый операционный усилитель, требующий двуполярного питания, может обойтись всего ±7...10 В, потребляя при этом 1...2 мА, то упомянутые две обмотки и два стабилизатора не понадобятся. Достаточно использовать микросхему MAX680 фирмы Maxim (отметим, что подобные микросхемы выпускает Linear Technology и ряд других известных фирм). На вход микросхемы подается напряжение Uвх величиной от 3...5 до 6...10 В (в зависимости от типа), на выходах ее формируются напряжения, равные примерно $\pm 2U_{вх}$. Замечательно то, что, во-первых, для формирования этих напряжений помимо 8-выводных MAX680 или LT1026 нужно всего лишь 4 небольших электролитических конденсатора (см. рис. 1), а во-вторых, при изменении входного напряжения удвоенные выходные изменяются синфазно, что практически не сказывается на выходном сигнале ОУ. Для более подробного ознакомления с подобными микросхемами автор рекомендует обратиться к соответствующим фирменным описаниям.

АЦП MAX1241

В последние годы в микроконтроллерной технике получили широкое развитие микросхемы, управляемые по последовательному каналу. Одной из таких микросхем является 12-разрядный АЦП MAX1241. Как и в случае с MAX680, MAX1241 имеет достаточно много точных и приближенных аналогов (MAX187 от Maxim, LTC1286, LTC1298 от Linear Technology, AD7894 от Analog Devices и ряд других).

MAX1241 упакована в 8-выводный корпус, питается напряжением от 2,7 до 5 В, потребляет ток около 5 мА. Она требует применения внешнего источника опорного напряжения (в данном случае применен прецизионный стабилитрон КР142ЕН19, формирующий напряжение 2,50 В) и использует для связи с микроконтроллером всего 3 линии.

Работу MAX1241 иллюстрируют временные диаграммы, изображенные на рис. 2. До начала преобразования и обмена вход CS# MAX1241 должен поддерживаться микроконтроллером в единичном состоянии. Для старта преобразования на этот вход необходимо подать уровень логического нуля. Процесс преобразования в MAX1241 занимает чуть менее 8 мкс. В течение всего времени преобразования MAX1241 поддерживает на своем выходе DOUT уровень логического 0. После завершения преобразования MAX1241 переводит выход DOUT в единичное состояние.

Перед началом преобразования микроконтроллер на входе SCLK MAX1241 должен установить нулевой логический уровень. Когда процесс преобразования внутри АЦП завершится, микроконтроллер должен сформировать на входе SCLK последовательность не менее чем из 12 положительных импульсов (рис. 2). Фронт первого импульса готовит MAX1241 к передаче данных. По спаду импульса на DOUT появляется в виде логического нуля или единицы старший 12-й бит. Микроконтроллер считывает этот бит, формирует на SCLK фронт второго импульса, а спустя некоторое время — его спад. По спаду второго импульса на DOUT появляется считываемый затем микроконтроллером 11-й бит и т. д.

По спаду 12-го импульса на выходе DOUT устанавливается младший 1-й бит. Спад 13-го импульса переводит DOUT в нулевое состояние, в котором он находится до установки в 1 входа CS#. Переводом CS# в единичное состояние микроконтроллер информирует MAX1241 о завершении процесса чтения результата преобразования. Следующее преобразование MAX-1241 может осуществить примерно через 1 мкс после установки CS# в 1.

Алгоритмы работы LTC1286, LTC1298 от Linear Technology и AD7894 от Analog Devices незначительно отличаются от описанного для MAX1241. Более подробно с ними можно ознакомиться, обратившись к соответствующим фирменным описаниям.

Преобразователь уровней MAX202E

Мало для кого является секретом, что в стандартной логике единица представляется уровнем напряжения от 2,4 до 5 В, а ноль — от 0 до 0,8 В. Однако начинающим может быть неизвестно, что при передаче по каналу RS-232 нуль и единица кодируются одинаковыми по величине (от 5 до 12 В), но разными по знаку сигналами. В рамках настоящей статьи не предполагается объяснять, почему принято делать так, а не иначе, — мы ограничимся лишь констатацией этого факта.

Коль скоро для передачи по RS-232 стандартные логические сигналы должны быть преобразованы в сигналы другого уровня, необходимо предусмотреть в схеме соответствующие средства преобразования. Лет 10 назад для этой цели применялись специально разработанные каскады из трех-четырех транзисторов, пары диодов и почти десятка резисторов. Сейчас ситуация значительно изменилась: ведущие производители микросхем выпускают полностью законченные преобразователи, требующие минимального количества дополнительных элементов. К ним относятся MAX202E от MAXIM и полностью идентичная ей, вплоть до цоколевки, AD232 от Analog Devices. Внутри себя обе микросхемы содержат преобразователь напряжения +5 В в ±10 В, идентичный вышеописанному MAX-680, и каскады, осуществляющие преобразование логических сигналов стандартного уровня в сигналы уровня по стандарту RS-232. Каждая из упомянутых микросхем содержит преобразователи логического уровня для двух приемников и двух передатчиков. Мы воспользуемся только одним приемопередающим каналом.

Режим работы МК с последовательным каналом

Как известно (смотри, например, номера 10 и 11 журнала «Радио» за 1994 г.), у микроконтроллеров семейства x51 существуют четыре режима работы приемопередатчика. Нас будет интересовать режим 1 как наиболее простой и приемлемый.

Режим 1 характеризуется следующими параметрами:

- обмен информацией асинхронный;
- передаются 10 бит за один акт обмена (старт-бит (0), 8 бит данных и стоп-бит (1));
- скорость приема/передачи программируема и задается таймером.

Это удобный режим для программирования: требуется очень немного программного кода для настройки приемопередатчика и работы с ним. Хотя по желанию можно использовать и другие режимы работы. Целью же данной статьи является описание некоего устройства, имеющего возможность общаться с персональным компьютером.

Мы не будем приводить здесь описания того, как именно работает приемопередатчик. Эту информацию можно будет почерпнуть из упомянутых журналов «Радио» или другой литературы.

Основные подпрограммы для МК

Основными подпрограммами для микроконтроллера будут являться: считывание данных из АЦП, инициализация УАПП, прием байта и посылка байта.

Считывание данных из АЦП

Настройка микроЭВМ для обмена информацией по последовательному каналу

Для того чтобы настроить микроЭВМ на обмен информацией по последовательному каналу, необходимо сделать следующее:

- запретить все прерывания, так как в их использовании необходимости нет;
- настроить таймер 1 на работу в режиме 2 с авто-

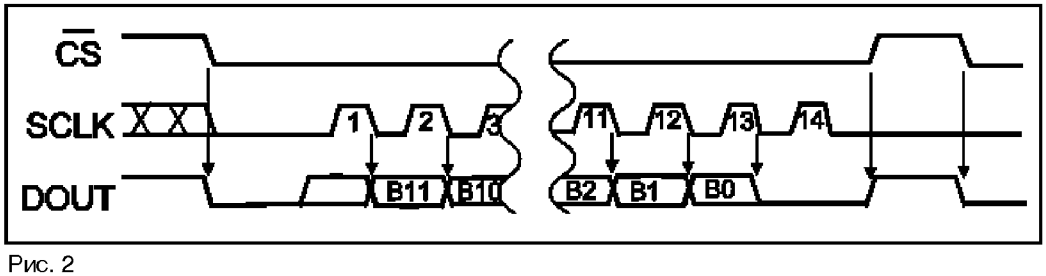


Рис. 2

```
GET_VOLT:
   SETB   DOUT      ;РАЗРЕШИЛИ ВВОД ДАННЫХ ИЗ ADC
   SETB   CS        ;УСТАНОВИЛИ НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ADC
   CLR    SCLK      ;УСТАНОВИЛИ НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ADC

   CLR    CS        ;СООБЩИЛИ О ЖЕЛАНИИ ПРОЧЕСТЬ ДАННЫЕ

   MUL    AB        ;4 МКС НА 12 MHZ \
   MUL    AB        ;4 МКС           |
   MUL    AB        ;4 МКС           } ДОЖДАЛИСЬ КОНЦА
                    ;                | ОЦИФРОВКИ
   MUL    AB        ;4 МКС           /
   MOV    R0, #12   ;СЧИТЫВАТЬ 12 БИТ
GET_VC:
   SETB   SCLK      ;\
   NOP              ;|
   NOP              ;|
   CLR    SCLK      ; } СФОРМИРОВАЛИ ИМПУЛЬС ДЛЯ ЧТЕНИЯ БИТА
   NOP              ;|
   NOP              ;/
   MOV    C, DOUT   ;ПРОЧИТАЛИ БИТ
   MOV    A, R2     ;\
   RLC    A         ;|
   MOV    R2, A     ;|
   MOV    A, R3     ; } ЗАДВИНУЛИ БИТ В СЛОВО
                    ;| РЕЗУЛЬТАТА — R3R2
   RLC    A         ;|
   MOV    R3, A     ;/
   DJNZ   R0, GET_VC ;ЗАЦИКЛИВАЕМСЯ
   ANL    A, #0FH
   MOV    R3, A     ;ОЧИСТИЛИ СТАРШИЕ БИТЫ R3R2

   SETB   CS        ;БОЛЬШЕ НЕ ХОТИМ СЧИТЫВАТЬ
                    ;(ОСТАЛЬНЫЕ БИТЫ=0)
   MUL    AB        ;4 МКС НА 12 MHZ \
   MUL    AB        ;4 МКС           |
   MUL    AB        ;4 МКС           |
   MUL    AB        ;4 МКС           } MIN ЗАДЕРЖКА
                    ;                | ПЕРЕД СЛЕД.
   MUL    AB        ;4 МКС           |
   MUL    AB        ;4 МКС           /
   RET
```

матической перезагрузкой содержимого. Это необходимо для задания скорости обмена информацией и поддержания ее постоянной;

- загрузить в счетчик таймера начальные значения;
- запустить таймер 1.

Пример кода, рассчитанного на скорость обмена 9600 бит/с для кварцевого резонатора с резонансной частотой равной 11,059 МГц:

Эта подпрограмма вызывается самой первой в основной программе микроЭВМ. В принципе ее можно даже и не оформлять как подпрограмму.

Прием и посылка байта

Подпрограммы приема и посылки байта по последовательному каналу очень просты.

```
SERINIT:
MOV     IE, #0      ;Запретить все прерывания
MOV     TMOD, #20H  ;Установить режим 2 для таймера 1
MOV     TH1, #REL96 ;Значение для автоперезагрузки счетчика
MOV     TL1, #REL96 ;Начальное значение счетчика для 9600
                     бит/с
                    ;при SMOD=0
ANL     PCON, #7FH  ;Очистили SMOD
MOV     SCON, #50H  ;Режим для 8 бит данных и скорости
                     передачи,
                    ;зависящей от таймера
SETB    TR1         ;Старт таймера/счетчика 1
RET
```

где REL96 — константа, равная 0FDh.

Считывать байт из порта ввода/вывода SBUF можно только при установленном бите RI регистра управления/статуса SCON, сигнализирующего о наличии байта в буфере приема. После считывания этого байта бит RI необходимо сбросить.

После записи байта в порт ввода/вывода нужно дождаться установления бита TI, который будет сигнализировать окончание посылки байта в линию. Затем бит TI также будет нужно сбросить.

Подпрограмма приема байта в аккумулятор:

```
GETCH:
JNB     RI, GETCH
MOV     A, SBUF
CLR     RI
RET
```

Подпрограмма посылки байта из аккумулятора:

```
PUTCH:
MOV SBUF, A
SEND:
JNB     TI, SEND
CLR     TI
RET
```

Следует также отметить, что никаких средств для обнаружения ошибок ввода/вывода микроЭВМ не имеет.

Для того чтобы организовать проверку программно-аппаратным образом, можно расширить количество линий ввода/вывода, по которым будут передаваться дополнительные сигналы, и по ним можно будет определять состояния, в которых находятся участники диалога, а также выявлять ошибки.

Можно повысить надежность приема/передачи информации и другим путем: передавать с восемью битами данных еще один бит — бит четности, вычисляющийся аналогично флагу паритета в слове состояния программы (бит 0 PSW). Только вычисляться он должен для передаваемого или принятого байта. После принятия байта и бита четности необходимо сравнить их на соответствие друг другу. Если они не соответствуют, значит, имела место ошибка ввода/вывода. Для передачи дополнительного 9-го информационного бита нужно использовать режим 2 или 3 работы таймера/счетчика.

Общая программа для МК. Диаграмма состояний устройства

Общая программа для микро-ЭВМ базируется на нижеописанном алгоритме. Алгоритм довольно непростой, т.к. все же нужно каким-то образом, хотя бы программным методом, выявлять ошибки ввода/вывода и реагировать на их появление.

Для большей наглядности к алгоритму, описанному обычными словами, прилагается рисунок — так называемая диаграмма состояния устройства (рис.3), на которой приведены четыре основных состояния устройства с точки зрения обмена информацией с ЭВМ.

Заранее оговорим тот факт, что наша микро-ЭВМ является ведомой, а персональный компьютер — ведущим при обмене данными. Иными словами, устройство само по себе, без приказа от ПК, ничего делать не должно. Оно всецело подчиняется управляющему компьютеру. Персональный компьютер выбран ведущим по той простой причине, что он обладает большей мощностью и способен без особенных проблем управлять устройством. Кроме того, он может дать пользователю больше сервисных функций.

Состояние первое — Wait

В этом состоянии устройство оказывается сразу же после включения питающего напряжения. Здесь оно ожидает от компьютера запроса на инициализацию, который выражается в посылке компьютером символа NUL. Устройство же, в свою очередь, должно в ответ на полученный запрос включить и настроить, если требуется, дополнительные модули и ресурсы, а затем, если все прошло нормально, послать в ЭВМ символ ACK. В случае же ошибки оно должно послать NAK. Таким образом, происходит первое «общение» двух «собеседников». Если хотите, они должны «обменятся приветствиями» или «пожать друг другу руки».

При удачной инициализации устройства с последующей посылкой символа ACK, оно автоматически переходит в следующее состояние. Этот переход обозначен стрелкой 1 на диаграмме.

Состояние Ready

В этом состоянии наша микро-ЭВМ ожидает запроса ПК на посылку измеренного значения, считанного с АЦП. Запросом является символ XON. По принятии этого символа устройство переходит в новое состояние — Sending. Переходу соответствует стрелка 2.

Состояние Sending.

Попадая сюда, микроконтроллер считывает двоичное двенадцатиразрядное число из АЦП ранее указанным методом и посылает частями в ЭВМ. В данной реализации происходит преобразование двоичного числа в трехсимвольный шестнадцатеричный эквивалент, например, в «1FF» для десятичного числа 511. Сначала посылается «1», затем «F» и еще один «F».

По окончании передачи значения в компьютер микро-ЭВМ переходит в следующее состояние по стрелке 4.

Состояние Sent

Это состояние является последним и как бы замыкает круг единичного акта общения устройства с компьютером. Здесь от компьютера ожидается подтверждение того, что он правильно принял значение, которое было ему адресовано.

Тут возможными являются несколько вариантов ответа ПК на посланное число: он может ответить об успешном приеме

символом XOFF, который будет означать, что больше пока не требуется других значений, а может ответить символом XON, означающим, что нужно еще одно значение. Если принят XOFF, то устройство возвращается в состояние готовности Ready (переход 7 на диаграмме). Если же принят символ XON, то устройство опять оказывается в состоянии Sending (переход 5) и повторяет считывание из АЦП с последующей передачей числа в линию. Не рассмотренным оказался лишь тот случай, когда ПК не понравилось то, что он получил: например, вместо символов диапазона «0»...»9», «A»...»F», он получил нечто иное, «G» или «,». В этой ситуации он посылает нашему устройству символ NAK, который должен трактоваться как запрос на повторную посылку последнего значения, что и происходит: устройство опять переводится в состояние Sending (переход по стрелке 6).

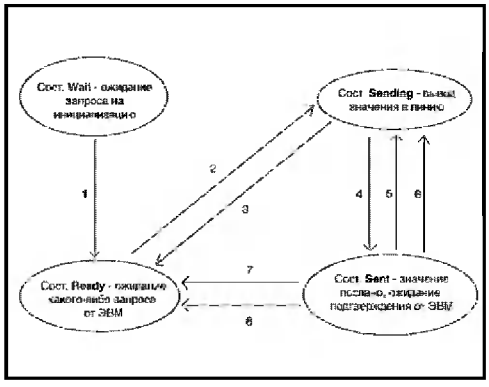


Рис. 3

Остались не описанными переходы, обозначенные стрелками 3 и 8 диаграммы. Если компьютер обнаружит серьезную ошибку ввода/вывода или ему понадобится прекратить обмен с устройством, то он просто пошлет инициализационный NUL, по которому произойдет инициализация устройства и оно окажется в состоянии готовности Ready.

Т.е. в каком бы состоянии не находилось наше устройство, оно обязано ответить на инициализационный запрос, таким же образом, как и при первичной инициализации (см. Пункт состояние Wait). Если же микро-ЭВМ получила какой-то неожиданный или неверный символ или запрос, то оно всегда должно ответить на него символом NAK.

Такая стратегия является выигрышной, так как при подобная организация программы для устройства облегчает выполнение сразу нескольких задач: микро-ЭВМ и ПК не будут играть в испорченный телефон, во-первых, а, во-вторых, они смогут просто и эффективно «общаться» друг с другом.

Переходим к ПК. Общая программа для ПК. Диаграмма состояний ПК

Принципиально общая программа для компьютера не будет ни чем отличаться от используемой в микроконтроллере. Алгоритм будет аналогичным, похожей будет и диаграмма состояний, которая представлена на рисунке 4.

Первое состояние Initialization

Сюда компьютер попадает, когда пользователь нажимает на его клавиатуре клавишу, соответствующую принятию единственного значения. В этом состоянии компьютер посылает символ инициализации NUL в устройство и ожидает ответа на него символом ACK или NAK. Если был получен ACK, значит инициализация прошла нормально и можно продолжить работу — перейти в следующее состояние по стрелке 2 на диаграмме. В случае получения NAK работа должна прекратиться и компьютеру следует перейти в заключительное состояние Done по стрелке 1.

Состояние Ready

В этом состоянии компьютер подготавливается к приему символов, из которых будет состоять запрошенное из микро-ЭВМ значение. Запросов на посылку значения существует два. Первый — это обычный запрос значения, ему соответствует символ XON.

Второй же запрос — это запрос на повторную посылку последнего значения. Это необходимо в том случае, если значение не было принято полностью за какое-то объективное время или были приняты неверные символы, не попадающие в диапазоны от «0» до «9» и от «A» до «F». Для запроса на повторную посылку отводится символ NAK.

Далее, после подготовки к приему символов значения происходит один из двух вышеуказанных запросов к нашему устройству, затем компьютер переходит по стрелке 4 в состояние приема значения.

Состояние Receiving

Здесь ПК просто считывает три символа значения, измеренного и преобразованного с помощью АЦП. Как было сказано ранее, существует некоторое объективное время ожидания символа компьютером. Если символ не был считан за это время, то такая ситуация интерпретируется как ошибочная, т.е. имела место ошибка ввода/вывода.

Кстати говоря, при довольно высоких скоростях обмена информацией (больше 19200 бит/с) или при работе в операционной системе MS-Windows (любой версии) часто бывает, что компьютер из посылаемых ему трех символов принимает только два, а иногда и того меньше — один. Чтобы компьютер «не висел» — ожидал бесконечно долго недостающего или пропущенного символа — вводится некоторое время, ограничивающее это ожидание. К сожалению, эти пропуски аппаратным методом никак не выявляются.

В данной реализации определено два типа времени ожидания, которые могут быть заданы пользователем с клавиатуры. Первый тип — это время ожидания 1-го из 3-х символов. Он позволяет устройству спокойно, ни куда не торопясь, измерить, оцифровать необходимое нам число и преобразовать его в символьный эквивалент. А второй тип — это временной лимит на посылку второго и третьего символов.

Перейдем теперь к возможным переходам из состояния Receiving в другие состояния.

Если так и не было принято всех 3-х символов значения за отведенное время, то компьютер должен попросить наше устройство послать ему значение повторно. Этой ситуации соответствует переход по стрелке 5, т.е. компьютер делает запрос символом NAK и переходит обратно в состояние Ready.

Если в процессе приема компьютером была зафиксирована ошибка ввода/вывода (а у ПК есть такая возможность достаточно проанализировать регистр состояния последовательного порта), то лучше привести и компьютер и микро-ЭВМ в исходное состояние, т.е. повторить инициализацию. Поэтому на диаграмме также присутствует и стрелка 3.

И, наконец, если компьютер получил от устройства все три символа, то он переходит в состояние анализа полученного значения — в состояние Received по стрелке 8.

Алексей Фрунзе, Москва

Продолжение следует

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ВАШЕГО УСПЕХА

www.platan.ru

- **ВИРТУАЛЬНЫЙ МАГАЗИН РЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Наш сайт предоставляет широкие возможности оформления заявок на поставку электронных компонентов:

- Вы можете разместить заявку на требуемые компоненты и отслеживать ее прохождение на всех этапах. Очень удобный интерфейс и абсолютная безопасность!
- Воспользуйтесь нашей удобной системой приема заявок на компоненты, которые находятся на складе или на которые можно разместить заказ.
- С нашего сайта Вы можете скачать нашу базу в формате EXCEL, проставить нужное Вам количество компонентов и отправить этот файл по нашему адресу.

ВСЕ ЗАЯВКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ОБРАБАТЫВАЮТСЯ В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ.

- **НОВОСТИ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, СТАТЬИ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

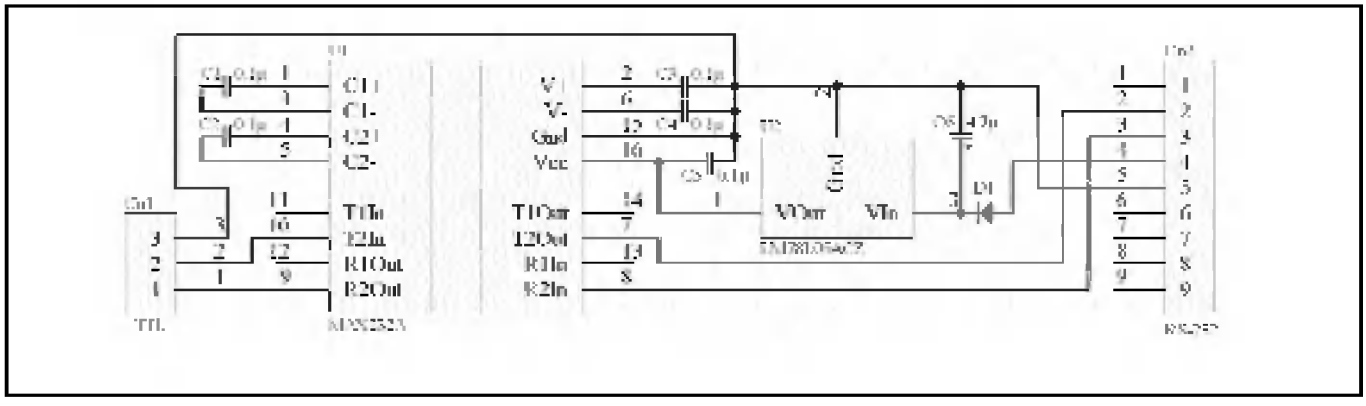
Новые поступления на склад ПЛАТАН, новости от мировых производителей. Подробная техническая документация на поставляемые компоненты, статьи и книги по электронной тематике. Бесплатное программное обеспечение.

MITSUBISHI ELECTRIC
Infineon technologies
BOURNS
EPCOS
Motorola
intersil
DATA VISION
Kingbright

121351, Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, к. 1, стр.2 Почта: 121351, Москва, а/я 100
тел./факс: (095) 417-52-45, 417-08-11, 417-86-45 E-mail: ir@platan.ru

Простой конвертер RS-232-TTL

При разработке различного рода электронных устройств с использованием микроконтроллеров очень часто оказывается полезной возможность подключения их к персональному компьютеру через последовательный порт. Однако напрямую это сделать невозможно, поскольку по стандарту RS-232, сигнал передается уровнями -3..-15 В (логическая «1») и +3..+15В (логический «0»). Для преобразования уровней RS-232 в стандартные логические уровни TTL обычно используют специальные микросхемы преобразователей. Однако далеко не всегда имеет смысл закладывать преобразователь уровней в схему проектируемого устройства, поскольку часто бывает так, что связь с компьютером нужна только на этапе изготовления и отладки устройства, а для конечного изделия в ней нет никакой необходимости. Логичным выходом в данной ситуации может послужить изготовление отдельного конвертера уровней RS-232 в TTL, схема одного из возможных вариантов которого приведена на рисунке 1.



Основу предлагаемого конвертера составляет широко распространенная микросхема преобразователя уровней MAX232A фирмы Maxim (U1), которая имеет также множество аналогов других производителей (Analog Devices, LG и др.). Данная микросхема рассчитана на напряжение питания 5В и имеет встроенные удвоитель и инвертор напряжения на переключаемых конденсаторах для получения напряжений ±10 В, необходимых для работы с сигналами стандарта RS-232. Для работы микросхемы требуется 4 внешних конденсатора (C1, C2, C3, C4) емкостью 0.1 мкФ, которые используются в преобразователе напряжения. Кроме того, с целью упрощения использования данного конвертера в нем предусмотрена схема питания прямо от последовательного порта, что избавляет от необходимости использования внешних источников питания. Напряжение питания 5 В создается маломощным линейным стабилизатором напряжения LM78L05 (U2), вход которого подключен к накопительному конденсатору C6. Конденсатор C6 заряжается через диод от сигнала Data Terminal Ready (DTR, четвертый контакт 9-pin разъема RS-232). Диод D1 может быть любого типа (автор использовал диод в корпусе для поверхностного монтажа, выпаянный со сгоревшей материнской платы). Для нормальной работы такого преобразователя питания требуется, чтобы большую часть времени сигнал DTR имел значение логического нуля. Это должно обеспечиваться используемой терминальной программой или программой пользователя.

Использование описанного выше конвертера оказывается удобным в тех случаях, когда в процессе эксплуатации устройства не требуется наличие возможности связи с компьютером, но она нужна на этапе отладки или изготовления устройства. Типичным примером этого может служить, например, устройство с flash или EEPROM памятью, требующей начальной инициализации. Кроме того, часто бывает очень удобно в процессе разработки выводить в последовательный порт различного рода отладочную информацию, что иногда позволяет обойтись без аппаратных эмуляторов.

Александр Нечаев, Саратов

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ВАШЕГО УСПЕХА

BOURNS
Эффективный выбор для систем защиты и источников питания

Самовосстанавливающиеся предохранители серий MF-R, MF-S, MF-SM, MF-MSM
www.bourns.com

- Предназначены для защиты электронных устройств от перегрузки по току или от перегрева.
- Принцип работы основан на свойстве резко увеличивать свое сопротивления под воздействием проходящего тока, превышающего номинальный рабочий ток, или под действием температуры окружающей среды, в несколько раз превосходящей номинальную, и автоматически восстанавливать свои первоначальные свойства после устранения этих причин.

Серия	Диапазон номинальн. токов, А	Макс. рабочее напр., В	Сопр. в откр. сост., Ом	Область применения
MF-R	0.10~9.00	60	0.005~2.50	Общего применения, автомобильная электроника
MF-S, MF-LS, MF-LR	0.70~4.20	30	0.016~0.085	Защита аккумуляторных батарей от короткого замыкания. Никелевые выводы для точечной сварки непосредственно на элемент батареи
MF-SM	0.30~2.60	60	0.025~0.90	Для поверхностного монтажа компьютеры и периферия, автомобильная электроника
MF-MSM	0.14~1.50	60	0.03~1.50	Для поверхностного монтажа, типоразмер 1812. Применяются в устройствах с высокой плотностью монтажа: жесткие диски, PCMCIA-карты и др.

Фирма «ПЛАТАН» является официальным дистрибьютором фирмы «BOURNS» и поставляет полный ассортимент ее продукции со склада и на заказ.

В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК:
- Подстроечные и переменные резисторы
- Миниатюрные кнопки и переключатели
- Цифровые датчики угла поворота (энкодеры)
- Индуктивные компоненты

International TOR Rectifier
Infineon technologies
MITSUBISHI ELECTRIC
EPCOS
Bourns
MOTOROLA
intersil
CAMDEN
DATA VISION
Kingbright
JAMICON

121351, Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, к. 1, стр.2 Почта: 121351, Москва, а/я 100
тел./факс: (095) 417-52-45, 417-08-11, 417-86-45 E-mail: bourns@platan.ru
www.platan.ru

Самый простой интерфейс для PCI

При отладке полнофункционального интерфейса для шины PCI важно знать, как на практике работает его ядро. Самый простой интерфейс, который может представлять практический интерес как самостоятельное устройство или как стартовое устройство для дальнейшей отладки, можно сделать довольно быстро.

Такой интерфейс не включает в себя конфигурационное пространство и может не поддерживать всех типов доступа к данным. Вот несколько схем интерфейсов, состоящих практически из одного ядра, которое выполняет последовательность операций по управлению передачей данных при работе шины (рис. 1, рис. 2 и рис. 3):

Итак, самый простой из ведомых интерфейсов можно сделать на одной микросхеме ПЛМ 22V10 или 29MA16. Этот интерфейс можно использовать только для «внутренних» нужд, так как теоретически эта схема работать не должна. Причин несколько:

1. Существуют рекомендованные микросхемы для работы с шиной PCI. Их входные и выходные характеристики существенно отличаются от характеристик «обычных» микросхем ПЛМ. Предлагаемые микросхемы 22V10 и 29MA16 не входят в этот список, но их характеристики близки к характеристикам рекомендованных микросхем.
2. Схема не стандартна. По условиям стандарта, устройство PCI должно поддерживать работу со всей областью памяти, со всеми типами доступа и иметь конфигурационное пространство.

Эта схема не выполняет ни одного из требований.

И тем не менее на практике эта схема успешно работает и часто бывает очень полезной.

Нужно признать, что делать такие устройства нехорошо и безграмотно. Однако недостаток «простых» методов работы с шиной PCI тормозит ее освоение разработчиками. Поэтому, выбирая из двух зол меньшее, предлагаем рассмотреть одно из самых простых устройств, которые работают с PCI.

Вот его плюсы:

1. Смонтировать схему можно за 15 минут без специальной аппаратуры.
2. Его стоимость равна стоимости одной микросхемы ПЛМ, монтажной платы PCI и стоимости одного рабочего дня инженера.
3. Оно отлаживается одним осциллографом, без логического анализатора.
4. В течение нескольких часов можно убедиться, что этот контроллер PCI работает.

Структурная схема устройства показана на рис. 4.

Из всех сигналов шины PCI в схеме задействованы сигналы:

AD[32..0] — мультиплексированная двунаправленная шина адреса и данных (address/data).

C/BE#[3..0] — шина команд и разрешения байт данных (command/byte enable). При выставлении адреса на этой шине появляется код операции, которая сейчас будет выполняться. В нашем случае работает передача в порт, с кодом 0010 на чтение из порта (команда процессора in) и 0011 на запись в порт (команда процессора out). При выставлении данных низкий уровень сигнала означает, что данные, передаваемые в соответствующем байте, имеют смысл.

CLK — тактовая частота. Основной выигрыш в скорости на PCI достигается с помощью синхронной передачи данных, которая, как известно, быстрее асинхронной. В идеале передача слова на шине занимает 2 такта: такт адреса и такт данных, то есть 66 нс. Асинхронная шина ISA передает слово за 400...800 нс — примерно в 10 раз медленнее. Каждый новый такт на PCI начинается по фронту сигнала CLK. В этот момент все остальные сигналы на шине защелкиваются и анализируются.

FRAME# — сигнал начала операции на шине (cycle frame). По низкому уровню этого сигнала начинаются любые операции по передаче данных. Сигнал удерживается до конца операции.

IRDY# — готовность ведущего (initiator ready). Данные будут удерживаться на шине и не будут посланы до тех пор, пока оба участника пересылки данных — ведущий и ведомый — не установят свои сигналы готовности.

TRDY# — готовность ведомого (target ready).

```
TITLE   PCI SLAVE Starter ChipPATTERN  REC.PDSCHIP REC PAL29MA16
;-----------------------------------------------------------------------------
                                        ; Часть схемы со стороны шины PCI
                          PIN 1         CLK      ; Тактовая частота шины PCI. Все процессы
                                        ; идут синхронно с этой частотой
PIN  13      CLKK     ; то же. См. документацию на м/сх
PIN  2       /FRAME_   ; Начало кадра
PIN  23      /IRDY_   ; Сигнал готовности инициатора
PIN  8       /DEVSEL_   ; Сигнал выбора устройства
PIN  22      /TRDY_   ; Сигнал готовности устройства
PIN [4..7]     CB[0..3]   ; Выбор команды или байт данных
PIN [14..17]   AD[11..8]  ; Шина адреса/данных
                          ; Часть схемы со стороны внутреннего интерфейса
PIN [18..21]   D[0..3]    ; Внутренняя шина данных (передаются
                          ; четыре бита старшего байта)
                          ; Шина однонаправлена. Два бита 0,1 только читаются.
                          ; Два бита 2,3 только записываются.
PIN  9       rwStBit   ; Вспомогательный бит чтения/записи
PIN  10      SELECT    ; Вспомогательный сигнал выбора устройства
PIN  3       STORE     ; Вспомогательный сигнал защелкивания данных
; Выводы PIN 8,9,10,11,13 не используются;
Адресная строка. Уравнение адреса выставлено на любой портовый адрес
; в диапазоне 300-3FFSTRING PORT_HIT   '/AD[11] * /AD[10] * AD[9] * /AD[8] * /CB[3] * /CB[2] * CB[1]'
;-----------------------------------------------------------------------------
; Уравнения:
EQUATIONS;
Сигнал выбора устройства выставляется при попадании в портовое адресное
; пространство, когда инициатор не готов, и удерживается до окончания сигналов
; готовности инициатора IRDY_ или до окончания кадра FRAME_.
SELECT       := PORT_HIT * FRAME_ * /IRDY_  + ((IRDY_ + FRAME_) * SELECT)
; Тристабильный выход выбора устройства управляется сигналом SELECT.
DEVSEL_       = VCCDEVSEL_.TRST    = SELECT
; Одновременно с сигналом выбора устройства выставляется сигнал
; готовности устройства
TRDY          = VCCTRDY_.
TRST    = SELECT;
В начале цикла устанавливается вспомогательный бит чтения/записи
; Этот бит управляет записью данных из шины PCI или чтением в PC
IrwStBit      := CB[0]
rwStBit.CLKF    = FRAME_
; Данные на внутреннюю шину D3 и D2 записываются из PCI и защелкиваются триггером
; до следующей перезаписи.
D[2]          := AD[10]D[3]          := AD[11]                    STORE        = /IRDY_ * rwStBit * SELECT ;
D[2..3].CLKF   = STORE
; Состояние сигналов на внутренней шине данных читается в шину PCI
AD[8]         = D[0]
AD[9]         = D[1]
AD[8..9].TRST = /rwStBit * SELECT;
;-----------------------------------------------------------------------------
; Моделирование:SIMULATION
; Запись данных. Здесь сигналы на шине выставляются и снимаются командой SETF
SETF /CLK /CLKK /FRAME_ /IRDY_ /D[0] /D[1]
SETF CB[0] CB[1] /CB[2] /CB[3] /AD[11] /AD[10] AD[9] /AD[8]
SETF D[0] /D[1]
SETF FRAME_ /IRDY_
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK /FRAME_ IRDY_ AD[11]
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK /IRDY_
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK
SETF CLK CLKKSETF /CLK /CLKK
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK
SETF CLK CLKK;
Чтение данных
SETF /CLK /CLKK /FRAME_ /IRDY_ /D[0] /D[1]
SETF /CB[0] CB[1] /CB[2] /CB[3] /AD[11] /AD[10] AD[9] /AD[8]
SETF D[0] /D[1]
SETF FRAME_ /IRDY_
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK /FRAME_ IRDY_
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK /IRDY_
SETF CLK CLKK
SETF /CLK /CLKK
SETF CLK CLKK
;-конец файла-;
```

DEVSEL# — выбор устройства (device select). Ведомое устройство, увидев свой адрес на шине, должно откликнуться, выставив сигнал DEVSEL#.

нах адреса AD и команды C/BE#, которые удерживаются до тех пор, пока от устройства, адрес которого выставлен, не придет отклик — сигнал DEVSEL#. Если такого устройства

лятора исходный текст необходимо превратить в файл JEDEC. Этот файл является стандартным для любого программатора, который поддерживает микросхемы 22V10 и 29MA16.

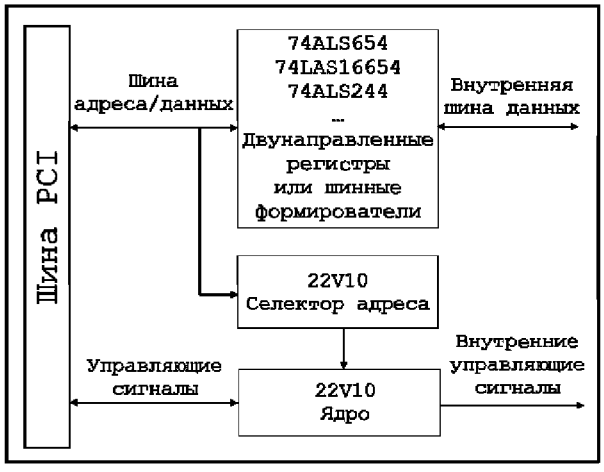


Рис. 1. Интерфейс для работы с 32-разрядной шиной. Самый попный среди минимальных вариантов — интерфейс с отдельным сепектором адреса и шинными формирователями. На базе такой схемы можно сделать ппату с 32-разрядной внутренней шиной данных и с 32-разрядным дешифратором адреса

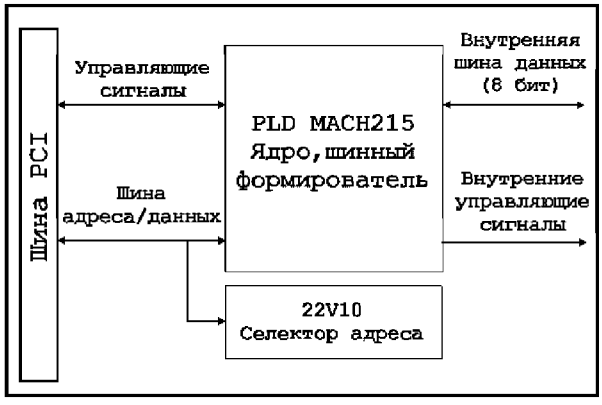


Рис. 2. Интерфейс для работы с 8-разрядной шиной. Для отладки микропроцессоров и программируемых устройств, которые имеют шины типа MCU, I2C для микропроцессорного управления, удобен контроппер без отдельных шинных формирователей на базе микросхемы ПЛМ MACH215, которая производится фирмой AMD

Цикл чтения или записи на шине происходит, как показано на рис. 5.

Цикл начинается с выставления сигнала FRAME#. Одновременно с FRAME# выставляются сигналы на ши-

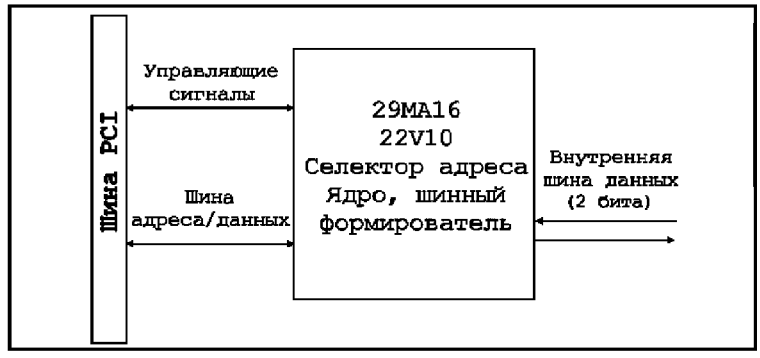


Рис. 3. Интерфейс для работы с 2-разрядной шиной. Эта схема может лишь декодировать портовые адреса PCI, не конфликтуя с основными устройствами на системной ппате, устанавливать на двух битах внутренней шины данные, записанные процессором в порт, и считывать обратно в процессор данные, выставленные на двух других битах внутренней шины

нет, система выставляет этот сигнал сама и заканчивает цикл. После того, как выбранное устройство откликнулось, передаются данные. Они выставляются на шину AD со стороны PCI или со стороны устройства, и удерживаются до тех пор, пока не будет выставлена готовность ведущего и готовность ведомого. Данные, как и все другие сигналы, защелкиваются по фронту сигнала CLK.

Временная диаграмма работы нашего интерфейса показана на рисунке 6, а его принципиальная схема — на рисунке 7.

Внутренняя структура ПЛМ описана на языке PALASM. Компилятор PALASM выпускается фирмой AMD. Ранние его версии распространялись фирмой бесплатно. Также было выпущено несколько бесплатных компиляторов с похожим синтаксисом языка другими фирмами, например, Intel. С помощью компи-

Нужно заметить, что описанный выше интерфейс не поддерживает потоковой пересылки данных. Эта пересылка показана на рис. 5: выставляется адрес, а за ним в течение одного цикла следует серия данных. Эту функцию можно дописать, взяв ПЛМ с большим количеством регистров, однако обычно в этом необходимости не возникает. Дело в том, что процессор Pentium при обмене данными с периферийными устройствами, подключенными к PCI, выполняет команды mov, in или out. Все эти три команды процессора выполняют пересылку только одного слова данных. То есть на шине появляется адрес, потом появляется одно слово данных и после этого пересылка прекращается. Это снижает скорость передачи данных. Например, скорость циклического вывода в порт для PCI около 10–12 мегабайт в секунду. При этом, когда процессор циклически выполняет команду out, на шине PCI начинается и завершается пересылка, а потом идут около 10 пустых тактов до выполнения процессором следующей команды out. Для того чтобы организовать потоковую передачу данных, необходимо, во-первых, запрограммировать контроллер прямого доступа к памяти (при этом нужно учесть, что пересылае-

C:\>debug	Вызываем отладчик MS-DOS
-a 100	Записываем программу, начиная со смещения 100 в некотором сегменте памяти (пусть, 1772)
1772:0110 mov dx,320	Назначаем адрес порта для вывода
1772:0103 mov ax,aaaa	Назначаем данные для вывода (Код AAAA в двоичном виде выглядит как 10101010, и удобен для тестирования устройства и просмотра на осциллографе. Также удобны коды 5555, 0000, FFFF)
1772:0106 mov cx,ffff	Записываем максимальное число в счетчик циклов
1772:0109 out dx,ax	Выводим данные из регистра AX в порт, адрес которого хранится в регистре DX. Команда ввода данных из порта — in ax, dx
1772:010A loop 109	Данные выводятся в порт до тех пор, пока на будет исчерпан счетчик CX. В нашем случае CX = ffff = 65536 циклов.
1772:010C nop	Пропуск для возможной модификации программы.
1772:010D nop	
1772:010E nop	
1772:010F nop	
1772:0110 mov ah,0b	Один раз в CX циклов проверяем, была ли нажата клавиша.
1772:0112 int 21	Это делается с помощью 21-го прерывания MS-DOS функции 0B. Детальное описание прерывания можно найти в программе «TechHelp!».
1772:0114 cmp al,0	Проверяем, была ли нажата клавиша
1772:0116 jz 100	Если нет, продолжаем циклически выводить в порт данные
1772:0118 int 20	Если клавиша была нажата, выходим из программы с помощью 20-го прерывания MS-DOS.
1772:011A	Заканчиваем ввод программы.
-n outport.com	Назначаем имя файла, в который программа будет записана.
-rcx	Записываем в регистр CX длину программы
CX 0000	
:1a	В нашем случае длина программы 1A (= 0100-011A)
-w	Записываем программу на диск
Writing 0001A bytes	Сообщение об успешной записи
-g	Запускаем программу
	Щелкаем по клавише
Program terminated normally	Читаем сообщение о нормальном завершении программы
-q	Выход из отладчика
C:\>debug outport.com	Эту программу можно повторно использовать с отладчиком.
C:\>outport.com	Или запускать из операционной системы. Программа нормально работает во всех ОС Windows, кроме NT.

мые данные не считываются контроллером ни с самой PCI, ни с ISA, которая обычно подключена к PCI) и, во-вторых, запрограммировать контроллер PCI процессора. Это довольно сложные

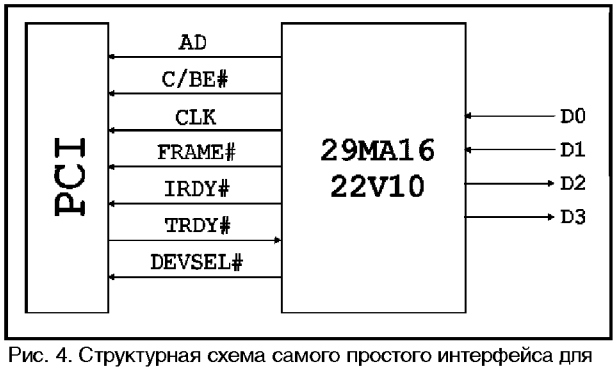


Рис. 4. Структурная схема самого простого интерфейса для PCI

операции и их выполняют только драйверы графических адаптеров, написанные известными фирмами. Все осталь-

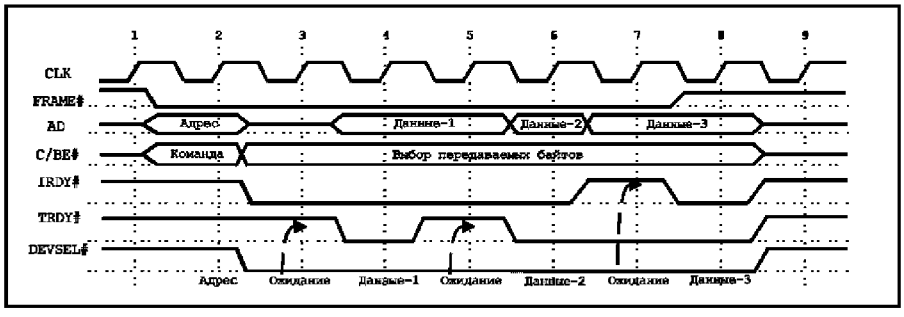


Рис. 5. Обмен данными по шине PCI

ные, желая получать данные по шине со скоростью до 60 мегабайт в секунду, ставят на устройство, подключенное к

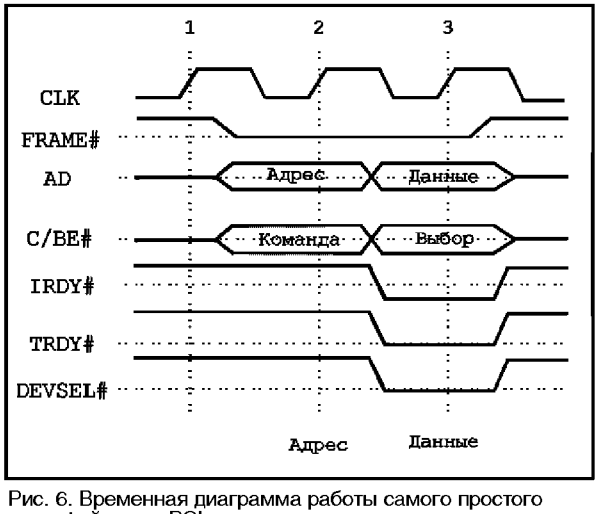


Рис. 6. Временная диаграмма работы самого простого интерфейса для PCI

PCI, интерфейс типа «мастер». Например, многие контроллеры SCSI, обмениваясь данными, при включении компьютера объявляют себя мастерами. В тот момент, когда нужно получить поток данных, процессор посылает в контроллер специальную команду. По этой команде контроллер захватывает шину PCI, выставляет заранее известный адрес памяти, где находятся требуемые данные, получает их потоком и передает эти данные в SCSI-устройство.

После того как исходный текст откомпилирован и записан в ПЛМ, можно тестировать готовое устройство. Для того чтобы удобнее видеть все сигналы на двухлучевом осциллографе, нужно написать маленькую программу, циклически посылающую в порт некоторые данные. Необязательно при этом пользоваться компилятором С. Можно вызвать в MS-DOS отладчик debug и в нем написать ассемблерный код.

Программа, показанная ниже, работает в 16-битовом режиме. Она чрезвычайно проста и поможет быстро понять, работает ваша плата или нет. Программа нормально работает независимо от типа компьютера и типа локальной шины (долгое время она использовалась для отладки устройств на шинах ISA). Естественно, предполагается работа на ПК с процессорами Intel.

После запуска программы лучше синхронизировать осциллограф не по сигналу тактовой частоты, а по сигналу FRAME#, с которого начинается цикл записи. В случае, если плата не будет работать, система после нескольких тактов ожидания сама выставит сигнал DEVSEL#, завершит запись и перейдет к новому циклу. Если плата будет нормально работать, вы увидите временные диаграммы, показанные выше.

Те, кого эта программа не устраивает (например, хочется работать с большими объемами памяти в защищенном режиме), могут сделать примерно то же самое, написав программу на С для компилятора WC. Можно использовать любую версию компилятора, поддерживающую 32-битный режим с помощью драйвера pharlap.

Существуют более правильные способы работы с шиной. Все фирмы, производящие ПЛМ, разработали наборы для построения интерфейса PCI. Документацию и исходные тексты найти довольно легко. В одном из номеров журнала EDN за прошлый год есть очень хороший обзор всех инструментов такого типа, необходимых для построения интерфейсов PCI. Среди самых популярных:

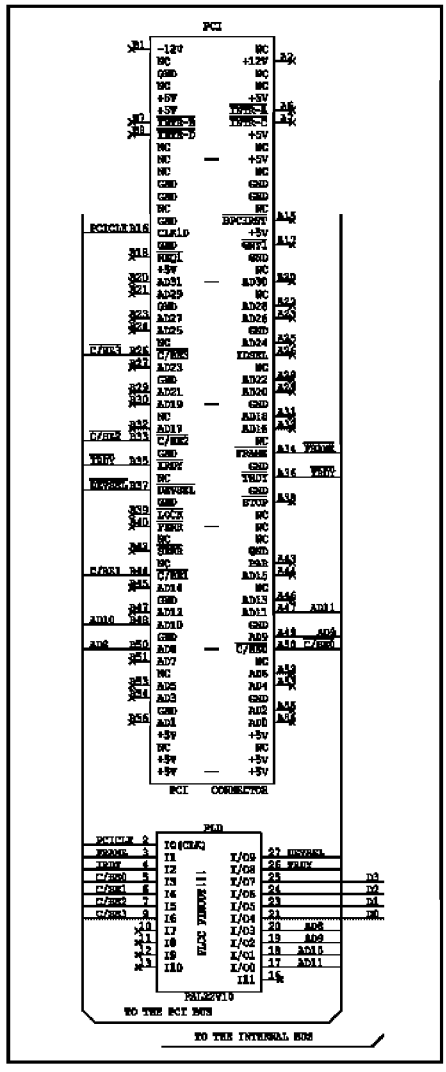


Рис. 7. Принципиальная схема самого простого интерфейса для PCI

AMD — www.amd.com,
Altera — www.altera.com
Xilinx — www.xilinx.com
QuickLogic — www.quicklogic.com

Много статей с советами на эту тему можно найти на сайте фирмы Daia I/O. Там же можно бесплатно выписать два десятка журналов за прошедшие месяцы со статьями на тему ПЛМ и PCI. Журналы придут довольно быстро.

Фирма AMCC и некоторые другие выпускают готовые контроллеры PCI. Эти контроллеры соответствуют всем требованиям стандарта PCI и работают очень хорошо. Однако у них есть принципиальный недостаток. Контроллер имеет два интерфейса: интерфейс для PCI и пользовательский интерфейс, к которому должна подключаться схема периферийного устройства. Эта схема, в свою очередь, тоже имеет некоторый интерфейс, что заставляет разработчика делать дополнительный интерфейс между своей схемой и контроллером.

Хорошо выполненное описание контроллеров PCI было сделано фирмой Intel. Его можно поискать в архивах на сайте или запросить в представительстве. И самый первый шаг, который нужно сделать при серьезном подходе, — купить в PCI Special Interest Group спецификацию стандарта PCI Local Bus.

Вадим Стрижов, Москва

Средства поддержки разработки для микроконтроллеров AVR

Едва успев появиться, микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel сразу завоевали огромную популярность во всем мире. Этому способствовало много различных факторов: использование flash-памяти в качестве памяти программ, наличие возможности внутрисхемного программирования, высокая производительность и относительно низкая цена.

Система команд новых микроконтроллеров изначально оптимизировалась под компиляторы языков высокого уровня, что позволяет во многих случаях отказаться от программирования на ассемблере. Таким образом, микроконтроллеры AVR оказались очень удобными для использования начинающими разработчиками, поскольку совмещают простоту применения с достаточно высокой производительностью. Немаловажным фактором является также и их доступность на российском рынке.

В табл. 1 приведены характеристики практически всех выпускающихся в настоящее время микроконтроллеров семейства AVR. Нетрудно заметить, что в серии AVR присутствуют как микроконтроллеры начального уровня (TinyAVR), так и достаточно мощные устройства семейства MegaAVR с объемом памяти программ до 128 Кб и большим количеством интегрированных периферийных устройств. Однако, помимо самих микроконтроллеров, для обеспечения процесса разработки необходимо наличие развитого программно-аппаратного комплекса.

Процесс написания программ для микроконтроллеров AVR, как, пожалуй, и для любых других микроконтроллеров, состоит из нескольких этапов:

- подготовка исходного текста программы на каком-либо из языков программирования;
- компиляция программы;
- отладка и тестирование программы;
- окончательное программирование и подготовка к серийному производству.

На каждом из этапов необходимо применение специальных программных и аппаратных средств. Стоит отметить, что базовый набор программного обеспечения (компилятор ассемблера, ПО для программирования) распространяется фирмой Atmel бесплатно. Однако за достаточно долгий период времени, прошедший с момента появления этих микроконтроллеров, на рынке появилось большое количество программного обеспечения сторонних производителей. Ниже приведена информация о различных компиляторах для микроконтроллеров семейства AVR, причем основной упор сделан на рассмотрение свободно распространяемого программного обеспечения. Также освещены вопросы, связанные с самостоятельным созданием аппаратных средств разработки (преимущественно, программаторов и отладочных плат).

Компиляторы ассемблера

Выбор конкретного компилятора ассемблера является, пожалуй, наименее принципиальным вопросом, поскольку сам процесс компиляции (преобразования исходного текста программы в машинный код) выполняется достаточно однозначно. Собственно, все отличия между ассемблерами заключаются в возможностях препроцессора, обрабатывающего макрокоманды, наличии текстового редактора или среды разработки и типе поддерживаемой операционной системы.

AVR Studio 3.1

Достаточно удачным выбором при разработке программного обеспечения для микроконтроллеров семейства AVR может послужить интегрированная среда разработки AVR Studio 3.1 фирмы Atmel, которая включает в себя текстовый редактор с подсветкой синтаксиса, компилятор ассемблера, симулятор, отладчик и интерфейс с аппаратными эмуляторами. Данная система распространяется фирмой Atmel бесплатно и ее можно скачать с сайта фирмы Atmel (**www.atmel.com**). Программа рассчитана на работу под управлением операционных систем Windows 9x, NT, 2000. К недостаткам AVRStudio можно отнести некоторую нестабильность работы отладчика, а также неполную симуляцию периферийных устройств (в частности, отсутствует симуляция АЦП). К плюсам же относится, в первую очередь, поддержка ей практически всех микроконтроллеров семейства AVR.

Atmel AVR Assembler v1.30

Отдельно ассемблер фирмы Atmel для микроконтроллеров семейства AVR можно скачать с сайта Atmel по адресу **ftp://www.atmel.com/pub/atmel/asmpack.exe.** Файл содержит инсталлятор, работающий под операционными системами Windows 9x и NT, который устанавливает Windows и DOS версии компилятора, а также необходимую документацию. Если в инсталляторе необходимости нет, то можно просто скачать исполнимые файлы и документацию, расположенные в архиве по адресу **ftp://www.atmel.com/pub/atmel/asm.zip**.

IAR AVR Assembler v1.50b

Также, с сайта Atmel можно скачать бесплатно распространяемый ассемблер фирмы IAR. Данный компилятор является частью IAR Embedded Workbench — среды разработки, включающей в себя менеджер проектов, редактор, линкер и менеджер библиотек. От ассемблера фирмы Atmel этот компилятор отличается расширенными возможностями по работе с макросами. Архив с программой расположен по адресу **ftp://www.atmel.com/pub/atmel/iar_asm.zip**.

GNU/Linux AVR Assembler

Этот ассемблер, являясь полностью совместимым по входному коду с компилятором фирмы Atmel, имеет по сравнению с ним несколько преимуществ. Во-первых, он поставляется в исходных текстах, так что пользователь, в случае необходимости, может легко добавить новые возможности. Во-вторых, это один из немногих ассемблеров для микроконтроллеров фирмы AVR, работающих под управлением операционной системы Linux (кроме того, наличие исходных текстов позволяет легко перенести его на любую другую Unix-систему). И наконец, в GNU AVR Assembler значительно расширены, по сравнению с ассемблером фирмы Atmel, возможности по работе с макрокомандами (в частности, допускаются макросы внутри макросов). Программа распространяется по условиям GNU Public License (GPL). Домашняя страничка программы расположена по адресу **http://home.worldonline.dk/~tomo/**, а саму программу можно скачать по адресу **http://www.image.dk/~tomo/tavrasm.tar.gz** (Linux-версия), **http://www.image.dk/~tomo/tavrasm.zip** (DOS-версия) или **http://www.image.dk/~tomo/tavrasmw.zip** (консольная Windows-версия).

Компиляторы языка С

В последнее время все популярнее становится использование компиляторов языков высокого уровня при написании программ для микроконтроллерных систем. Наибольшее распространение при этом получили компиляторы языка С, поскольку в этом языке наиболее просто реализуются все необходимые возможности по управлению аппаратными средствами микроконтроллеров.

IAR C Compiler

Компилятор фирмы IAR общепризнанно является одним из лучших компиляторов С для микроконтроллеров семейства AVR. Связано это, в первую очередь, с наличием в нем богатых возможностей по оптимизации кода. Пожалуй, единственным существенным его недостатком является то, что в демонстрационной версии накладываются значительные ограничения на максимальный объем кода. Компилятор поставляется в составе интегрированной среды разработки IAR Embedded Workbench (EWB), включаю-

щей в себя также компилятор ассемблера, линкер, менеджер проектов и библиотек, а также отладчик. Скачать демонстрационную версию пакета можно с сайта фирмы IAR Systems, расположенного по адресу **http://www.iar.se/**

Image Craft C Compiler

Image Craft C Compiler является, пожалуй, вторым по популярности компилятором языка С для микроконтроллеров семейства AVR. К настоящему времени уже выпущена версия 6.18 компилятора. К преимуществам этого компилятора относятся поддержка микросхем семейства FPSLIC фирмы Atmel, неплохой уровень оптимизации кода и достаточно низкая цена (<$250). Демо-версия компилятора не содержит функциональных ограничений и лимитирована только временем работы (30 дней). Кроме того, это, наверное, один из самых быстро развивающихся компиляторов, что позволяет надеяться на быстрое устранение существующих недостатков. Необходимую информацию о компиляторах фирмы Image Craft можно получить на сайте фирмы по адресу **http://www.imagecraft.com/software/**, а загрузить демонстрационную версию компилятора можно либо с того же сайта, либо с сайта фирмы АргусСофт **(http://atmel.argussoft.ru/download/programs/iccavrdem.zip)**.

Таблица 1. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel

Тип	Max частота	Flash	EEPROM	SRAM	Питание	ADC, каналов	PTC	BOR	Корпус			
									DIP	SOIC	PLCC	TQFP
ATTiny12	8MHz	1K	64	-	1.8-5.5v	-	-	-		–		
ATTiny15	16MHz	1K	64	-	1.8-5.5v	4	-	-	–	–		
ATTiny22	8MHz	2K	128	128	1.8-5.5v	-	-	-	–	–		
ATTiny26	16MHz	2K	128	128	1.8-5.5v	-	-	-	–			+
AT90S1200	12MHz	1K	64	32	2.7-6.0v	-	-	-	–	–		
AT90S2313	10MHz	2K	128	128	2.7-6.0v	-	-	-	–	–		
AT90S2323	8MHz	2K	128	128	2.7-6.0v	3	-	–	–			+
AT90S4414	8MHz	4K	256	256	2.7-6.0v	-	-	-	–			+
AT90S4433	8MHz	4K	256	128	2.7-6.0v	3	-	–	–			+
AT90S4434	8MHz	4K	256	256	2.7-6.0v	3	+	-	–		–	+
AT90S8515	8MHz	8K	512	512	2.7-6.0v	-	-	-	–		–	+
AT90S8535	8MHz	8K	512	512	2.7-6.0v	3	+	-	–		–	+
ATMega8515	8MHz	64K	2K	4K	2.7-6.0v	3	+	-				+
ATMega163	8MHz	128K	4K	4K	2.7-6.0v	3	+	-				+

Code Vision AVR C Compiler

Другим популярным компилятором языка С для микроконтроллеров семейства AVR является Code Vision AVR C Compiler. Компилятор поддерживает микроконтроллеры ATTiny22, AT90S23x3, AT90S4433, AT90S44x4, AT90S85x5 и ATMegaX03. Демонстрационная версия компилятора, так же, как и компилятор фирмы IAR, имеет ограничение на максимальный объем генерируемого кода (однако стоит отметить, что цена полной версии компилятора достаточно невысока и составляет порядка $150, причем в эту сумму включена годичная техническая поддержка; кроме того, если нет необходимости использования микроконтроллеров MegaAVR, можно приобрести облегченную версию компилятора без их поддержки всего за $90). Компилятор поставляется вместе с интегрированной средой разработки, в которую помимо стандартных возможностей, включена достаточно интересная функция — CodeWizardAVR Automatic Program Generator. Фактически это генератор стандартных блоков программы, выполняющих следующие функции:

- настройка доступа к внешней памяти;
- определение причины сброса микроконтроллера;
- инициализацию портов ввода/вывода, внешних прерываний, таймеров, сторожевого таймера;
- инициализацию асинхронного порта последовательной передачи данных (UART) и буферизированный прием и передачу данных;
- настройку аналогового компаратора и АЦП;
- инициализацию шины I²C и подключенных к ней температурного сенсора LM75 или часов реального времени PCF8583, DS1302, DS1307;
- реализацию протокола 1-Wire Bus и инициализацию температурного сенсора DS1820;
- управление LCD-индикатором.

Наличие этой возможности в некоторой степени упрощает написание программ, хотя, конечно, сгенерированный таким образом код далеко не всегда оказывается применим без проведения изменений. Наличие в среде разработки последовательного терминала позволяет производить отладку программ с использованием последовательного порта микроконтроллера.

Получить всю необходимую информацию о компиляторе Code Vision AVR C и скачать демонстрационную версию можно по адресу **http://dhp-techn.virtualave.net/**.

Другие компиляторы языка С

Помимо перечисленных выше существует еще несколько компиляторов языка С для микроконтроллеров семейства AVR фирмы Atmel. Однако, в силу некоторых причин (поддержка

только некоторых членов семейства AVR, низкое качество компиляции и т. п.), они не получили широкого распространения. Ниже приведена информация о некоторых из них.

По адресу **http://www.gwdg.-de/~mrickma/avr/** расположен архив с последними версиями компилятора AVR-GCC, портированного на платформу Win32.

Фирмой Dunfield Development Systems выпускается AVR Development Kit (http://www.Dunfield.com/dks.htm), в состав которого входит компилятор языка С.

Компиляторы Basic

Помимо С при разработке программного обеспечения для микроконтроллерных систем применяются и другие языки высокого уровня. Так, для микроконтроллеров семейства AVR существуют также компиляторы языков Basic, Pascal и Forth.

BASCOM-AVR — компилятор языка Basic, разработанный фирмой MCS Electronics. Имеется демо-версия с ограничением на объем генерируемого кода. По входному коду компилятор практически полностью совместим с компиляторами VisualBasic/QuickBasic фирмы Microsoft. В синтаксис языка добавлено несколько новых команд для обеспечения поддержки LCD-индикаторов, I²C и 1-Wire интерфейсов, обработки прерываний и других специфических для микроконтроллеров возможностей. Демонстрационную версию компилятора и всю необходимую документацию можно скачать по адресу **http://www.mcselec.com/download_avr.htm**.

ABC Basic Compiler, разработанный фирмой Investments Technologies PTY, позволяет писать и отлаживать программы на языке Basic в интегрированной среде разработки. Существуют версии компилятора как под Windows, так и под DOS. Полная версия компилятора стоит $50, а демонстрационную версию можно загрузить по адресу **http://www.hawknet.com.au/~invtech/html/downloads.html**

Программаторы

Благодаря возможности внутрисхемного программирования микроконтроллеры семейства AVR не требуют применения сложных программаторов, и в простейшем случае можно обойтись просто пятью проводами, соединяющими микроконтроллер и принтерный порт компьютера. Одной из лучших программ, предназначенных для записи прошивки во flash-память микроконтроллера с использованием различного рода несложных кабелей, является AVReal (автор — Александ Редчук, real@real.kiev.ua). Последнюю версию программы всегда можно найти по адресу **http://www.chat.ru/~avreal/**.

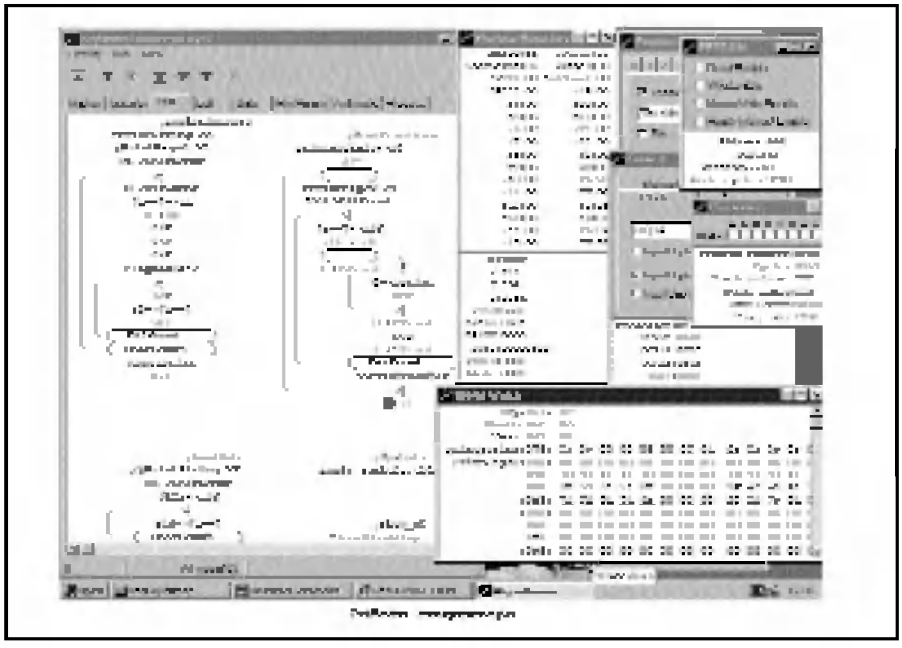
Кроме этого, существует множество схем программаторов, поддерживающих микроконтроллеры семейства AVR. К ним относятся Sample Electronics AVR Programmer/Emulator (**http://www.sample.co.kr/avr/e-avr.htm**), Pony Programmer (**http://www.CS.UniBO.it/~lanconel/prog.html**), SP12 Programmer (**http://www.xs4all.nl/~sbolt/e-spider_prog.html#programmer**, выделяется среди прочих работой под Windows 2000 и Linux), BA1FB ATMEL AVR Programmer (FBPRG, **http://www.qsl.net/ba1fb/**), AVR Parallel Programmer (**http://www.fangorn.demon.co.uk/projects/avr/avrprogger.html**), Microcontroller In-System Programmer (UISP, **http://www.geocities.com/msbechtold/uisp/uisp.html**) и множество других.

В целом благодаря высокой популярности микроконтроллеров семейства AVR для них за достаточно короткий промежуток времени было разработано большое количество программного и аппаратного обеспечения, что позволяет значительно ускорить процесс разработки микроконтроллерных систем. Кроме того, как уже говорилось, эти микроконтроллеры идеально подходят для начинающих, поскольку совмещают простоту использования с достаточной вычислительной мощностью, широким выбором встроенных периферийных устройств и сравнительно низкой ценой.

Виталий Измайлов, Тверь

Окончание. Начало см. на ст. 40–41

Конструктивно наиболее сложный. Графически представляет собой контур, располагающийся посередине блока , внутри которого вписывается текст с условием перехода, и возможный вектор перехода в виде ломаной линии со стрелкой на конце, исходящей от одного из краев контура, который должн заканчиваться на метке или вершине. Действие интерпретируется как ветвление, если вписанное условие выполняется.

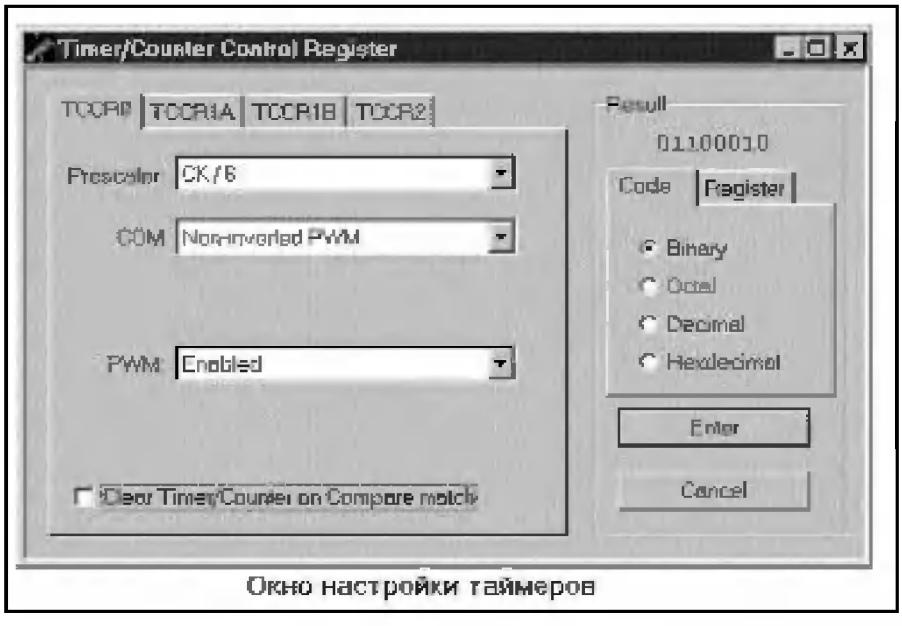


- Объект «JMP Vector» предназначен для представления безусловного перехода. Графически представляет собой ломаную линию, исходящую из середины блока операторов, аналогичную вектору объекта «Condition».

Редактор среды позволяет свободно вносить на рабочее поле любые необходимые объекты, модифицировать их, перемещать, вставлять и т.д. Принципы редактирования аналогичны с прочими графическими редакторами.

Для удобства, допускается конец вектора ветвления останавливать на отрезке другого вектора, конец которого определен, если конечный адрес у них общий. Но при большом нежелании рисовать вектор ветвления, либо, если это ветвление слишком длинное, всегда остается возможность адресовать переход классическим способом, на имя метки.

В целом данная среда программирования является самодостаточной системой. Она содержит в себе компилятор алгоритма, симулятор микроконтроллера и внутрисхемный программатор, обеспечивающий загрузку откомпилированного алгоритма в кристалл. Кроме того, обеспечивается режим мониторной отладки, при котором к откомпилированному коду программы добавляется скрытый код, обеспечивающий вывод всего внутреннего состояния реального микроконтроллера в заданных точках останова в соответствующие окна, как при работе в симуляторе. При работе мониторного отладчика и программатора микроконтроллер непосредственно подключается к параллельному порту LPT несколькими цепями.



Окно настройки таймеров

Но возможности среды не ограничены программированием на уровне элементарных команд микроконтроллера. Компилятором поддерживается система макрооператоров, поглощающих в себя наиболее распространенные комбинации команд. Программирование с использованием макрооператоров предполагает операции с многобайтными величинами со знаком, что приближает данную среду к категории языка высокого уровня. В алгоритме, например, возможна запись таких операторов:

```
«-12500->Y»
«#h025F->SP»
«#h2E40->Svar»
```

«Svar+Y» , где Svar — объявленная двухбайтная ячейка оперативной памяти данных (SRAM). Очевидно, нет необходимости расшифровывать смысл выполняемых действий. А в качестве условия перехода записать, например:

```
«Z<2049».
```

Кроме того, поддерживаются метки со стандартным именем прерывания. Встретив такую метку, компилятор автоматически вставит в соответствующее вектору прерывания место программы код необходимого безусловного перехода на нее. Имя таких меток можно выбрать через соответствующий пункт меню. Реализован так же удобный интерфейс настройки таймеров, который избавляет от необходимости помнить какой бит управляющего регистра что означает, и ряд других сервисных возможностей.

Среда предназначена для работы в операционной системе Windows 95/98.

На рисунке 2 приведен более сложный пример фрагмента программы. Слева — в классическом ассемблере, а справа — полная его копия в Algorithm Builder.

Конечно, в рамках одной статьи невозможно достаточно подробно изложить обо всех особенностях работы в графической среде.

Графические технологии проектирования раскрывают новые возможности для разработчиков. Визуальность логической структуры программы уменьшает вероятность ошибок и сокращает сроки разработки. Появляется такое понятие как дизайн алгоритма, предполагающее определенный эстетический вкус программиста.

Психологически переход к использованию такой среды требует определенного усилия. В голове многих проскользнет мысль: «может ассемблер и не располагает этими возможностями, но, зато я к нему очень привык, мне и с ним хорошо». Это чем то сродни переходу от командной DOS к графической оболочке Windows. Однако освоение этого инструмента и последующая работа с ним заметно проще классического ассемблера. Во всяком случае, те, кто его уже использует, назад пути не ищет.

Подробнее познакомиться с Algorithm Builder вы можете посетив сайт: **http://www.atmel.ru в разделе «Software»**.

Геннадий Громов,
Нижний Новгород

Интегральные стабилизаторы напряжения широкого применения

Узлы питания, по-видимому, являются самыми распространенными устройствами радиоэлектронной аппаратуры. Помимо трансформаторов с диодными мостами и емкостями или батареек (аккумуляторов) они содержат стабилизаторы напряжения. Самыми распространенными из последних являются линейные стабилизаторы, в которых регулируемый элемент включен параллельно или последовательно с нагрузкой и в зависимости от входного напряжения и потребляемого нагрузкой тока уменьшает или увеличивает свое сопротивление, сохраняя постоянным напряжение на выходе.

Еще лет 15 назад стабилизаторы напряжения выполнялись исключительно на дискретных компонентах. В их состав, в зависимости от требований к стабилизатору, входило от одного до нескольких десятков элементов. Монтаж и наладка такого устройства были весьма трудоемкими. Да и надежность их оставляла желать лучшего. Неудивительно, что по мере развития технологии разработчики микросхем постарались упаковать внутрь соответствующей микросхемы если не все необходимые для создания стабилизатора элементы, то их большинство.

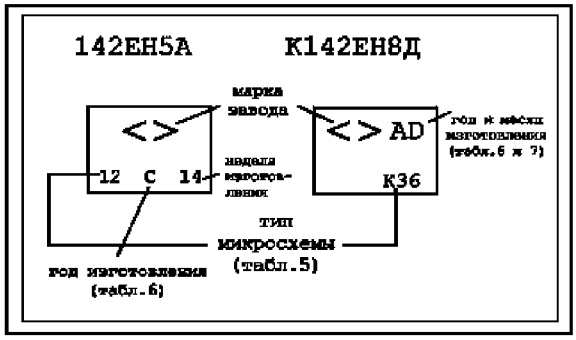


Рис. 2

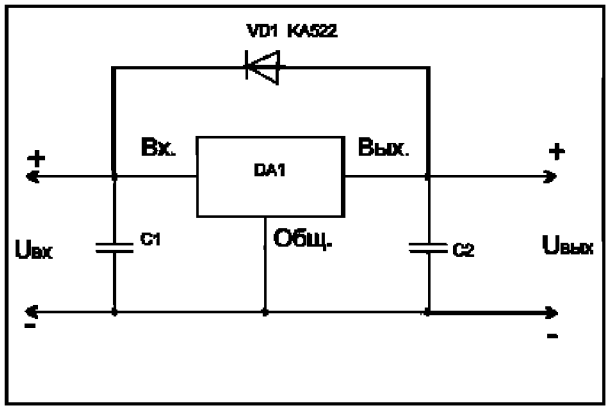


Рис. 3

В настоящее время ассортимент микросхем, предназначенных для построения стабилизаторов напряжения, настолько велик, что даже их перечень займет несколько десятков страниц. В их состав входят и драйверы для управления мощными переключающими транзисторами, и законченные стабилизаторы, оформленные в транзисторных двух-трехвыводных корпусах. Последним и посвящен нижеприведенный краткий обзор.

Условно все линейные интегральные стабилизаторы напряжения можно разделить на несколько групп. К первой можно отнести стабилизаторы на фиксированное выходное напряжение. Внутри этой группы изделия классифицируются по полярности формируемого на выходе напряжения (положительное или отрицательное относительно общего провода), по величине выходного напряжения и по максимальному току, отдаваемому в нагрузку. Перечисленные параметры являются ключевыми, остальные же либо взаимосвязаны с ними (рассеиваемая мощность, тип корпуса), либо в настоящее время играют второстепенную роль (коэффициент стабилизации, наличие индикатора разряда батарей и т. д.).

Вторую группу представляют регулируемые стабилизаторы, выходное напряжение которых может изменяться в некоторых определенных пределах. Они также различаются по полярности и по выходному току. В самостоятельную группу можно выделить многоканальные стабилизаторы, формирующие на выходах несколько напряжений, причем иногда даже разной полярности. И, наконец четвертая группа — относительно маломощные малогабаритные стабилизаторы, нередко харак-

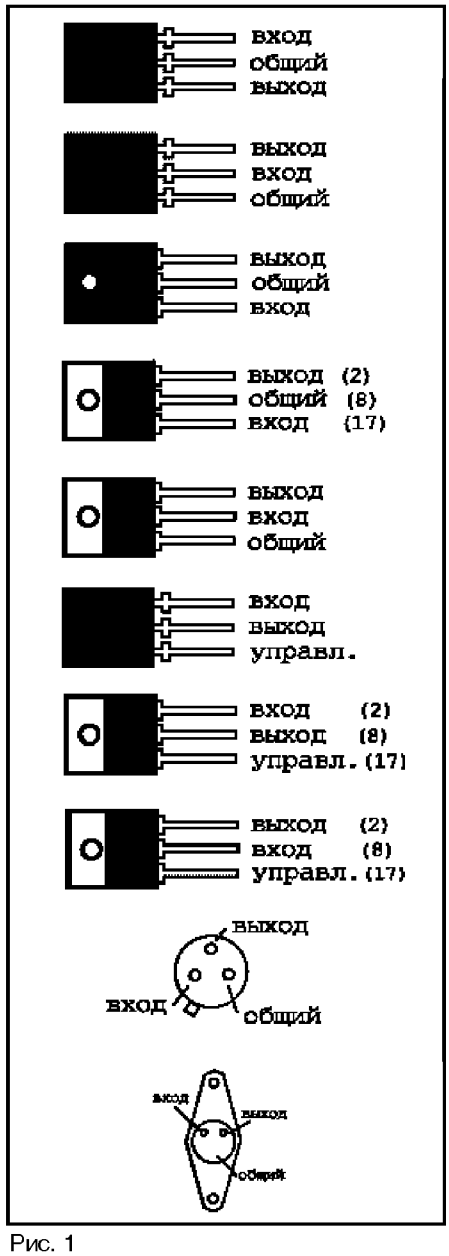


Рис. 1

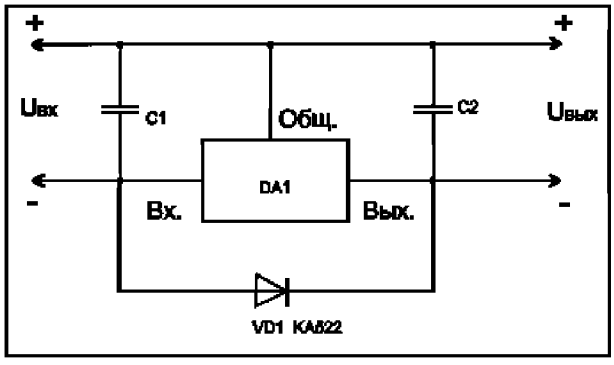


Рис. 4

Табл .1

Тип микросхемы	Диапазон входных напряжений, Мин. В	Макс. В	Выходное напряжение, В	Ток, А/ Рассеиваемая мощность	Корпус (рисунок)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		

Табл. 2

КР1162ЕН5А,Б	-7,5	-35	-5	1,5 / 1,5 – без теплоотвода, 1,5 / 10 – с теплоотводом	КТ-28-2 (1д)
КР1162ЕН6А,Б	-8,5	-35	-6		
КР1162ЕН8А,Б	-10,5	-35	-8		
КР1162ЕН9А,Б	-11,5	-35	-9		
КР1162ЕН10А,Б	-12,5	-40	-10		
КР1162ЕН12А,Б	-14,5	-40	-12		
КР1162ЕН15А,Б	-17,5	-40	-15		
КР1162ЕН18А,Б	-20,5	-40	-18		
КР1162ЕН24А,Б	-26,5	-40	-24		
КР1179ЕН05	-7,5	-35	-5	1,5 / 10	ТО-220 (1д)
КР1179ЕН06	-8,5	-35	-6		
КР1179ЕН08	-10,5	-35	-8		
КР1179ЕН12	-14,5	-35	-12		
КР1179ЕН15	-17,5	-35	-15		
КР1179ЕН24	-26,5	-40	-24		

Табл. 3

Тип микросхемы	Диапазон входных напряжений		Выходное напряжение, В	Ток, А/ Рассеиваемая мощность, Вт	Корпус (рисунок)
	Мин., В	Макс., В			
78L05	7,0	30	5	0,1 / 0,5	TO-92 (1а)
78L06	8,0	30	6		
78L08	10,2	30	8		
78L09	11,2	30	9		
78L12	14,2	30	12		
78L15	17,2	30	15		
78L18	20,2	30	18		
78L20	22,2	30	20		
78L24	26,2	30	24		
Префикс зависит от изготовителя – LM78LxxACZ, ML78LxxA, MC78LxxCP, mA78LxxAWC и т.д.					
78M05	7,5	35	5	0,5 / 7,5	TO-202 (1г) или TO-220 (1г) или TO-39 (1л)
78M06	8,5	35	6		
78M08	10,5	35	8		
78M09	11,5	35	9		
78M12	14,5	35	12		
78M15	17,5	35	15		
78M18	20,5	35	18		
78M20	22,5	40	20		
78M24	26,5	40	24		
Префикс зависит от изготовителя – LM78MxxACZ, ML78MxxA, MC78MxxCP, mA78MxxAWC и т.д.					
7805	7,5	35	5	1...1,5 / 10...12	TO-202 (1г) или TO-220 (1г) или TO-39 (1л)
7806	8,5	35	6		
7808	10,5	35	8		
7809	11,5	35	9		
7812	14,5	35	12		
7815	17,5	35	15		
7818	20,5	35	18		
7820	22,5	40	20		
7824	26,5	40	24		
LM309K	–	35	5	–	TO-3 (1к)
LM340-05	–	35	5	1,5/10	TO-3 (1к) или TO-202 (1г) или TO-220 (1г)
LM340-06	8	35	6		
LM340-08	10,5	35	8		
LM340-12	15	35	12		
LM340-15	17,5	35	15		
LM340-18	21	40	18		
LM340-24	27	40	24		
В корпусах TO-202, TO-220: L78xxCV, MC78xxCP, L200xxCV(2A), LM340Txx, SFC2378xxEC, TDB78xxT, mA78xxCK. В корпусе TO-3: MC78xxCK, mA78xxDA, mA78xxKC, LM340Kxx, LM340KCxx, SFC2378xxRC, TDB78xx					
78H05	–	20	5	мар 15	TO-3 (1к)
78H05KC	8	25	5	май 15	
78H12KC	15	25	12	май.15	
78H15KC	18	25	15	май.15	
LM323K	–	20	5	мар 15	
TDB0123KM	–	20	5	мар 15	
78P05	8	35	5	окт.50	

теризующиеся весьма малой минимально необходимой разностью напряжений между своими входом и выходом (вплоть до 0,1 В, так называемые «low-drop»).

Приступим к рассмотрению первой группы — стабилизаторов с фиксированным выходным напряжением. В табл. 1 и 2 представлен перечень выпускавшихся и выпускаемых отечественной промышленностью стабилизаторов соответственно положительной и отрицательной полярности, а в табл. 3 и 4 — перечень наиболее распространенных на отечественном рынке аналогичных импортных стабилизаторов.

Отметим, что сведения о рассеиваемой мощности при работе микросхем с теплоотводами в паспортах приборов часто не указывают. Поэтому в таблицах приведены некоторые усредненные значения, полученные из графиков, имеющихся в документации.

На рис. 1 упрощенно показан внешний вид включенных в таблицу стабилизаторов, а также их цоколевка.

Некоторые типы отечественных стабилизаторов имеют оригинальную устоявшуюся нумерацию выводов (она показана на рис. 1 в скобках). Это связано с тем, что первоначально микросхемы этих серий выпускались в «микросхемных» корпусах со стандартизированной нумерацией выводов. Эта нумерация сохранилась и после того, как было освоено производство в «транзисторных» корпусах. Отечественные стабилизаторы напряжения серии 142 не всегда имеют полную маркировку типа. В этом случае на корпусе стоит условный код обозначения (табл. 5), который и определяет тип микросхемы, а также буквенно-цифровой код, определяющий год и месяц (или неделю — число от 1 до 53) изготовления микросхемы (табл. 6, 7). Пример расшифровки кодовой маркировки на корпусе микросхемы приведен на рис. 2.

Микросхемы стабилизаторов в корпусе КР имеют сокращенное обозначение — КРЕН5А вместо КР142ЕН5А.

Табл. 4

Тип микросхемы	Диапазон входных напряжений		Выходное напряжение, В	Ток, А/ Рассеиваемая мощность, Вт	Корпус (рисунок)
	Макс., В	Мин. В			
79L05	-7,2	-30	-5	0,1 / 0,5	TO-92 (1б) или KT-26 (1б)
79L06	-8,2	-30	-6		
79L08	-10,2	-30	-8		
79L09	-11,2	-30	-9		
79L12	-14,2	-30	-12		
79L15	-17,2	-30	-15		
79L18	-20,2	-30	-18		
79L20	-22,2	-35	-20		
79L24	-26,2	-35	-24		
Префикс зависит от изготовителя – LM79LxxACZ, ML79LxxA, MC79LxxCP, mA79LxxAWC и т. д.					
79M05	-7,5	-35	-5	0,5 / 7,5	TO-202 (1д) или TO-220 (1д)
79M06	-8,5	-35	-6		
79M08	-10,5	-35	-8		
79M09	-11,5	-35	-9		
79M12	-14,5	-35	-12		
79M15	-17,5	-35	-15		
79M18	-20,5	-35	-18		
79M20	-22,5	-40	-20		
79M24	-26,5	-40	-24		
Префикс зависит от изготовителя – LM79MxxACZ, ML79MxxA, MC79MxxCP, mA79MxxAWC и т.д.					
7905	-7,5	-35	-5	1...1,5 / 10...12	TO-202 (1д) или TO-220 (1д) или TO-3 (1к)
7906	-8,5	-35	-6		
7908	-10,5	-35	-8		
7909	-11,5	-35	-9		
7912	-14,5	-35	-12		
7915	-17,5	-35	-15		
7918	-20,5	-35	-18		
7920	-22,5	-40	-20		
7924	-26,5	-40	-24		
В корпусах TO-202, TO-220: MC79xxCP, LM320Txx, TDB79xxT, mA79xxCK, mA79xxCU; В корпусе TO-3: MC79xxCK, mA79xxCDA, mA79xxKC, LM320Kxx, TDB29xxKM					

Табл. 5

Тип микросхемы	Маркировка
(К)142ЕН1А, Б, В, Г	(К)06, (К)07, (К)08, (К)09
(К)142ЕН2А, Б	(К)27, (К)28
142ЕН3, 142ЕН4	10, 11
К142ЕН3А, Б	К10, К31
К142ЕН4А, Б	К11, К32
(К)142ЕН5А, Б, В, Г	(К)12, (К)13, (К)14, (К)15
(К)142ЕН6А, Б	(К)16, (К)17
142ЕН6В, К142ЕН6В	42, К33
142ЕН6Г, К142ЕН6Г	43, К34
142ЕН6Д, К142ЕН6Д	К48, К49
(К)142ЕН8А, Б, В	(К)18, (К)19, (К)20
К142ЕН8Г, Д, Е	К35, К36, К37
142ЕН9А, Б, В	21, 22, 23
(К)142ЕН9А, Б, В, Г, Д, Е	К21, К22,К23, К38, К39, К40
(К)142ЕН10, (К)142ЕН11	(К)24, (К)25
(К)142ЕН12, КР142ЕН12А	(К)47

Типовые схемы включения стабилизаторов положительного и отрицательного напряжения приведены на рис. 3 и 4. Для всех микросхем емкость конденсаторов С1 и С2 желательно выбирать не менее 10–15 мкФ для алюминиевых конденсаторов и 3,3 мкФ — для керамических и оксидно-танталовых. Роль входного может исполнять и конденсатор сглаживающего фильтра, если длина дорожки, соединяющей его со входом стабилизатора, не превышает 70 мм.

Если емкость конденсатора на выходе стабилизатора достаточно велика, а ток нагрузки мал, то между входом и выходом стабилизатора необходимо включать диод, как показано на рис. 3 и 4. Он защищает стабилизатор от переполюсовки, которая может возникнуть при обрыве или случайной отпайке проводника, соединяющего вход стабилизатора с выходом предшествующего ему диодного выпрямителя. Особенно целесообразно использование такой диодной защиты при построении систем распределенного электропитания, в которых основной источник формирует повышенное по сравнению с необходимым стабилизированное напряжение (например, 15 В), которое далее поступает на отдельные узлы устройства, каждое из которых снабжено своим стабилизатором (9–12 В). При аварийном отключении или выходе из строя основного источника на входах стабилизаторов отдельных узлов напряжение быстро падает до 0, в то время как на их выходах оно может оставаться довольно большим. Наличие диода гарантирует уравнивание (с точностью до 0,7 В) напряжений на входе и выходе, что предотвращает выход из строя стабилизатора.

Необходимо также отметить, что все перечисленные в табл. 1 и 3 стабилизаторы требуют, чтобы напряжение на их входе было не менее чем на 2,5 В больше выходного. Соответственно, для стабилизаторов отрицательной полярности (табл. 2 и 4) оно должно быть ниже на эту же величину.

Табл. 6

Год	Буква
1983	R
1984	S
1985	T
1986	U
1987	V
1988	W
1989	X
1990	A
1991	B
1992	C
1993	D
1994	E
1995	F
1996	H
1997	J
1998	K
1999	L
2000	M
2001	N

Табл. 7

Месяц	Цифра/буква
январь	1
февраль	2
март	3
апрель	4
май	5
июнь	6
июль	7
август	8
сентябрь	9
октябрь	0
ноябрь	N
декабрь	D

Валерий Авербух,
Москва

Продолжение следует

Редакция журнала приглашает авторов к сотрудничеству
тел.(095)737-92-79