

Кодовый замок и электронный термометр на микроконтроллерах ATMEGA8535

Сергей Шишкин (Нижегородская обл.)

Приведено описание алгоритма работы, программного обеспечения и схемы кодового замка, электронного термометра и таймера на двух микроконтроллерах ATMEGA8535.

Микроконтроллеры семейства AVR со встроенными энергонезависимой памятью (ЭСППЗУ) и АЦП предоставляют большие возможности для разработки бытовых устройств. Память такого типа как нельзя лучше подходит для хранения эталонного (секретного) кода в кодовых замках, поскольку его легко перепрограммировать, используя аппаратные ресурсы самого устройства. Кроме того, код не «теряется» при выключении питания. Встроенный многоканальный АЦП позволяет реализовать разнообразные измерительные устройства.

Принципиальная схема устройства, в котором использовано два микроконтроллера ATMEGA8535, приведена на рисунке. Устройство совмещает функции кодового замка (далее замка) и электронного термометра. На микроконтроллере DD1 собран замок, на микроконтроллере DD2 – электронный термометр. Галетный переключатель SA1 подключает клавиатуру (кнопки S1 – S8) к DD1 или DD2.

Рассмотрим алгоритм работы замка. В режиме записи в ЭСППЗУ микроконтроллера заносится код, который состоит из четырёх десятичных цифр и набирается на семикнопочной клавиатуре. В рабочем режиме замок ждёт ввода кода. Процедура набора кода может быть открытой (с отображением кода на дисплее) или закрытой (при наборе кода отображаются символы «-»). Микроконтроллер записывает вводимый код в ОЗУ и побайтно сравнивает его с кодом, записанным в ЭСППЗУ. Если коды совпали, то микроконтроллер в течение 5 с подаёт сигнал на включение механизма открывания замка. Для активации отображаемого на дисплее четырёхразрядного кода в режиме записи и в рабочем режиме, достаточно нажать любую кнопку клавиатуры.

Элементами управления замком являются знакосинтезирующий индикатор HG1, блок индикации на семисегментных индикаторах HG2 – HG4, переключатель SA2 и кнопки S1 – S8. Кнопки S1 – S7 обозначены соответствующими цифрами и задают код ввода. Последовательными нажатиями кнопки S8 (P) устанавливают режим № 1, режим № 2 или режим № 3 работы устройства. На пятиразрядном дисплее (сдвоенные цифровые индикаторы HG6, HG7) отображается вводимый код. Индикатор HG8 отображает символы «3» (при закрытом замке) и «0» (при открытом замке). Переключатель SA2 задаёт режим отображения кода на дисплее устройства (положение «1» – открытый, положение «2» – скрытый).

В рабочем режиме № 1 замок готов к вводу кода. Перед набором кода на дисплее отображается 0000. Элемент № 1 индикатора HG1 включен (остальные элементы выключены). Индикатор HG4 отображает символ «3» (закрыто). Кнопками S1 – S7 набирают четырёхразрядный код, который появляется на дисплее. После сравнения кодов микроконтроллер подаёт сигнал на исполнительный механизм открывания замка. На 5 с включается элемент № 4 индикатора HG1 (символ «0») и устанавливается лог. 0 на выводе 21. Спустя 5 с на выводе 21 устанавливается лог. 1, на дисплее снова отображается код 0000, а индикатор HG4 отображает символ «3».

В режиме № 2 осуществляется запись секретного кода в ЭСППЗУ при помощи кнопок S1 – S7. Набранный код отображается на дисплее. После записи кода на дисплее снова отображается 0000.

В режиме № 3 (проверка записанного кода) элемент № 3 индикатора HG1 включен; индикатор HG4 отображает «3». Записанный в ЭСППЗУ код отображается на дисплее. Доступ к кнопке S8 и переключателю SA1 должен быть

ограничен. Конструктивно это сделать несложно.

Рассмотрим алгоритм работы электронного термометра. Для подключения клавиатуры к микроконтроллеру DD2 необходимо галетный переключатель SA1 установить в положение «2». Три независимых канала позволяют измерять температуру в трёх точках. Кроме того, есть дополнительная функция – внутренний таймер. Элементами управления термометром являются клавиатура (кнопки S1 – S4), знакосинтезирующий индикатор HG2, неоновая лампа H1 и блок индикации (дисплей) из трёх семисегментных индикаторов HG3 – HG5. Кнопки клавиатуры имеют следующее назначение:

- S1 (C) (Старт/стоп) – подтверждение заданного времени для таймера; по нажатию данной кнопки идёт обратный отсчёт времени;
 - S2 (Δ) – увеличение на единицу значения при установке времени таймера в минутах, выключение звукового и светового сигнала сигнализации; при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 4 с значение времени увеличивается на 5 единиц за 1 с;
 - S3 (∇) – уменьшение на единицу значения таймера в минутах; при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 4 с значение времени уменьшается на 5 единиц за 1 с;
 - S4 (P) – выбор режима работы термометра («таймер», «температура 1», «температура 2», «температура 3»).
- Разряды индикации интерфейса имеют следующее назначение:

- 1-й разряд (индикатор HG3.1) отображает знак «-» при измерении отрицательных температур в режимах измерения температуры и тысячи минут в режиме «таймер»;
- 2-й разряд (индикатор HG3.2) отображает сотни градусов в режимах измерения температуры и сотни минут в режиме «таймер»;
- 3-й разряд (индикатор HG4.1) отображает десятки градусов в режимах измерения температуры и десятки минут в режиме «таймер»;

- 4-й разряд (индикатор HG4.2) отображает единицы градусов в режимах измерения температуры и единицы минут в режиме «таймер»;

- 5-й разряд (индикатор HG5) отображает символ «°C» в режимах измерения температуры.

Элемент № 1 индикатора HG2 включен при работе в режиме «температура 1», элемент № 2 индикатора HG2 включен при работе в режиме «температура 2» и соответственно элемент № 3 – при работе в режиме «температура 3». Неоновая лампа Н1 сигнализирует о состоянии нагрузки, которую подключают к устройству через соединитель Х3.

Таймер с обратным отсчётом времени позволяет задавать интервал времени от 1 до 9999 мин с дискретностью 1 мин. Предусмотрена подача звукового сигнала длительностью 60 с частотой повторения 1 Гц при обнулении времени таймера. После нажатия кнопки S1 (С) включается нагрузка и начинается обратный отсчёт времени. Точка h индикатора HG3.2 мигает с частотой 1 Гц. При повторном нажатии кнопки S1 (С) нагрузка выключается, и обратный отсчёт времени прекращается.

Основные узлы замка и термометра идентичны. Устройство выполнено на микроконтроллерах DD1 и DD2, рабочая частота которых (11,0592 МГц) задаётся кварцевыми резонаторами ZQ1 и ZQ2 соответственно. Порты PD микроконтроллеров управляют динамической индикацией. Динамическая индикация термометра реализована на транзисторах VT1 – VT5, сдвоенных семисегментных индикаторах HG3, HG4 и одинарном цифровом индикаторе HG5. Коды для включения индикаторов поступают в порт PC микроконтроллера DD2. Для функционирования клавиатуры задействован вывод 19 (PD5) микроконтроллера DD2. Элементы шкального индикатора HG2 подключены к выводам порта PB микроконтроллера DD2.

Основные параметры датчика температуры K1019EM1

Параметры	Значение
Ток питания, mA	1
Диапазон допустимого тока питания, mA	0,5...1,5
Рабочий диапазон температур, °C	-45...125
Выходное напряжение при токе питания 1 mA, мВ:	
-45°C	2232...2332
25°C	2952...3012
125°C	3932...4032

Аналогичным образом выполнена динамическая индикация замка (транзисторы VT12 – VT16, сдвоенные семисегментные индикаторы HG6, HG7 и одинарный цифровой индикатор HG8).

После подачи питания на выводах 9 микроконтроллеров через цепи R6C3 и R8C6 формируются сигналы системного аппаратного сброса. На дисплее замка появляется код 0000. Элемент № 1 индикатора HG1 включен; индикатор HG8 отображает символ «3».

Пьезоэлектрический излучатель ВА1 включается с вывода 4 микроконтроллера DD1. Канал управления нагрузкой собран на базе твердотельного реле U1, которое управляется с вывода 5 (PB4) микроконтроллера DD2. Неоновая лампа Н1 позволяет визуально контролировать состояние нагрузки, подключенной к соединителю Х3.

Измерение температуры реализовано с помощью микросхем термодатчиков K1019EM1, которые имеют линейную зависимость выходного напряжения от температуры. В таблице приведены основные технические характеристики датчиков.

Канал измерения температуры № 1 собран на микросхеме DA1. Чтобы полностью реализовать возможности данной ИС, она питается от генератора тока (VT6, VT7), который обеспечивает $I_{пит} = 1$ mA. Ток устанавливается подбором номинала резистора R23. Начальное значение сопротивления (в килоомах) можно рассчитать по формуле $R = U_{пит} - 1,7$ (В). Выходное напряжение с DA1 поступает на вывод 40 (PA0) микроконтроллера DD2 (вход АЦП канала № 1). Каналы измерения температуры № 2 и № 3 работают аналогичным образом; выходные напряжения поступают на выводы 39 (PA1) и 38 (PA2) микроконтроллера DD2. Датчики температуры DA2, DA3 подключаются к плате через соединители Х4 и Х6 соответственно. Источник внешнего

опорного напряжения выполнен на микросхеме DA4 KP142EN19. Опорное напряжение устанавливается при помощи R56.

Десятиразрядный АЦП, встроенный в микроконтроллер ATMEGA8535, позволяет считывать входные напряжения, находящиеся в диапазоне от 0 до уровня напряжения опорного источника, и может работать как с внешним, так и с внутренним (2,56 В) источником опорного напряжения. Значение выходного кода АЦП соответствует формуле:

$$A = (U_{вх}/U_{ref}) \times 2^N, \quad (1)$$

где A – величина напряжения в двоичном коде; $U_{вх}$ – напряжение на входе АЦП; U_{ref} – напряжение источника опорного напряжения; N – разрядность АЦП.

Для более полного использования измеряемого температурного диапазона, упрощения формулы согласования рабочего диапазона и двоичного числа с выхода АЦП и исключения процедуры калибровки каналов измерения температуры использован внешний опорный источник с напряжением 4 В, которое соответствует выходному напряжению датчика при температуре 125°C.

Для согласования рабочего диапазона температур и двоичного числа с выхода АЦП в программу заложена формула:

$$Y = 0,5X - 366,$$

где X – двоичное десятиразрядное число, поступающее с АЦП.

Следует отметить, что термодатчики K1019EM1 – довольно инерционные. Поэтому на дисплей по каждому каналу измерения выводится текущий отсчёт АЦП без накопления и усреднения, что упрощает программу.

Программное обеспечение замка и термометра было разработано в среде AVR Studio. В программе замка используются два прерывания: Reset и прерывание таймера T0, обработчик которого начинается с метки TIM0. При переходе на метку Reset инициализируются стек, таймер, порты, а также флаги и переменные, используемые в программе. Таймер T0 генерирует прерывания по переполнению (в регистре TMSK установлен бит TOIE0). Коэффициент предварительного деления тактовой частоты таймера установлен рав-

ным 64 (в регистр TCCR0 записано число 3).

В основной программе осуществляется включение элементов индикатора HG1. Обработчик прерывания таймера T0 выполняет процедуру опроса кнопок S1 – S8, обслуживает динамическую индикацию, запись секретного кода в ЭСППЗУ, чтение секретного кода из ЭСППЗУ, перекодировку двоичного числа в код для отображения информации на индикаторах устройства, а также формирует временной интервал 5 с, необходимый для включения соленоида.

В ОЗУ микроконтроллера с адреса \$61 по адрес \$70 организован буфер отображения для динамической индикации. Ниже приведено распределение адресного пространства в ОЗУ микроконтроллера:

- RAM = \$60 – адрес начала ОЗУ микроконтроллера;
- \$61 – \$64 – адреса, где хранится код для открывания замка и символ «3». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме № 1 (буфер № 1);
- \$66 – \$69 – адреса, где хранится код, считываемый из ЭСППЗУ, и символ «3». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме № 3 (буфер № 2);
- \$6C – \$70 – адреса, где хранятся символы «←» при скрытом наборе кода и символ «3»; эти адреса выводятся на индикацию в режиме № 1 (буфер № 3).

Флаги, задействованные в программе, находятся в регистрах R19 (flo) и R25 (flo1). Разработанная на ассемблере программа занимает порядка 1200 байт памяти программ.

Программа для термометра является более сложной. В ней используются три прерывания: Reset, прерывание таймера T0, обработчик которого начинается с метки TIM0_OVF, и прерывание АЦП, обработчик которого начинается с метки ADCC. При переходе на метку Reset инициализируются стек, таймер, порты, регистры одной секунды и одной минуты, а также флаги и переменные, используемые в программе. Формирование точных временных интервалов длительностью 1 с осуществляется с помощью прерываний от таймера T0 и счётчиков на регистрах R20 (sek1) и R21 (min1). В основной программе происходит счёт текущего времени, инкремент и декремент устанавливаемого времени таймера и включение звукового сигнала.

В обработчике прерывания таймера T0 происходит счёт одной секунды, счёт одной минуты, опрос клавиатуры, функционирование динамической индикации, инициализация трёх каналов АЦП, перекодировка двоичного числа значений времени в код для отображения информации на индикаторах, блок периодического включения точки h индикатора HG3.2 в режиме «таймер».

После запуска АЦП, микроконтроллер DD2 переводится в ждущий режим (Idle) командой sleep. Из ждущего режима микроконтроллер DD1 выводится прерыванием АЦП. В обработчике прерывания АЦП очищается содержимое регистра управления АЦП, что останавливает его работу и запрещает прерывания. В ОЗУ микроконтроллера с адреса \$60 по \$73 организован буфер отображения для динамической индикации. Разработанная на ассемблере программа занимает порядка 3800 байт памяти программ микроконтроллера.

Ниже приведено распределение адресного пространства в ОЗУ микроконтроллера:

- RAM = \$60 – начальный адрес ОЗУ микроконтроллера;
- \$60 – \$64 – адреса, где хранится текущее значение времени таймера в минутах. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «таймер»;
- \$65 – \$69 – адреса, где хранится измененное значение температуры для канала № 1 и символ «°C». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «температура 1»;
- \$6A – \$6E – адреса, где хранится измененное значение температуры для канала № 2 и символ «°C». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «температура 2»;
- \$6F – \$73 – адреса, где хранится измененное значение температуры для канала № 3 и символ «°C». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «температура 3»;
- RAM + \$40 – адреса, где хранится результат преобразования АЦП для канала № 1;
- RAM + \$45 – адреса, где хранится результат преобразования АЦП для канала № 2;
- RAM + \$49 – адреса, где хранится результат преобразования по формуле (1) для канала № 1.
- RAM + \$4E – адреса, где хранится результат преобразования по формуле (1) для канала № 2;

- RAM + \$50 – адреса, где хранится результат преобразования АЦП для канала № 3;
- RAM + \$55 – адреса, где хранится результат преобразования по формуле (1) для канала № 3.

При инициализации, во все разряды портов микроконтроллера DD1 записываются лог. 1. Твердотельное реле U1 разомкнуто, нагрузка отключена. Нагрузка подключается к устройству через соединитель X3 типа MPW-2 (ответная часть розетки MNU-2). Цепь управления соленоида подключается к соединителю X1. Питающее напряжение +5 В поступает на плату устройства через соединитель X7. Сетевое напряжение подаётся с соединителя X2 через предохранители FU1, FU2 (ВП1-2, 10 А/250 В). Номинальное значение тока предохранителей определяется нагрузкой.

Параметры твердотельного реле S202T02: максимальный ток нагрузки 2 А, управляющий ток 8 мА; напряжение изоляции 3000 В. Для включения более мощной нагрузки можно использовать реле типа PF480D25.

На дисплее термометра выделен разряд, отображающий символ «°C» (индикатор HG5) на фоне остальных разрядов интерфейса; на дисплее замка выделен разряд, отображающий символы «3» и «0» (индикатор HG8). Поэтому для данных разрядов выбран семи-сегментный индикатор красного цвета HDSP-F501. Индикаторы HG3, HG4, HG6, HG7 типа DA56-11GWA зелёного цвета; SA1 – галетный переключатель типа ПГ2 – 21 – 2П4НВК. Тумблер SA2 типа МТД3.

После подачи питания на устройство, для настройки термометра необходимо, вращая движок переменного резистора R56, установить опорное напряжение на выводе 32 микроконтроллера DD2, равное $4 \pm 0,1$ В. Замок не требует настройки и наладки.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.atmel.com>.
2. Бродин В.В., Шагури И.И. Микроконтроллеры: Архитектура, программирование, интерфейс. ЭКОМ, 1999.
3. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. Додека-XXI, 2006.
4. Белов А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах. Наука и техника, 2007.

