

# АЦП на микроконтроллере ATMEGA8535 с системой бесперебойного питания

Сергей Шишкин (Нижегородская обл.)

**В статье описан четырёхканальный АЦП с системой бесперебойного питания. При отсутствии внешнего питающего напряжения система бесперебойного питания автоматически начинает работать от встроенной аккумуляторной батареи. Подробно поясняется алгоритм работы устройства, его схемотехника и программное обеспечение.**

В некоторых аппаратах и устройствах, где есть каналы измерений различных физических величин, в случае пропадания внешнего сетевого напряжения необходимо обеспечить работу АЦП (как, впрочем, и остальных функциональных узлов) в течение определённого периода времени. Например, в медицинском инфузионном насосе, предназначенном для введения жидких лекарственных сред, в случае пропадания сетевого напряжения для завершения и остановки процедуры необходимо обеспечить работоспособность насоса в течение 20 мин. При этом функциональные узлы вышеуказанного насоса, в том числе и АЦП, должны функционировать непрерывно и бесперебойно.

Структурная схема разработанного устройства приведена на рисунке 1. Оно содержит два независимых функциональных узла. Это – система бесперебойного питания (далее по тексту плата питания) АВ1 и плата АЦП АВ2. Плата питания должна обеспечивать электропитание платы АЦП от входного питающего напряжением  $16,5 \text{ В} \pm 5\%$  и от аккумуляторной батареи в режиме автономного электропитания. При кратковременном пропадании сетевого напряжения плата питания должна без сбоев для нагрузки перейти в режим автономного электропитания.

Время непрерывной работы платы АЦП в режиме автономного электропитания при полностью заряженной аккумуляторной батарее должно быть не менее 15 ч. Время полного заряда аккумуляторной батареи – не более 16 ч. Потребляемая мощность платы АЦП – не более 1 ВА. Количество входных каналов измеряемого напряжения – 4. Количество разрядов на дисплее платы АЦП – 4. Диапазон входного измеряемого напряжения по каждому каналу  $0...4,1 \text{ В}$ .

В состав платы питания АВ1 (см. рис. 1) входят: стабилизатор тока АВ1.1 для зарядки аккумуляторной батареи; модуль питания АВ1.2 (преобразователь DC/DC); узел контроля и управления АВ1.3. Индикаторы HL1, HL2 позволяют визуально контролировать режим работы платы питания. Выносные элементы по отношению к плате питания АВ1 имеют следующее назначение:

- HL1 – индикатор наличия сетевого напряжения (зелёного цвета свечения);
- HL2 – индикатор состояния заряда аккумуляторной батареи (жёлтого цвета свечения);
- G1 – аккумуляторная батарея;
- S1 – выключатель питания.

Входное постоянное напряжение  $U_1$  (см. рис. 1) поступает на вход устройства с сетевого модуля питания А1

АС/DC. Рассмотрим алгоритм работы платы питания, а также состояние индикаторов.

При наличии входного питающего напряжения  $U_1$ , включенном питании (выключатель S1 находится в положении « $\odot$ ») и подключенной не полностью заряженной аккумуляторной батарее: HL1 – постоянно включен; HL2 – периодически включается и выключается (мигает). Если батарея зарядилась, HL2 выключается.

В режиме автономного электропитания (сетевое напряжение отсутствует), при включенном выключателе S1: HL1 – выключен; HL2 – включен;

Учитывая мощность, потребляемую устройством, и время работы в режиме автономного электропитания, а также выходное напряжение сетевого модуля питания, выбираем аккумуляторную батарею из девяти последовательно включенных никель-металлгидридных аккумуляторов типа GP180AАН. Ёмкость аккумуляторной батареи взята с более чем 20%-запасом. Номинальное напряжение каждого аккумулятора – 1,2 В, ёмкость – 1800 мАч. Время зарядки током  $0,1 \text{ С}$  – 16 ч. Суммарное напряжение батареи из девяти аккумуляторов может находиться в диапазоне от 9 В ( $9 \times 1 \text{ В}$  – предельно допустимое напряжение при разряде батареи) до 12,6 В ( $9 \times 1,45 \text{ В}$  – предельное напряжение в режиме заряда батареи).

Входное напряжение источника питания, используемого для зарядки аккумуляторной батареи (стабилизатор тока на рис. 1), следует выбирать с запасом, примерно равным напряжению на батарее в режиме заряда плюс паде-

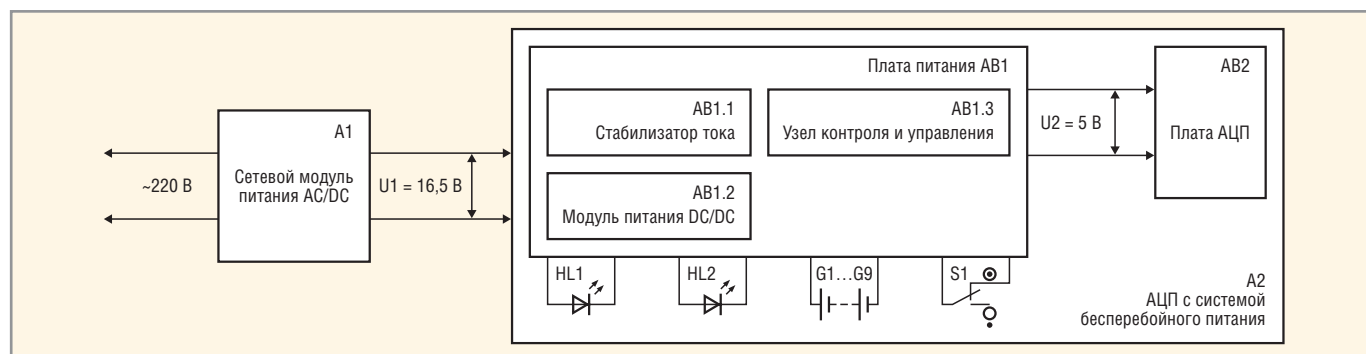


Рис. 1. Структурная схема устройства

ние напряжения на стабилизаторе тока, необходимое для его устойчивой работы (2...2,5 В). Поэтому выходное напряжение сетевого модуля U1 должно быть равным 16,5 В. Получить вышеуказанное напряжение питания U1 можно, например, с сетевого модуля питания A1 AC/DC типа NFS40-7915 фирмы Artesyn Technologies с диапазоном регулировки выходного напряжения  $\pm 10\%$ .

Необходимо отметить, что при работе в режиме автономного электропитания следует не допускать полного разряда аккумуляторной батареи. Поскольку в устройстве не предусмотрено никакой автоматики по отключению аккумуляторной батареи при достижении минимально допустимого уровня разряда, целесообразно отключить аккумуляторную батарею после 15 ч работы устройства.

Аналого-цифровой преобразователь и система питания конструктивно выполнены на отдельных печатных платах. Их принципиальные схемы представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Плата АЦП разработана на базе микроконтроллера ATMEGA8535-16PI. Де-

сятиразрядный АЦП, встроены в микроконтроллер ATMEGA8535, позволяет производить преобразования напряжения от нуля до уровня опорного источника. АЦП микроконтроллера может работать как с внешним, так и с внутренним источником опорного напряжения. Напряжение внутреннего источника опорного напряжения равно 2,56 В. На плате задействован внешний источник опорного напряжения. Значение выходного кода АЦП находится по формуле:

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

где  $A$  – величина напряжения в двоичном коде;  $U_{\text{вх}}$  – напряжение на входе АЦП;  $U_{\text{ref}}$  – напряжение источника опорного напряжения;  $N$  – разрядность АЦП. Значение результата работы АЦП может быть представлено как в 8-разрядном, так и в 10-разрядном коде. Разрядность выхода АЦП определяется состоянием битов REFS1, REFS0 в регистре ADMUX.

Результат преобразования при 10-разрядном режиме работы представлен двумя байтами, которые сохраняются в регистрах ADCH и ADLH АЦП микро-

контроллера. Если опорное напряжение равно 4,1 В, то для индирования на дисплее устройства измеряемого по каждому каналу АЦП напряжения необходимо полученное значение АЦП (двухбайтовое двоичное число) умножить на четыре и с помощью подпрограммы перекодировки получить четырёхразрядное десятичное число.

Таким образом, для согласования рабочего диапазона измеряемого напряжения и двоичного числа с выходом АЦП по каждому каналу в программе необходимо заложить формулу:

$$Y = 4X, \quad (1)$$

где  $X$  – двоичное десятиразрядное число с выхода АЦП.

В интерфейс платы АЦП входят шкальный знакосинтезирующий индикатор HG1, блок индикации (дисплей) из цифровых семисегментных индикаторов HG2 – HG4 и кнопка S1. Плата АЦП имеет четыре независимых канала измерения. Кнопкой S1 (P) задаётся один из четырёх режимов работы: «канал № 1», «канал № 2», «канал № 3», «канал № 4».

Разряды индикации интерфейса имеют следующее назначение (слева направо):

- 1-й разряд (индикатор HG2.1) отображает единицы вольт во всех режимах;
- 2-й разряд (индикатор HG2.2) отображает десятые доли вольт во всех режимах;
- 3-й разряд (индикатор HG3.1) отображает сотые доли вольт во всех режимах;
- 4-й разряд (индикатор HG3.2) отображает тысячные доли вольт во всех режимах;
- 5-й разряд (индикатор HG4) отображает символ «В» (цифру 8) во всех режимах измерения.

Элемент № 1 индикатора HG1 включен при работе в режиме «канал № 1», элемент № 2 индикатора HG1 включен при работе в режиме «канал № 2», элемент № 3 – при работе в режиме «канал № 3» и, соответственно, элемент № 4 – при работе в режиме «канал № 4».

Рассмотрим функциональные узлы платы АЦП (см. рис. 2). Основой устройства служит микроконтроллер DD1, рабочая частота которого задается генератором с внешним резонатором ZQ1 на 11,0592 МГц. Порт PD микроконтроллера DD1 управляет кнопкой S1 и динамической индикацией. Динамическая индикация собрана на транзисторах VT1 – VT5 и сдвоенных семисегментных индикаторах HG2, HG3. Резисторы R7 – R14 – токоограничительные для сегментов индикаторов HG2, HG3. Коды для включения вышеуказанных индикаторов при функционировании динамической индикации поступают в порт PC микроконтроллера DD1. Для функционирования клавиатуры задействован вывод 19 (PD5) микроконтроллера DD1. Элементы шкального индикатора HG1 подключены к выводам порта PB микроконтроллера DD1.

Выходное напряжение с микросхемы DA1 (источник внешнего опорного напряжения) поступает на вывод 32 микроконтроллера DD1. Измеряемые значения входных напряжений поступают на выводы 40 (PA0), 39 (PA1), 38 (PA2) и 37 (PA3). Сразу после подачи питания на выводе 9 микроконтроллера DD1 через цепь R1C3 формируется сигнал системного аппаратного сброса. При инициализации во все разряды портов микроконтроллера DD1 записываются лог. 1. Плата АЦП гальванически развязана от сети. Питающее

напряжение +5 В поступает на плату АЦП с соединителя X1. Конденсатор C9 фильтрует пульсации в цепи питания +5 В. Блокировочный конденсатор C8 установлен в цепи питания микроконтроллера DD1.

Рассмотрим функциональные узлы принципиальной схемы платы питания (см. рис. 3). Вх – одно постоянное напряжение поступает на вх од платы питания через соединитель X1. Работой стабилизатора тока управляет узел, выполненный на компараторе DA1.1. Напряжение с аккумуляторной батареи через делитель R16, R17 поступает на инвертирующий вход компаратора (вывод 4 DA1.1). Образцовое напряжение формируется делителем R13, R15 и поступает на неинвертирующий вх од (вывод 5 DA1.1).

При не полностью заряженной аккумуляторной батареи значение напряжения на неинвертирующем входе компаратора больше, чем на инвертирующем входе. В этом случае на выходе компаратора присутствует напряжение высокого уровня. Транзистор VT2 открыт и не препятствует работе стабилизатора тока на транзисторе VT1. Идет процесс зарядки аккумуляторной батареи. Как только напряжение на инвертирующем входе компаратора превысит образцовое на неинвертирующем входе (батарея зарядилась), на выходе компаратора установится напряжение, близкое к нулю. Транзисторы VT1, VT2 закрываются. Зарядка аккумуляторной батареи прекращается.

Зарядка не полностью заряженной аккумуляторной батареи начинается сразу после подачи напряжения U1 (см. рис. 1) на соединитель X1 платы питания (после включения сетевой вилки сетевого модуля питания в розетку). При этом срабатывает реле K1 и контактами группы K1.1 (выводы 12, 13) подключает стабилизатор тока к аккумуляторной батарее. Входное напряжение через диод VD7 и контакты выключателя питания S1 поступает на вход модуля питания U1 (выводы 22, 23) типа МДМ5-1А5МУП. Основные параметры данного модуля питания можно найти на сайте компании-производителя [1].

При включенном выключателе S1 (S1 в положении «●») с модуля питания U1 выходное напряжение поступает на соединитель X3. Соединитель X3 (розетка) подключается к соединителю X1 (вилка) на плате АЦП. Напря-

жение с аккумуляторной батареи поступает на вход модуля питания U1 через диод VD6. При наличии вх одного напряжения 16,5 В на входе диод VD6 закрыт, и аккумуляторная батарея отключена от U1.

На компараторе DA1.3 выполнен генератор. Сигнал с генератора (меандр с постоянной составляющей) поступает на неинвертирующий вх од компаратора DA1.2 (вывод 9). Параметры сигнала генератора: период – 1,5 с, напряжение низкого уровня 2 В, напряжение высокого уровня 9 В. На инвертирующий вход DA1.2 (вывод 8) поступает напряжение с делителя R5, R6. Цепочка VD1 – VD3, R5, R6 при открытом транзисторе VT2 задает базовый ток транзистора VT1. К выводу компаратора DA1.2 (вывод 14) подключен анод индикатора HL2. Питающее напряжение 16,5 В поступает на выход компаратора через диод VD7 и резистор R10.

Когда идет зарядка аккумуляторной батареи, транзистор VT2 открыт. На выводе 8 DA1.2 присутствует напряжение порядка 7,6 В. Назовем этот уровень напряжения базовым. Сигнал высокого уровня с генератора превышает базовый уровень, потому вывод одной транзистор DA1.2 закрыт, индикатор HL2 включен. Если же базовый уровень выше уровня сигнала с генератора, HL1 выключен. При закрытом транзисторе VT2 (батарея заряжена) с делителя R5, R6 на вывод 8 DA1.2 поступает напряжение, примерно равное напряжению питания. Его уровень больше базового, поэтому выходной транзистор компаратора DA1.2 открыт, индикатор HL2 выключен. Пока идет зарядка батареи, HL2 периодически включается и выключается (мигает), при заряженной батарее HL2 выключен.

Конструктивно аккумуляторная батарея представляет собой упаковку U1 аккумуляторов G1 – G9, которые подключаются через розетку X1 (= U1 – X1 на рис. 3) к вилке X2 платы питания. В розетке X1 контакты 2 и 3 соединяются проводником. В вилке X2 платы питания контакт 3 устройства соединяется с эмиттером транзистора VT2. Если аккумуляторная батарея подключена к плате питания, то эмиттер VT2 соединен с общим проводом; тем самым разрешена работа стабилизатора тока. Если же аккумуляторная батарея не подключена к соединителю X2 платы питания, то эмиттер VT2 «висит в воздухе», и стабилизатор тока отключен. При

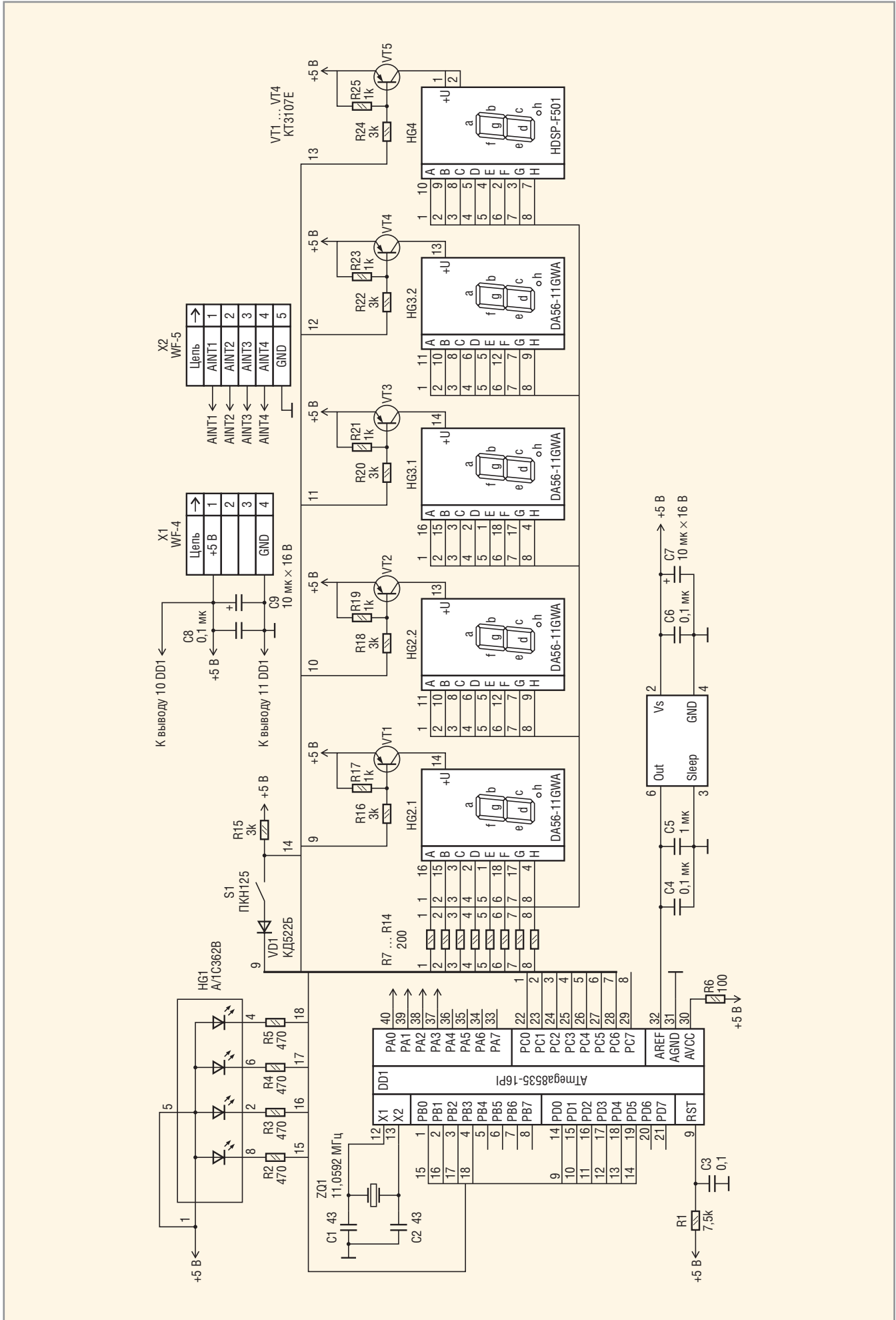


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема платы АЦП

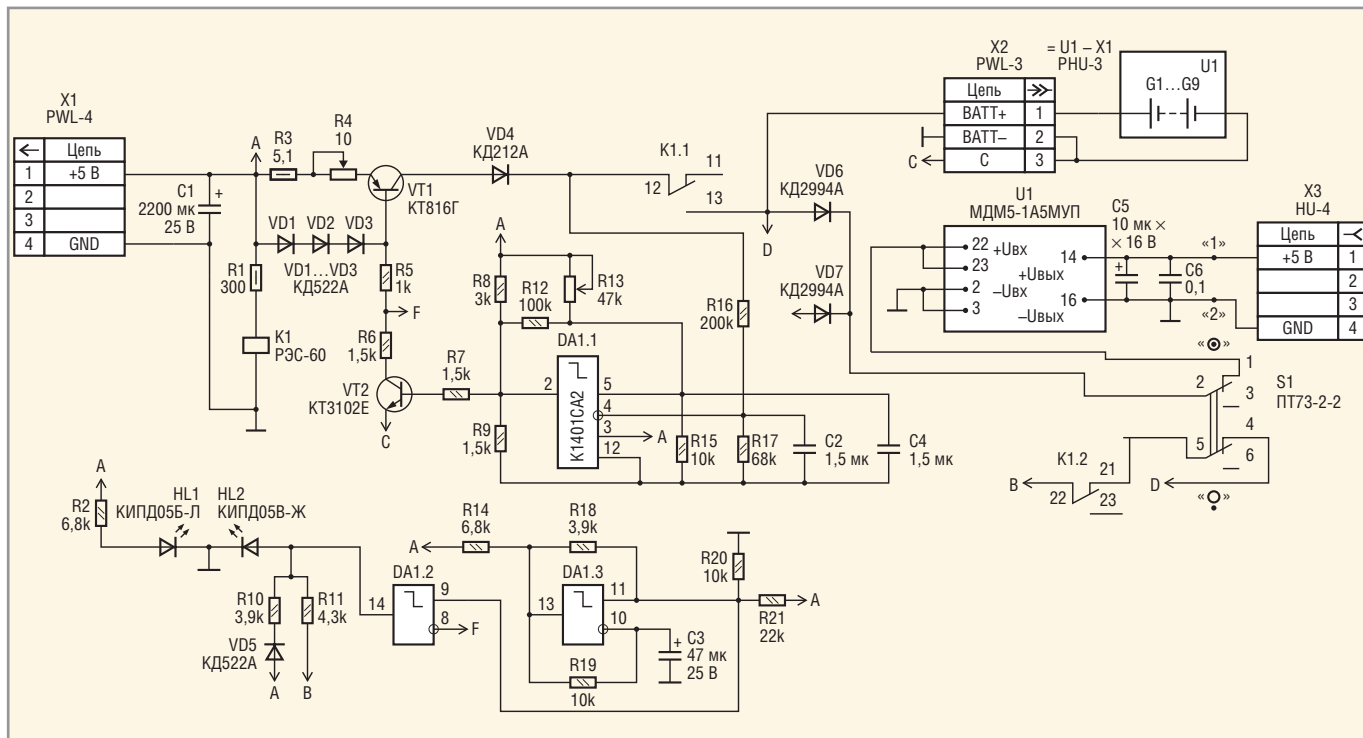


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема платы питания

наличии сетевого напряжения (вх одного питающего напряжения для платы питания) индикатор HL1 включен.

Рассмотрим теперь работу платы питания в режиме автономного электропитания. При отсутствии сетевого напряжения индикатор HL1 выключен. Реле K1 обесточено. Контакты 12, 13 группы K1.1 размыкаются, отключая стабилизатор тока от аккумуляторной батареи. При включенном выключателе S1 напряжение с батареи поступает через диод VD6 на вход модуля питания U1 (выводы 22, 23). Когда реле K1 обесточено, контакты 21, 22 группы K1.2 замыкаются, подключая ту часть схемы устройства, которая питается от батареи в режиме автономного электропитания. Индикатор HL2 включен.

Программное обеспечение микроконтроллера было разработано в среде AVR Studio и обеспечивает реализацию алгоритма работы измерения значений вх одних напряжений по трём независимым каналам. В программе 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, а также флаги и переменные, используемые в программе. Таймер T0 генерирует прерывания по переполнению (в регистре TIMSK установлен бит

ТОIE0). Коэффициент предварительного деления тактовой частоты таймера установлен равным 64 (в регистре TCCR0 записано число 3). В обработчике прерывания таймера T0 происходит опрос кнопки S1, функционирование динамической индикации, а также инициализация трёх каналов АЦП и перекодировка двоичного числа значений времени в код для отображения информации на семисегментных индикаторах устройства.

После запуска АЦП микроконтроллер DD1 переводится в режим Idle командой sleep. Из режима Idle микроконтроллер DD1 выводится прерыванием АЦП. В обработчике прерывания АЦП очищается содержимое регистра управления АЦП. Это вызывает прекращение работы АЦП и запрет прерываний АЦП.

В ОЗУ микроконтроллера с адреса \$60 по адрес \$73 организован буфер отображения для динамической индикации. Ниже приведено распределение адресного пространства в ОЗУ микроконтроллера:

- RAM = \$60 – адрес начала ОЗУ микроконтроллера;
- \$60 – \$64 – адреса, где хранится измененное значение напряжения для канала № 1 и символ «В». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «канал № 1»;
- \$65 – \$69 – адреса, где хранится измененное значение напряжения для ка-

нала № 2 и символ «В». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «канал № 2»;

- \$6A – \$6E – адреса, где хранится измененное значение напряжения для канала № 3 и символ «В». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «канал № 3»;
- \$6F – \$73 – адреса, где хранится измененное значение напряжения для канала № 4 и символ «В». Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «канал № 4»;
- RAM + \$35 – адреса, где хранится результат преобразования АЦП для канала № 4;
- RAM + \$37 – адреса, где хранится результат преобразования по формуле (1) для канала № 4;
- 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.

Разобравшись в программе, при желании можно довести количество измеряемых каналов на плате АЦП до восьми, задействовав все входы порта PA микроконтроллера DD1. В данном случае для определения задействованного канала в АЦП, целесообразно подключить к порту PB микроконтроллера DD1 ещё один индикатор АЛС362В. Фотография платы АЦП с цифровым мультиметром приведена на рисунке 4, где можно наблюдать измеренное значение напряжения по каналу № 3 на семисегментных индикаторах платы АЦП и дисплее мультиметра.

Плата АЦП и плата питания были смонтированы на отдельных макетных платах с размерами 100 × 120 мм. Применены резисторы типа С2-33Н, но подойдут любые другие с мощностью рассеивания и допуском 5%. Для платы питания АЦП использованы конденсаторы С1 – С6, С8 типа К10-17а, С7, С9 типа К50-35а. Конденсатор С8 устанавливается между цепью +5V и общим проводом микроконтроллера DD2.

В дисплее выделен разряд, индицирующий символ «В» (индикатор НГ4)

на фоне остальных разрядов интерфейса. Поэтому для данного разряда выбран семисегментный индикатор красного цвета типа HDSP-F501; индикаторы НГ2, НГ3 – зелёного цвета, типа DA56-11GWA. Подойдут любые другие индикаторы с общим анодом и приемлемой яркостью свечения, например отечественные типа АЛС321. Питательное напряжение +5 В поступает на плату АЦП через соединитель Х1. К данному соединителю (вилка) подключается соединитель Х3 (розетка) платы питания.

Для платы питания постоянные резисторы можно взять типа С2-23, С2-33Н или другие общего назначения соответствующей мощности. Переменные резисторы R4, R13 типа СП5-3-1 Вт. Конденсаторы С1, С3, С5 типа К50-38; С2, С4, С6 типа К10-17а.

Плата АЦП не требует настройки. Настройка платы питания сводится к установке зарядного тока аккумуляторной батареи резистором R4, а также значения напряжения зарядки батареи резистором R13. Если в процессе эксплуатации ток зарядки используемой батареи не изменяется, то для уменьшения количества наст-



Рис. 4. Плата АЦП с цифровым мультиметром

роек можно заменить резисторы R3, R4 на один прецизионный, например типа С2-29В, соответствующей мощности. Транзистор VT1 устанавливается на теплоотводе площадью не менее 20 см<sup>2</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.aeps-group.com>.
2. Бродин В.Б., Шагурин И.И. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс. ЭКОМ, 1999.
3. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. Додека-XXI, 2006.
4. Осипенко Ю. Автоматическое зарядное устройство для Ni-Cd аккумуляторных батарей. Радио. 2003. № 11.
5. Демнев М. и др. «Интеллектуальное» зарядное устройство. Радио. 2002. № 1. ©