

# КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРОВ АВТОНОМНОГО ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА

## MONITORING THE CHARGE LEVEL OF BATTERIES OF AUTONOMOUS DIGITAL DEVICE

**E. Grach**

*Summary.* The article discusses a hardware-software scheme for controlling (monitoring) the charge of lithium batteries of autonomous devices. An electrical circuit diagram is presented and its features are discussed. We consider software processing of the received data to convert the initial data supplied to the microcontroller ADC into actual battery voltage and residual charge.

*Keywords:* lithium batteries, telemetry, robotics, electronic circuitry.

**Грач Евгений Петрович**

кандидат физико-математических наук, ФГБОУ ВО  
«МИРЭА — Российский технологический университет»  
vader701@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается аппаратно-программная схема для контроля (мониторинга) заряда литиевых аккумуляторов автономных устройств. Приведена электрическая принципиальная схема, рассмотрены ее особенности. Рассматривается программная обработка полученных данных для пересчета исходных данных, поступающих на АЦП микроконтроллера, в реальное напряжение на аккумуляторах и остаточный заряд.

*Ключевые слова:* литиевые аккумуляторы, телеметрия, робототехника, схемотехника электронных средств.

### Введение

Контроль уровня заряда мобильных цифровых автономных устройств актуально не только для своевременной подзарядки или замены бортовых источников питания, но и для увеличения срока службы перезаряжаемых источников питания, таких как литиевые аккумуляторы. Как известно [1], у таких аккумуляторов есть строго ограниченный диапазон рабочих напряжений, выход за которые, с одной стороны, сокращает жизненный цикл источника питания, с другой — приводит к химической деградации, снижению мощности и токоотдачи. Все именитые производители, поставляющие литий-полимерные и литий-ионные аккумуляторы хотя бы с минимальной технической документацией, например [2] напрямую запрещают перезаряд и переразряд аккумуляторов. И если вопрос перезаряда решается применением специальных зарядных устройств, например [3], то контроль нижнего допустимого порога напряжения является актуальной задачей, особенно в свете современных возможностей удаленного управления и/или контроля основных технических параметров робота [4]. На практике описанная система так же позволяет отслеживать полный выход аккумулятора из строя. Габариты некоторых устройств ограничены, и не всегда есть возможность поставить аккумулятор большей емкости, чтобы обеспечить технический запас по максимальной токоотдаче.

### Схемотехнические аспекты метода решения

Рассматриваемое устройство питается от четырех литий-полимерных аккумуляторов под управлением

основного микроконтроллера ATmega2560 и дополнительного ESP8266 для передачи телеметрии, в том числе заряда батарей. Более подробно схема описана в [4].

На рисунке 1 представлена электрическая схема контроля заряда аккумуляторов.

Для снятия показаний напряжения используется встроенный в ATmega2560 10-битный АЦП. Первый канал читает показания первого аккумулятора (1S), второй канал считывает напряжение с первых двух аккумуляторов, поэтому чтобы не превысить максимальное входное напряжение АЦП ATmega2560, необходимо поставить делитель напряжения R10-R11. Делитель рассчитан таким образом, чтобы при максимальном заряде первых двух аккумуляторов (4.2 В + 4.2 В) не превысить максимальный верхний порог АЦП. Аналогично второму, подключается третий и четвертый аккумуляторы с соответствующими делителями напряжения. Таким образом, при чтении данных получатся некоторые значения в диапазоне от 0 до 5В, обработка которых будет происходить уже в микроконтроллере. Полевые транзисторы IRLML5103 (Q5-Q8) необходимы для исключения утечек тока через делители (2S-4S) и первый канал АЦП микроконтроллера. Если не отсечь первый канал АЦП, утечки приведут к сильному нагреву микроконтроллера в выключенном состоянии, вплоть до выхода из строя всего микроконтроллера или отдельного входа АЦП. Полевые транзисторы управляются биполярными (Q1-Q4), которые в свою очередь, подключены к цифровому выходу микроконтроллера, причем все четыре — к одному условному выходу Digital output1. Таким образом полевые транзисторы (Q5-Q8) открываются (а значит и данные

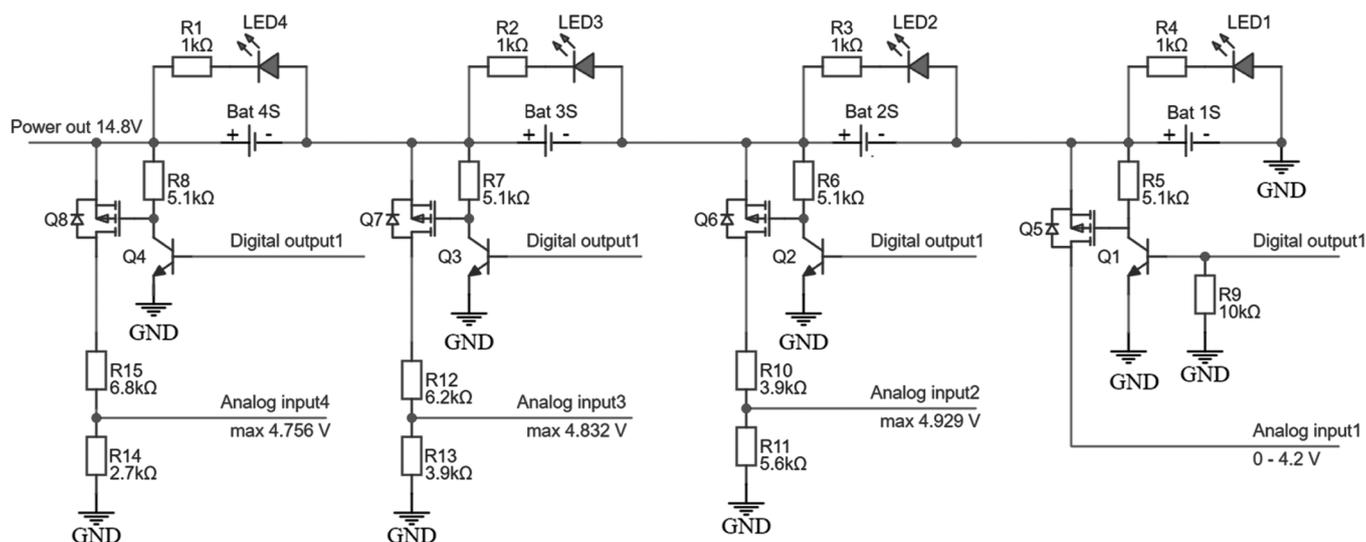


Рис. 1. Электрическая схема контроля заряда. Используются полевые транзисторы IRLML5103.

Все четыре биполярных транзистора подключаются к цифровому выходу микроконтроллера ATmega2560.

на вход АЦП поступают) только в момент перевода цифрового выхода Digital output1 в высокое логическое состояние. На практике, снимать показания с аккумуляторов не нужно чаще, чем раз в 5–10 секунд, поэтому для исключения все тех же утечек, транзисторы открываются по мере необходимости, считываются поступающие на АЦП показания и транзисторы снова закрываются до следующего опроса. Дальнейшая обработка показаний до близких к реальным напряжениям на аккумуляторах ведется программно. Для большей точности (если она необходима), имеет смысл использовать 1 % резисторы в делителях и посредством замера точного сопротивления использовать измеренные величины сопротивлений в дальнейшем.

Светодиоды LED1-LED4 совместно с токоограничивающими резисторами R1-R4 стоят в обратной полярности относительно аккумуляторов. Светодиоды загорятся в случае инвертирования полярности аккумулятора, либо, что на практике гораздо более полезно, в случае полного выхода аккумулятора из строя (когда аккумулятор «пробивает»).

### Программные аспекты метода решения

В данном разделе описан программный метод перевода прочтенных АЦП микроконтроллера показаний в понятный и привычный вольтаж литий-полимерных аккумуляторов, а также предлагается метод оценки остаточного уровня заряда на всех аккумуляторах устройства.

Фрагмент исходного кода для чтения исходных данных приведен в листинге 1.

### Листинг 1. Чтение исходных данных

```
digitalWrite(BATTERY_TEST_PIN, HIGH);
int batt_1s = analogRead(BATTERY_1S);
int batt_2s = analogRead(BATTERY_2S);
int batt_3s = analogRead(BATTERY_3S);
int batt_4s = analogRead(BATTERY_4S);
digitalWrite(BATTERY_TEST_PIN, LOW);
double R2_up = 3.91;
double R2_down = 5.62;
double R3_up = 6.21;
double R3_down = 3.93;
double R4_up = 6.8;
double R4_down = 2.71;
```

На этом этапе открываются полевые транзисторы, отделяющие аккумуляторные батареи от прямого воздействия на вход АЦП микроконтроллера и утечек тока через делители напряжения. После чтения значений, поступающих на вход четырех каналов АЦП, транзисторы, подключенные к выходу BATTERY\_TEST\_PIN закрываются. Так же, как было указано, для большей точности измерены доступными методами более точные значения сопротивлений на делителях напряжения и записаны в соответствующие переменные.

Показания с первого канала (BATTERY\_1S) соответствуют напряжению первого аккумулятора (1S), которое можно интерпретировать сразу, переведя из единиц АЦП в вольты без дополнительной обработки. Остальные же каналы показывают не напряжение на соответствующем аккумуляторе, а сумму напряжений текущего и всех предыдущих, причем делителями приведенное к значению ниже 5 В. Обработка таких показаний приведена в листинге 2.

Листинг 2. Обработка полученных данных

```
double del_2S = R2_down/(R2_up+R2_down);
double del_3S = R3_down/(R3_up+R3_down);
double del_4S = R4_down/(R4_up+R4_down);
double Vin_1S = batt_1s * 4.97 / 1024;
double Vbat_2S = batt_2s * 4.97 / 1024;
double Vin_2S = Vbat_2S / del_2S;
double Vbat_3S = batt_3s * 4.97 / 1024;
double Vin_3S = Vbat_3S / del_3S;
double Vbat_4S = batt_4s * 4.97 / 1024;
double Vin_4S = Vbat_4S / del_4S;

V1 = Vin_1S;
V2 = Vin_2S-Vin_1S;
V3 = Vin_3S-Vin_2S;
V4 = Vin_4S-Vin_3S;
```

В первых трех строчках производится расчет коэффициентов делителей напряжения, которые потребуются в дальнейшем. Как и было сказано, первый канал АЦП можно сразу переводить из единиц АЦП (который имеет разрядность 10 бит, поэтому максимальное прочтенное значение — 1023) в напряжение. Поправочный коэффициент 4.97 В получен при калибровке с помощью внешних измерителей напряжения и используется на всех четырех каналах АЦП. По-видимому, он связан с неучтенными потерями, например за счет внутреннего сопротивления полевых транзисторов, либо с недостаточно прецизионном стабилизаторе напряжения, используемым для питания микроконтроллера ATmega2560. Полученное значение и будет напряжение на аккумуляторе 1S.

Расчет напряжения на остальных аккумуляторах производится в три действия. Первое — перевод из единиц

АЦП в напряжение на входе АЦП (от 0 до 5 В). Второе — учет коэффициента делителя напряжения. На этом этапе уже образуются суммы напряжений текущего аккумулятора и всех предыдущих (8.4 В, 12.6 В, 16.8 В). И третий этап — вычет напряжения предыдущих аккумуляторов (последние 4 строчки листинга).

В дальнейшем рассматривается перевод напряжения аккумулятора в процент остаточного заряда. Как известно [1,2], литиевые аккумуляторы имеют нелинейную разрядно-зарядную характеристику, причем эта характеристика не просто своя у каждого производителя, она может различаться у двух типов аккумуляторов одного производителя. Прежде чем эту зарядно-разрядную характеристику использовать, ее необходимо снять хотя бы в рамках одной ячейки многобаночного аккумулятора или одного аккумулятора конкретной модели. Для этого удобно использовать профессиональное зарядное устройство с подключением к компьютеру, такое как [3]. Пример снятой характеристика аккумулятора приведен на рисунке 2.

Полученную таблицу пар значений «напряжение-процент заряда» необходимо переместить в исходный код программы управления. Приведенный в листинге 3 пример исходного кода наиболее примитивный, но рабочий.

**Результат**

Из полученных данных остаточного заряда всех применяющихся на устройстве аккумуляторов выбирается минимальное значение, которое микроконтроллером пересылается на внешнюю индикацию автономного устройства (ЖК-дисплей), либо посредством беспровод-

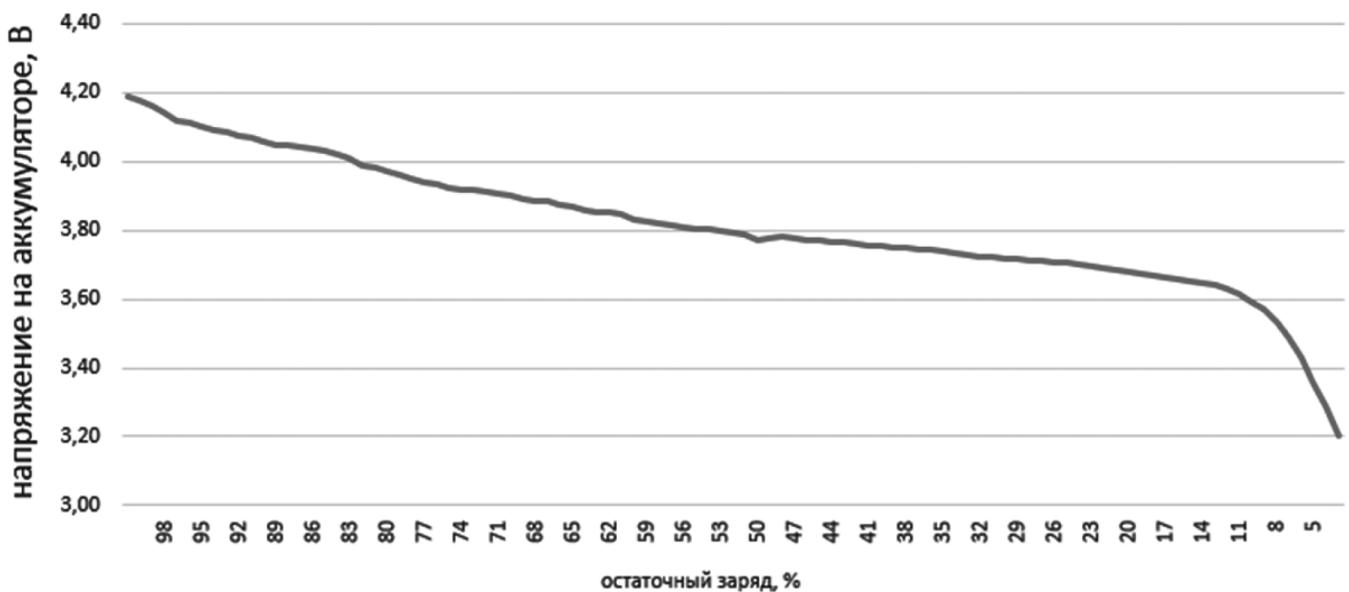


Рис. 2. Зарядная характеристика аккумулятора

Листинг 3. Фрагмент начала и конца функции перевода напряжения на аккумуляторе в процент остаточного заряда по таблице на рис. 2.

```
if(Vin >= 4.2) return 100;
else if(Vin >=4.19) return 99;
else if(Vin >=4.175) return 98;
else if(Vin >=4.16) return 97;
<...>
else if(Vin >=3.36) return 3;
else if(Vin >=3.29) return 2;
else if(Vin >=3.2) return 1;
else return 0;
```

ной связи на внешнее устройства контроля/управления. Подробнее об этом рассказано в [4].

## Выводы

Приведенная аппаратно-программная схема не обладает повышенной прецизионностью для оценки точного процента заряда аккумулятора. Очень многое зависит от текущего состояния аккумулятора, его времени и условий эксплуатации, количества циклов заряда-разряда, качества используемых электронных компонентов. К сожалению, такова технология литиевых аккумуляторов. Однако предложенная схема очень проста и дешева схемотехнически и не требует больших вычислительных мощностей на стороне микроконтроллера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion pouch cells» Cannarella, John, Arnold, Craig B. — Journal of Power Sources, Volume 245, p. 745–751, 2014
2. «Li-Polymer battery datasheet», MIKROELEKTRONIKA, <https://www.farnell.com/datasheets/2369105.pdf>, 2013
3. «iMAX B6 V2 Instruction Manual V1.0», SkyRC, [https://www.skyrc.com/download/B6\\_V2\\_Instruction\\_Manual\\_EN\\_V1.0.pdf](https://www.skyrc.com/download/B6_V2_Instruction_Manual_EN_V1.0.pdf), 2019
4. Грач Е.П. Аппаратно-программные аспекты организации передачи телеметрии мобильных цифровых автономных устройств // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. №4, 2023, с. 51–57

© Грач Евгений Петрович (vader701@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»