

**ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ**

*УДК 53.07*

**БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ПОЭЛЕМЕНТНЫМ КОНТРОЛЕМ  
НАПРЯЖЕНИЙ НА ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ  
БАТАРЕЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОСМИЧЕСКИХ  
ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

© 2023 г. Д. В. Лисин

Поступила в редакцию 24.05.2023 г.

После доработки 24.05.2023 г.

Принята к публикации 26.07.2023 г.

Использование литий-ионных аккумуляторных батарей в научной аппаратуре, предназначенной для работы в ближнем и дальнем космосе, является достаточно многообещающим направлением, которое наталкивается на ряд сложностей [1]. В ходе реализации ряда программ создания экспериментальной аппаратуры для проведения космических экспериментов, в том числе систем электроснабжения малых космических аппаратов научного назначения, в ИЗМИРАНе разработан компактный блок управления многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареей, предназначенный для монтажа внутри корпуса батареи и эксплуатации в условиях открытого космического пространства.

Для оптимального использования потенциала литий-ионной аккумуляторной батареи необходимо обеспечить контроль напряжения на каждом ее элементе, которое составляет приблизительно 3.6 В для батарей с оксидным катодом или 3.2 В для батарей с катодом на базе литированного фосфата железа. Это напряжение должно быть измерено с абсолютной погрешностью порядка 10 мВ.

Типичное количество элементов аккумуляторной батареи на космическом аппарате 8 штук, таким образом, необходимо иметь 8 каналов измерения подобных напряжений при общем потенциале на положительной клемме батареи порядка 28 В.

Система управления должна проводить непрерывное измерение напряжений на элементах батареи и выполнять следующие действия:

- принимать решение об ограничении зарядного тока при локальном или общем перезаряде батареи;
- принимать решение об аварийном отключении и последующем включении нагрузки при угрозе переполюсовки одного из элементов вследствие его переразряда;
- принимать решение о включении и выключении системы выравнивания зарядов отдельных элементов (электронного нивелира);
- измерять температуры элементов батареи и передавать все необходимые контрольные параметры в телеметрическую систему космического аппарата по одному из стандартных цифровых интерфейсов.

Разработанный в ИЗМИРАНе блок управления поэлементным контролем представляет собой электронный модуль, встраиваемый непосредственно в корпус аккумуляторной батареи и подключаемый к выводам каждого ее элемента. Питание блок получает от самой батареи, при этом решены вопросы организации режима хранения батареи, в котором величина тока потребления блока находится на уровне величины тока саморазряда. В состав системы управления батареей должен входить электронный нивелир, обеспечивающий периодическое выравнивание заряда между всеми её элементами. Управление этим нивелиром осуществляется логическим выходом, который включает его на заданное время при превышении величины разбаланса поэлементных напряжений выше установленного порогового значения. Этот выход управления представляет открытый сток *n*-канального полевого транзистора с изолированным затвором (максимальное напряжение стока 55В), общий провод – отрицательный полюс аккумуляторной батареи.

В разработанном варианте блок имеет стандартный цифровой выход на мультиплексный канал информационного обмена по ГОСТ Р 52070, на который выводится вся телеметрия системы и производится настройка уставок алгоритмов управления. Блок имеет 4 входа для подключения аналоговых датчиков тока: ток заряда, ток разряда батареи №1, ток разряда батареи №2 (для систем с резервированием) и тока нагрузки, а также 8 логических выводов для управления включением/отключением секций фотоэлектрических батарей космического аппарата, чем обеспечивается регулирование тока заряда. Параметры аналоговых входов:

- измеряемый диапазон напряжений 0.5 В,
- входное сопротивление не менее 100 кОм,
- разрядность преобразования входного сигнала 10 бит,

- частота среза входного аналогового фильтра 10 Гц.

Управление секциями проводится открытым стоком n-канального МОП-транзистора (максимальное напряжение стока 55В), общий провод – отрицательный полюс аккумуляторной батареи.

Плата управления выполнена на базе отечественного микроконтроллера 1886BE2У, остальная элементная база – преимущественно российского и белорусского производства из соответствующих ограничительных перечней элементной базы, предназначенной для применения в условиях космического пространства.

Входы блока представляют собой 16 специально разработанных транзисторных ключей, по 8 штук для каждой из батареи, основной и резервной. Каждый ключ обеспечивает отсутствие тока утечки в режиме хранения устройства и калиброванный коэффициент деления напряжения с использованием прецизионных малошумящих резисторов типа Р1-8МП точности  $\pm 0.5\%$  класса Г, изготавливаемые по ОЖ0. 467. 164 ТУ производства АО "НПО "Эркон" (г. Нижний Новгород). Применение подобных делителей напряжения позволяет осуществить прямое преобразование уровня напряжения на соответствующем сегменте батареи к диапазону изменения входного аналого-цифрового преобразователя 0.5 В и получить напряжение на элементе батареи путем математического вычитания уровней напряжения на выводах этого элемента без применения аналоговых дифференциальных усилителей.

Вычитание и математическая обработка полученных данных осуществляется с помощью микроэвм на базе микроконтроллера 1886BE2У по одному контроллеру на каждую батарею.

Интерфейс с бортовой телеметрической системой по стандарту ГОСТ Р 52070 обеспечивается большой интегральной схемой 1879ВА1Т производства АО НТЦ "Модуль" (Москва) и выполнен с применением импульсных линейных трансформаторов ТИЛ-5В производства ПАО "Мстатор" (г. Боровичи).

Блок управления обеспечивает отработку описанных выше алгоритмов управления литий-ионной аккумуляторной батареей в автоматическом режиме, позволяя преодолеть описанные в [1] сложности и, таким образом, успешно применять эти батареи в составе современных комплексов экспериментальной научной аппаратуры в открытом космосе.

Габариты встраиваемой платы  $90 \times 65 \text{ мм}^2$ , толщина в сборе 14.1мм, максимальная высота компонентов на нижней стороне платы 3мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лисин Д.В.* Контроль поэлементных напряжений на литий-ионной аккумуляторной батарее на борту космического аппарата // Силовая электроника. 2021. №4(91). С. 62.  
<https://power-e.ru/hit/kontrol-poelementnyh-napryazhenij/?ysclid=ll3tmj7byk866269891>

*Адрес для справок: Россия, 108840, Москва, г.Троицк, Калужское ш., 4, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук. E-mail: [lisindv@izmiran.ru](mailto:lisindv@izmiran.ru)*