

УДК 621.3.084

© Д. В. Лисин, 2019

ЭФФЕКТ САМОПОДПИТКИ КЛЮЧЕЙ В СХЕМЕ ПОЭЛЕМЕНТНОГО КОНТРОЛЯ ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Ранее автором был предложен метод построения системы надежной эксплуатации литий-ионной аккумуляторной батареи для электроснабжения космического аппарата. Метод обеспечивает непрерывный контроль за напряжением каждого отдельного элемента батареи как в процессе разряда, так и в процессе заряда. Здесь продолжено описание его схемотехнической реализации, важные особенности которой не рассмотрены ранее.

Кл. сл.: поэлементный контроль, литий-ионный аккумулятор, ЛИАБ, космический эксперимент, эффект самоподпитки ключей

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем при создании аппаратуры для работы на борту космических аппаратов (КА) является сильно ограниченная номенклатура элементной базы, определяемая действующими редакциями соответствующих ограничительных перечней. Необходимость введения подобных ограничений обусловлена значительным уровнем внешних воздействующих факторов различной природы, таких как температура и радиация. Аппаратура КА должна надежно работать в тяжелых условиях на протяжении многих лет без возможности планового обслуживания и замены, что накладывает значительные ограничения на методы решения стоящих перед конструкторами радиоаппаратуры схемотехнических задач.

Для надежной эксплуатации литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ) необходима простая и надежная схема, позволяющая измерять напряжения на отдельных ее элементах с погрешностью $\pm 10 \dots \pm 50$ мВ, один из методов реализации которой описан в [1]. Принцип ее работы заключается в следующем.

Функциональная схема измерительного узла воспроизводится в Приложении на рис. П1 [1]. В рассматриваемом случае ЛИАБ имеет 8 элементов Э1,..., Э8, напряжение на каждом из которых может находиться в различных режимах эксплуатации в диапазоне 2.5–4.5 В. Силовые выводы батареи обозначены как $-U_{AB}$ и $+U_{AB}$. Общее напряжение такой батареи может изменяться в диапазоне от 20 до 36 В, что соответствует полностью

разряженной и полностью заряженной батарее. От этих выводов через "Главный выключатель" питается "Система управления ЛИАБ", которая, как правило, представляет собой миниатюрную аналого-цифровую систему локального управления на базе микро-ЭВМ, встроенную непосредственно в батарею и реализующую достаточно большое количество алгоритмов управления состоянием ЛИАБ в общей системе электроснабжения. "Главный выключатель" реализует важнейшую функцию в системе — общее включение/выключение системы электроснабжения КА и перевод ее в режим хранения, в котором ток разряда ЛИАБ не должен превышать величины ее саморазряда.

Схемотехника измерительного узла воспроизводится в Приложении на рис. П2 [1]. Основным измерительным элементом является делитель напряжения на прецизионных резисторах $Rd1/Rd2$, номиналы которых лежат в килоомном диапазоне по ряду причин, обсуждаемых в [1]. Ток от соответствующего вывода батареи подается в делитель напряжения через ключ на р-канальном транзисторе VT1, который в свою очередь управляется с помощью ключа на п-канальном транзисторе VT2. Транзистор VT2 управляется стандартным КМОП-уровнем 0/5 В от цифровой логики локальной системы управления измерительным узлом (сигналы M1,..., M8). С точки зрения экономии ресурсов рационально строить систему измерения так, чтобы в каждый момент времени был активен один из сигналов M1,..., M8, что позволяет производить измерения одним и тем же АЦП. Более подробно вопросы схемотехники данного узла описаны в [1].

этого АЦП будет стоять цепочка защитных диодов VD1—VD2. При отсутствии напряжения питания системы управления (напряжения на шине +5CY) диод VD1 будет смещаться в прямом направлении и начнет приоткрываться, пропуская ток на шину +5CY. Таким образом, цифровая логика системы управления получит некоторое напряжение питания, которого будет недостаточно для ее полноценного включения, но которое, однако, будет распространяться по логическим элементам и вполне способно создать положительное смещение на логических выводах микросхем, тем самым приоткрывая транзистор VT2 и замыкая цепь положительной обратной связи данного эффекта.

В результате все измерительные ключи будут приоткрыты в той мере, которая будет обусловлена величинами конкретных утечек, коэффициентов передачи и пороговых напряжений используемых в схеме элементов. В рассматриваемом случае величины напряжений были такими, что все измерительные ключи были надежно и полностью открыты, несмотря на снятие питания с системы.

УСТРАНЕНИЕ ЭФФЕКТА САМОПОДПИТКИ

Для устранения рассматриваемого эффекта необходимо снизить коэффициент усиления в петле получающейся положительной обратной связи до значения, менее единицы. Сделать это можно различными способами, например, шунтируя источник питания системы управления дополнительным резистором, или установив резисторы R_3 с затворов ключевых транзисторов VT2 на общий провод (см. рисунок), или комбинируя эти два способа. В нашем случае изначально установленных номиналов резисторов $R_3 = 330 \text{ Ом}$ оказалось недостаточно для устранения данного эффекта. После замены на $R_3 = 510 \text{ Ом}$ эффект полностью пропал. После этого шунтирующий резистор по питанию системы управления был полностью убран и эффект стабильно не наблюдалось.

На следующем этапе величина шунтирующих резисторов затворов R_3 была увеличена до 1.1 кОм , при этом эффекта стабильно не наблюдалось. Однако стало наблюдаться небольшое остаточное напряжение на шине +5CY, равное 0.6 В . После установки шунтирующего резистора на эту шину номиналом 33 кОм это напряжение упало практически до нуля, что обеспечивает стабильное отсутствие описываемого эффекта.

Испытания на отсутствие эффекта проводились в полученной конфигурации на имитаторе ЛИАБ вплоть до напряжения $U_{AB} = 38 \text{ В}$, при этом все ключи отключались надежно и полностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в [1] метод реализации измерительного узла поэлементного контроля литий-ионных аккумуляторных батарей позволяет просто и надежно решать поставленную задачу без использования импортной элементной базы, что открывает возможности к применению подобного типа батарей в системах электроснабжения космических аппаратов научного и иного назначения [2]. Однако схемотехническая реализация данного метода не совсем тривиальна и имеет ряд особенностей, одна из которых рассмотрена в данной статье. Как было установлено, значение шунтирующего резистора от затвора первого ключевого транзистора измерительного каскада на "землю" имеет принципиальное значение с точки зрения подавления появления эффекта самоподпитки измерительных ключей по измерительным и защитным цепям электроники локального управления системой электроснабжения и, следовательно, с точки зрения исключения нарушений работы системы в режиме хранения.

Следует отметить, что указанные в статье номиналы элементов и значения напряжений получены для конкретной схемотехнической реализации, должны значительно зависеть от нее и от параметров применяемых в схеме элементов и по этой причине не могут быть использованы непосредственно, а служат лишь иллюстрацией к поясняемому эффекту.

ПРИЛОЖЕНИЕ

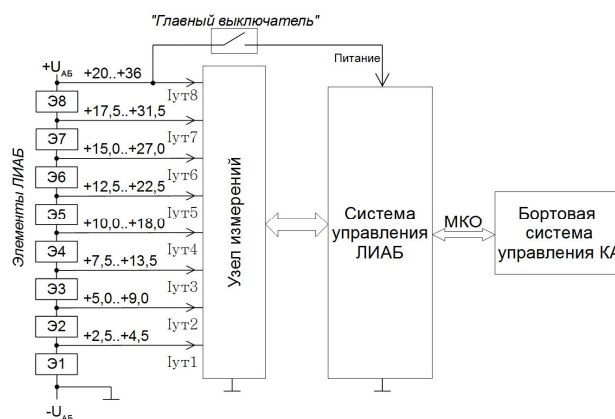


Рис. П1. Схема подключения измерительного узла к ЛИАБ [1]

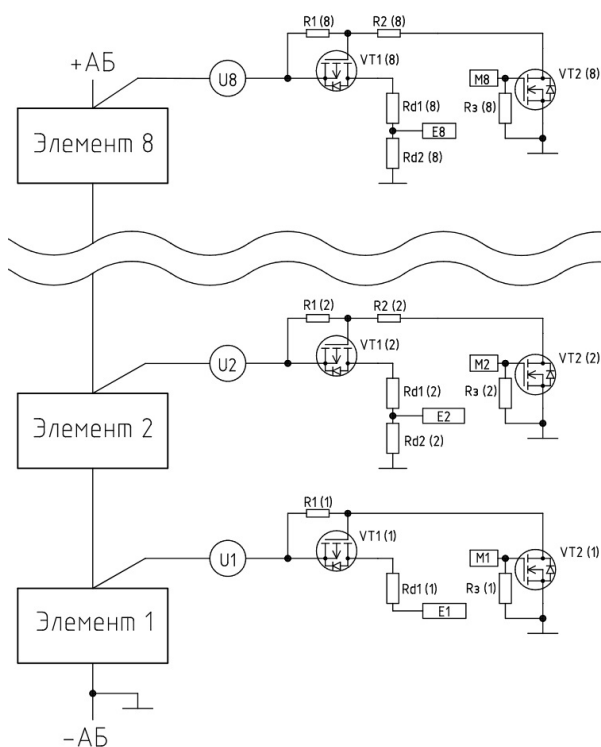


Рис. П2. Схематехника узла измерения напряжений элементов.

Каналы 2–8 идентичны, за исключением номиналов $R1$ и $R2$. Клеммы $E1, \dots, E8$ — выходы для подключения стандартного АЦП, клеммы $M1, \dots, M8$ — входы управления измерительными ключами, цифровые уровни КМОП + 5 В [1]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисин Д.В. Реализация метода поэлементного контроля литий-ионных аккумуляторных батарей при работе на борту космических аппаратов научного назначения // Научное приборостроение. 2018. Т. 28, № 2. С. 69–74. URL: <http://iairas.ru/mag/2018/abst2.php#abst10>
2. Хромов А.В. Литий-ионные аккумуляторные батареи низкоорбитальных космических аппаратов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2016. Т. 152, № 3. С. 20–28.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,
Центр космических информационных технологий,
Троицк, Москва*

Контакты: Лисин Дмитрий Валерьевич,
lisindv@izmiran.ru

Материал поступил в редакцию 28.01.2019

THE EFFECT OF SELF-FEEDING KEYS IN THE SCHEME OF ELEMENT-BY-ELEMENT CONTROL OF ONBOARD LITHIUM-ION BATTERY OF SPACECRAFT

D. V. Lisin

*Pushkov Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation (IZMIRAN),
Troitsk, Moscow, Russia*

Earlier, the author proposed a method for constructing a system for reliable operation of a lithium-ion rechargeable battery to power a spacecraft. The method provides continuous monitoring of the voltage of each individual battery element both during both the discharge and the charge process. Here is continued the description of its circuit implementation, the important features of which have not been considered previously. It was established that the rating of the shunt resistor from the gate of the first switching transistor of the measuring cascade to ground is of fundamental importance from the point of view of suppressing the appearance of the effect of measuring switches auto-feeding in the measuring and protective circuits of the local power supply and, therefore, from the point of view of elimination of system disturbances in storage mode.

Keywords: element-by-element control, lithium-ion accumulator battery, spacecraft, self-feeding keys

Fig. The circuit of the flow of parasitic current, that causes the observed effect of self-feeding (one of the measurement channels is shown; channels 2–8 are identical, except for the ratings R1 and R2). Terminal E8 is the output for connecting standard ADC, terminal M8 is the control input for measuring switches, digital CMOS levels +5 V [1]. The designations of the elements correspond to the designations in Annex (fig. II2). VD1, VD2 — internal protective diodes of the CMOS structure of the measuring ADC

Annex (fig. II1). Diagram of connecting measuring node to lithium-ion accumulator battery

Annex (fig. II2). Circuit design of the node for measuring the voltages of the elements. Channels 2–8 are identical, with the exception of nominal R1 and R2. Terminals E1, ..., E8 — outputs for connecting standard ADC, terminals M1, ..., M8 — control inputs for measuring switches, digital CMOS levels + 5 V [1]

REFERENCES

1. Lisin D.V. [Implementation of the method for measuring electric voltages at the elements of Li-ion batteries when working on spacecraft]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Scientific Instrumentation], 2018, vol. 28, no. 2, pp. 69–74. DOI: 10.18358/np-28-2-i6974 (In Russ.).
2. Hromov A.V. [Lithium-ion batteries for low-orbit spacecraft]. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM* [Electromechanical matters. VNIEM studies], 2016, vol. 152, no. 3, pp. 20–28.
URL: <http://jurnal.vniem.ru/text/152/20-28.pdf> (In Russ.).

Contacts: *Lisin Dmitrij Valer'evich*,
lisindv@izmiran.ru

Article received by editing board on 28.01.2019