

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ Li-ion АККУМУЛЯТОРОВ

В.И. Карлащук

Кафедра кибернетики и мехатроники
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

В работе представлены результаты экспериментального исследования зарядного устройства (ЗУ) для Li-ion аккумуляторов, отличающегося возможностью заряда одного или нескольких последовательно включенных аккумуляторов. Установлены оптимальные значения входного напряжения для такого ЗУ в зависимости от количества заряжаемых аккумуляторов. Разработана модель, поясняющая принцип формирования напряжения для заряда заданного количества аккумуляторов.

Ключевые слова: алгоритм, интегральная микросхема, ИМС, зарядное устройство, литий-полимерный, Li-Pol, аккумуляторная батарея, MOSFET.

Универсальность рассматриваемого зарядного устройства (ЗУ) заключается в возможности заряда как одиночных, так и цепочки из нескольких последовательно включенных Li-ion аккумуляторов, в частности, двух (такая комбинация используется, например, в качестве запасного (резервного) источника питания для планшетного компьютера ZT-180-2 (<http://wkarl.narod.ru/11.htm>)).

В качестве базового элемента для ЗУ была выбрана сравнительно дешевая ИМС BQ2057CSN компании Texas Instruments с внешним р-канальным MOSFET-транзистором [4], в которой используется стандартный для литиевых аккумуляторов алгоритм заряда, суть которого заключается в следующем [2] (рис. 1).

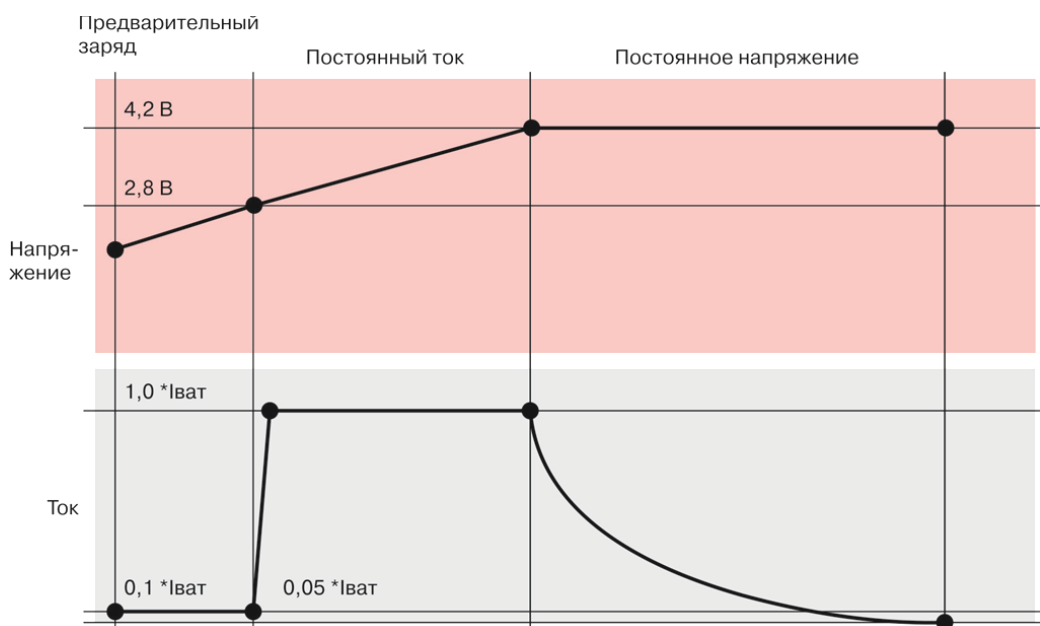


Рис. 1. Алгоритм заряда литиевых аккумуляторов

Первая фаза заряда, так называемый предварительный заряд, используется только в тех случаях, когда аккумуляторная батарея сильно разряжена. Если напряжение батареи ниже 2,8 В, то ее нельзя сразу заряжать максимально возможным током, так как это крайне отрицательно скажется на сроке службы аккумулятора. Необходимо сначала «подзарядить» батарею малым током (примерно до 3,0 В) и только после этого возможен переход ко второй фазе, при которой ЗУ переводится в режим источника постоянного тока с максимальным зарядным током, равным $1 \cdot C$, где C (А·час) — номинальное значение емкости аккумулятора. При этом напряжение аккумулятора постепенно растет до тех пор, пока не достигнет предельного значения (около 4,2 В). В некоторых ЗУ максимальный ток подается не сразу, а плавно нарастает до максимума в течение нескольких минут (так называемый режим плавного старта — Soft Start). После завершения второго этапа аккумулятор заряжается примерно до 70% своей емкости.

Для 100%-ного заряда производится переход к третьей фазе, при котором ЗУ переводится в режим стабилизации напряжения. На этом этапе к батарее прикладывается постоянное напряжение (около 4,2 В), а протекающий через батарею ток в процессе заряда уменьшается от максимума до заранее заданного минимального значения ($0,05 \dots 0,1$)·С, при котором заряд батареи считается законченным.

Поскольку одно и то же ЗУ может работать с аккумуляторами разной емкости, то заряд батареи любой емкости в общем случае будет происходить не в оптимальном режиме, а в режиме, предустановленном для зарядного устройства.

Максимальный зарядный ток рассматриваемого ЗУ (рис. 2) определяется отношением U_1/R_1 , где $U_1 = U_{sns} = 95,4 \dots 105 \dots 115,5$ мВ — опорное напряжение, формируемое внутри ИМС. Таким образом, при типичном (среднем) значении $U_{sns} = 105$ мВ максимальный зарядный ток равен 525 мА.

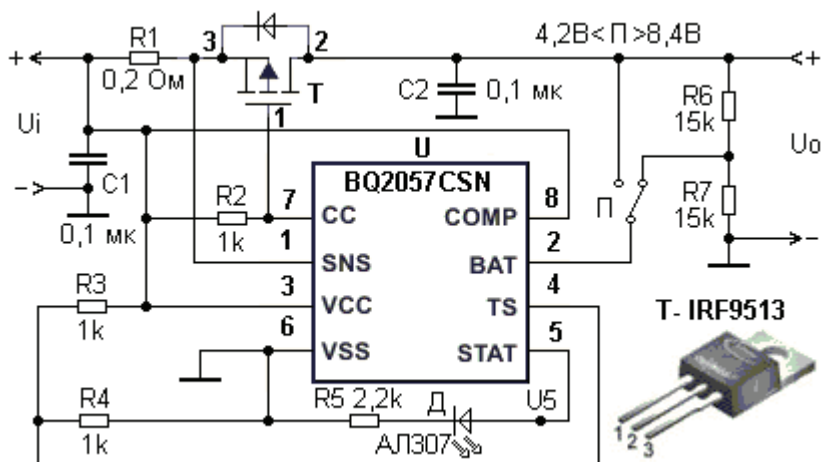


Рис. 2. Схема зарядного устройства

В полной схеме ЗУ, приведенной в руководстве [4], к входу TS (вывод 4) подключается защитный термистор аккумулятора. При нормальной температуре аккумулятора напряжение на выводе 4 равно $U_i \cdot R_4 / (R_3 + R_4) = 0,5 \cdot U_i = 0,5 \cdot V_{CC}$, что и принято в нашем случае.

Режим работы по выходному напряжению (4,2 или 8,4 В) задается напряжением U_2 на входе ВАТ. Случай $U_2 = U_0$ (переключатель П — в левом положении) соответствует режиму стабилизированного напряжения $U_0 = 4,2$ В (нормируется в пределах 4,158...4,20...4,242 В). При N последовательно включенных однотипных аккумуляторов с конечным напряжением, равном выходному напряжению U_0 , определяется из соотношения $R_6/R_7 = N - 1$ (переключатель П — в правом положении). Это соотношение вытекает из того, что коэффициент деления делителя $R_7/(R_6 + R_7)$ не что иное, как коэффициент отрицательной обратной связи (ООС), например, операционного усилителя, охваченного ООС по напряжению, а коэффициент усиления такого усилителя по напряжению обратно пропорционален коэффициенту ООС, т.е. равен $R_6/R_7 + 1 = N$. Упрощенная модель, выполненная в учебных целях в среде программы Electronics Workbench [4]), показана на рис. 3. Таким образом, для $N = 2$ отношение $R_6/R_7 = 1$, для $N = 3$ отношение $R_6/R_7 = 2$ и т.д.

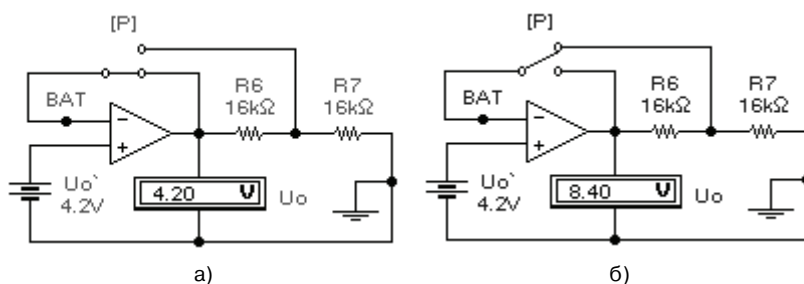


Рис. 3. Модель процесса формирования двух напряжений зарядки

Однако с ростом N снижается точность регулирования выходного напряжения U_0 и, кроме того, количество последовательно включенных аккумуляторов ограничивается максимально допустимым напряжением U_i , которое для ВQ2057CSN нормируется на уровне 18 В (параметр $V_{CC} = U_i$).

Перейдем к вопросу выбора входного напряжения U_i для каждого режима. Для этого был проведен «статический» эксперимент, при котором измерялись выходные напряжения U_{0x}/U_{0n} и U_{5x}/U_{5n} на выходе 5 ИМС при отключенном светодиоде в режиме холостого хода ЗУ (U_{0x} и U_{5x}) и при нагрузке 120 Ом для режима $U_0 = U_{0n} = 4,2$ В и 240 Ом для $U_0 = U_{0n} = 8,4$ В соответственно. Результаты измерений представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Режим $U_0 = 4,2$ В при нагрузке 120 Ом

U_i , В	U_{0x}/U_{0n} , В	U_{5x}/U_{5n} , В
4	0,6/0	4/4
5	4,26/4,1	0,12/4,5
6	4,27/4,3	0,12/4,59
7	4,27/4,31	0,12/5,23
8	4,26/4,39	0,12/3,93
9	4,39/4,25	0,12/8,11
10	4,37/4,72	0,12/8,23
11	4,19/4,3	8,9/9
12	4,19/4,4	9,5/9,8

Таблица 2

Режим $U_0 = 8,4$ В при нагрузке 240 Ом

U_i , В	$U_{ох}/U_{он}$, В	U_{5x}/U_{5n} , В
9	8,48/8,38	0,12/3,85
10	8,48/8,49	0,12/4,25
11	8,5/8,66	0,12/4,78
12	8,45/8,64	9,5/5,4
13	8,44/8,6	10,2/11,4
14	8,43/8,8	10,8/10,8

Из табл. 1 и 2 видно, что для режима $U_0 = 4,2$ В целесообразно использовать источник с выходным напряжением U_i в диапазоне 5...7 В, а для режима $U_0 = 8,4$ В — в диапазоне 9...10 В. При этом в режиме холостого хода на выходе индикации STAT пренебрежимо малое напряжение (конец зарядки), а в режиме нагрузки (зарядки) оно существенно больше и вполне достаточное для срабатывания светодиода. Эти обстоятельства позволяют использовать два светодиода: один для индикации процесса зарядки и второй — для индикации ее окончания, что было апробировано в работе [3] при 5-вольтовом напряжении питания.

Конструктивно ЗУ выполнено полунавесным монтажом и размещено в коробке из-под розетки ЛВС (рис. 4). Резистор R2 представляет собой нихромовую проволоку диаметром 0,2 мм и длиной около 5 мм, припаянную к выводам МЛТ резистора. Для подключения источника входного напряжения U_i и адаптера для аккумулятора типоразмера 16650 (для 14500 — с дополнительным переходником) используются контакты К (вилка и гнездо). Транзистор Т — типа IRF9513 (ток стока 2,5 А, напряжение сток-исток 60 В, рассеиваемая мощность 20 Вт, сопротивление открытого канала 1,5 Ом), все резисторы типа МЛТ-0,125, переключатель П типа ПД9-1.

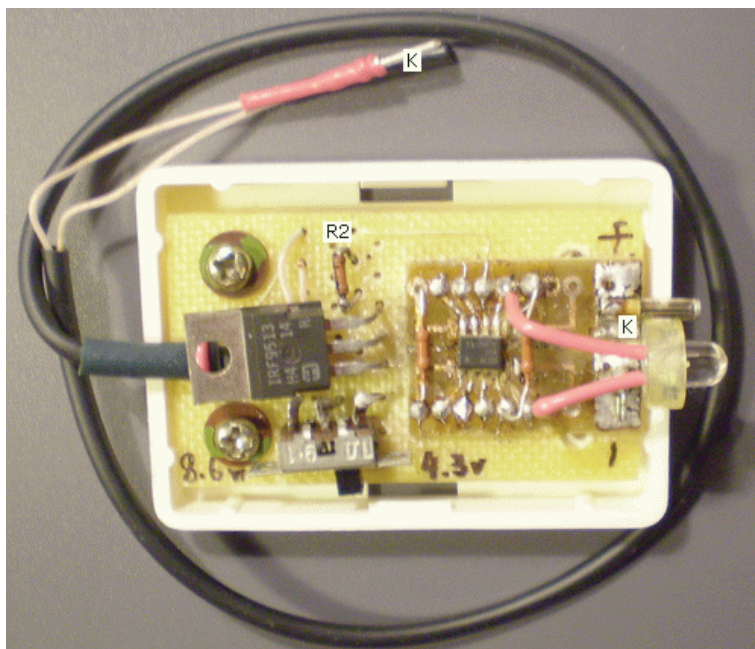


Рис. 4. Макет ЗУ со снятой крышкой

При испытаниях ЗУ использовался разряженный аккумулятор 16650 емкостью 1800 мА·час. При заряде наблюдался заметный разогрев транзистора IRF9513 (около 60 °С). После зарядки его температура находилась на уровне комнатной, а напряжение на аккумуляторе составляло 4,13 В. Практически аналогичные результаты были получены и при зарядке аккумулятора SANYO UR18650FM (незащищенный, 2600 мА·час) при времени зарядки около 7 часов и конечном напряжении 4,15 В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Карлашук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Том I: Моделирование элементов аналоговых систем на Electronics Workbench и MATLAB. Изд. 6-е пер. и доп. — М.: Солон-Пресс, 2006. [*Karlashuk V.I.* Elektronnaja laboratorija na IBM PC. Tom 1: Modelirovanie elementov analogovyh system na Electronics Workbench i MATLAB. Izd. 6-e per. i dop. — М.: Solon-Press, 2006.]
- [2] *Никитин А.* Все для литиевых аккумуляторов: микросхемы STM для зарядных устройств и мониторинга батарей // *Новости электроники*. — 2013. — № 2. — URL: <http://www.compeljournal.ru/enews/2013/2/4>. [*Nikitin A.* Vse dlja litievyh akkumuljativ vbrroshemy STM dlja zaradnyh ustrijstv I monitiringa batarej // *Novosti elektroniki*, 2013, N 2. — URL: <http://www.compeljournal.ru/enews/2013/2/4>.]
- [3] USB зарядка для Li-ion аккумулятора на BQ2057. — URL: <http://lasers.org.ru/forum/threads/usb-зарядка-для-li-ion-аккумулятора-на-bq2057.836/page-1> [USB зарядка для Li-ion аккумулятора на BQ2057. — URL: <http://lasers.org.ru/forum/threads/usb-зарядка-для-li-ion-аккумулятора-на-bq2057.836/page-1>]
- [4] Advanced Li-Ion Linear Charge Management IC BQ2057. — URL: <http://www.chipfind.ru/datasheet/ti/bq2057.htm>

UNIVERSAL CHARGING THE DEVICE FOR Li-ion ACCUMULATORS

V.I. Karlashchuk

Department of cybernetics and mechatronics
Engineering Faculty
Peoples Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115923

In work results of an experimental research charging devices (Charger) for Li-ion the accumulators, a charge of one or several consistently included accumulators differing by possibility are presented. Optimum values of entrance pressure for such Charger depending on quantity of charged accumulators are established. The model explaining a principle formation of pressure for a charge set quantity of accumulators is developed.

Key words: algorithm, an integrated microcircuit, IC, charging the device, lithium-polymeric, Li-Pol, the storage battery, MOSFET.