

# 动力锂电池组充电管理电路设计

李灵杰, 叶利福, 詹群峰, 陈文芾\*

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 为了解决动力锂电池组使用中的一致性问题的, 本文提出了一种均衡充电管理电路的实现方案. 首先分析了单体锂电池的特性; 然后在比较各种均衡充电理论的基础上, 选择部分分流法作为设计思路, 进行具体电路设计. 多次锂电池组充放电实验表明, 该均衡充电管理电路能有效改善电池组充电的一致性, 提高电池组工作性能, 延长使用寿命.

**关键词:** 锂电池组; 均衡充电; 能耗型; 分流法

**中图分类号:** TM 910.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2008)05-0673-04

随着国际原油价格飞涨, 各种新型能源的研究成为公众关注的焦点. 电能作为动力能源已经在各种车辆上得到广泛应用. 锂电池以具有较高的能量质量比和能量体积比, 无记忆效应, 可重复充电次数多, 使用寿命较长等优点成为动力电能的首选.

作为一种新型动力技术, 锂电池在使用中必须串联才能达到使用电压的需求, 单体性能的参差不齐并不全缘于电池生产技术问题, 即使每只电池出厂时电压, 内阻完全一致, 使用一段时间以后, 也会产生差异, 这使得解决动力电池充电技术问题成为迫切需要解决的技术问题. 本设计在充分考虑工业成本控制和稳定性要求的基础上, 采用能耗型部分分流法对动力锂电池充电进行均衡管理, 改善了电池组充电的不平衡性, 提高了工作性能.

## 1 锂电池组充电方案选择

### 1.1 单节锂电池充电要求

对单节锂离子电池的充电要求 (GB/T 18287-2000) 首先是恒流充电, 即电流一定, 而电池电压随着充电过程逐步升高, 当电池端电压达到 4.2 V (4.1 V), 改恒流充电为恒压充电, 即电压一定, 电流根据电芯的饱和程度, 随着充电过程的继续逐步减小, 当减小到 10 mA 时, 认为充电终止, 充电曲线如图 1 所示<sup>[1-2]</sup>.

### 1.2 锂电池组充电特性

在动力电池组中由于各单体电池之间存在不一致性, 连续的充放电循环导致的差异, 将使某些单体电池

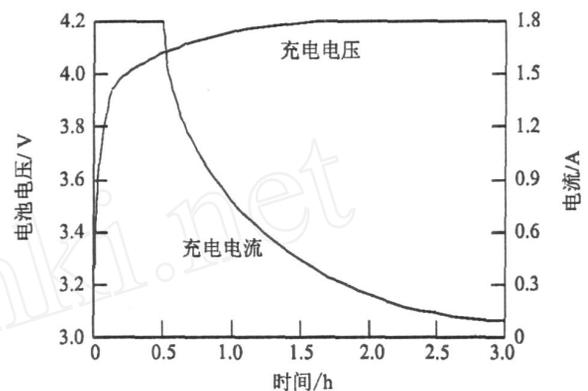


图 1 锂电池充电曲线

Fig. 1 Charging curve of Li-ion battery

的容量加速衰减, 串联电池组的容量是由单体电池的最小容量决定的, 因此这些差异将使电池组的使用寿命缩短. 造成这种不平衡的主要原因有:

电池制作过程中, 由于工艺等原因, 同批次电池的容量、内阻等存在差异;

电池自放电率的不同, 经长时间积累, 造成电池容量的差异;

电池使用过程中, 使用环境如温度、电路板的差异, 导致电池容量的不平衡.

### 1.3 充电方案选择

为了减小不平衡性对锂电池组的影响, 在充电过程中, 要使用均衡电路.

目前对于锂电池组进行均衡管理的方案主要有 2 种, 能耗型和回馈型. 能耗型是指给各个单体电池提供并联支路, 将电压过高的单体电池通过分流转移动能达到均衡目的. 回馈型是指通过能量转换器将单体之间的偏差能量馈送回电池组或电池组中的某些单体. 理论上, 当忽略转换效率时, 回馈不消耗能量, 可实现动态均衡. 但由于回馈型设计控制方法复杂, 制造成本

收稿日期: 2008-03-19

基金项目: 福建省科技计划项目 (2007 H0035) 资助

\* 通讯作者: wxchen@163.com

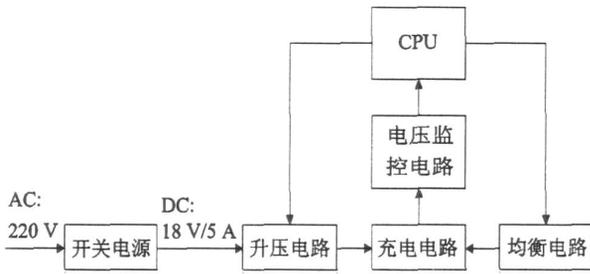


图 2 系统整体框图

Fig. 2 Framework of system

较高,本充电器采用能耗型设计.

能耗型按能量回路处理方式又可以分为断流和分流.断流指在监控单体电压变化的基础上,满足一定条件时把单体电池的充电回路断开,充电电流完全通过旁路电阻.通过机械触点或电力电子部件组成的开关矩阵,动态改变电池组内单体之间的连接结构.而分流并不断开工作回路,而是给每只电池增加一个旁路电阻,当某单体电池高于组内其他电池时,将充电电流的全部或一部分导入旁路电阻.从而实现对各个单体电池的均衡充电<sup>[3]</sup>.由于动力锂电池组功率较大,在综合考虑充电效率,热管理等方面因素之后,我们使用部分分流法为充电器的设计方案.

## 2 系统设计及分析

### 2.1 系统整体结构

如图 2 系统框图所示,工频交流电通过开关电源转化为 18 V/5 A 的直流电输出给升压电路,升压电路根据 CPU 的控制信号为电池组充电提供一定的充电电流,电压监控电路将电池的实时电压情况反馈给 CPU,CPU 通过升压电路实现对电池组整体充电电压、电流的控制.通过均衡电路实现各个单体电池充电速率调整,以保证整个电池组充电的一致性.

### 2.2 升压电路<sup>[4]</sup>

电能的输入转化环节由开关电源电路和调压电路两部分组成.开关电源将输入的工频交流电转化为 18 V/5 A 直流电输出.由于当前开关电源技术已经相当成熟,在此就不再赘述.

升压电路的作用是将开关电源输出的直流电调节转化为电池组充电所要求的电压、电流,并能够根据充电状态对输出电压、电流进行实时调节.

升压电路如图 3 所示.

其中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $Q_1$  构成电源反接保护电路, $Q_5$  是整个升压电路的开关, $Q_2$ 、 $Q_4$ 、 $U_1$  构成场效应管  $Q_3$  驱动级电路, $Q_3$ 、 $L_1$ 、 $D_1$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  构成 BOOST 升压调节电路, $R_9$ 、 $R_{10}$ 、 $C_6$  为电压采样电路.

在充电器正常工作时,开关电源的正负极输出分别接到  $DC^+$ 、 $DC^-$ ,开关管  $Q_5$  关断.CPU 根据电池监控电路反馈的电压计算出的 PWM 占空比,输出相应的调制信号.PWM 调制信号经过驱动级放大调整,控制  $Q_3$  开关状态,以产生所需要的输出电压.

由于稳态条件下,电感两端电压在一个开关周期内的平均值为零.可得

$$U_L = \frac{U_i t_{on} - (U_0 - U_i) t_{off}}{T} \quad (1)$$

其中, $U_L$  为电感两端电压在一个开关周期内的平均值; $U_0$  为输出电压; $U_i$  为输入电压; $T$  为开关周期; $t_{on}$  为  $Q_3$  处于通态的时间; $t_{off}$  为  $Q_3$  处于断态的时间.令  $U_L = 0$ ,在电感电流连续的工作过程中有

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{1}{1 - D} \quad (2)$$

其中  $D = \frac{T_{on}}{T}$ ,因此只需要调节 PWM 输出的占空比,就能有效地控制电池的充电电压.

### 2.3 电压监控环节<sup>[5]</sup>

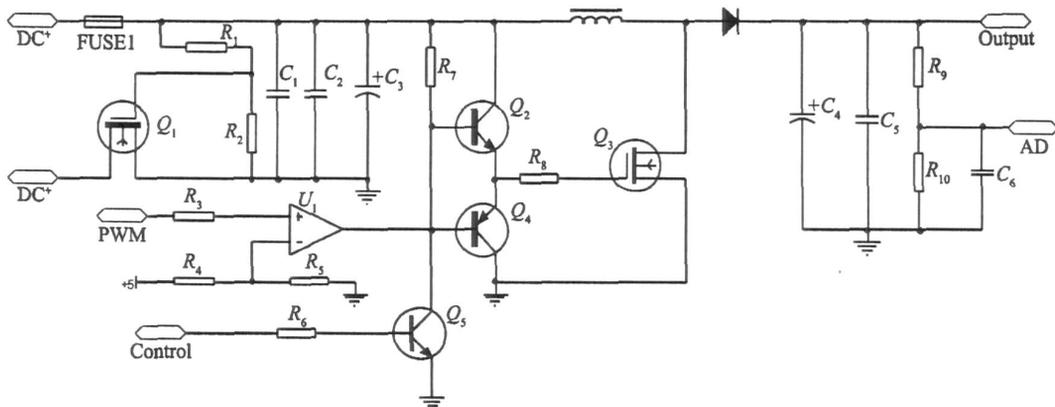


图 3 升压电路

Fig. 3 Boost circuit

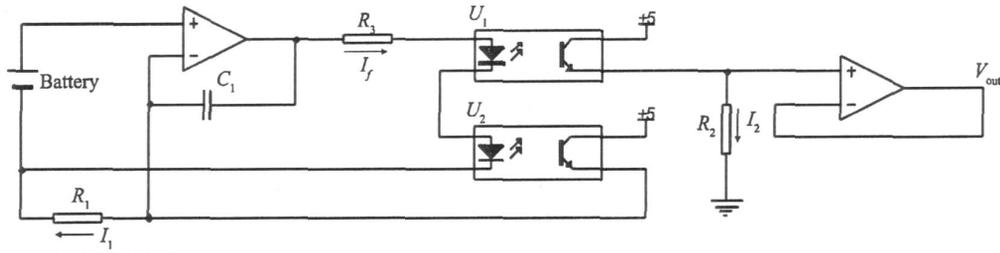


图 4 电压监控电路

Fig. 4 Voltage monitor circuit

由于单个锂电池的电压过小,为得到更大的工作电压,一般需要将锂电池串联使用. 电池组充电过程中,需要对每个电池的电压情况进行实时监控,以保证每个电池工作在正常工作状态下,避免发生过充现象,损坏锂电池.

串联锂电池电池组中,各个锂电池的基准电平不同. 假设电池组中的电池电压分别为  $a_1, a_2, \dots$ , 则对地第一节电池电压为  $a_1$ , 第二节电池电压为  $a_1 + a_2$ , 以此类推.

在电压监控中我们需要对各个电池的实时电压进行比较,就必须设计一定的电路,将各个电池的电压转化到同一基准上. 采取光耦隔离取样的方法可以实现电平转化,考虑到线性光耦价格是普通光耦的 10 倍以上,出于工程中成本控制需要,将普通光耦线性化连接以实现电压的采集和实时监控.

在如图 4 所示的单体电池电压监控电路中,使用了同一型号同一批次的两个普通光耦器件和两个运算放大器. 两个光耦中,一个用于输出,另外一个用于反馈. 反馈用来补偿发光二极管时间、温度特性上的非线性.

在图 4 中:

$$I_1 = K_1 I_f, I_2 = K_2 I_f \quad (3)$$

其中:  $K_1, K_2$  为电路中光耦  $U_1, U_2$  的电流传输比.

由电路可知

$$V_{bat} = I_1 R_1 = I_f K_1 R_1, V_{out} = I_2 R_2 = I_f K_2 R_2 \quad (4)$$

其中  $V_{bat}$  为电池两端电压. 由于选用同一型号同一批次的光耦,所以电流传输比近似相等,即  $K_1 = K_2$ .

所以,有

$$G = \frac{V_{out}}{V_{bat}} = \frac{I_f K_2 R_2}{I_f K_1 R_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad (5)$$

从式(5)可知,该测量电路的电压增益只与电阻  $R_1, R_2$  的阻值有关,与光耦的电流传输参数等无关,从而实现了电压信号的线性隔离. 经如图所示电路转化后电池电压被转化为具有统一参考地的输出电压  $V_{out}$ .

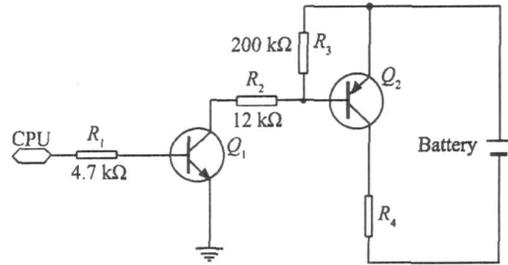


图 5 分流控制电路

Fig. 5 Control circuit of current distribution

## 2.4 部分分流控制电路

如图 5 分流控制电路所示,充电过程中,当某一单体电压明显高于组内其他电池时,CPU 将控制端口拉高,则  $Q_1$  导通, $Q_2$  基极电位被拉低, $Q_2$  导通,部分电能从旁路电阻  $R_4$  分流,降低该电池充电速率,从而实现电池组各单体电池充电速率同步.

$$I_{equ} = \frac{U_{bat}}{R_4}, P = \frac{U_{bat}^2}{R_4} \quad (6)$$

其中  $I_{equ}$  为旁路电阻  $R_4$  上所流过的电流,即均衡电流;  $P$  为旁路电阻  $R_4$  上所消耗的功率;  $U_{bat}$  为电池两端电压.

均衡电流大小的选择会直接影响充电器的性能. 电流大,充电器整体发热量大,工作稳定性差. 电流小,电压调整幅度小,速率可调整幅度小. 经反复实验,当  $I_{equ} = 0.1 I_{charge}$  时,调整能力和发热量达到最佳平衡状态.

由于充电时  $U_{bat}$  的范围为 3 ~ 4 V,该充电电池标称容量为 2 000 mAh,最大充电电流为 2 A. 综合上面因素,  $R_4$  选择将两个 47  $\Omega$  电阻并联.

## 3 结束语

由于单体锂电池在制造工艺、工作环境等方面的差别,会造成锂电池组串联充电的不平衡性. 运用部分分流法设计的能耗型锂电池组均衡充电器,良好地解决了电池组充电的不平衡问题. 有效地防止过充现象,

提高了锂电池使用的安全性,增加了电池组的充电容量,延长了锂电池组的使用寿命.经过反复试验,选择最适参数,控制了发热量,保证了充电器的长期稳定工作.在设计过程中,充分考虑了实际生产的需求.在保证实用性和可靠性的前提下,简化设计,选择常用器件,提高了性价比,具有良好的应用前景.

#### 参考文献:

- [1] 吴语平. 锂离子电池[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 王非,吴昊,田晓明. 手持终端设备中的锂电池充电技术[J]. 电子器件,2004,27(4):755-758.
- [3] 陈守平,张军,方英民,等. 动力电池组特性分析与均衡管理[J]. 电池工业,2003,8(6):265-271.
- [4] 杨旭,裴云庆,王兆安. 开关电源技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 华成英,童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

## The Design of Managing Circuit of Charger for Li-ion Battery Series

LI Ling-jie, YE Li-fu, ZHAN Qun-feng, CHEN Wen-xiang\*

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** To solve the problem of uniformity of power Li-ion battery series, an equal charging scheme of managing circuit was proposed in this article. First of all the characters of Li-ion battery were analyzed. Then, based on the comparison of all proportion charging theories, technique of segmental electrical current distribution was chosen to design the managing circuit. Charging and discharging experiments showed that the circuit improved on the Li-ion battery series charging uniformity, enhanced batteries performance and prolonged batteries life.

**Key words:** Li-ion battery series; equal charging; energy consuming; electrical current distribution