(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107768757 A
(43)申请公布日 2018.03.06

(21)申请号 201710981319.0

(22)申请日 2017.10.20

(71)申请人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号

(72)发明人 刘雨鑫 马富山 殷宇 王寒 杜佳闻

(74)专利代理机构 西北工业大学专利中心 61204
代理人 金凤

(51)Int.Cl.
H01M 10/44(2006.01)

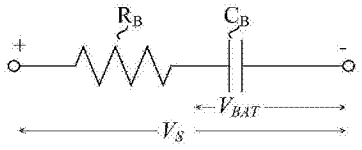
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法

(57)摘要

本发明提供了一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法，涉及电池充电领域，本发明电池在初始充电时，先检测出电池内阻，然后将充电恒压阈值抬高，并实时检测电池充电电压，当电池开路电压比电池满电电压低30mV时，充电恒压阈值再降回电池满电电压，在恒压充电阶段，当恒压充电电流小于100mA时，充电结束。本发明通过检测电池内阻，确保充电恒压阈值的提升量能够补偿电池内阻压降，实现快速充电的基础，通过提高充电恒压阈值，补偿恒流阶段由于电池内阻引起的电池电压高于电池开路电压的压差的情况，本发明使得锂电池的充电过程尽可能多的保持在高效的恒流充电阶段，提高电池充电效率，从而提升了电池充电速度。



CN 107768757 A

1.一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法，其特征在于包括下述步骤：

步骤1：电池在初始进行充电时，若电池电压低于恒流充电阈值，电池进入涓流阶段进行充电，则使用涓流-恒流内阻检测法检测出电池内阻；若电池电压高于恒流充电阈值，电池进入恒流阶段进行充电，则使用恒流内阻检测法检测电池内阻；

1)所述涓流-恒流内阻检测法的具体步骤如下：

电池初始充电进入涓流充电阶段，充电电流为I_{PC}，在t_1时刻电池充电电压V_S大于恒流充电阈值，涓流充电结束，此时充电过程切换到恒流充电阶段，t_1时刻的电池充电电压值为V_1，此时充电电流由涓流阶段的充电电流I_{PC}切换到恒流阶段的充电电流I_{CC}，电池充电电压V_S由V_1跳变到V_2，即V1为涓流充电结束时电池充电电压V_S的值，V2为恒流充电开始时电池充电电压V_S的值，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

$$R_B=\frac{V_2-V_1}{I_{CC}-I_{PC}} \qquad (1)$$

2)所述恒流内阻检测法的具体步骤如下：

电池初始充电进入恒流充电阶段，充电电流为恒流充电电流I_{CC}，在t_{1a}时刻，控制充电电流由I_{CC}降至I_{CCT}，充电电流为I_{CCT}持续到t_{1b}时刻，将充电电流由I_{CCT}切换回恒流充电电流为I_{CC}，t_{1c}时刻电池充电电压V_S由电压V_3跳变到电压V_4，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

$$R_B=\frac{V_4-V_3}{I_{CC}-I_{CCT}} \qquad (2)$$

步骤2：根据步骤1计算得到电池内阻阻值R_B后，在恒流充电阶段，将充电恒压阈值V_{CV}抬高至大于等于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$，其中V_{BAT_END}是电池满电电压；

步骤3：在充电恒压阈值V_{CV}抬高之后的恒流充电阶段内，实时检测电池充电电压V_S，并通过公式$V_{BAT}=V_S-I_{CC}R_B$实时计算电池开路电压V_{BAT}，当电池开路电压V_{BAT}比电池满电电压V_{BAT_END}低30mV时，充电恒压阈值V_{CV}降低至电池满电电压V_{BAT_END}，使恒流充电阶段进入到恒压充电阶段；

步骤4：在恒压充电阶段，电池充电电压VS恒定不变，等于电池满电电压VBAT_END，此时恒流充电电流ICV逐渐减小，当恒压充电电流ICV小于100mA时，在t3时刻终止充电，充电结束。

一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电池充电领域，尤其是一种快速充电方法。

背景技术

[0002] 锂电池由于具有能量密度高、循环寿命长、自放电率低、环境温度影响小等特点，已成为各种便携式设备不可或缺的一部分。随着便携设备的处理器速度，显示屏分辨率等性能的提高，会使得耗电量增加，因此需要更大的电池作为支撑，但是电池容量的增加势必造成电池充电时间的加长的问题，然而太长的充电时间会影响便携式设备的使用便利性和用户体验。因此锂电池的快速充电技术成为当今便携式设备的发展方向。

[0003] 锂电池充电过程是由涓流、恒流、恒压三个阶段组成，涓流充电是在低于一定值时才具有的充电过程，目的是用小的充电电流激活电池，保证电池寿命和可靠性，因此涓流充电的参数不能调整。而恒流和恒压是每个电池充电必经的阶段，也是决定了电池充电时间的关键因素。锂电池的电量多少与其两端的开路电压相关，当电量为100％时，其开路电压为电池充电限制电压，也是电池满电电压值。因此在对锂电池进行充电的最后阶段，充电会由恒流充方式变为恒压方式，降低充电电流保证电池开路电压不会超过满电电压。其中涓流过程是在电池电压低于一定值时为了保护电池而采取的小电流预充电的措施，因而不能够调整。而恒流阶段是电池充电速度最快的阶段，因为此阶段电流是最大的。恒压阶段充电电流逐渐减小，当充电电流小到一定阈值时，充电过程终止。恒压阶段充电电流逐渐减小，充电时间相对较长，充电效率比较低。

[0004] 电池的内部可等效为电池内阻R_B和电容C_B的串联，如图1所示。电容是储存电池能量的元件，电池两端开路时，其两端压差等于电容两端的电压V_{BAT}，其电压高低与电池电量的大小有关。在传统的单节锂电池充电方法中，恒压充电阈值等于电池满电电压，并且保持固定不变。由于电池内阻的存在，在电池充电的恒流阶段，电池内阻会产生压降，电池两端的电压大于电池开路电压，导致电池两端电压过早达到设定的恒压阈值时自动进入恒压充电阶段，充电电流开始减小。而此时电池开路电压仍与电池满电电压存在电池内阻造成的压差。例如电池内阻100mΩ，恒流充电电流2A，那么刚进入恒压充电阶段时，电池开路电压与电池满电电压存在200mV压降。因此恒压阶段，充电电流逐渐降低，电池开路电压逐渐上升接近并达到电池满电电压，充电完成。由于恒压阶段充电电流小，因此充电时间较长，造成整体充电时间变慢。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术的不足，本发明通过检测电池内阻，并且在充电恒流阶段增大充电恒压阈值，补偿恒流阶段电池内阻的压降来使得恒流阶段结束时电池的开路电压与电池满电电压相差30mV以内，从而缩短随后的恒压充电时间，提升电池充电速度。

[0006] 本发明一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法的实现要基于在每个充电阶段对电池内阻进行准确检测，得到电池内阻值，再进行快速充电控制。因为不同型号的锂电池

内阻不同，而且同一块锂电池不同次数的充放电循环后，内阻阻值也会发生变化。内阻也会随环境温度变化而变化。因此每个充电阶段都需要准确的检测电池内阻。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案具体步骤如下：

[0008] 步骤1：电池在初始进行充电时，若电池电压低于恒流充电阈值，电池进入涓流阶段进行充电，则使用涓流-恒流内阻检测法检测出电池内阻；若电池电压高于恒流充电阈值，电池进入恒流阶段进行充电，则使用恒流内阻检测法检测电池内阻；

[0009] 1)所述涓流-恒流内阻检测法的具体步骤如下：

[0010] 电池初始充电进入涓流充电阶段，充电电流为I_{PC}，在t_1时刻电池充电电压V_S大于恒流充电阈值，涓流充电结束，此时充电过程切换到恒流充电阶段，t_1时刻的电池充电电压值为V_1，此时充电电流由涓流阶段的充电电流I_{PC}切换到恒流阶段的充电电流I_{CC}，电池充电电压V_S由V_1跳变到V_2，即V1为涓流充电结束时电池充电电压V_S的值，V2为恒流充电开始时电池充电电压V_S的值，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

[0011] $$R_B=\frac{V_2-V_1}{I_{CC}-I_{PC}} \qquad (1)$$

[0012] 2)所述恒流内阻检测法的具体步骤如下：

[0013] 电池初始充电进入恒流充电阶段，充电电流为恒流充电电流I_{CC}，在t_{1a}时刻，控制充电电流由I_{CC}降至I_{CCT}，充电电流为I_{CCT}持续到t_{1b}时刻，将充电电流由I_{CCT}切换回恒流充电电流为I_{CC}，t_{1c}时刻电池充电电压V_S由电压V_3跳变到电压V_4，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

[0014] $$R_B=\frac{V_4-V_3}{I_{CC}-I_{CCT}} \qquad (2)$$

[0015] 步骤2：根据步骤1计算得到电池内阻阻值R_B后，在恒流充电阶段，将充电恒压阈值V_{CV}抬高至大于等于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$，其中V_{BAT_END}是电池满电电压；

[0016] 步骤3：在充电恒压阈值V_{CV}抬高之后的恒流充电阶段内，实时检测电池充电电压V_S，并通过公式$V_{BAT}=V_S-I_{CC}R_B$实时计算电池开路电压V_{BAT}，当电池开路电压V_{BAT}比电池满电电压V_{BAT_END}低30mV时，充电恒压阈值V_{CV}降低至电池满电电压V_{BAT_END}，使恒流充电阶段进入到恒压充电阶段；

[0017] 步骤4：在恒压充电阶段，电池充电电压V_S恒定不变，等于电池满电电压V_{BAT_END}，此时恒流充电电流I_{CV}逐渐减小，当恒压充电电流I_{CV}小于100mA时，在t_3时刻终止充电，充电结束。

[0018] 本发明的有益效果在于通过涓流-恒流内阻检测法和恒流内阻检测法在涓流和恒流切换时刻，或者在恒流阶段，通过充电电流的变化和电池表面电压的变化，实时检测计算出电池内阻阻值大小，确保充电恒压阈值的提升量能够补偿电池内阻压降，实现快速充电的基础；通过在充电恒流阶段提升充电恒压阈值V_{CV}，补偿恒流阶段由于电池内阻引起的电池电压V_S高于电池开路电压V_{BAT}的压差的情况，充电恒压阈值V_{CV}的提高使得恒流充电阶段占据整个充电过程比重增大，由于恒流阶段的充电电流在整个充电过程中最大，因此提升电池电量的速度最快，恒流阶段结束时电池开路电压V_{BAT}能够更接近电池满电电压V_{BAT_END}，因此恒压充电阶段占据整个充电过程的比重降低；本发明使得锂电池的充电过程尽可能多的保持在高效的恒流充电阶段，提高电池充电效率，从而提升了电池充电速度。

附图说明

[0019] 图1是单节锂电池的等效电路图，

[0020] 图2是传统单节锂电池充电方法时序图。

[0021] 图3是本发明的由涓流充电阶段开始的锂电池快速充电方法时序图。

[0022] 图4是本发明的由恒流充电阶段开始的锂电池快速充电方法时序图。

[0023] 图5是本发明的实施步骤流程图。

[0024] 图6是本发明的系统原理图。

[0025] 其中R_B是电池等效内阻；C_B是电池等效电容；V_S是电池充电电压；V_{BAT}是电池开路电压，V_{CV}是恒压充电阈值；V_{BAT_END}是电池满电电压；I_{CC}是恒流充电电流；I_{CV}是恒压充电电流，V_1是涓流充电结束时刻的电池充电电压值；V_2是恒流充电开始时刻的电池充电电压值；I_{PC}是涓流充电电流，V_{BAT_CV}是恒流充电转为恒压充电的阈值电压，其中VIN是充电系统的输入电压；M1是PMOS功率管；M2是NMOS功率管；L是电感；C是输出电容；R_S是输出电流采样电阻；R_B是电池等效内阻；C_B是电池等效电容。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0027] 图1是单节锂电池的等效电路图，图2是传统单节锂电池充电方法时序。0时刻开始充电时，电池电压V_S小于恒流充电阈值，则进入涓流阶段对电池充电，涓流充电电流较小，且是恒定的I_{PC}，一般为100mA，此时电池电压V_S缓慢上升，直到t_1时刻电池电压V_S大于恒流充电阈值，涓流充电阶段结束，恒流充电阶段开始，充电恒压阈值V_{CV}设置等于电池满电电压阈值V_{BAT_END}。充电电流由I_{PC}切换到大充电电流I_{CC}，恒流充电电流值一般取为1A～2A之内。恒流充电阶段电池电压V_S快速上升，代表电池容量的电池开路电压V_{BAT}也快速上升。在t_2时刻，电池电压V_S等于充电恒压阈值V_{CV}，此时恒流充电阶段结束，进入恒压充电阶段。恒压充电阶段，充电电流I_{CV}随着电池容量上升而逐渐减小，在t_3时刻，充电电流I_{CV}低于100mA时，充电终止，充电过程完成。由于恒流充电结束时刻，电池内阻压降造成表征电池容量大小的电池开路电压V_{BAT}与电池满电电压相差$I_{CC}R_B$，电池电量较低，造成恒压阶段电池充电速度较慢。

[0028] 图6是本发明一种单节锂电池内阻补偿的快速充电方法的充电系统实施实例，其核心是一个典型的输出电压和输出电流双环路的降压DC-DC系统。其结构包括：控制单元、PWM控制和驱动单元、电压采样单元、电流采样单元及误差放大器。所述控制单元，由充电恒流阈值控制单元，充电恒压阈值控制单元以及电池内阻测算单元构成。其中，PWM控制和驱动单元分别与功率管M1和功率管M2的栅极相连，功率管M1的源级连接功率管M2的漏级。PWM控制和驱动单元分别驱动功率管M1和M2的导通与关断，产生脉冲宽度调制方波，并经过电感L和电容C的滤波产生降压DC-DC系统的输出V_O，输出端V_O通过电阻R_S连接电池，给电池进行充电，充电系统主要由输出恒压反馈环路和输出恒流反馈环路组成。

[0029] 充电恒流控制环路为在降压DC-DC系统的输出端V_O与电池之间串接一个采样电阻R_S用来对输出电流进行采样。电流采样单元分别连接采样电阻R_S的两端，把电池充电电流在采样电阻R_S上压降转换为电流采样输出电压提供给误差放大器1的反相端。充电恒流阈值控制单元输出可控基准电压连接误差放大器1的同相端。误差放大器1的输出连接PWM控制

和驱动单元，误差放大器1的输出电压经过PWM控制和驱动单元形成驱动功率管M1和功率管M2的占空比方波，形成负反馈环路。通过充电恒流阈值控制单元输出的基准电压的调节而控制充电电流等于所需的涓流充电电流I_{PC}、恒流充电电流I_{CC}或者是I_{CCT}。

[0030] 充电恒压控制环路为降压DC-DC系统的输出电压，也是电池充电电压连接电压采样单元。其对电池充电电压进行比例运算，输出连接误差放大器2的反相输入端，误差放大器2正相输入端接充电恒压阈值控制单元，误差放大器2的输出电压经过PWM控制和驱动单元形成驱动功率管M1和功率管M2的占空比方波，形成负反馈环路，通过对充电恒压阈值控制单元输出的基准电压的调节而控制恒压充电电压V_{CV}。

[0031] 根据误差放大器1和误差放大器2的输出电压信号的比较，PWM控制和驱动单元在恒流环路和恒压环路之间进行切换，电池内阻计算单元通过控制充电恒流阈值控制单元的输出，从而控制电池的充电电流，同时电压采样模块连接电池内阻计算单元，把电池充电电压V_S的值传递给电池内阻计算单元，电池内阻计算单元通过充电电流和充电电压信息对电池内阻进行检测计算。

[0032] 本发明的实施例的步骤流程图如图5所示，结合图6的快速充电方法的充电系统实施实例，具体工作流程如下：

[0033] 步骤1：电池在初始进行充电时，电池内阻计算连接电压采样单元，能够得到电池充电电压V_S信息，若电池电压低于恒流充电阈值，恒流充电阈值取2.9V，电池进入涓流阶段进行充电，则使用涓流-恒流内阻检测法检测出电池内阻；若电池电压高于恒流充电阈值，电池进入恒流阶段进行充电，则使用恒流内阻检测法检测电池内阻；

[0034] 1)所述涓流-恒流内阻检测法的具体步骤如下：

[0035] 电池初始充电进入涓流充电阶段，充电电流为I_{PC}，在t_1时刻电池充电电压V_S大于恒流充电阈值2.9V，涓流充电结束，此时充电过程切换到恒流充电阶段，t_1时刻的电池充电电压值为V_1，此时充电电流由涓流阶段的充电电流I_{PC}切换到恒流阶段的充电电流I_{CC}，由于电池内阻的存在，电池充电电压V_S由V_1跳变到V_2，即V1为涓流充电结束时电池充电电压V_S的值，V2为恒流充电开始时电池充电电压V_S的值，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

[0036] $$R_B=\frac{V_2-V_1}{I_{CC}-I_{PC}} \qquad (1)$$

[0037] 2)所述恒流内阻检测法的具体步骤如下：

[0038] 电池初始充电进入恒流充电阶段，充电电流为恒流充电电流I_{CC}，在t_{1a}时刻，控制充电电流由I_{CC}降至I_{CCT}，充电电流为I_{CCT}持续到t_{1b}时刻，将充电电流由I_{CCT}切换回恒流充电电流为I_{CC}，t_{1c}时刻电池充电电压V_S由电压V_3跳变到电压V_4，电池内阻R_B通过如下计算公式得到：

[0039] $$R_B=\frac{V_4-V_3}{I_{CC}-I_{CCT}} \qquad (2)$$

[0040] 步骤2：根据步骤1计算得到电池内阻阻值R_B后，在恒流充电阶段，将充电恒压阈值V_{CV}抬高至大于等于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$，其中V_{BAT_END}是电池满电电压；

[0041] 1)如果使用涓流-恒流内阻检测法，如图3所示，电池内阻计算单元计算得到电池内阻阻值R_B，t1-t2阶段电池处在恒流充电阶段时，电池充电电压V_S与电池开路电压V_{BAT}存在压差为$I_{CC}R_B$，其中I_{CC}为恒流充电电流，在t_{1a}时刻，充电恒压控制单元控制恒压充电环路

抬高充电恒压阈值电压V_{CV}，使之大于等于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$；

[0042] 2)如果使用恒流内阻检测法，如图4所示，电池内阻计算单元计算得到电池内阻阻值R_B，t_1-t_2阶段电池处在恒流充电阶段时，电池充电电压V_S与电池开路电压V_{BAT}存在压差为$I_{CC}R_B$，其中I_{CC}为恒流充电电流，在t_{1d}时刻，充电恒压控制单元控制恒压充电环路抬高充电恒压阈值电压V_{CV}使之大于等于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$；

[0043] 步骤3：在经过步骤2充电恒压阈值V_{CV}抬高之后的恒流充电阶段内，实时检测电池充电电压V_S，并通过公式$V_{BAT}=V_S-I_{CC}R_B$实时计算电池开路电压V_{BAT}，当电池开路电压V_{BAT}比电池满电电压V_{BAT_END}低30mV时，充电恒压阈值V_{CV}降低至电池满电电压V_{BAT_END}；

[0044] 在恒流充电的t_1-t_2阶段内，如图3和图4所示，充电恒压控制单元实时检测电池充电电压V_S，并通过恒流充电电流I_{CC}和内阻阻值R_B实时计算电池开路电压$V_{BAT}=V_S-I_{CC}R_B$，当t_2时刻，电池开路电压V_{BAT}比电池满电电压差小于30mV，即$V_{BAT_END}-V_{BAT_CV}<30mV$，恒流充电结束，充电恒压控制单元设定充电恒压阈值$V_{CV}$降低到电池满电电压$V_{BAT_END}$，使恒流充电阶段进入到恒压充电阶段。

[0045] 步骤4：在恒压充电的t_2-t_3阶段内，如图3和图4所示，电池充电电压V_S恒定不变，等于电池满电电压V_{BAT_END}，此时恒流充电电流I_{CV}逐渐减小，当恒压充电电流I_{CV}小于100mA时，在t_3时刻终止充电，充电结束。

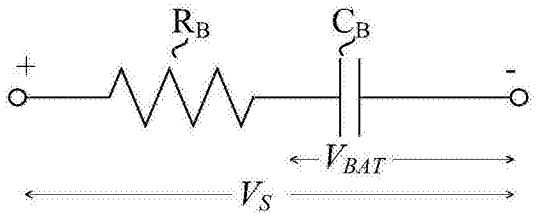

R_B
C_B
+
-
V_BAT
V_S

图1

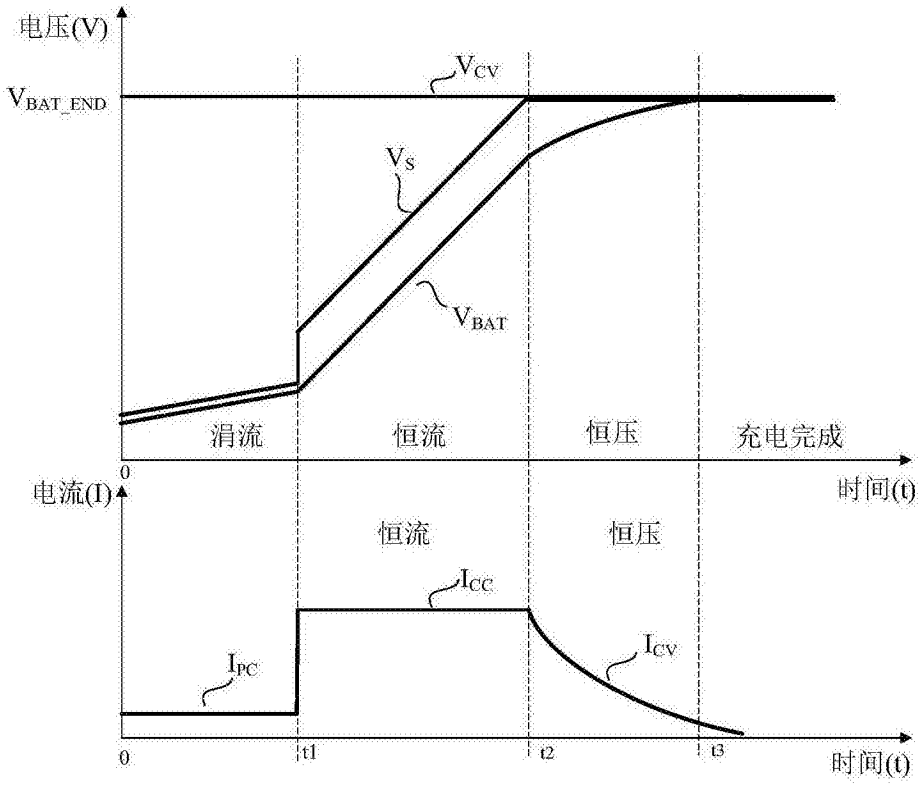

电压(V)
V_BAT_END
V_CV
V_S
V_BAT
涓流
恒流
恒压
充电完成
0
时间(t)
电流(I)
恒流
恒压
I_CC
I_CV
I_PC
0
t1
t2
t3
时间(t)

图2

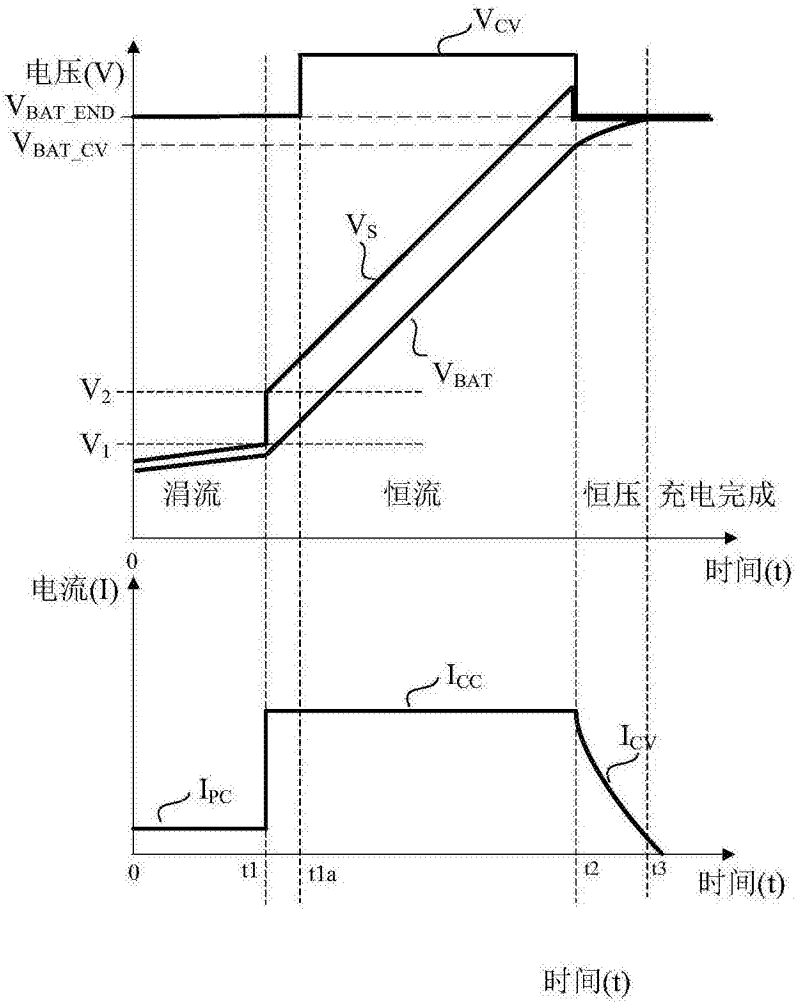

V_{CV}
电压(V)
V_{BAT_END}
V_{BAT_CV}
V_S
V_{BAT}
V_2
V_1
涓流
恒流
恒压
充电完成
时间(t)
0
电流(I)
I_{CC}
I_{CV}
I_{PC}
0
t1
t1a
t2
t3
时间(t)
时间(t)

图3

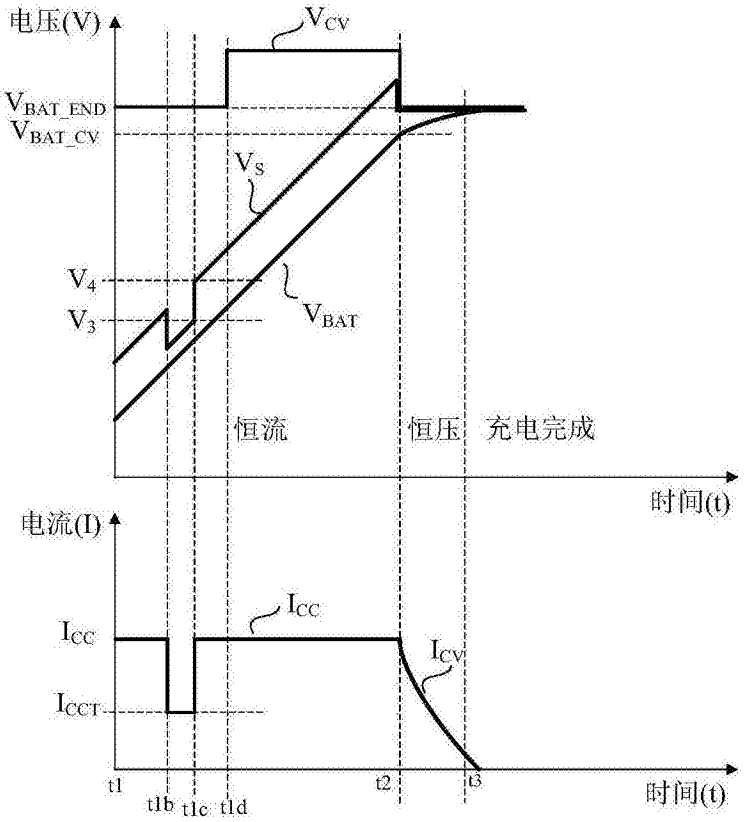

电压(V)
V_{CV}
V_{BAT_END}
V_{BAT_CV}
V_S
V_4
V_3
V_{BAT}
恒流
恒压
充电完成
时间(t)
电流(I)
I_{CC}
I_{CC}
I_{CCT}
I_{CV}
t1
t1b
t1c
t1d
t2
t3
时间(t)

图4

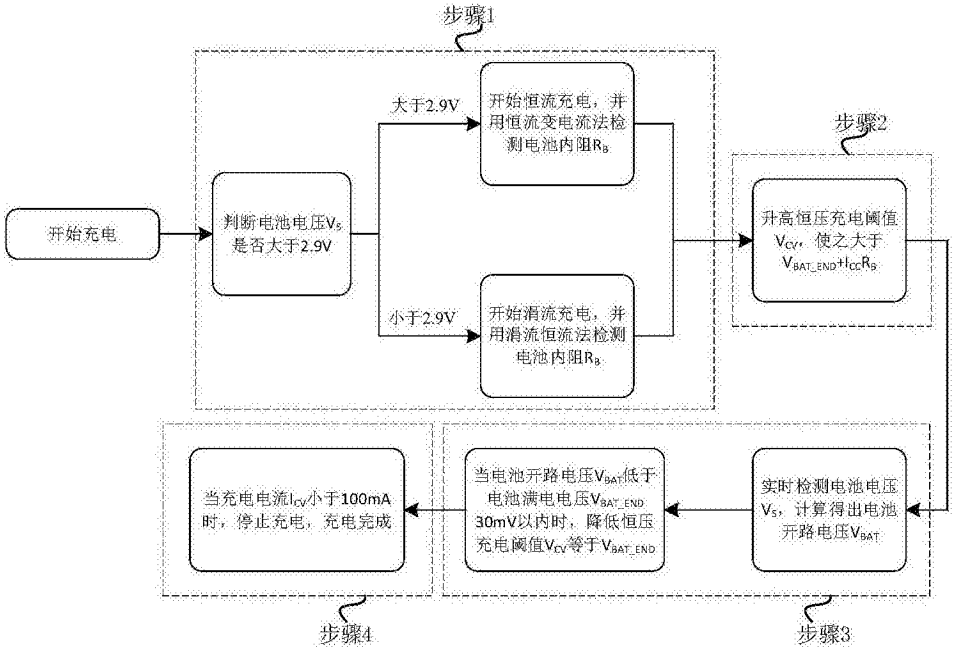

步骤1
开始充电
判断电池电压V_S是否大于2.9V
大于2.9V
开始恒流充电，并用恒流变电流法检测电池内阻R_B
小于2.9V
开始涓流充电，并用涓流恒流法检测电池内阻R_B
步骤2
升高恒压充电阈值V_{CV}，使之大于$V_{BAT_END}+I_{CC}R_B$
实时检测电池电压V_S，计算得出电池开路电压V_{BAT}
当电池开路电压V_{BAT}低于电池满电电压V_{BAT_END} 30mV以内时，降低恒压充电阈值V_{CV}等于V_{BAT_END}
当充电电流I_{CV}小于100mA时，停止充电，充电完成
步骤3
步骤4

图5

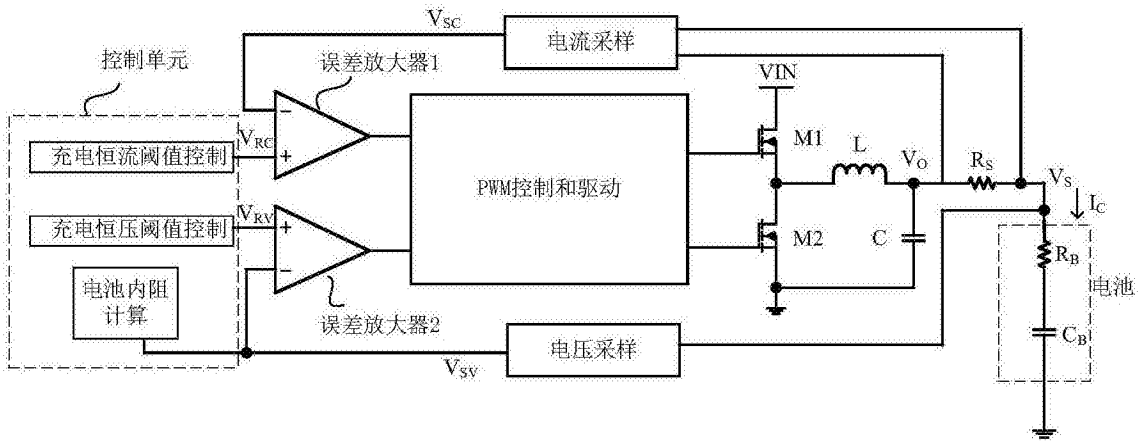

V_{SC}
电流采样
控制单元
误差放大器1
VIN
充电恒流阈值控制
V_{RC}
PWM控制和驱动
M1
L
V_O
R_S
V_S
I_C
充电恒压阈值控制
V_{RV}
M2
C
R_B
电池内阻
计算
误差放大器2
电池
C_B
电压采样
V_{SV}

图6