

文章编号: 1007-6735(2013)02-0165-04

锂离子电池容量动态测量研究

卢 成, 袁明辉

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 为提高锂离子电池容量动态测量的准确性, 利用单片机系统处理采集到的电路开端电压和回路电流, 根据最小二乘法得到电动势与内阻. 实验数据表明, 电动势并不是与荷电状态(SOC)成线性关系, 但是在较小的区间内可用线性方法处理. 由于锂电池的化学特性, 在温度较高或较低时, 电量测量误差较大, 并且随着电池的老化, 内阻对电量测量影响也会变得明显. 在考虑温度补偿和老化修正的基础上, 对测量结果进行校正.

关键词: 锂电池; 动态测量; 补偿

中图分类号: TP 302.1 **文献标志码:** A

Dynamic Capability Measurement of Li-ion Battery

LU Cheng, YUAN Minghui

(School of Optical-Electronic Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of dynamic capability measurement of Li-ion battery, a single chip microcomputer system was used to process the collected loop current and terminal voltage, and the electromotive force and internal resistance were obtained based on the least square method. Experimental data show that the electromotive force is not linearly related to the state of charge (SOC), but the linear processing method is still available in a small interval. Because of the chemical characteristics of Li-ion battery, there will be a large measure error at different temperatures. Along with the aging of Li-ion battery, the internal resistance also affects the result obviously. Considering the temperature compensation and aging correction, the measurement result was corrected.

Key words: Li-ion battery; dynamic capability measurement; compensation

随着数字设备的大量应用, 锂离子电池电量在线动态测量的重要性日益突出. 传统的电量测定技

术主要以测量开端电压(open circuit voltage, OCV)为基础, 在测定性能上有明显的局限性^[1-5]. 首先,

收稿日期: 2012-06-12

基金项目: 上海市自然科学基金资助项目(11ZR1424900)

第一作者: 卢 成(1988-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 无线传感网络和 THz 技术. E-mail: 799830767@qq.com

通讯作者: 袁明辉(1976-), 男, 讲师. 研究方向: 无线传感网络和 THz 技术. E-mail: yuan.minghui@163.com

以测量开路电压为基础的方案,测量结果会受到电池内阻变化的影响;此外,这种算法没有解决温度变化的影响.锂电池因其化学特性,在特定范围内,温度越高,活性越高,可放出的电量也就越多,反之越少,这就是为什么冬天和夏天电池电量会有很大差异的主要原因.内阻和温度变化可能使得测量误差高达50%.本文在考虑老化修正和温度补偿的基础上,通过最小二乘法测出电池的电动势并得到荷电状态(state of charge, SOC),基于单片机系统实现了锂离子电池容量的在线动态精确测量.

1 系统框图

锂离子电池容量的在线动态测量原理的系统框图如图1所示.电压、电流采集模块都是以集成运算放大器为核心的模拟放大电路,电压采集模块采用集成运放构成的电压跟随器,电流采集模块采用集成运放构成的正向比例放大器.经过电压、电流模块的采集,并将采样信号送给MCU处理,能得出当前的路端电压与回路电流.温度采集模块由负极性温敏电阻构成,采样得到温敏电阻的电压信号,通过单片机处理,得出当前的温度值.由于本系统的功耗极小,对测量结果的影响可忽略不计,所以采用锂电池对系统直接供电,减小系统体积.由于电压匹配问题,锂电池的电压要经过电压转换电路转换成MCU的工作电压.测量结果会通过显示模块显示.系统总的工作原理是:通过实时测量电池的路端电压和回路电流,根据最小二乘法,计算获得锂离子电池的电动势和内阻,根据电动势分区线形转换获得容量SOC值,并根据内阻值对容量进行老化修正;同时定时测量环境温度,再对容量进行温度补偿,以保证测量的准确性.

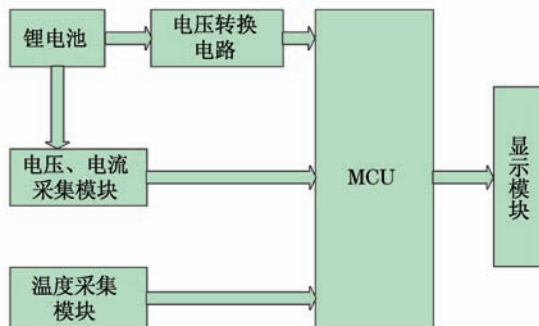


图1 锂离子电池容量在线动态测量原理

Fig.1 Principle of the on-line dynamic capability measurement of Li-ion battery

2 硬件电路

图2为锂离子电池容量在线动态测量电路图,锂离子电池是整个电路的电源,音响为实验的用电设备.图2(a)中电源即锂电池正极(考虑到给单片机供电,故选用两块锂电池串接).单片机输入电压由稳压器7805的+5V输出提供.LM358为双运算放大器,分别测量锂离子电池工作时的路端电压与回路电流,图中 U_{com} 是电压跟随器的输出信号,直接输入单片机的P₁口,经A/D转换成数字信号,对锂离子电池的端电压进行监控.图2(b)中 I_{com} 是正向比例放大器的输出信号(放大倍数等于 $1 + R_2/R_3$),此信号经单片机采样,能计算出采样电阻 $R_9 // R_{10}$ (毫欧级)的电压,从而获得回路电流.温敏电阻上的电压也直接由单片机采样,接到单片机的P₁口,如图2(c)所示.此外,STC12C5A60S2单片机的部分接口用来作为显示功能,其中P₀口接8只发光二极管,段式显示电池电量剩余情况,P₂口和P₄口部分接口连接1602液晶显示屏,显示当前温度、当前电池电量等信息,如图2(d)所示.

3 算法

首先通过同时测量电池端电压 $U(i=1 \sim 1000)$ 和电流 $I(i=1 \sim 1000)$ 各1000个采样点,设电池内阻为 r ,拟合函数为

$$U = \epsilon - Ir \quad (1)$$

采用最小二乘法确定电池电动势 ϵ 和内阻,即满足

$$\left. \begin{aligned} \min \sum_{i=1}^{1000} [\epsilon(i) - \epsilon]^2 \\ \min \sum_{i=1}^{1000} [r(i) - r]^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

设

$$\left. \begin{aligned} a = 1000, b = \sum_{i=1}^{1000} I(i), c = \sum_{i=1}^{1000} I(i)^2, \\ d = \sum_{i=1}^{1000} U(i), e = \sum_{i=1}^{1000} U(i)I(i) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则最小二乘法的最优解为

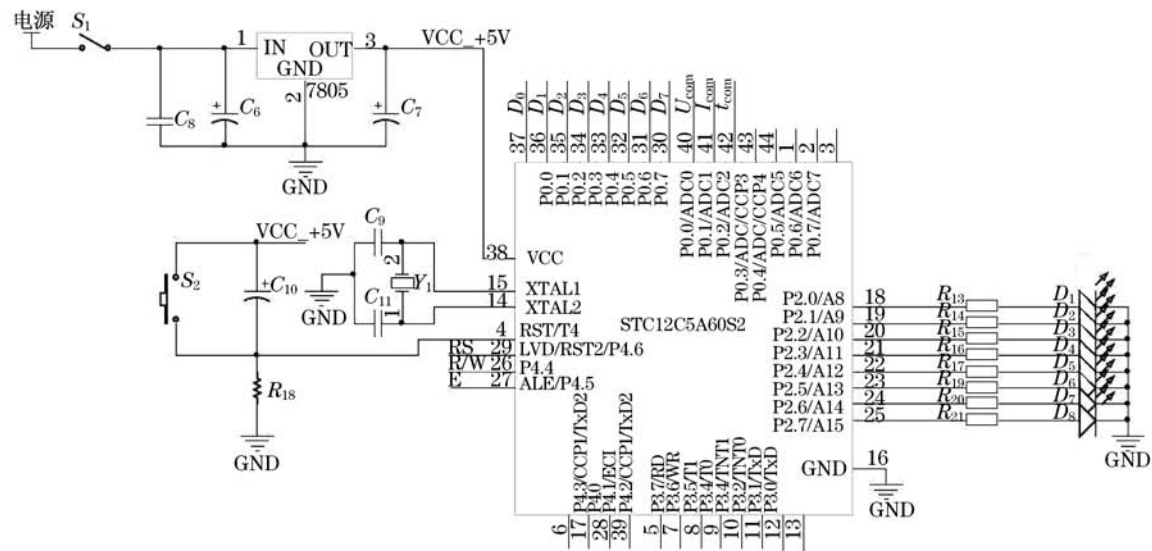
$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= \frac{be - cd}{b^2 - ac} \\ r &= \frac{ae - bd}{b^2 - ac} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3.1 容量计算

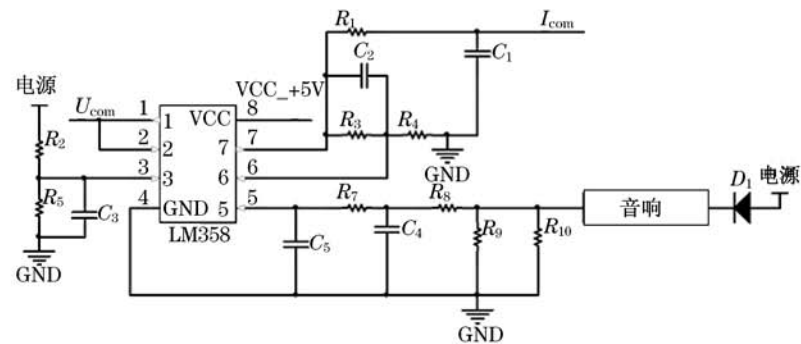
通过大量的测试数据发现,电池SOC和电池电

动势 ϵ 并非成简单的线性关系,因此需要分区间进行百分比的转换校正. 锂离子电池容量 C_0 与电动势在室温 25℃ 时的对照关系如表 1 所示,在每个区

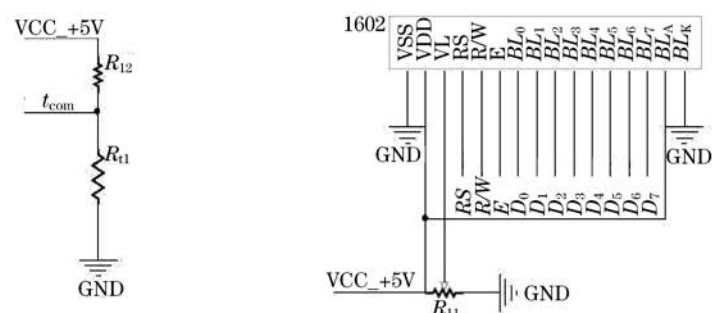
间内可以近似认为电池容量与电动势成线性关系(根据多次实验验证,误差小于 1%).



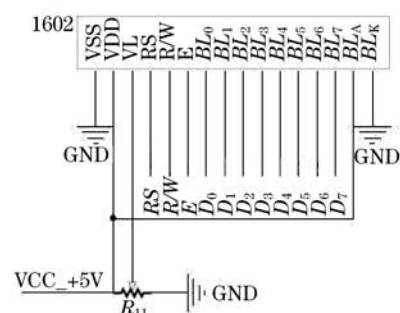
(a) STC12C5A60S2单片机最小系统



(b) 电压电流测量模块



(c) 温度采集测量电路



(d) 1602液晶显示模块

图 2 锂离子电池容量在线动态测量电路图

Fig.2 Circuit diagram of the on-line dynamic capability measurement of Li-ion battery

表 1 锂离子电池容量与电动势对照表

Tab.1 Comparison table of Li-ion battery capacity and the electromotive force											
ϵ/V	4.2	4.06	3.98	3.92	3.87	3.82	3.79	3.77	3.74	3.68	3.45
$C_0/\%$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5

3.2 老化修正

随着电池的使用时间的推移,内阻逐渐增大导致容量的下降,因此可以根据计算得到的内阻值对其容量进行修正.初始内阻为 r_0 ,计算得容量为 C_0 ,经过一段时间老化后的内阻为 r_1 ,设平均电流为 I ,则内阻为 r_1 时的 SOC 的修正因子为

$$F_1 = \left(\frac{\epsilon - Ir_1}{\epsilon - Ir_0} \right)^2 \tag{5}$$

需要注意的是,当电池的 SOC 低于 40% 时,其内阻会很快增大,导致其放大能力会急剧下降(类似于老化所造成的内阻增大情况),因此在放电过程中也需要根据内阻变化对 SOC 进行修正.

3.3 温度补偿

由于锂电池因其化学特性、容量与温度正相关,因此需要对其容量进行温度补偿.实验测得一些关键点,得到若干区间,在每个区间的容量值与温度近似线性.再将当前温度下的有效容量折算到 25℃ 下的有效容量.设温度为 t 时的修正因子为 F_2 .容量温度补偿对照如表 2 所示,在每个区间可以近似认为电池容量与温度成线性关系.

表 2 温度补偿对照表
Tab.2 Comparison table of temperature compensation

$t/^\circ\text{C}$	-40	-20	0	20	30	40
$F_2/\%$	33	61	82	95	105	112

则老化修正和温度补偿后电池的 SOC 的容量为

$$C = C_0 F_1 F_2 \tag{6}$$

4 结 论

基于单片机系统实现了在线动态精确测量锂电池容量 SOC.同时在线测量电池的端电压和电流,通过最小二乘法计算获得其电动势和内阻,并根据电动势分区转换获得 SOC 值,然后根据内阻值进行老化修正,根据温度值进行温度补偿,从而获得较精确的 SOC 值.经实验验证,采用此系统测得的结果与精密电量计的测量结果误差小于 1%.

参考文献:

[1] 张幸,杨伟民,李纲园. 智能化电池充电装置的研究[J]. 上海理工大学学报,2004(4):381-384.
[2] Brodd R J, Bullock K R, Lwising R A. Batteries, 1997 to 2002[J]. J Electrochem Soc, 2004(3):1-11.
[3] 桂长清,柳瑞华. 蓄电池内阻与容量的关系[J]. 通信电源技术,2011(1):32-34.
[4] 樊海军,丁学明,徐红平. 锂电池组智能管理系统设计及实现[J]. 电源技术. 2011(5):510-513.
[5] 易映萍,郭利辉,刘普,等. 锂电池组智能管理系统设计及实现[J]. 电源技术. 2011(5):903-905.

(编辑:金 虹)