

锂离子电池组的内阻在线检测系统的设计

雷 娟^{1,2}, 蒋新华^{1,2}, 解晶莹^{1,2}

(1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 锂离子电池组在应用中需要对其内阻进行检测。对电池的交流内阻测量法进行了改进, 在串联电池组内阻的测量中引入了单体电池的内阻测量法, 设计了锂离子电池组内阻的在线检测系统。通过锁相放大技术及基准电阻补偿方法提高了测量的精度, 误差在 10% 以内。

关键词: 交流内阻测量法; 锂离子电池组; 内阻测量; 锁相环电路

中图分类号: TM912.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-1579(2007)02-0130-03

The designed of online detection system for internal resistance of Li-ion batteries

LEI Juan^{1,2}, JIANG Xin-hua^{1,2}, XIE Jing-ying^{1,2}

1.

200050

2.

100049

Abstract: It was necessary to detect the internal resistance in the application of Li-ion batteries. AC internal resistance test method of the battery was improved. The internal resistance detection method for single battery was used in the internal resistance detection of batteries in series, and the Li-ion batteries internal resistance online detection system was designed. Phase lock loop and benchmark resistance compensating technologies were used to improve the detection precision, the error was less than 10%.

Key words: AC internal resistance test method; Li-ion batteries; internal resistance detection; phase lock loop circuit

锂离子电池的内阻与容量有关, 根据电池内阻的大小可判定电池的性能^[1]。目前对电池内阻的检测基本上是针对单体电池, 主要有两种方式: ①直流放电法, 在短时间内给电池通很大的恒定直流电流, 测量此时电池两端的直流电压, 然后根据伏安法计算出电池的内阻。这种方法比较简单, 但大电流对电池有损伤, 测量误差比较大; ②交流压降法, 通过给电池通入恒定低频交流电流 (1 kHz, 50 mA), 对电池的交流电压采样, 计算出电池的内阻。这种方法测量速度快, 对电池的损伤较小, 但容易受到纹波等干扰, 且连接线等因素会影响精度^[2]。一些对电池组的内阻进行检测的设计, 主要是通过给每只单体电池并联上一个直流放电内阻的检测装置来实现^[3]。这种方法减小了对电池的损伤, 但电路的结构复杂, 对于串数较多的电池组并不适用。

本文作者将交流内阻测量法应用于多串的锂离子电池组中, 通过对电池的循环检测, 实现整个电池组的内阻测量; 采用锁相放大技术抑制干扰和噪声, 采用基准电阻法减小了连接线等引起的系统误差, 提高了测量精度。

作者简介:

雷娟 (1982 -), 女, 湖南人, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所硕士生, 研究方向: 锂离子电池, 本文联系人;
蒋新华 (1976 -), 男, 江苏人, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所博士生, 研究方向: 锂离子电池;
解晶莹 (1971 -), 女, 黑龙江人, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员, 研究方向: 新型化学电源及相关材料。

1 实验系统的设计

以自制的 10 串锂离子电池组 (单只电池容量为 5 Ah) 的内阻检测系统的设计为例, 其测量原理图如图 1 所示。

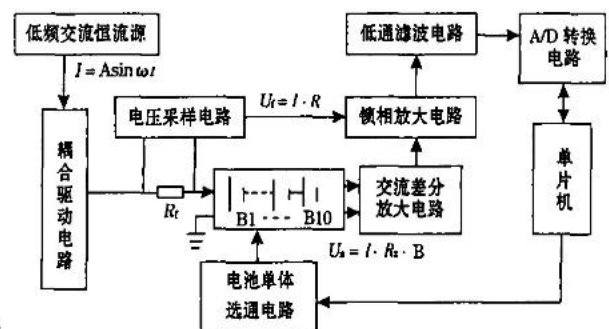


图 1 交流内阻测量法的原理图

Fig. 1 The schematic diagram of AC internal resistance test method
通过低频信号发生器产生恒定的 1 kHz、50 mA 低频交流电流, 由低频交流恒流源通过 RC 桥式振荡电路自激振荡产

生交流恒压,再通过 V/I 转换器转换为交流恒流。将交流恒流通入待测电池组。由于电池的内阻 R_x 中存在容性分量,通过电池的电压信号与注入的电流信号存在着相位差 θ 。通过将差分放大的电压信号 U_s 与采样电阻 R_f 上的压降 U_f 输入到相敏检波、低通滤波等电路中,得到电池的纯阻性部分产生的压降,将此电压通过 A/D 转换电路后,送入单片机进行处理,所得值即为被测电池的内阻。通过对电池组的自动循环检测,完成对整个 10 串锂离子电池组的内阻的统一测量。

1.1 锁相放大电路的设计

利用 ATMEL 公司的调制解调芯片 AD630 对电池内阻的测量信号进行锁相放大处理,这种方法不需要测量相移就可以直接计算出内阻 (R_b),电路实现相对简单,提高了测量精度。测量原理如图 2 所示。

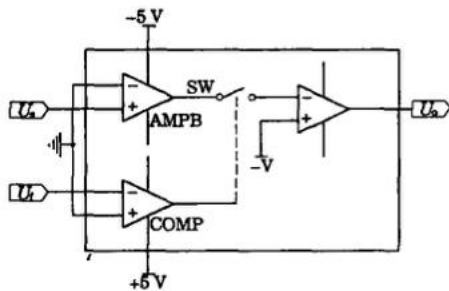


图2 相敏检波电路

Fig. 2 Phase sensitive detection circuit

AD630 输入的电池电压信号 U_s 和参考信号 U_f 通过 AD630 实现相敏检波,输出 U_o 。

$$\text{其中: } U_s = |R_b| B \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) \quad (1)$$

$$U_f = R A \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) \quad (2)$$

因此:

$$U_o = \frac{|R_b| R A B}{2} \left\{ \begin{array}{l} \cos[2\pi(f_1 - f_2)t + (\phi_1 - \phi_2)] \\ - \cos[2\pi(f_1 + f_2)t + (\phi_1 + \phi_2)] \end{array} \right\} \quad (3)$$

结果包括两部分,分别为 U_s 、 U_f 的差频分量与和频分量。由于频率相等,差频分量即为直流,而和频分量为倍频。通过低通滤波滤除倍频分量,输出只包含直流分量的部分:

$$U_o' = \frac{|R_b| R A B}{2} \cos[2\pi(f_1 - f_2)t + (\phi_1 - \phi_2)] \quad (4)$$

$$\text{则有: } |R_b| \cos(\phi_1 - \phi_2) = 2 U_o' / (R_f A B) \quad (5)$$

其中: R_f 为采样电阻, A 和 B 分别为对采样电阻 R_f 和电池上的交流压降信号的放大倍数; f_1 、 ϕ_1 和 f_2 、 ϕ_2 分别为电池上和采样电阻 R_f 上的交流电压信号的频率和相位, $f_1 = f_2$ 。 U_o' 可以测得, R_f 、A 和 B 已知,因此电池的内阻值可以计算出来。

1.2 串联电池组循环检测电路的设计

针对 10 串锂离子电池组内阻的循环检测电路如图 3 所示,通过单片机控制开关的通断,实现对各只单体电池的测量。

首先,同时导通开关 S11、S21 和 S22,接通电池组 B1。交流电流通过 S11 注入电池组, B1 的电压通过 S21 和 S22 测得,并送入交流差分放大电路,即可得到被测电池的电压 U_b ; 然后,导通 S12、S22 和 S23,测量电池组 B2,依次循环,直到 B10。10 串电池组的端电压在 40 V 左右,需要在电池的输出端串入隔直电容,使得通过的信号仅为交流电流通过电池产生的压降。由于隔直电容上存在交流容抗 X_c ,若电容器 C 选择不当,交流电流在输入端的电容器上产生一个很大的压降,致使电池的压降

淹没,使测量精确度下降。

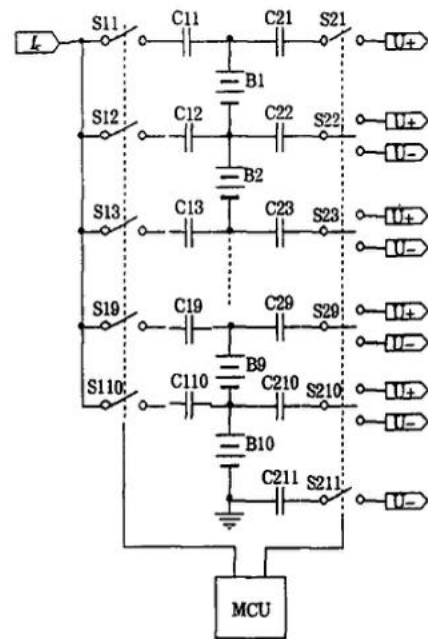


图3 锂离子电池组的循环检测电路

Fig. 3 The cycle detection circuit of Li-ion batteries
放大电路采用三运算放大器构成,如图 4 所示。

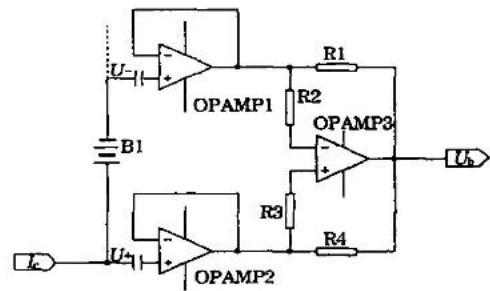


图4 电压差分放大电路

Fig. 4 Voltage differential amplifier circuit

经过差分放大电路的电压信号即为被测电池上压降的放大信号。运算放大器的高输入阻抗,使得电压检测线路的漏电流极小,因此电容及开关电阻产生的压差对检测电路影响很小。采用这种对称电路的方式,有效地抑制了两种信号的共模部分,进一步减小了系统误差。

1.3 基准电阻补偿设计

为了避免测量的相位差 θ 影响系统的精度,采用由两个基准电阻 R_{c1} 、 R_{c2} 替换电池。保持恒流源的交流恒流不变,对两个基准电阻进行同样的阻值测试,得到采样电压 U_{oc1} 和 U_{oc2} ,则:

$$U_o' / U_{oc1} = (R + R_x) / (R_{c1} + R_x) \quad (6)$$

$$U_{oc1} / U_{oc2} = (R_{c1} + R_x) / (R_{c2} + R_x) \quad (7)$$

因此:

$$R = (R_{c1} - R_{c2}) (U_o' - U_{oc2}) / (U_{oc1} - U_{oc2}) + R_{c2} \quad (8)$$

其中: R_x 为测量线路的阻抗,直流电压 U_o' 、 U_{oc1} 和 U_{oc2} 值可通过 A/D 变换电路得到,而基准电阻 R_{c1} 、 R_{c2} 的阻值已知。通过这种基准电阻补偿的方法可以抵消掉由于测量线路的阻抗 R_x 产生的误差。采用不同基准电阻对系统进行仿真设计,仿真结果如图 5 所示。

基准电阻不同的取值对测量的误差会产生很大的影响,由

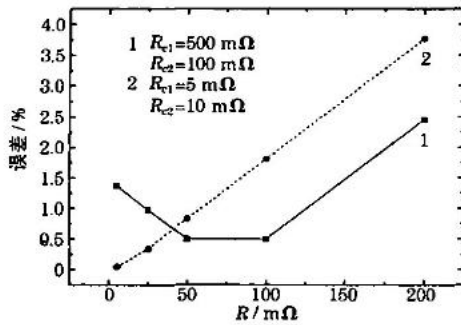


图 5 基准电阻引起的测量误差

Fig. 5 Detection error caused by the basic resistance

仿真结果可知:基准电阻值与被测电池组的内阻值越接近,误差越小。综合考虑以上两种影响因素以及被测电池组的内阻正常值范围,本实验中采用的是 50 mΩ 和 100 mΩ 两个电阻(误差为 1%)为基准电阻,基准电阻引起的最大误差在 0.5% 以内。

另外,由于各个通道电路的不同,需将基准电阻分别代替 10 只电池进行测量,将测得的 10 组结果存储在单片机中,在以后的内阻测量中只需要调用其中的数据即可。考虑到测量环境因素的变化,还可以测量不同条件下(如温度条件)基准电阻的采样电压值,通过曲线拟合得到电阻的不同电压与温度的相关函数,存入单片机中,在测量电池内阻时,将测量条件代入函数中即可得出准确的 U_{oc1} 、 U_{oc2} 值。这样减小了环境对内阻测量精度的影响。

1.4 单片机控制

整个系统的工作程序均由单片机控制,本实验采用的是 ATMEL 公司的 89C51 单片机。单片机主要对 A/D 转换芯片和电池选通电路进行控制。单片机的工作流程如图 6 所示。

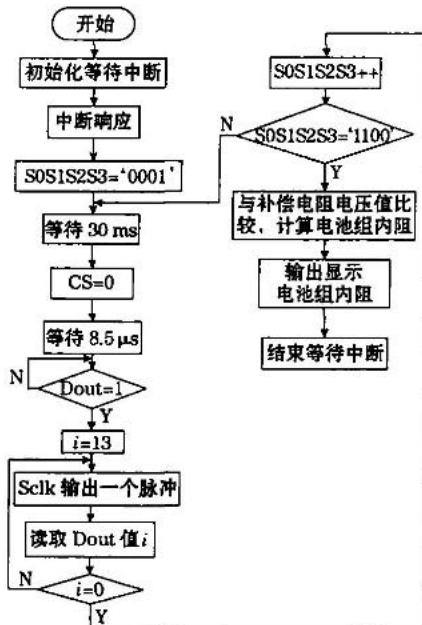


图 6 单片机的工作流程 Fig. 6 Flow chart of MCU working

当外部电压检测电路检测到电池的电压到达设定电压值时产生中断,单片机响应中断后,先设置开关选择电路 $S0S1S2S3 = '0001'$,使得电池组 B1 被接通,交流电流注入电池组,对电池电压采样,等待延时之后,接通 A/D 转换芯片。本测试采用美信公司的 12 位 A/D 串行转换芯片 MAX187,该芯片将模拟信号转换为 12 位数字信号,单片机读取该数字信号并存

储。选择开关 $S0S1S2S3 = '0010'$,接通电池组 B2,重复上述操作,直到电池组 B10;然后对各电池组的采样电压进行处理,根据测量环境调用相关函数计算 U_{oc1} 和 U_{oc2} 值,再计算出电池的内阻值 R_b ,并输出显示,然后单片机进入低功耗工作模式,等待下一次的中断操作。

2 结果与分析

对 10 串锂离子电池组进行测量,实验结果如表 1 所示,其中内阻实际值由 DK3000A 型电池内阻测试仪(哈尔滨产)测得。

表 1 锂离子电池组内阻的测量结果

Table 1 Detection results of the internal resistance of Li-ion batteries

| 电池组编号 | 测量值/mΩ | 实际值/mΩ | 误差/% |
|-------|--------|--------|------|
| 1 | 22.7 | 22.6 | 0.4 |
| 2 | 23.8 | 22.5 | 5.8 |
| 3 | 22.3 | 22.7 | 1.7 |
| 4 | 24.2 | 22.7 | 6.6 |
| 5 | 25.0 | 22.8 | 9.6 |
| 6 | 23.6 | 22.6 | 4.4 |
| 7 | 23.6 | 22.9 | 2.2 |
| 8 | 21.8 | 22.7 | 3.9 |
| 9 | 21.9 | 22.6 | 3.1 |
| 10 | 20.9 | 22.3 | 6.3 |

本设计中对电池组内阻的测量误差在 10% 以内,分析误差来源主要有:

a. 由于采用的是交流信号,对检测线路产生纹波干扰,并且检测信号很微弱,因此对测量结果有一定的影响,可以对电路板采用抗干扰设计,进一步减小交流信号的干扰。

b. 由于被测电池和基准电阻测量时的接触点不完全相同,存在因接触电阻引起的误差。通过实验可知,该因素对测量精度的影响较大,因此在内阻的测量中需要使用专用的夹具。

c. 由于电池组测量采用的隔直电容上存在容抗,在一定程度上影响了内阻的测量精度。虽然设计中选择了容值尽可能大的电容,但其容抗还是远远大于被测电池的内阻值,使得电池组的内阻测量精度低于单体电池的内阻测量精度。

3 结论

本文作者设计了 10 串锂离子电池组的内阻检测系统,实现了对电池组内阻的实时在线检测。该电路易于扩展,可应用于其他串数的电池组中。电路采用了锁相环检波电路、基准电阻补偿等设计,使得内阻采样更加精确。根据电池内阻与容量之间的关系可以计算出电池组容量,方便了用户在电池组的应用过程中对电池性能的在线监测。

参考文献:

- [1] HUANG Ke-long(黄可龙), LU Zheng-zhong(吕正中), LIU Su-qin(刘素琴). 锂离子电池容量损失原因分析[J]. Battery Bimonthly(电池), 2001, 31(3): 142 - 145.
- [2] LI Li-wei(李立伟), ZOU Ji-yan(邹积岩). 基于交流测量法的蓄电池内阻测量装置的研究[J]. Measurement Technique(计量技术), 2002, (12): 15 - 17.
- [3] 哈尔滨维泰斯能源技术有限公司. 蓄电池内阻交流测量装置[P]. CN: 2004Z0019176. 3, 2005 - 08 - 10.

收稿日期:2006 - 09 - 14