

基于小电流二次放电法的蓄电池内阻 在线检测研究

李莹, 朱武

(上海电力学院 电子与信息工程学院, 上海 200090)

摘要: 针对铅酸蓄电池内阻小、大电流放电对电池损害大、小电流放电信号小等问题, 提出了一种小电流二次放电法测蓄电池内阻的新方法; 采用组合开关和精密高稳定性功率电阻组成两个放电回路, 在控制器的作用下进行两次小电流放电, 经过采样保持器分别采集两次放电过程中放电电阻两端的电压, 两次放电电压差值由超低失调漂移放大器 ICL7650 进行放大, 由两次放电电阻的端电压及差值, 实现蓄电池的内阻测量; 实验数据表明, 两次小电流放电测得的蓄电池内阻值与大电流放电测得的蓄电池内阻结果一致, 该方法可实现蓄电池内阻的在线检测。

关键词: 蓄电池; 小电流放电; 内阻; 在线检测

Battery Internal Resistance Online Detection Research Based on the Small Current Secondary Discharge

Li Ying, Zhu Wu

(School of Electronic and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Aiming at the problem of lead-acid battery internal resistance is small, large current discharge of battery damage too large and the signal of small current discharge is too small, proposes a new method, small current secondary discharge, to test the internal resistance of battery. The two discharge circuit is composed of switch combination and precision high stability power resistance, two small current discharge in the role of the controller. Collected the voltage of the two discharge resistor through the sample and hold device during the two discharge process, two discharge voltage difference by ultra low offset drift amplifier ICL7650 amplification, by two discharge resistor terminal voltage and the difference, in order to achieve battery internal resistance measurement. The experimental data show that the two small current discharge measuring battery internal resistance and large current discharge measuring battery internal resistance is consistent with the result, the method can realize online detection of battery internal resistance.

Keywords: battery; small current discharge; internal resistance; on-line detection

0 引言

蓄电池的内阻作为蓄电池的重要性能指标之一, 无论是蓄电池的性能、容量状态还是充放电状况, 都能从它的内阻变化中体现出来。因此, 可以通过检测蓄电池的内阻, 对其工作状态进行实时监测和评估^[1]。

目前常用的蓄电池内阻检测方法主要有密度法、交流注入法和直流放电法^[2]。密度法是通过检测电池电解液的密度来估算电池的内阻, 常用于检测开口式铅酸蓄电池的内阻, 不适合密封式铅酸蓄电池的检测^[3]。交流注入法是给蓄电池注入一个低频的交流电流信号, 检测蓄电池两端的电压和流过的电流及两者的相位差, 即可计算出蓄电池的内阻^[4]。交流法可以实现蓄电池内阻的线检测和管理, 但是, 这种方法测量参数过多, 增加了系统的复杂性, 比较适合单体电池的检测^[5-7]。直流内阻法的基本原理是给蓄电池串联直流负载, 对电池进行瞬间大电流放电, 电流大小通常为几十到上百安, 通过检测负载撤除

前后回路中的放电电流和蓄电池端电压的变化, 可得蓄电池的内阻。直流量可在线精确检测蓄电池的内阻, 并且, 测量误差可控制在 0.1% 以内。此方法的缺点是, 当蓄电池有大电流通过时, 会出现极化内阻, 对蓄电池的损害也较大, 不利于在线检测^[8-9]。

通过对蓄电池内阻模型的分析以及目前常用的蓄电池内阻检测方法的研究, 设计了一种新的蓄电池内阻在线检测方法—小电流二次放电法, 实现了通过直流放电法对蓄电池内阻的在线检测。

1 直流小电流二次放电法的基本原理

直流放电法是检测蓄电池内阻最直接的方法, 常用的大电流放电对蓄电池的损害较大不宜在线检测; 小电流放电法因内阻压降信号小测量准确度不高。小电流二次放电法在线检测的等效电路如图 1 所示。

图 1 中虚线框内为直流放电状态下蓄电池的等效模型^[8], R_0 即为蓄电池的等效内阻, E 为蓄电池的开路电压, R_L 为在线状态下的等效阻抗, R_1 、 R_2 为放电回路串联的高稳定性精密功率电阻。利用两次小电流放电, 将蓄电池内阻压降在两次放电过程中的压差进行放大, 提高信号的幅度, 以提高测量准确度。其工作原理如下:

首先开关 K_1 、 K_2 都断开, 蓄电池对负载电阻 R_L 放电, 可测得 R_L 两端电压为 U_0 和流过 R_L 的电流为 I_s , 实现蓄电池

收稿日期: 2015-10-30; 修回日期: 2015-11-27。

基金项目: 上海市教委科研创新重点项目(11ZZ173)。

作者简介: 李莹(1989-), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事仪表与检测技术和蓄电池在线监测方向的研究。

朱武(1969-), 男, 湖北随州人, 教授, 博士生导师, 主要从事电磁计量、交直流转换技术和电力电缆故障诊断的研究。

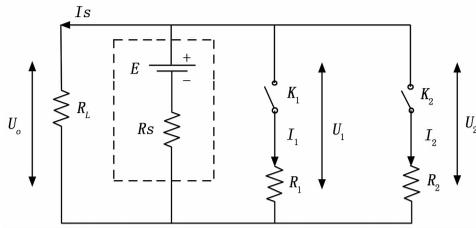


图 1 直流小电流二次放电法等效电路

负载电阻的在线识别。由欧姆定律可得：

$$R_L = \frac{U_0}{I_s} \quad (1)$$

其次，对蓄电池进行第一次小电流放电， K_1 闭合， K_2 断开，蓄电池对电阻 R_1 和 R_L 放电，设 $R'_1 = R_1 // R_L$ ， R_1 两端电压为 U_1 ，由欧姆定律可得：

$$U_1 = \frac{R'_1 E}{R'_1 + R_s} \quad (2)$$

然后，对蓄电池进行第二次放电， K_2 闭合， K_1 断开，蓄电池对电阻 R_2 和 R_L 放电，设 $R'_2 = R_2 // R_L$ ， R_2 两端电压为 U_2 ，由欧姆定律可得：

$$U_2 = \frac{R'_2 E}{R'_2 + R_s} \quad (3)$$

由式 (2)、(3) 整理可得：

$$R_s = \frac{R'_1 R'_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R'_2 - U_2 R'_1} \quad (4)$$

将 R'_1 、 R'_2 代入 (4) 式整理可得内阻 R_s 的最终表达式：

$$R_s = \frac{R_1 R_2 R_L (U_2 - U_1)}{R_L (U_1 R_2 - U_2 R_1) - R_1 R_2 (U_2 - U_1)} \quad (5)$$

因此，由 (5) 式可知首先在线识别出蓄电池的等效负载阻抗 R_L ，再由两次放电的过程测得外接放电功率电阻两端的电压 U_1 、 U_2 、 $U_2 - U_1$ ，即可求得蓄电池的内阻 R_s 。

2 测量系统硬件电路设计

根据直流小电流二次放电法的原理设计了蓄电池内阻在线检测系统，系统整体硬件如图 2 所示。

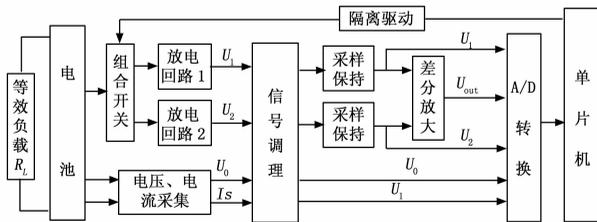


图 2 系统整体硬件框图

系统由组合开关电路、放电回路、电压电流采集电路、信号调理电路、采样保持电路、差分放大电路及单片机控制系统等组成。上电后，首先由单片机控制组合开关进行两次小电流放电并由进行电压电流采集；其次将采集到的信号通过信号调理电路进行放大滤波处理；然后经采样保持和差分放大电路得到两次小电流放电的电压差值；最后将采集到的信号经 A/D 转换送入单片机中，由式 (5) 计算出蓄电池的内阻。

系统中主控芯片选用 C8051F350 单片机，它具有片内上电复位、VDD 监视器、带 24 或 16 位单端/差分 ADC、看门狗定时器和时钟振荡器等，简化了系统设计。放电回路 1 和放电回路 2 均由精密功率电阻电路组成，以提高测量精度。电压电流采集电路选用霍尔传感器进行信号采集。由于两次小电流放

电的电压差值很小，为了减小测量误差，系统将两次小电流放电过程中采集到的电压信号，经采样保持和差分放大达到模数转换器的适当电压水平，然后再进行模数转换，以提高 $U_2 - U_1$ 差值的准确度。

2.1 采样保持电路设计

采样保持部分硬件电路如图 3 所示，采样保持器选用 LF398，采样保持器是一种用逻辑电平控制其工作状态的器件，在采样状态它精确地跟踪模拟输入信号的变化，一直到接到保持指令为止；在保持状态它等于模拟信号存储器^[10]。图中 $RE1$ 、 $RT1$ 和 $RE2$ 、 $RT2$ 分别组成两个采样保持器的调零电路， $Ch1$ 和 $Ch2$ 为保持电容。

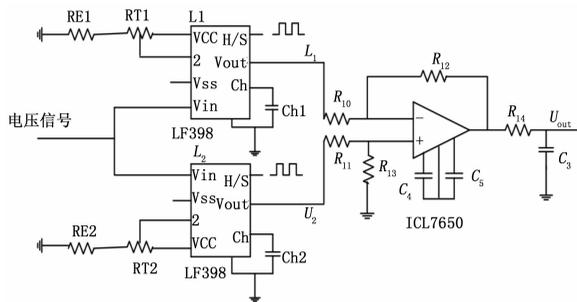


图 3 采样保持部分硬件电路图

内阻表达式中关于电压数据的采集，参考图 1 和图 3 所示，本设计所采用的技术方案具体步骤如下：第一次放电时开关 K_1 闭合， K_2 断开，采样保持器 $L1$ 处于采样状态；然后进行第二次放电，此时 K_2 闭合， K_1 断开，采样保持器 $L1$ 处于保持状态， $L2$ 处于采样状态；然后 $L1$ 、 $L2$ 都处于保持状态，经过超低失调漂移放大器 ICL7650 实现差分放大，得到 $U_2 - U_1$ 。最后将数据 U_1 、 U_2 和 $U_2 - U_1$ 送入自带 AD 转换的单片机中，通过计算得到蓄电池的内阻值。图 3 中 ICL7650 与 R_{10} 、 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 构成减法器，实现获取 $U_2 - U_1$ 的功能，当满足 $\frac{R_{10}}{R_{12}} = \frac{R_{11}}{R_{13}}$ 时，减法器的放大倍数 A 为：

$$A = \frac{R_{12}}{R_{10}} \quad (6)$$

减法器的输出 U_{out} 为：

$$U_{out} = \frac{R_{12}}{R_{10}} \times (U_2 - U_1) \quad (7)$$

已知蓄电池内阻值 R_s 约为 9 mΩ，两次小电流放电电流差值 ΔI 约为 0.6 A，电压差值 ΔU 为：

$$\Delta U = (U_2 - U_1) = R_s \times \Delta I \approx 5.4 \text{ mV}$$

已知选用的单片机内置 A/D 转换器参考电压为 2.5 V，综合式 (6)、(7) 及单片机参考电压，差分放大倍数 A 取 200。减法器电路参数为：电阻 R_{12} 取 200 K， R_{13} 取 1 K。

2.2 采样保持电路参数选取

本文用两次采样获得两次小电流放电时功率电阻两端的电压值，然后将两次电压采样值进行差分运算，并对差值放大。由于采样保持器内部放大器的输入端偏置电流的影响，先执行保持指令的采样保持器的电压值将发生变化，当两次采样的时间间隔相对较长时，将给差值运算带来较大的误差，影响内阻测量的准确度。为了减小偏执电流引入的误差，必须根据实际应用情况选择合适的外接保持电容和两次采样时间间隔等参数^[11]。

假设两次采样时间间隔为 Δt ，采样保持电容值为 Ch ，采

样保持器前端放大器的偏置电流典型值为 I_B , 两次放电电流的差值为 ΔI , 蓄电池的内阻为 R_s , 且两路采样保持器内部放大器偏执电流大小方向相同, 则在 Δt 时间内, 采样电容两端的电压变化为:

$$U = R_s \times \Delta I \quad (8)$$

在两次采样时间间隔 Δt 内, 偏执电流引起的采样保持器电容的电压变化 ΔU 为:

$$\Delta U = \frac{\Delta t \times I_B}{Ch} \quad (9)$$

若要消除放大器偏置电流对电路的影响, 则需满足:

$$\frac{\Delta U}{U} < 0.5\% \quad (10)$$

由式 (6) ~ (8) 整理可知: 采样保持电路中相关参数 Δt 、 Ch 、 I_B 、 ΔI 、 R_s 需满足:

$$\frac{\Delta t \times I_B}{Ch \times R_s \times \Delta I} < 0.5\% \quad (11)$$

由式 (9) 可知, 当偏置电流 I_B 、 R_s 蓄电池内阻以及两次放电电流之差 ΔI 的值基本确定之后, 两次采样时间间隔 Δt 和保持电容 Ch 的取值将由式 (11) 进行优化。

3 实验结果及测试数据

为了验证此内阻检测方法的可行性, 本文对某品牌 12 V、38 Ah 的铅酸蓄电池进行了内阻检测实验, 并与瞬间大电流放电法检测所得内阻值进行比较。瞬间大电流放电法测试结果记为测试值 1, 直流小电流二次放电法测试结果记为测试值 2。

已知该蓄电池标称内阻为 8.75 m Ω , 采样保持器前端放大器的偏置电流典型值为 $I_B = 30$ pA, 小电流放电回路中 R_1 、 R_2 分别选用 10.032 Ω 和 20.024 Ω 的精密功率电阻, 电阻 R_2 由 16 个阻值为 320 Ω 、温度系数为 ± 15 ppm、精度为 0.1%、功率为 1 W 的精密功率电阻经过并联之后得到, R_1 则是由两组 R_2 并联得到, 满足放电要求。电路中的等效负载选用 20 Ω 的电阻, 蓄电池的满充电压约为 13 V。可知两次放电电流的差值 $\Delta I \approx 0.6$ A, 采样时间 Δt 为 4.5 s, 保持电容 $Ch = 5$ μ F, 满足下式:

$$\frac{\Delta t \times I_B}{Ch \times R_s \times \Delta I} < 0.5\% \quad (12)$$

实验结果如表 1 所示。由测试结果可知, 直流小电流二次放电法与瞬间大电流放电法所测蓄电池内阻相对误差在 0.2% 左右, 满足蓄电池内阻在线检测的精度要求。

(上接第 38 页)

检测问题。试验表明, 所设计的系统有效测距范围可达 50 米以上, 所研制的系统已在新疆 18 组 SAGD 双水平井磁导向钻井中得以成功应用, 邻井距离测控指标均达到了现场钻进导向的要求, 打破了国外公司在该领域的技术垄断。

参考文献:

[1] 沈忠厚, 黄洪春, 高德利. 世界钻井技术新进展及发展趋势分析 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2009, 33 (4): 64-70.
 [2] 宗艳波, 张 军, 史晓锋, 等. 基于旋转磁偶极子的钻井轨迹高精度导向定位方法 [J], 石油学报, 2011, 32 (2): 335-339.
 [3] Oskarsen R T, Wright J W. Rotating magnetic ranging service and single wire guidance tool facilitates in efficient downhole well connections [J]. SPE/IADC 119420, 2009.

表 1 测试数据

测试值 1/m Ω	测试值 2/m Ω	相对误差(%)
8.721	8.734	0.148
8.743	8.732	-0.125
8.762	8.774	-0.137
8.737	8.742	0.057

4 结论

通过分析几种常用的蓄电池内阻在线检测方法, 对比了其优缺点, 在此基础上提出了基于小电流二次放电法的蓄电池内阻在线检测方法。重点介绍了采样保持电路的设计及参数选取, 并通过与瞬间大电流放电法的对比实验验证了该方法的可靠性。实验数据表明此方法与瞬间大电流放电法的误差在 0.2% 以内, 满足蓄电池内阻在线检测的要求, 可实现蓄电池内阻的准确在线检测。

参考文献:

[1] 胡信国, 贺 勤, 等. 阀控铅酸蓄电池内阻研究 [J]. 电源技术, 1999 (6): 302-304.
 [2] 乔登耀, 林晓焕. 蓄电池内阻检测系统设计 [J]. 计算机与数字工程, 2013 (2): 310-312.
 [3] 李运涛, 曹建刚, 等. 蓄电池内阻检测方法研究与实现 [J]. 火炮发射与控制学报, 2012 (4): 59-62.
 [4] 李立伟, 邹积岩, 蓄电池内阻测量装置的研究 [J]. 电源技术, 2003 (1): 42-44.
 [5] 白海霞, 朱 晨, 等. 阀控式铅酸蓄电池内阻分析 [J]. 电源技术, 2011 (2): 183-185.
 [6] 邓 荣, 江国栋. 高质量抑制噪声的便携式蓄电池内阻测试仪 [J]. 电测与仪表, 2013 (9): 105-108.
 [7] 李文琦. 变电站蓄电池的内阻测试与分析 [J]. 能源与环境, 2008 (5): 37-38.
 [8] 陈颖平, 直流内阻测试法在蓄电池监测系统中的应用 [J]. 云南电业, 2013 (9): 39-40.
 [9] 刘登峰, 邵天章, 蓄电池内阻测试仪的设计 [J]. 电源技术, 2011 (3): 305-307.
 [10] 闫 杰, 王百鸣, 基于采样保持器的滤波电路研究 [J]. 微电子学, 2006 (6): 707-709.
 [11] 田志平, 徐秀林. 采样保持器 LF398 及其应用 [J]. 电子技术应用, 1988 (3): 33-36.
 [4] 高德利, 孙东奎, 吴志永, 等. 一种邻井距离随钻电磁探测系统 [P]. 200910210076. 6, 2009-11-04.
 [5] 戴逸松. 微弱信号检测方法 & 仪器 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
 [6] Leach X W. Fundamentals of low noise analog circuit design [J]. IEEE proceeding, 1994, 82 (10): 1515-1538.
 [7] 远坂俊昭. 测量电子电路设计—滤波器篇 [M]. 彭 军, 译. 北京: 科学出版社, 2006.
 [8] 梁华庆, 耿 敏. 一种用于旋转磁场井间测距的频变信号消噪方法及装置. 201210165021. X [P]. 2012-05-25.
 [9] 梁华庆, 耿 敏, 时东海, 等. 旋转磁场井间随钻测距导向系统中微弱频变信号的检测方法 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版) 2013, 37 (4): 83-87.
 [10] 高德利, 刁斌斌, 张 辉. 一种用于邻井距离随钻电磁探测的计算方法. 200910210079. X [P]. 2009-11-04.