

基于脉冲电流放电法的蓄电池内阻在线检测研究*

张成伟 崔 畅

(辽宁石油化工大学信息与控制工程学院 抚顺 113001)

摘 要:针对现有蓄电池内阻检测方法存在的精度差、复杂性高和影响蓄电池寿命等缺点,研究了一种基于脉冲电流放电法的内阻在线检测系统。通过控制开关管的通断使蓄电池对负载进行脉冲电流放电,同时采集放电前后的电压及电流,经交流差分电路放大后将交流信号转变为直流信号,再通过滤波电路处理后进行模数转换,最后由 MSP430 单片机进行分析处理,实时在线计算蓄电池内阻。实验结果表明,本文提出的脉冲电流放电法需要测量的参数较少,降低了系统的复杂性,提高了在线测量蓄电池内阻的精确度,同时避免了瞬间大电流对蓄电池的损害,延长了使用寿命。

关键词:蓄电池;内阻;在线检测;脉冲电流

中图分类号: TM912 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Research on battery internal resistance online detection based on pulse current discharge method

Zhang Chengwei Cui Chang

(School of Information and Control Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract: In view of the shortcomings of the existing methods for detecting the internal resistance of batteries, such as poor accuracy, high complexity and affecting the life of the battery, an on-line detection system of internal resistance based on pulse current discharge method is studied. The pulse current is discharged to the load through controlling the MOSFET, and acquiring the voltages and current before and after discharge. The AC differential circuit amplifies these signals and then transform into DC signal. After the filter circuit processing, they are converted into the digital signals. Finally, the MSP430 microcontroller analyzes and calculates the internal resistance of the battery on-line. The experimental results show that the pulse current discharge method needs to less parameters, and reduces the complexity of the system, improves the accuracy of on-line measurement of battery internal resistance, at the same time avoids the damage to large transient current on the battery and prolongs the service life.

Keywords: battery; internal resistance; on-line detection; pulse current

0 引 言

由于蓄电池系统的非线性特性导致无法直接获得电池剩余电量,所以在蓄电池使用时必须对其运行参数进行全面的在线监测^[1]。内阻是检测蓄电池状态的重要参数,是衡量蓄电池的电量、容量以及充放电状况等是否满足要求的重要性能指标之一^[2-3]。因此需要一种可靠、精度高的方法对蓄电池内阻进行测量,实时监测评估电池的工作状态^[4]。

目前常用的蓄电池内阻检测方法主要有密度法、开路电压法、交流注入法、内阻测试仪和直流放电法等^[5-6]。密

度法主要通过测量蓄电池电解液的密度来估算开口式铅酸蓄电池的内阻,主要通过检测电解液的密度对电池内阻进行估算,该方法的适用范围较窄,不能用于铅酸蓄电池^[7-8]。开路电压法是通过测量蓄电池的端电压来估计蓄电池内阻,精度较低^[9]。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,来判断电池的电化学特性,从而计算出蓄电池的内阻^[5]。这种方法可以实现在线检测电池内阻的安全性,但需要测量较多的参数,增加了系统的复杂性,降低了精度。直流放电法是通过串联直流负载对电池进行瞬间大电流放电,测量电池上的瞬间电压降,通过欧

收稿日期:2017-06

* 基金项目:2016年国家级大学生创新项目(201610148050)资助

姆定律计算出电池内阻^[10-11]。该方法测量误差较小,但需要计算的过程导致不能实时在线测量,而且大电流放电会使蓄电池出现极化内阻现象。内阻测试仪是用于测量电池内部阻抗和电池酸化薄膜破损程度的仪器^[12],通过对被测对象施加 1 kHz 交流信号,测量其交流压降而获得其内阻,具有速度快且可靠性高等优点。

为了解决上述各方法的缺陷,本文通过对蓄电池内阻模型的研究,采用一种基于脉冲电流放电法的内阻在线检测方法,实验结果证明,该方法电路结构简单、精确度高、安全可靠。

1 脉冲电流放电法的基本原理

本文通过瞬间脉冲电流放电法来测量蓄电池的端电压进而得到内阻值,如图 1 所示为脉冲电流放电状态下蓄电池等效测量模型。

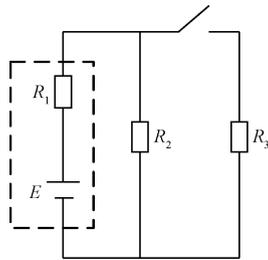


图 1 蓄电池测量模型

图 1 中, E 为电池内部电动势, R_1 为电池的等效内阻, R_2 为外部负载等效电阻, R_3 为蓄电池放电时的等效负载电阻。当开关断开时, 蓄电池对负载电阻 R_2 放电, 可测得负载两端电压 U_0 及通过的电流 I_0 , 则可计算出负载电阻值:

$$R_2 = \frac{U_0}{I_0} \quad (1)$$

当开关闭合时, 蓄电池以脉冲电流进行放电。设放电前电池端电压为 U_1 , 开关闭合后电池端电压为 U_2 , 则脉冲电流放电前后的压降为:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \Delta I \cdot R_1 \quad (2)$$

则蓄电池内阻 R_1 可通过下式求出

$$R_1 = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (3)$$

式中:

$$\Delta I = \frac{E}{R_1 + R_2 // R_3} - \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

而实际测量过程中, 由于 $R_1 \ll R_2, R_1 \ll R_2 // R_3$

则:

$$\Delta I = \frac{E}{R_2 // R_3} - \frac{E}{R_2} \quad (5)$$

由此可知, 只要设法采集到 ΔU , 再利用式(5)计算出 ΔI , 蓄电池的内阻值便可被求出。

2 系统硬件设计

2.1 系统硬件框图

按照上述脉冲电流放电法的工作原理, 本文设计了一种蓄电池内阻在线检测系统, 其工作原理如图 2 所示。

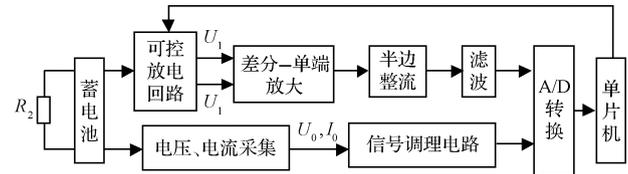


图 2 系统硬件框图

整个系统包括可控放电回路、电压电流采集电路、差分放大电路、整流和滤波电路以及单片机控制系统等几部分^[13-14]。上电后, 由单片机的 I/O 口控制可控放电电路中的 MOS 管的导通与截止进行脉冲电流放电, 同时采集电压 U_0, U_1, U_2 以及电流 I_0 。由于在实际电路中所采集到的信号数值太小, 所以需要对采集到的信号进行放大、整流、滤波等处理后再经 A/D 转换送入单片机中。

由于本系统的节点模块控制和操作并不复杂, 需要单片机的程序空间也不是很大, 所以本设计采用 TI 公司生产的超低功耗单片机 MSP430F235 作为微处理器, 它具有强大的处理功能、高性能的模拟技术和丰富的片上资源^[15]。该芯片自带 12 位的 A/D 转换器, 可以完全满足测量精度。若 n 为 AD 转换器位数, 参考电压为 2.5 V, 设 x 为采集到的 AD 值, ΔI 表示放电电流, 则蓄电池的内阻可用下式计算:

$$R_1 = x \cdot 2.5 / (4096 \cdot n \cdot \Delta I) \quad (6)$$

2.2 差分放大电路的设计

因为由放电引起的电压变化 U_1, U_2 及其差值很小, 系统要对其进行放大处理。这里采用典型的差分放大电路, 电路设计如图 3 所示。3 个 LM324 运放作为核心部件, 其中 U1A、U2A 作为输入级, U3A 作为输出级。同时在运放的同相输入端加入了滤波环节 (C_1, R_1, R_3, C_3 和 C_2, R_2, R_4, C_4)。输出级中, 在反馈电阻 R_{10} 两端并联了电容 C_5 , 可以提高电路的抗干扰能力, 进而提高对蓄电池内阻的测量精度。该电路放大倍数为:

$$n = (1 + 2 \cdot R_6 / R_5) \cdot R_{10} / R_8 = 535.5 \quad (7)$$

2.3 整流电路设计

整流电路是利用二极管的单向导电性将前级差分放大电路得到的电压信号转换成脉动直流电压。为保证精密的线性整流, 实现良好的线性转换关系, 这里选用运放 LM324 与整流器 MBR0560 共同组成了有源整流电路, 如图 4 所示。为防止前级由于放大倍数过高而产生的直流分量加入电容 (C_6) 起到隔离作用, 前级信号经过负半波放大 2.5 倍后送入滤波电路。

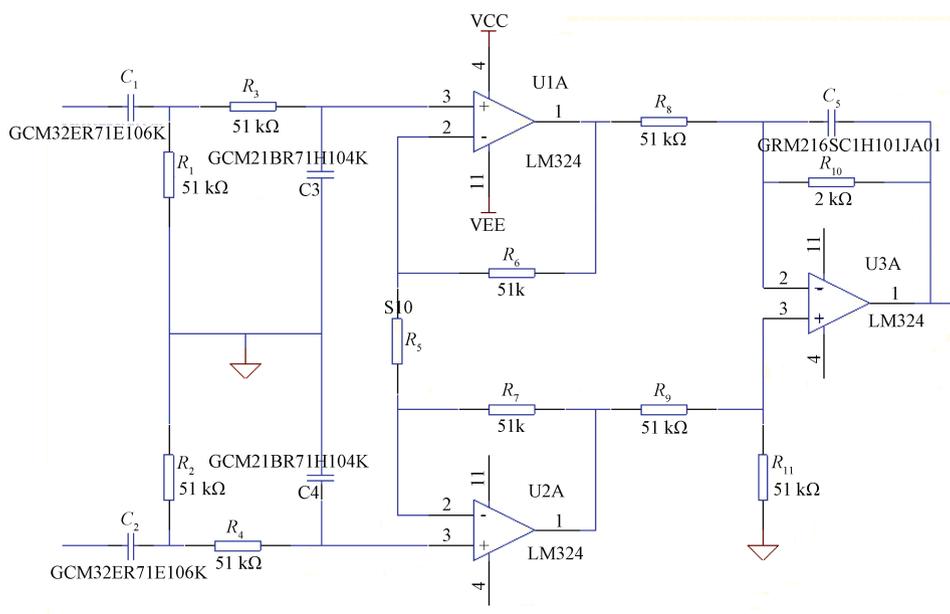


图3 差分-单端放大电路设计

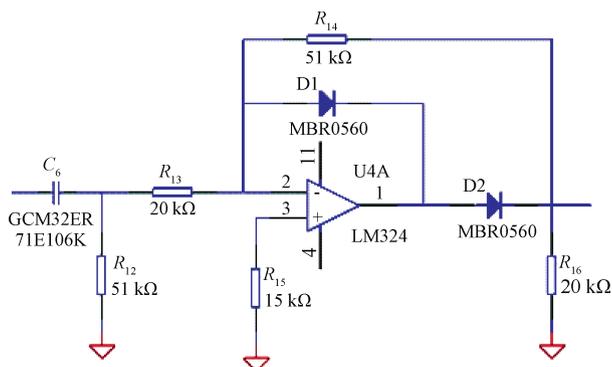


图4 整流电路设计

2.4 滤波电路设计

滤波电路可以消除噪声、工频干扰以及其他不必要的干扰。根据放电电流的频率(10 Hz),这里选择低通滤波器,通过 FilterLab 仿真软件多次试验得到如图 5 所示的低通滤波电路,各器件的参数已标注于图中。

3 实验测量结果

为了验证本文测试内阻方法的有效性,分别针对 2 块双登蓄电池 6-GFM-100H(标称内阻为 3.3 MΩ)和 2 块 6-GFM-200H(标称内阻为 2.6 MΩ)进行了内阻测试实验。每次对每块蓄电池测量 4 次,取平均值,并与校准后

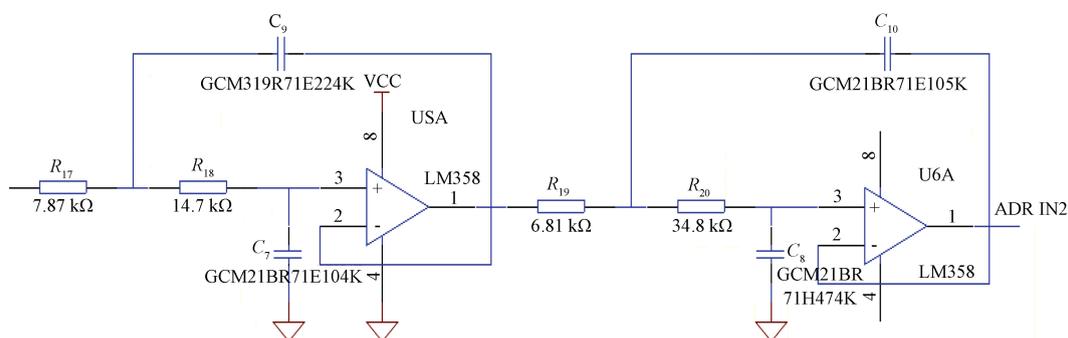


图5 滤波电路设计

的专用蓄电池容量检测装置 BCT-2000 的测量结果对比。文中同时也给出了瞬间大电流放电法的内阻检测结果。表 1 中 $R_{内}$ 表示内阻表的测量结果, $R_{小}$ 表示本文的脉冲电流放电法测量结果, $R_{大}$ 表示瞬间大电流放电法的测量结果, A_1 为本文方法与内阻表测量结果的相对误差, A_2 为大电流放电法与内阻表测量结果的相对误差, A_3 为本文方法与大电流放电法测量结果的相对误差。

表 1 内阻测试结果

$R_{内}/M\Omega$	$R_{小}/M\Omega$	$R_{大}/M\Omega$	$A_1/\%$	$A_2/\%$	$A_3/\%$
3.29	3.281	3.286	0.27	0.12	0.15
3.29	3.303	3.297	0.39	0.21	0.18
2.60	2.592	2.604	0.31	0.15	0.46
2.59	2.588	2.592	0.08	0.07	0.15

从表中数据可以看出,如果以内阻表测量结果作为标称值,那么瞬间大电流法的测量精度要稍高于本文方法所测得的精度。但两种方法所测得的内阻值相对误差都控制在0.5%以内,而两者分别与标称值的相对误差最大相差0.18%,从数据上看是完全可以满足蓄电池内阻测量的精度要求的,而脉冲电流放电法却避免了瞬间大电流对蓄电池的损害。

4 结 论

通过对几种常用内阻检测方法优缺点的对比与分析,研究了一种基于脉冲电流放电法对蓄电池内阻进行在线测量的检测系统。蓄电池通过一个持续几秒钟的脉冲电流进行放电,利用放电前后的电压差除以放电电流便可计算得到精确的内阻值。文中给出了系统的硬件电路设计和实验测量数据,实验中将本文方法与瞬间大电流测量方法进行对比,从实验结果可以看出,两种方法均可满足内阻在线测量的精度要求,但脉冲电流放电法是更安全的内阻测量方法之一,可以避免对蓄电池性能的损害,延长其使用寿命。

参 考 文 献

- [1] 皮钊,王耀南,孟步敏. 基于扩展 PSO 和离散 PI 观测器的电池 SoC 估计[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(1):11-18.
- [2] 张佳倬,陈小惠,杨焱存. 网络化蓄电池运行参数在线监测系统的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(2):177-183.
- [3] 刘泽元. 飞机蓄电池测试技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
- [4] 张昆. 蓄电池在线监测系统的研究现状[J]. 黑龙江科技信息, 2011(14):67.
- [5] 李莹,朱武. 基于小电流二次放电法的蓄电池内阻在线检测研究[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(4): 45-47.
- [6] 刘大同,周建宝,郭力萌,等. 锂离子电池健康评估和寿命预测综述[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(1):1-16.
- [7] 安凯. 基于微分方程的蓄电池内阻测量技术[J]. 电源技术, 2014, 38(12):2258-2259, 2336.
- [8] 尤茜. 蓄电池性能测试专利技术浅析[J]. 建材与装饰, 2016(32):122.
- [9] 马伟. 交直流一体化电源诊断与监测系统的应用研究[D]. 保定:华北电力大学, 2012.
- [10] 黄宁. 浅谈直流系统中蓄电池的检测和维护[J]. 企业技术开发, 2011, 30(20):106.
- [11] 冯正华,杨帆,马玉新,等. 变电站蓄电池支持向量机建模在线监测研究[J]. 测控技术, 2014, 33(5):24-27.
- [12] 唐杰. 电池内阻测试仪电阻参数的校准[J]. 工业计量, 2012, 22(增刊1):128-129.
- [13] 窦文森,熊显名,郝建卫. 基于 FPGA 的蓄电池参数检测仪[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11):63-67.
- [14] 胡益民,曹亚杰,敬刚,等. 基于谐波阻抗测量在线估测蓄电池荷电状态[J]. 电子测量技术, 2015, 38(7): 94-96.
- [15] 吴怀超,周勇. 基于虚拟仪器和 MSP430 单片机的数据采集系统的开发[J]. 化工自动化及仪表, 2011, 38(增刊1):52-55.

作 者 简 介

张成伟,1995 年出生,本科生,电气工程及其自动化专业。

E-mail:2471202562@qq.com

崔畅,1978 年出生,硕士,讲师,主要研究方向为电工电子技术。

E-mail:cuichang0518@163.com