



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103760492 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201410021380. 7

(22) 申请日 2014. 01. 17

(71) 申请人 三峡大学

地址 443002 湖北省宜昌市大学路 8 号

(72) 发明人 程江洲 冯正华 王思颖

(74) 专利代理机构 宜昌市三峡专利事务所

42103

代理人 成钢

(51) Int. Cl.

G01R 31/36 (2006. 01)

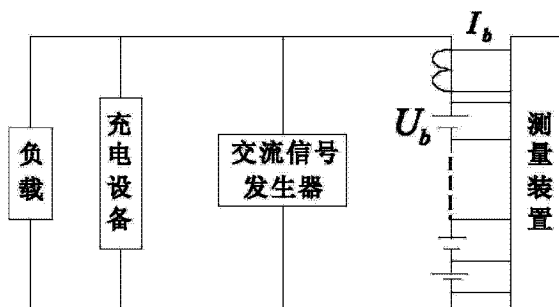
权利要求书1页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法

(57) 摘要

一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法, 通过瞬时放电法获取每个蓄电池单体的容量, 通过交流相位法检测出每个蓄电池单体的内阻, 而交流相位法对瞬时放电法修正, 消除了瞬时放电法中对开路电池邻域的干扰, 实现蓄电池组性能的实时在线无损检测。本发明一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法, 采用瞬时放电法和交流相位法相结合的方法。能实时测量每个单体蓄电池的内阻、容量等性能参数, 以期能够在蓄电池劣化早期及时发现性能劣化电池。避免由于出现蓄电池劣化积累、加剧, 而导致严重直流系统事故。



1. 一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,其特征在于,通过瞬时放电法获取每个蓄电池单体的容量,通过交流相位法检测出每个蓄电池单体的内阻,而交流相位法对瞬时放电法修正,消除了瞬时放电法中对开路电池邻域的干扰,实现蓄电池组性能的实时在线无损检测。

2. 根据权利要求1所述一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,其特征在于,

步骤1:蓄电池组挂接在充电机上,由充电器给直流负载供电,蓄电池组处于浮充状态,实现对蓄电池瞬时放电法测试内阻;

步骤2:低频交流信号发生器产生的交流小信号,经耦合驱动电路放大后加到蓄电池组两端,测出单体蓄电池两端的交流电压 V_0 ,由于蓄电池内部阻抗的存在,使得蓄电池的输出交流电流波形与其输入波形之间产生了一个相位差,通过测量不同容量的蓄电池的输入输出电压波形相位差,计算出电池的内阻。

3. 根据权利要求2所述一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,其特征在于,所述步骤1中:蓄电池组包括多个蓄电池单体,将多个蓄电池单体分为两组,每组利用大功率电阻作为放电负载,控制器分时控制两个固态继电器,完成瞬时放电操作,同时采用电压传感器和电流传感器采集每个蓄电池单体的放电前后的放电电压和放电电流。

4. 根据权利要求2所述一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,其特征在于,所述步骤2中:用信号发生器产生正弦波信号,通过一个隔直电容加到蓄电池组上,经过蓄电池组的信号再经过一个接地电阻和一个隔直电容接地,测量蓄电池输入输出信号的相位差,根据相位差计算阻抗。

5. 根据权利要求2或4所述一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,其特征在于,采用差分面积法计算两波形相位差。

一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法

技术领域

[0001] 本发明一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,涉及变电站直流电源监测领域。

背景技术

[0002] 电力系统中的变电站直流电源部分,由蓄电池组、充电模块、直流屏等设备组成。蓄电池作为直流备用电源通常处于浮充状态,一旦交流失电,蓄电池能为直流系统供电。目前,变电站用蓄电池大都应用的是“免维护电池”即:阀控密封铅酸蓄电池(VRLA)。所谓“免维护”只是无需加水、加酸、换液等维护。而对蓄电池性能状态的检测,也仅仅是测量蓄电池组的浮充电压、电流等;无法准确测量出蓄电池的真实容量。预测蓄电池的可使用时间,这就使得阀控密封铅酸蓄电池组的运行存在着很多安全隐患,严重影响到直流系统的安全运行。

[0003] 现有的蓄电池性能测试方法如下:

[0004] 1)、测量浮充电压法:

[0005] 直接用万用表手工测量,或是通过监测设备测量蓄电池的浮充电压。浮充电压的测量,可以防止浮充电压的过高和过低。但实践证明,阀控密封铅酸蓄电池具有端电压与容量无相关性。从静态的浮充电压,无法准确判断出蓄电池的性能好坏。

[0006] 2)、交流阻抗/电导测试法:

[0007] 阻抗测试:在电池组两端加载一个已知频率和幅度的交流电流,测量每个单体/元的交流压降。交流电压的测量值取自每个单体正负极的最大值(或平均值、最大值),用欧姆定律计算阻抗。电导测试:对单体/元加载一个已知频率和幅度的电压,测其交流电流的响应值。电导是所测的交流电流除以电压值。缺点是:阻抗或者电导与蓄电池容量并没有线性的对应关系,测量出结果后还需要对数据进行分析。

[0008] 3)、内阻测试法:

[0009] 内阻测试:对单体/元两端加一负载,测量其电流和电压的阶梯变化值,将电压的变化值除以电流的变化值就是内阻值。瞬间大电流放电测试内阻值,由于采用的直流法,可以很好的解决蓄电池寄生电容影响的问题。因为采用的是大电流测试,也解决了精度和充电器纹波电流干扰的问题。缺点是:对于串联起来的蓄电池组开路电池对相邻电池内阻的测试影响很大,此外内阻与容量没有完全线性的对应关系,内阻测试后仍然需要人工分析,对蓄电池状况进行判断。

[0010] 4)、电压法:

[0011] 电压法主要测量开路电压和负载电压的大小,开路电压以及负载电压的降低都表明容量的不足。开路电压与蓄电池容量有较好的对应关系,缺点是:开路电压的测量必须在蓄电池离线状态下进行,并且要持续稳定两个小时以上,无法投入到现行的变电站蓄电池。

[0012] 此外,还有瞬时放电法和交流相位法。瞬时放电法能检测单体蓄电池真实内阻,但是由于蓄电池组串联在一起,如果出现开路电池,则影响串联附近蓄电池的测试结果。交流

相位法是一种蓄电池有效在线实时检测方法,但是在实践应用过程中由于元件容差、充电机纹波等各种干扰的影响使检测结果可信度大大降低。

发明内容

[0013] 有鉴于此,本发明提供一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,采用瞬时放电法和交流相位法相结合的方法。能实时测量每个单体蓄电池的内阻、容量等性能参数,以期能够在蓄电池劣化早期及时发现性能劣化电池。避免由于出现蓄电池劣化积累、加剧,而导致严重直流系统事故。

[0014] 本发明采取的技术方案为:一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,通过瞬时放电法获取每个蓄电池单体的容量,通过交流相位法检测出每个蓄电池单体的内阻,而交流相位法对瞬时放电法修正,消除了瞬时放电法中对开路电池邻域的干扰,实现蓄电池组性能的实时在线无损检测。

[0015] 步骤1:蓄电池组挂接在充电机上,由充电机给直流负载供电,蓄电池组处于浮充状态,实现对蓄电池瞬时放电法测试内阻;

[0016] 步骤2:低频交流信号发生器产生的交流小信号,经耦合驱动电路放大后加到蓄电池组两端,测出单体蓄电池两端的交流电压 V_0 ,由于蓄电池内部阻抗的存在,使得蓄电池的输出交流电流波形与其输入波形之间产生了一个相位差,通过测量不同容量的蓄电池的输入输出电压波形相位差,计算出电池的内阻。

[0017] 所述步骤1中:蓄电池组包括多个蓄电池单体,将多个蓄电池单体分为两组,每组利用大功率电阻作为放电负载,控制器分时控制两个固态继电器,完成瞬时放电操作,同时采用电压传感器和电流传感器采集每个蓄电池单体的放电前后的放电电压和放电电流。

[0018] 所述步骤2中:用信号发生器产生正弦波信号,通过一个隔直电容加到蓄电池组上,经过蓄电池组的信号再经过一个接地电阻和一个隔直电容接地,测量蓄电池输入输出信号的相位差,根据相位差计算阻抗。

[0019] 采用差分面积法计算两波形相位差。

[0020] 本发明一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,技术效果如下:

[0021] 1)、将瞬时放电法和交流相位法两种方法互为补充修正,形成综合评价系统。通过瞬时放电法获取每个单体电池的内阻,而交流相位法对瞬时放电法的修正,消除了瞬时放电法中对开路电池邻域的干扰,有效实现的蓄电池性能的实时在线无损检测。

[0022] 2)、利用瞬时放电法和交流相位法精确测试变电站铅酸蓄电池内阻;

[0023] 3)、能够变电站铅酸蓄电池容量小范围变化时精确检测出来;

[0024] 4)、能够在突然出现开路电池等极端情况下,及时挑出劣化电池而不影响其他电池的测量;

[0025] 5)、能够在蓄电池劣化早期及时发现性能劣化电池,避免由于出现蓄电池劣化积累、加剧,而导致严重直流系统事故。

附图说明

[0026] 下面结合附图和实施例对本实用新型作进一步说明:

[0027] 图1为基本电池模型示意图;

- [0028] 图 2 为蓄电池交流阻抗等效模型图；
[0029] 图 3 为蓄电池交流阻抗简化等效模型；
[0030] 图 4 为蓄电池阻抗复平面图；
[0031] 图 5 为蓄电池交流等效阻抗模型；
[0032] 图 6 为蓄电池电池容量与内阻间的关系；
[0033] 图 7 为瞬时放电法电池等效模型；
[0034] 图 8 为瞬时放电法测试电路图；
[0035] 图 9 为蓄电池放电特性曲线；
[0036] 图 10 为瞬时放电法测试电路；
[0037] 图 11 为交流比例法等效串联电路；
[0038] 图 12 为交流相位法原理框图；
[0039] 图 13 为本发明的信号采集子系统原理图；
[0040] 图 14 为过零比较法的原理图；
[0041] 图 15 为相位差测量波形图；
[0042] 图 16 为本发明过零比较器原理图；
[0043] 图 17 为本发明面积法求相位差波形图；
[0044] 图 18 为本发明交流法测试原理图。

具体实施方式

[0045] 原理分析：

[0046] 现有的蓄电池在线监测方法的优缺点可知：二次电压法（瞬时放电法）对单体检测准确。但是在有开路单体电池时，或者整组中有某个单体性能较差时，实验对比发现会对串联在该单体附近的几个单体造成严重检测误差。交流相位法可以有效修正二次电压法不足。因此本发明采用二次电压法和交流相位法结合起来，综合分析评价蓄电池每个单体性能的方案。得出每个单体的电压、内阻、和参考剩余寿命。

[0047] 蓄电池内阻包括：欧姆电阻和极化电阻。欧姆内阻包括：电池内部的电极、隔膜、电解液、连接条和极柱等全部零部件的电阻。极化内阻是与蓄电池内部电化学反应中电极极化相当的电阻。根据对蓄电池内阻的不同理解，可以建立不同的蓄电池模型。常见的有基本模型和交流阻抗等效模型，下面来分析这两种模型：

[0048] 1、常见的电池模型如图 1 所示，该模型由一个理想电池 E_0 （其电压为 E_0 ）和一个等效内阻 r 组成， V_0 是电池的端电压， I 为流过电池的电流。根据全电路欧姆定律可得：

$$[0049] \quad I = V_0 - E_0 / r \quad (1)$$

[0050] 该模型没有考虑因电池荷电状态的变化、电解液浓度的变化，以及硫酸盐形成等因素而导致的电池内阻变化。该模型只适用于假设可以从电池中得到无限能量，或者电池荷电状态并不重要的情况。

[0051] 2、蓄电池交流阻抗等效模型：如图 2 所示， C 为正负电极双电层电容等效值， R_0 为蓄电池的欧姆内阻。欧姆内阻由电极材料、隔膜、电解液、接线柱的电阻组成。影响到蓄电池的输出特性、充放电时的温升等。电池的总法拉第阻抗 Z 可以由实部 R 和虚部 X 表示，即：

$$[0052] \quad Z = R - jX \quad (2)$$

[0053] 当交流电频率足够低时,可以认为电极反应是可逆的,此时电极反应速度受扩散过程控制, X 和 R 之间存在如下关系:

$$[0054] \quad X=R-R_{\Omega}-R_t+2 \lambda^2 C_d \quad (3)$$

[0055] 因而将不同频率下测得的 X 和 R 做复平面图,会得到斜率为 45° 的直线。当交流电频率足够高时,可以认为电极反应是完全不可逆的。此时电极反应速度主要受电池传输电阻 R_t 的控制,此时蓄电池等效模型可简化为如图 3 所示。 R_c 为等效极化电阻,是化学极化和浓差极化的电阻,牵涉到电极的有效面积、电极过程动力学和离子传输特性,其特性不符合欧姆定律。

[0056] 此时, X 和 R 之间存在如下关系:

$$[0057] \quad (R-R_{\Omega}-\frac{1}{2}R_c)^2+X^2=(\frac{1}{2}R_c)^2 \quad (4)$$

[0058] 因而 X-R 复平面图为半圆。

[0059] 综上分析可知,蓄电池阻抗的复平面图可由图 4 来表示。

[0060] 本发明采用的是蓄电池交流等效阻抗 Z 模型,如图 5 所示。

[0061] 图中: R_1 、 R_2 ——正、负电极的极化电阻;

[0062] C_1 、 C_2 ——正、负电极的极化电容;

[0063] L——引线电感;

[0064] R_{Ω} ——电池欧姆电阻。

[0065] 蓄电池欧姆电阻 R_{Ω} 表征了电池的荷电程度。

[0066] 为了简化测量通常从等效阻抗 Z 中仅分离纯电阻 R (R 由 R_1 、 R_2 、 R_{Ω} 构成), R 和 R_{Ω} 之间呈线形关系,故可用 R 间接地表征电池荷电程度。

[0067] 通过对电池内阻和容量的关系做出的大量实验,发现可以通过监测电池的内阻来间接地反映电池的容量状况。一般而言,电池的容量越大,内阻就越小。因此,可以通过蓄电池内阻的测量,对电池的容量进行在线评估。电池容量与内阻间的关系如图 6 所示,因此检测内阻能够判定蓄电池剩余容量的大小。从而分析蓄电池的性能好坏,发现蓄电池运行中的各项安全隐患,为保证蓄电池稳定、可靠的运行提供了重要的保障。

[0068] 通过对电池内阻和容量的关系做出的大量实验,发现可以通过监测电池的内阻来间接地反映电池的容量状况。一般而言,电池的容量越大,内阻就越小,因此可以通过蓄电池内阻的测量,对电池的容量进行在线评估。电池容量与内阻间的关系如图 6 所示,因此检测内阻能够判定蓄电池剩余容量的大小,从而分析蓄电池的性能好坏,发现蓄电池运行中的各项安全隐患,为保证蓄电池稳定、可靠的运行提供了重要的保障。

[0069] 3、瞬时放电法测试原理及实现:

[0070] 瞬时放电法就是通过对电池进行瞬间大电流放电,测量电池上的瞬间电压降,通过欧姆定律计算出电池内阻。在瞬间直流情况下,电池的等效模型可认为由电压源和内阻串联(戴维南等效模型)所构成,如图 7 所示。其中 R_{in} :蓄电池内阻; I :瞬时电流; R_L :负载电阻。蓄电池内阻计算公式: $R_{in}=\Delta U/I$; ΔU 为蓄电池瞬时放电前后电压变化量。测试电路如图 8,开关合上,延迟一段时间后,电流达到稳定状态,记录电流值 I ,电压值 U_1 。断开开关 K 后记录瞬间恢复的电压值 U_2 ,同时记录全过程蓄电池两端电压波动情况。之所以要延迟一段时间后再进行下一步的测试,主要是因为合闸的过程中,由于有电容的存在,不可

避免的会有冲击电流产生。为了减小冲击电流对测试结果的影响,所以就采用了一定的时间延迟。同时,这个短暂的延迟,也可以让电池从刚开始的剧烈化学反应中渐渐趋于一个相对的平衡状态。

[0071] 蓄电池在充满电后,处在浮充状态时记录其内阻值并由此绘制电压波动图。当蓄电池用不同数值的电流放电时,其端电压下降的情况也不同。图9给出了同一蓄电池在不同放电电流情况下放电特性曲线。由图9可见,放电电流越大,在放电的全过程中端电压下降得越低,并且下降的速度越快,这是因为放电电流很大时,反应区内硫酸的消耗也很大,但补充的速度却很小。因此极板孔隙内电解液密度必定下降得更低和更快。而且放电电流大时,在内阻上的压降也大,故端电压下降快,提前出现放电终了现象,所以蓄电池放电电流越大,放电的持续时间越短。但是,放电电流超过一定的范围后,内阻的变化就不是很大了,此时就应该考虑到大电流放电对电池的损害问题了。

[0072] 所以从实验来看,利用瞬时大电流放电进行内阻测试时,允许的放电电流范围应选在 $0.3 \sim 0.5C_0$ (C_0 指蓄电池的容量)内,这样既可以获得有较好的精度,同时也可以避免对电池的伤害。从实验和分析可知,这种方法可以有效的避免交流噪声的影响,从而达到较好的测试精度,同时也避开了传统的长时间的放电,可以很快的得到测试结果。

[0073] 实施例:

[0074] 本发明一种变电站铅酸蓄电池在线性能测试方法,通过瞬时放电法获取每个蓄电池单体的容量,通过交流相位法检测出每个蓄电池单体的内阻,而交流相位法对瞬时放电法修正,消除了瞬时放电法中对开路电池邻域的干扰,实现蓄电池性能的实时在线无损检测。

[0075] 本发明测试电路如图10所示。变电站蓄电池组挂接在充电机上,通常由充电器给直流负载供电,蓄电池组处于浮充状态,为了实现对蓄电池瞬时放电法测试内阻。本发明以单体12V蓄电池为例,整组蓄电池共18只,将18只蓄电池组分为两组,每组利用 12Ω 的大功率电阻作为放电负载,控制器分时控制两个固态继电器,完成瞬时放电操作。同时采用电压和电流传感器采集每个蓄电池放电前后的电压和放电电流,通过公式计算每个蓄电池内阻,采用这种电路的主要原因是避免充电机的误放电。

[0076] 从理论上说,蓄电池放电过程中有三种电压状态,如图11所示,这里的电压变化量有两个:①给试验电路加上负载的瞬间,电池电压的跌落值;②断开负载的瞬间,电池电压的恢复值。实验过程中,在合闸瞬间电压和电流都容易引入很大的冲击,导致较大的误差,因此统一采用电压的跌落值,而此时电流也基本上达到了稳态,实际测试过程中,在放电开启2两秒以后测试一次电压,断开放电模块后立即测试一次电压,得到图11中的 ΔU ,进而利用图7中的内阻计算公式进行计算, $R_{in} = \Delta U / I$ 。

[0077] 交流相位法是通过测量蓄电池对注入它的一定频率的交流信号的电压反馈来测量蓄电池的内阻。交流法的优点有:无需放电,是最安全的内阻测试方式;可以在充电、放电等任何状态下对蓄电池进行内阻测试;能够反应蓄电池的极化内阻;通过选择信号频率可以适应不同种类的蓄电池。目前已有的交流法有交流比例法和交流相位法。

[0078] (1)交流比例法:

[0079] 采用交流比例法测量蓄电池的内阻,即把蓄电池与高精密度电阻串联,等效串联电路如图11所示。使用专用芯片测量和比较蓄电池和精密电阻对交流信号分压的有效值,

便可计算蓄电池的内阻。图 11 中 R_0 是高精密电阻,虚线内为蓄电池的等效电路, R_0 为蓄电池的欧姆内阻, R_c 为极化内阻, C 为极间电容,则蓄电池的等效阻抗为:

$$[0080] \quad Z=R_0+R_c/(1+J\omega CR_c) \quad (5)$$

[0081] 式中: R_0 为信号发生电路的电阻。交流信号流过串联电路的电流为:

$$[0082] \quad I=U_i/(Z+R_0)=u_2/R_0 \quad (6)$$

[0083] 式(6)中的变量皆为复数形式并存在比例关系,对其进行取模运算,比例关系依然有交流信号 u_1 和 u_2 的模分别是它们的有效值 V_1 和 V_2 ,因此,只要测量出蓄电池和高精密电阻对交流信号分压的有效值,便可计算出蓄电池的等效阻抗的模:

$$[0084] \quad |Z|=U_1|R_0|/|U_2| \quad (7)$$

[0085] 它是蓄电池欧姆内阻、极化内阻和极间电容的综合,可以作为蓄电池等效内阻:

$$[0086] \quad |Z|=V_1R_0/V_2 \quad (8)$$

[0087] (2) 交流相位法:

[0088] 交流相位法在线测量蓄电池的内阻,即对电池注入一个低频交流电流信号。工程中对这个注入信号的频率和大小都有限制条件以确保不影响蓄电池性能,然后测出蓄电池两端的低频交流电压 V_0 和流过的低频交流电流 I_s 以及两者的相位差 α ,根据公式 $Z=V_0/I_s$, $R=Z\cos\alpha$,从而计算出电池的内阻,其原理图见图 12 所示。交流法由于无需放电,不用处于静态或脱机,可以实现完全的在线监测管理。避免了对设备运行安全性的影响。同时由于施加的低频交流信号频率很低,电流也很小,故不会对电源系统的性能造成不利影响。

[0089] 本发明在交流相位法的基础上采用改进型的蓄电池简化等效电路模型图 3,低频交流信号发生器产生的交流小信号经耦合驱动电路放大后加到蓄电池组两端,测出单体蓄电池两端的交流电压 V_0 ,由于蓄电池内部阻抗的存在,使得蓄电池的输出交流电流波形与其输入波形之间产生了一个相位差,且该相位差随蓄电池内阻的增大而减小,而蓄电池内阻随容量减小而增大。所以蓄电池输入输出信号的相位差会随容量的减少而减小。通过测量不同容量的蓄电池的输入输出电压波形相位差就可计算出电池的内阻。交流法由于无需放电,不用处于静态或脱机,可以实现完全的在线监测管理,避免了对设备运行安全性的影响。

[0090] 同时由于施加的低频信号频率很低,施加的交流电流也很小,故不会对电源系统的性能造成不利影响。具体实现过程如下:用信号发生器(ICL8038 芯片)产生正弦波信号,通过一个隔直电容加到蓄电池组上,经过蓄电池组的信号再经过一个约 10Ω 的接地电阻和一个隔直电容接地。隔直电容很小,约为 $1\mu F$ 。要测量蓄电池的阻抗,就必须测量蓄电池输入输出信号的相位差,根据相位差计算阻抗。图 13 为本发明的信号采集子系统原理图。

[0091] 采集数据时,从每个蓄电池的两端各引出一条线,经过一个隔直电容之后送到多路转换开关,再送到数据采集板卡,可以通过控制多路转换开关来对蓄电池组的每个单体电池进行循环检测。此时得到的相位差不能认为就是由蓄电池内阻产生的。因为在采集蓄电池电压时都接入了隔直电容,即使这些隔直电容的型号,大小,生产厂家都相同,也会存在容差,该容差也会使得蓄电池的输入输出信号产生相位差,所以只采集一次相位差不能确定蓄电池的内阻。蓄电池输入输出信号的相位差会随容量的减小而减小,而隔直电容的容差引起的相位差是不变的,因此我们可以根据相位差的变化来计算蓄电池的内阻。为了获得相位差必须改变蓄电池的容量,即使蓄电池对负载放电。在蓄电池组刚充电完毕时

进行一次数据采集,然后对蓄电池放电,每隔一定时间再进行一次数据采集,随着放电时间的增加,相位差会逐渐减小,所以本发明就利用信号采集系统来采集该相位差。检测到的蓄电池的输入输出电压信号的相位差实际上也就是蓄电池电压与电流之间的相位差,结合交流电压幅值,整组电流幅值,根据公式 $Z=V_0/I_s$, $R=Z\cos\alpha$ 来计算蓄电池内阻。计算两波形相位差的传统方法是过零点比较法,基本原理如图 14 所示。采样的两信号经滤波器滤掉各种干扰信号并进行线性放大之后变成一波形正规,幅值适当的正弦信号,如图 14 中的信号 a、b,经过零比较器后正弦信号变成方波信号,即信号 c、d,然后将信号 d 经反向器变成信号 e,最后将两信号送入一与门输出信号 f。

[0092] 过零比较器由两个 LM393 构成,用于检测两路交流信号的零点。当输入信号大于零时,LM393 输出高电平;当输入信号电压小于 $-5R_1/R_2$ 时,LM393 输出低电平。

[0093] ΔT 的计算方法:通过监测电压信号过零点处的时间差来计算,利用嵌入式计算机系统采集信号,当信号为高电平时启动定时器计时,变成低电平时停止计时,此时定时器显示的时间即为 ΔT 。由于蓄电池有内阻,所以输入输出信号之间除了存在相位差之外,幅值也会改变,但是蓄电池的内阻很小,与外接的 10Ω 电阻相比可以忽略它对幅值产生的影响,所以我们认为蓄电池的输入输出信号幅值相等,并将幅值做归一化处理。因此我们设输入蓄电池组的信号为:

$$[0094] \quad y_1 = \cos(\omega t) + n_1(t) \quad (9)$$

[0095] 从蓄电池组输出的信号为:

$$[0096] \quad y_2 = \cos(\omega t + \theta) + n_2(t) \quad (10)$$

[0097] 过零点比较法求相位差实际上是求两信号零点或峰值处的时间差,若输入蓄电池组的信号过零点的时间为 t_1 ,蓄电池的输出信号过零点时间为 t_2 ,则

$$[0098] \quad \Delta T = |t_2 - t_1| \quad (11)$$

[0099] 设坐标原点在 t_1 处,则

$$[0100] \quad t_1 = 0 \quad (12)$$

$$[0101] \quad y_1 = 1 - n_1(0) \quad (13)$$

$$[0102] \quad y_2 = \cos(\omega \Delta T + \theta) + n_2(\Delta T) \quad (14)$$

[0103] 过零点时有 $y_1 = y_2 = 0$,将 y_1, y_2 表达式代入该等式得:

$$[0104] \quad \cos(\omega \Delta T + \theta) = 1 - n_1(0) - n_2(\Delta T) \quad (15)$$

$$[0105] \quad \theta = \arccos[1 - n_1(0) - n_2(\Delta T)] - \omega \Delta T \quad (16)$$

[0106] 但是此方法存在一定的缺陷,主要表现为:

[0107] (1) 所有元件都存在容差,由容差引起的输入输出信号的相位差会比较大,而蓄电池在容量很大时,输入输出信号的相位差是很小的,因此容差所引起的相位差有可能会将蓄电池内阻所引起的相位差覆盖。

[0108] (2) 检测数据对检测对象变化的灵敏度依靠高速的 AD 采样来保证。因为当相位差的变化量很小时,所对应的时间差 ΔT 的变化量也很小,必须要高速 AD 采样才能获取这个很小的变化量;

[0109] (3) 由式(16)可以看出,相位差的表达式中含有噪声部分,检测结果对随机噪声很敏感。

[0110] 本发明采用差分面积法。即先求出两波形的相位差所对应的面积,然后对面积求

积分就可计算出两波形的相位差,如图 17 所示。输入输出信号送入单片机的两个高速高精度差分通道,采样之后的输出即为两信号的幅值差,测量时对一个周期密集采样,并对两个通道的差分结果的平方累计求和从而得到一个测量值 A,该测量值可以近似为两信号差绝对值平方的积分,两信号差绝对值的积分即为相位差所对于的面积。算法如下:

[0111] 设输入信号蓄电池组的信号为 y_1 ,

$$[0112] \quad y_1 = \cos(\omega t) + n_1(t) \quad (17)$$

[0113] 蓄电池组的输出信号为 y_2 ,

$$[0114] \quad y_2 = \cos(\omega t + \theta) + n_2(t) \quad (18)$$

[0115] 输入输出信号差的绝对值平方的积分为:

$$[0116] \quad \int_0^T |y_1 - y_2|^2 d\omega t \quad (19)$$

[0117] 将 y_1, y_2 代入式(19)得:

$$[0118] \quad \int_0^T |y_1 - y_2|^2 d\omega t = \int_0^T [\cos(\omega t) + n_1(t) - \cos(\omega t + \theta) - n_2(t)]^2 d\omega t \quad (20)$$

[0119] 将式(20)展开得:

[0120]

$$\int_0^T |y_1 - y_2|^2 d\omega t = \int_0^T [\cos^2(\omega t) + 2\cos(\omega t)n_1(t) + n_1(t)^2 + \cos^2(\omega t + \theta) + n_2(t)^2 + 2\cos(\omega t + \theta)n_2(t) - 2\cos(\omega t)\cos(\omega t + \theta) - 2\cos(\omega t)n_2(t) - 2n_1(t)\cos(\omega t + \theta) - 2n_1(t)n_2(t)] d\omega t$$

(21)

[0121] 因为输入输出信号与噪声信号之间无相关性,而噪声信号与任意不相关确定信号乘积的积分为零,故并化简得:

$$[0122] \quad \int_0^T |y_1 - y_2|^2 d\omega t = 2T - T \cos \theta \quad (22)$$

[0123] 由于对两个通道的差分结果的平方累计求和得到一个测量值 A 可以近似为两信号差绝对值平方的积分,所以:

$$[0124] \quad 2T - T \cos \theta = A \quad (23)$$

$$[0125] \quad \theta = \arccos(2T - A) / T = \Delta \varphi \quad (24)$$

[0126] 式(24)是在一个信号周期内求积分所得到的相位差,若连续采样,在 N 个周期内求积分,得到结果就是相位差的累计值,此方法与过零比较法比较相位检测结果数据可以放大。同时测量结果中不含有噪声部分,有效的消除了信号噪声引起的误差。

[0127] 虽然相位检测结果数据的放大,使得元件容差引起的相位差相对减小,测量结果对电路元器件的容差敏感性大大降低,但是以上的方法无法从根本上消除检测电路中元件容差引起的测量结果。譬如分压电阻选 10Ω 的铜电阻,则根据国家标准 IEC60028-1925 规定,其误差为 $\pm 1\%$,即 $\pm 0.1 \Omega$,而电池内阻为毫欧级。检测电路中还有很多电子元件,这些元件的影响都会在测量结果上直接反映出来,因此无法分辨相位差的改变是蓄电池内阻的变化引起的,还是元件容差引起的,所以每套检测系统都必然有一个检测结果的零点漂移,

而这个零点漂移远远大于蓄电池内阻,当然更远远大于需要检测的内阻的变化量。

[0128] 本发明的主要任务是监测使用过程中的蓄电池劣化程度,只要监测系统能有效反应蓄电池的容量,并结合已检测到的温度和单体电压作为修正参数,有效给出当前每个单体电池的容量百分比即可。单片机测量结果 A 是对相位差面积的近似,但是基于统计查表的方法,只需要一个对应值,不需要精确解算出相位差。设容量与内阻的函数关系为:

$$[0129] \quad C=f(x) \quad (25)$$

[0130] $f(x)$ 为单值连续单调递减函数。假设内阻与相位差函数关系为:

$$[0131] \quad R=g(x) \quad (26)$$

[0132] $g(x)$ 为单值连续单调递减函数,则容量与相位差的函数关系可设为:

$$[0133] \quad C=h(x) \quad (27)$$

[0134] $C=h(x)$ 为单值连续单调递增函数。所以测量值 A 与蓄电池容量的映射关系是 A 值越大,容量越大。

[0135] 基于这个思想,本发明采用的方法是先将电池充满,测出这个时候的相位差数据结果,得到一个数据 a_0 ,然后放电容量的 3%,再测量得一个数据结果 a_1 ,依次下去得到 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、……。将 $a_0 - a_1$ 得到一个数据点 b_1 , $a_0 - a_2$ 得到 b_2 ,依次下去得到 b_1 、 b_2 、 b_3 、……。因此 b_1 、 b_2 、 b_3 、……这组数据是蓄电池运行过程中相对于 100%容量依次下降 3%的相位差变化的数据,有效消除了元件容差引起的零点漂移。假设容差在输入输出信号中引起的相位差分别为 ϕ_1 、 ϕ_2 ,则相位差的表达式中含有 $\Delta \phi$,并且每次测量得到的 $\Delta \phi$ 是相同的,在相减的过程中可以抵消。因此采用这种方法有效消除了元件容差引起的零点漂移,能有效检测蓄电池的健康状况。

[0136] 根据理论研究,本系统进行了以下两种实验:实验室模拟实验和现场在线运行实验。

[0137] (1) 实验室模拟实验

[0138] 实验选用 220V 直流系统,该系统由 18 只电池组成,蓄电池的标称电压为 12V,容量不等,新旧各异。

[0139] 在 18 只电池中选取 4 只典型电池的数据进行分析。这 4 只电池分别为 1 只 200Ah 的旧电池、1 只濒临报废的 100Ah 电池、1 只 100Ah 报废的电池、1 只全新的 100Ah 电池。

[0140] 表 1 为蓄电池充满后离线进行瞬时放电实验前后的电压数据,瞬时放电电流为 4.8A。

[0141] 表 1 离线实验数据:

[0142]

电池	U0/V	U1/V	$\Delta U/V$	R/m Ω
1 (100Ah) 濒临报废	13.074	12.151	0.923	192
2 (200Ah) 旧	10.521	10.216	0.305	64
3 (100Ah) 报废	12.779	11.644	1.135	236
4 (100Ah) 全新	12.934	12.587	0.347	72

[0143] 从表 1 可知,根据计算得到的内阻,100Ah 的 1、2 和 4 号电池很好地反应了容量,2 号电池由于容量大,计算得到的内阻很小。

[0144] 表 2 为电池充满后挂上充电机和负载后,在线进行瞬时放电实验后的电压数据。

[0145] 表 2 在线实验数据:

[0146]

电池	U2/V	$\Delta U/V$	R/m Ω
1 (100Ah) 濒临报废	12.197	0.877	183
2 (200Ah) 旧	10.226	0.295	61
3 (100Ah) 报废	11.684	1.095	228
4 (100Ah) 全新	12.649	0.285	59

[0147] 从表 2 可知,电池的内阻变化不大,因为电池本身已经充满,浮充状态下电池容量不会有大的变化,故内阻几乎不变。

[0148] 表 3 和表 4 为电池以 10A 电流离线放电 12min 后,分别在挂接充电机和挂接充电机的情况下使用瞬时放电法得到的相关数据,

[0149] 表 3 离线对比实验的结果:

[0150]

电池	U0/V	U1/V	$\Delta U/V$	R/m Ω
1 (100Ah) 濒临报废	12.474	12.024	0.450	93
2 (200Ah) 旧	10.449	10.147	0.352	73
3 (100Ah) 报废	12.670	11.582	1.088	227
4 (100Ah) 全新	12.901	12.532	0.369	77

[0151]

[0152] 表 4 在线对比实验的结果:

[0153]

电池	U2/V	$\Delta U/V$	R/m Ω
1 (100Ah) 濒临报废	12.138	0.336	70
2 (200Ah) 旧	10.165	0.334	69
3 (100Ah) 报废	11.594	1.076	224
4 (100Ah) 全新	12.547	0.354	74

[0154] 从表 3 和表 4 可知,对于每只电池,当放电 12min 后,容量下降了 2Ah,这样做的目

的在于模拟电池容量在小范围内变化能否通过内阻反应出来。对比表 1—4 的数据,可以得到如下规律:1 号和 3 号电池为报废电池,容量已经非常小了,当离线放电一段时间后,自身电压下降非常快,通过电压即能判断出电池的性能,在这种状况下所得内阻数据,并不具有相关的规律;2 号电池虽然是旧电池,容量大,但 2Ah 的容量变化同样能够通过内阻变化反应出来;4 号电池为全新电池,是本对比实验的主要对象,表 5 为 4 号电池不同容量时的测试数据。

[0155] 表 54 号电池的内阻与容量对比:

[0156]

容量 /Ah	U1/V	U2/V	IS	R/mΩ
100	12.522	12.679	5.31	29.56
98	12.331	12.496	5.31	31.07
90	12.054	12.243	5.24	36.07
86	11.987	12.189	5.21	38.77
81	11.897	12.110	5.26	40.49
78	11.862	12.086	5.23	42.83

[0157] 从表 5 可知,当容量少量变化时,通过瞬时放电法测出的内阻变化非常明显。通过类似重复实验,使电池的容量下降至 80Ah,在此期间,内阻的线性变化规律与容量的相关性很好(见图 4),能很好的证明此方法的可行性。系统实际开发中,将瞬时放电法中的电压值作为判断标准之一,这就保证了系统的可靠性。实际结果表明:容量低的电池,放电时的电压也低。通过上述方法测试得到的容量,满足实际生产的要求,尤其适用于需要早期发现电池容量变化的情况。

[0158] (2) 现场在线运行实验

[0159] 本项目成果应用于某供电局多个变电站,下面给出在该供电局下辖的某变电站进行的测试数据与实验结论。

[0160] 某变电站为 110kV 电压等级变电站,直流系统所用蓄电池为 18 只,单体电池标称电压为 12V,容量 100Ah,本系统测试的初始数据见表 19:

电池号	电压(伏)	内阻(毫欧)	剩余容量(%)
1	13.22	26	94.76
2	13.24	25	94.96
3	13.24	21	95.80
4	13.21	20	95.97
5	13.22	21	95.86
6	13.22	18	96.48
7	13.27	13	97.38
8	13.34	23	95.44
9	13.25	19	96.24
10	13.25	11	97.75
11	13.26	8	98.44
12	13.25	7	98.50
13	13.25	8	98.43
14	13.23	17	96.56
15	12.88	7	98.60
16	12.84	12	97.69
17	13.25	11	97.76
18	13.24	14	97.18

[0162] 上述图中,经过本系统的测试所有蓄电池内阻均小于 $50\text{m}\Omega$,处于正常运行状态。

[0163] 为了测试本系统实际判断劣化蓄电池的效果,按照电力系统变电站操作管理规定,办理了相关操作票后,将在线运行的蓄电池短时间脱离主系统,并用事先准备好的一只故障蓄电池替换其中的 17 号蓄电池,故障蓄电池为开路故障电池,无法存储电量。经过系统采用瞬时放电法和交流相位法的测试,得到的测试数据如表 20:

电池号	电压(伏)	内阻(毫欧)	剩余容量(%)
1	13.22	26	94.76
2	13.24	25	94.96
3	13.24	21	95.80
4	13.21	20	95.97
5	13.22	21	95.86
6	13.22	18	96.48
7	13.27	13	97.38
8	13.34	23	95.44
9	13.25	19	96.24
10	13.25	11	97.75
11	13.26	8	98.44
12	13.25	7	98.50
13	13.25	8	98.43
14	13.23	17	96.56
15	12.88	7	98.60
16	12.84	12	97.69
17	13.25	11	97.76
18	13.24	14	97.18

[0165] 通过系统的测试发现接入的 17 只蓄电池端电压正常,并且比正常电池电压稍高,但内阻为 $988\text{m}\Omega$,大大高于其他蓄电池内阻,能够非常明显加以辨别,本系统成功检测出了故障电池,现有很多蓄电池监测设备通过监测单体电池电压的方式无法辨别故障电池。

[0166] 综上所述,本系统通过以上两类实验,较好的解决了蓄电池性能在线监测的问题,采用瞬时放电法和交流相位法相结合的方法能够较精确地测量蓄电池的内阻,进而确定蓄电池容量,从而来判断蓄电池的性能。

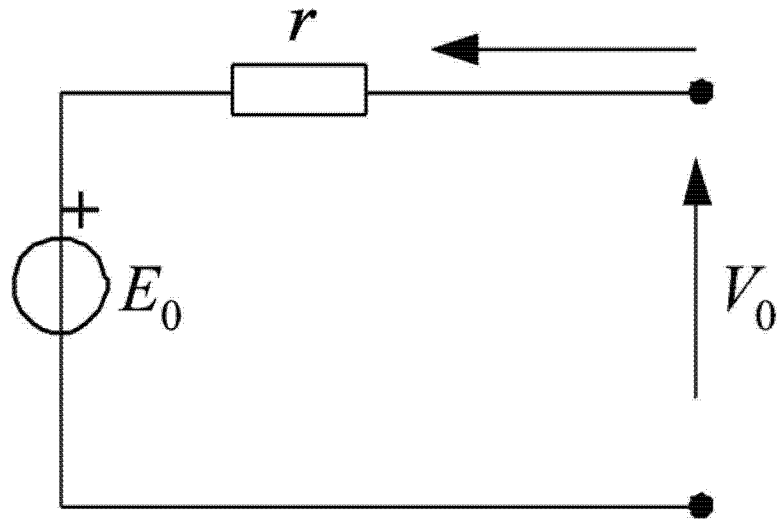


图 1

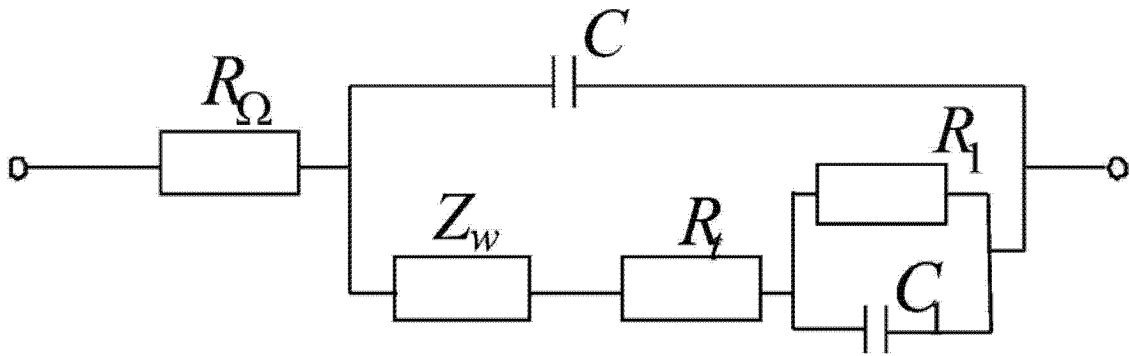


图 2

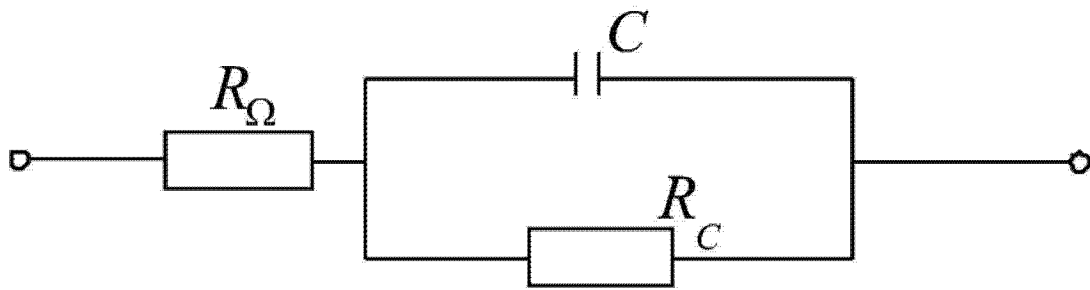


图 3

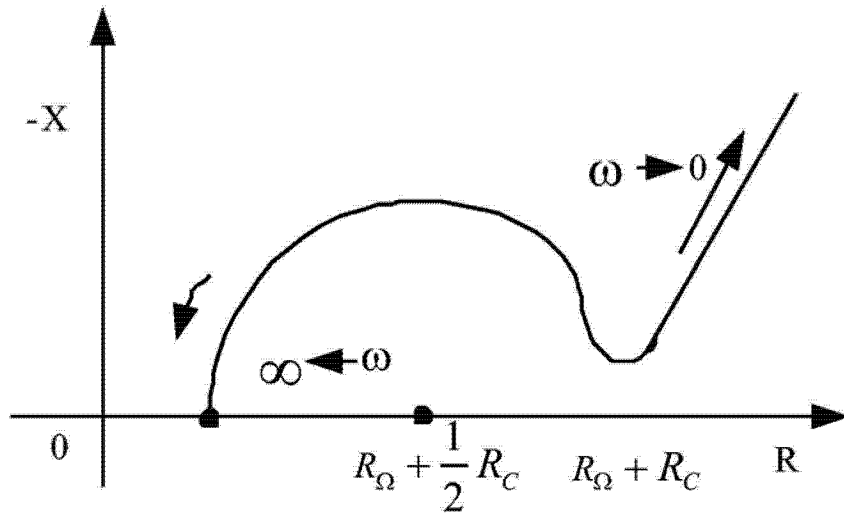


图 4

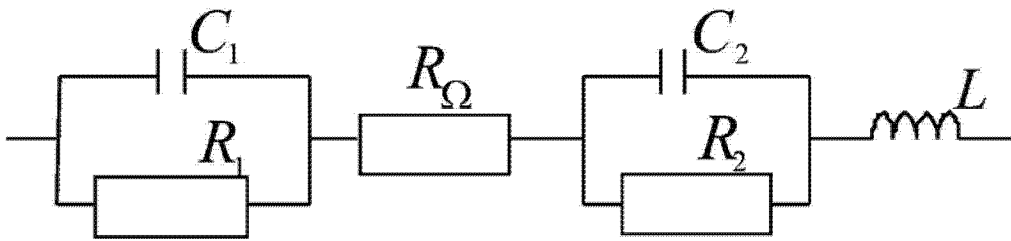


图 5

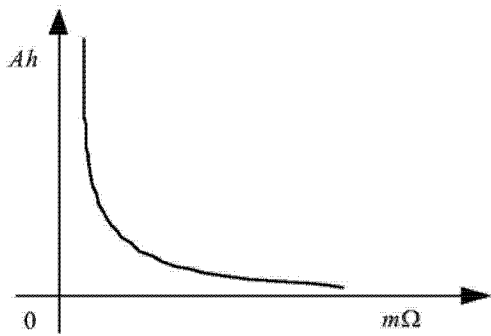


图 6

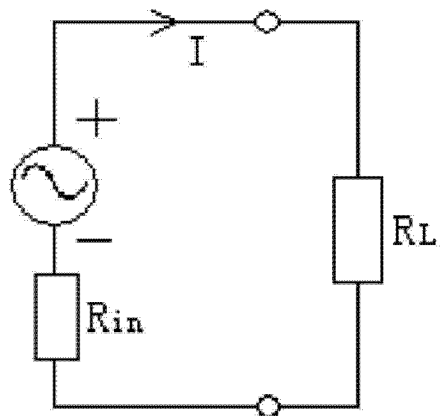


图 7

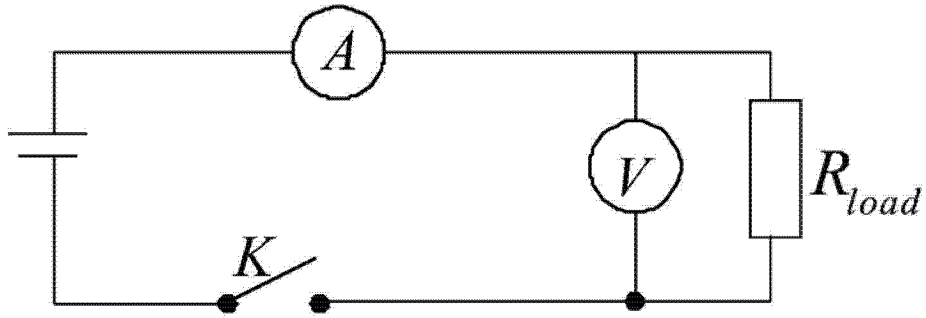


图 8

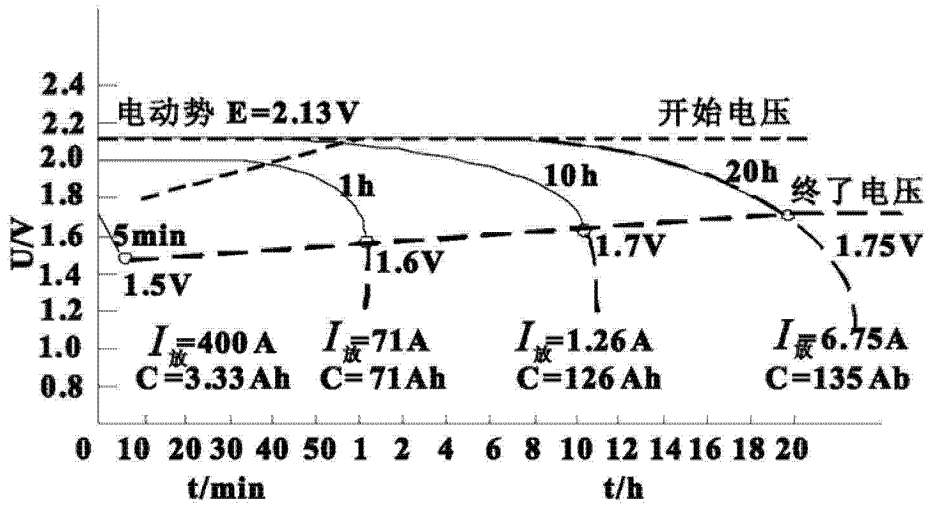


图 9

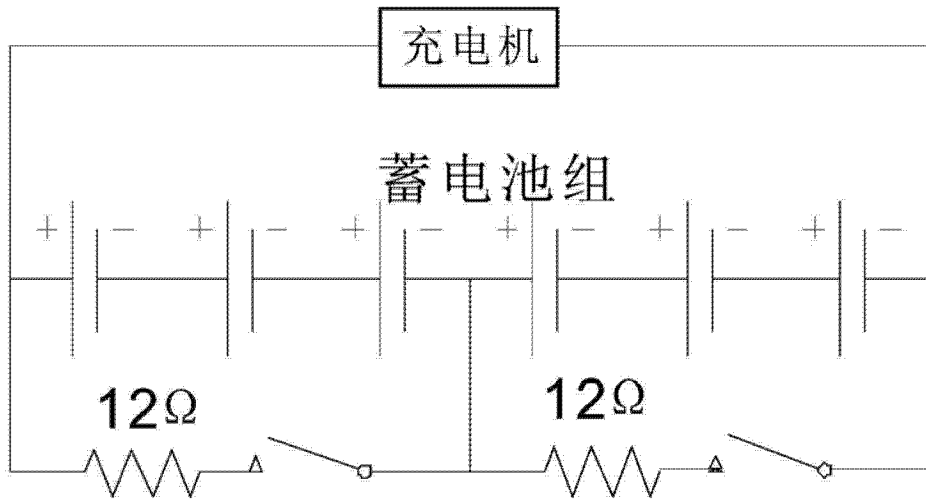


图 10

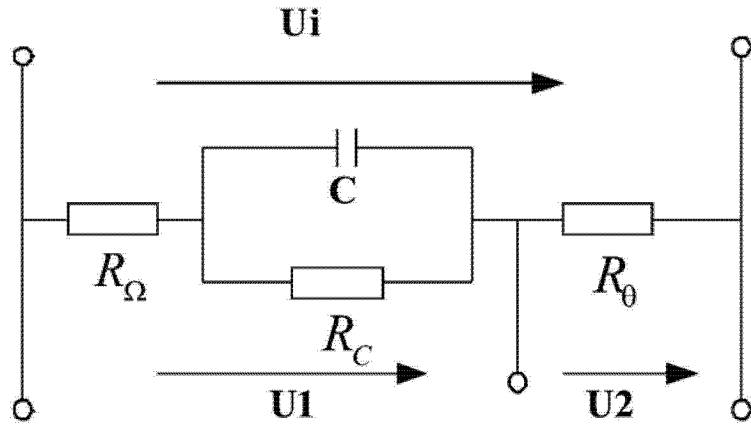


图 11

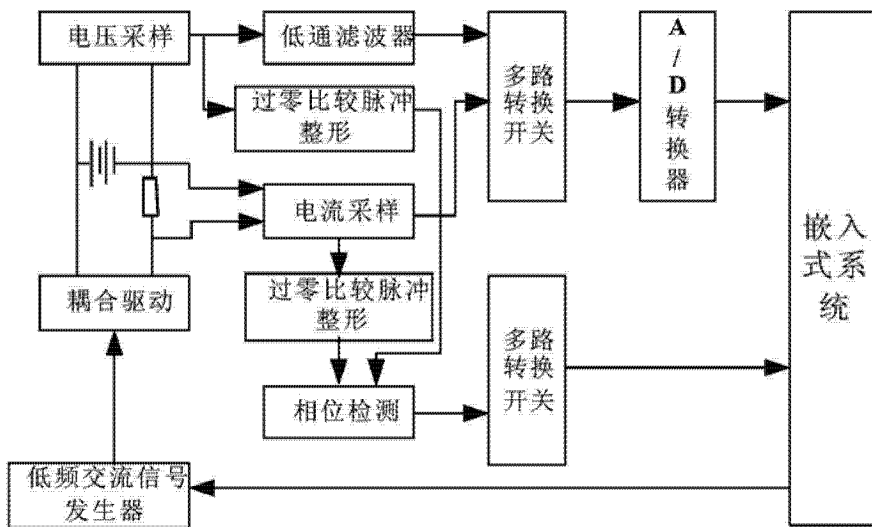


图 12

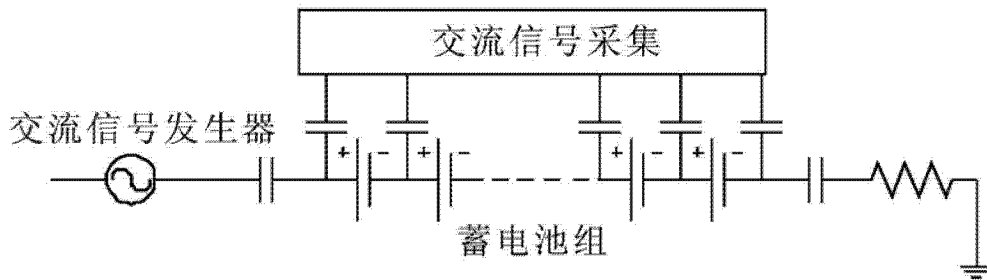


图 13

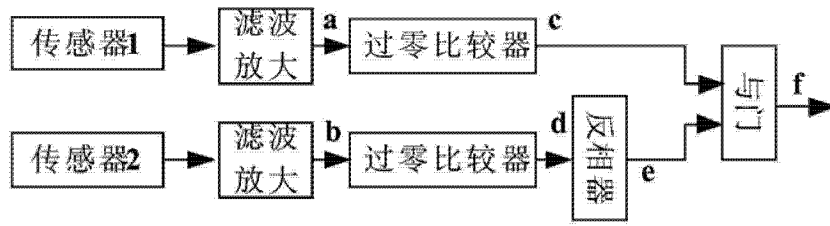


图 14

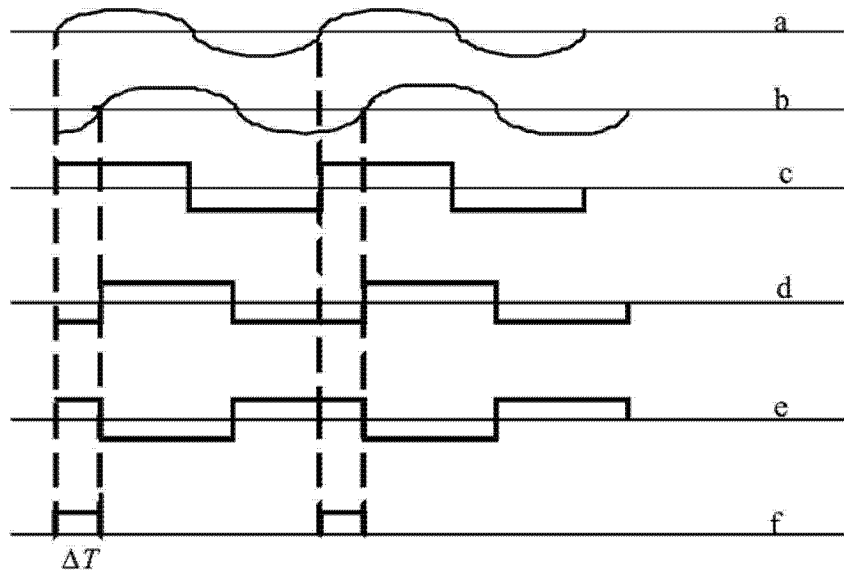


图 15

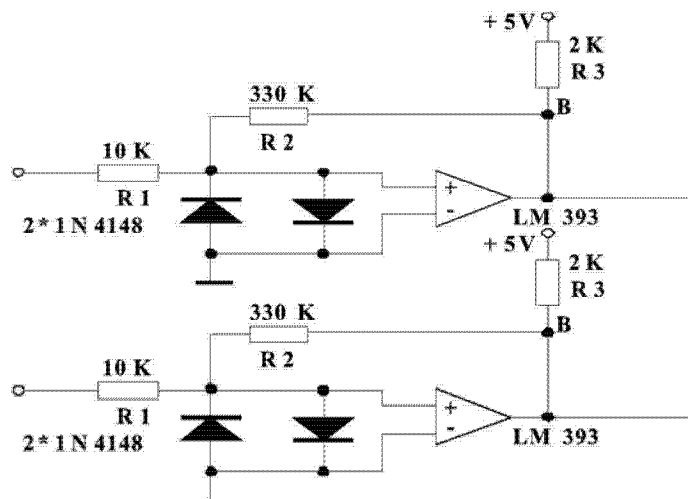


图 16

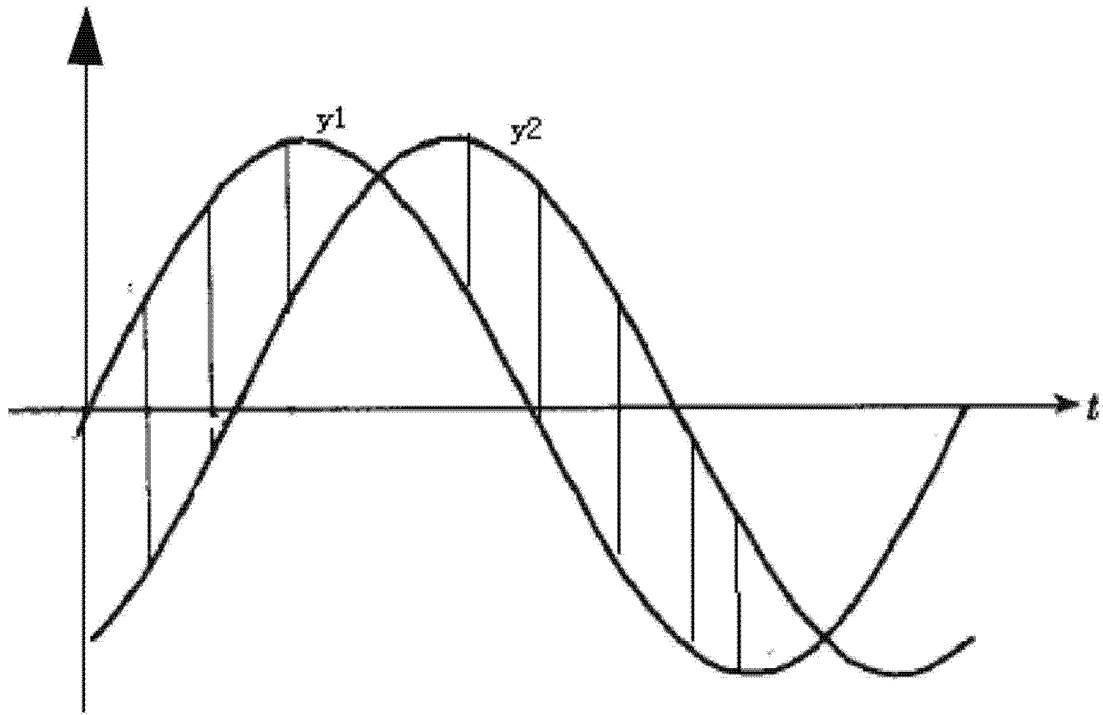


图 17

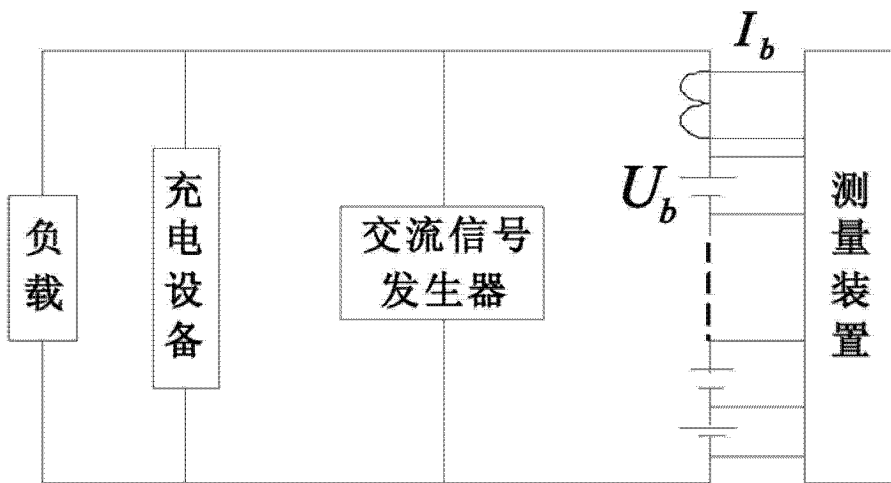


图 18