



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115184828 B

(45) 授权公告日 2024.05.14

(21) 申请号 202210782813.5

(22) 申请日 2022.07.05

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115184828 A

(43) 申请公布日 2022.10.14

(73) 专利权人 国网湖南省电力有限公司

地址 410004 湖南省长沙市天心区新韶东路398号

专利权人 国网湖南省电力有限公司经济技术研究院

国家电网有限公司

(72) 发明人 刘文军 欧名勇 周冠东 夏向阳

周年光 李湘华 陈贵全

欧阳志国 陈剑 刘浩田 李达伟

何书耘

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114

专利代理师 颜勇

(51) Int.Cl.

G01R 31/389 (2019.01)

G01R 31/396 (2019.01)

G01R 31/3835 (2019.01)

(56) 对比文件

CN 102129042 A, 2011.07.20

CN 102768304 A, 2012.11.07

CN 104062506 A, 2014.09.24

CN 106125000 A, 2016.11.16

JP 2004163344 A, 2004.06.10

US 2018043778 A1, 2018.02.15

陆运华; 胡翠华. 电池内阻及其测量方法. 电子测试. 2007, (04), 全文.

审查员 彭鼎原

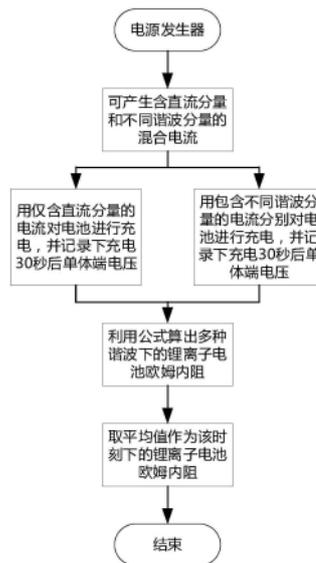
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

## (54) 发明名称

一种基于谐波分量的单体锂离子电池欧姆内阻检测方法

## (57) 摘要

本发明公开一种基于谐波分量的单体锂离子电池欧姆内阻检测方法,其步骤为:采用交直流混合电流对单体锂离子电池充电,第一次充电时,谐波为零,即直流充电,记录单体锂离子电池端电压;保持充电条件不变,只改变充电电流的谐波次数,记录相同充电时间单体锂离子电池端电压峰值;单体锂离子电池欧姆内阻为:利用两次充电过程中端电压差算出某谐波下的单体锂离子电池欧姆内阻;将多次检测的单体锂离子电池欧姆内阻的平均值作为当前时间段的单体锂离子电池欧姆内阻大小。本发明可以快速准确地检测单体锂离子电池欧姆内阻大小,有效的检测单体锂离子电池的健康状态。



1. 一种基于谐波分量的单体锂离子电池欧姆内阻检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

采用交直流混合电流对单体锂离子电池充电,第一次充电时,谐波为零,即直流充电,记录 $t_0$ 时刻单体锂离子电池端电压 $V_0$ ;保持充电条件不变,只改变充电电流的谐波次数 $n$ ,记录同 $t_0$ 时刻单体锂离子电池端电压峰值 $V_{pp_0}$ ;单体锂离子电池欧姆内阻为:

$$R_1 = \frac{V_{pp_0} - V_0}{I_{nw_m}}, I_{nw_m} \text{ 为电流中的谐波分量幅值};$$

所述混合电流表达式如下:

$$i(t) = I_{dc} + I_{nw_m} \sin(nwt)$$

其中, $I_{dc}$ 为电流中的直流分量大小; $w$ 为角频率; $n$ 为谐波次数; $I_{nw_m}$ 为电流中的谐波分量幅值;

通过求取多次谐波下的单体电池欧姆内阻的平均值作为单体锂离子电池的欧姆内阻大小,如下所示:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_N}{N}$$

式中, $R$ 为单体锂离子电池欧姆内阻大小, $N$ 为进行不同谐波分量充电的次数, $R_N$ 为第 $N$ 次进行不同谐波分量充电下的单体锂离子电池欧姆内阻。

## 一种基于谐波分量的单体锂离子电池欧姆内阻检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及锂离子电池技术领域,具体涉及一种基于谐波分量的单体锂离子电池欧姆内阻检测方法。

### 背景技术

[0002] 新能源发展迅速,而新能源的波动性,不确定性及其反调峰特性,导致消纳特别困难,大力推广“新能源+储能”发展模式可以进一步加快新能源发展。储能电站可以有效抑制新能源的波动性,但储能电站的安全问题一直共同探讨的话题,如何提高储能电站的安全性迫在眉睫,研究如何加强储能电站的检测手段和保护措施对储能电站的安全稳定运行具有重要意义。

[0003] 目前,准确的检测储能锂离子电池的内参数变化的技术还没完善,常用的测量电池内阻的方法有开路电压法和交流注入法等,开路电压法是通过测量电池两端的开路电压来估算电池的内阻,但这种方法只是对于新电池的内阻测量比较适用,且对原始的参数要求比较高。传统检测交流阻抗的方式是通过注1000Hz正弦波的方式,这种方式只能检测电池在单一频次下的阻抗情况,且测量后需要复杂的数据处理。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提出一种基于谐波分量的锂离子电池欧姆内阻检测方法,以提高储能系统锂离子电池寿命健康状态的检测,保证储能系统的安全稳定运行。

[0005] 本发明解决解决上述技术问题的技术方案是:一种基于谐波分量的锂离子电池欧姆内阻检测方法,包括以下步骤:

[0006] 采用交直流混合电流对单体锂离子电池充电,第一次充电时,谐波为零,即直流充电,记录 $t_0$ 时刻单体锂离子电池端电压 $V_0$ ;保持充电条件不变,只改变充电电流的谐波次数 $n$ ,记录同 $t_0$ 时刻单体锂离子电池端电压峰值 $V_{pp_0}$ ;单体锂离子电池欧姆内阻为:

[0007]  $R_1 = \frac{V_{pp_0} - V_0}{I_{nw_m}}$ ,  $I_{nw_m}$ 为电流中的谐波分量幅值。

[0008] 进一步的,所述混合电流表达式如下:

[0009]  $i(t) = I_{dc} + I_{nw_m} \sin(nwt)$

[0010] 其中, $I_{dc}$ 为电流中的直流分量大小; $w$ 为角频率; $n$ 为谐波次数; $I_{nw_m}$ 为电流中的谐波分量幅值。

[0011] 进一步的,通过求取多次谐波下的单体电池欧姆内阻的平均值作为单体锂离子电池的欧姆内阻大小,如下所示:

[0012]  $R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_N}{N}$

[0013] 式中, $R$ 为本发明方法所测的单体锂离子电池欧姆内阻大小, $N$ 为进行不同谐波分量充电的次数, $R_N$ 为第 $N$ 次进行不同谐波分量充电下的单体锂离子电池欧姆内阻。

[0014] 本发明的有益效果:本发明利用电源发生器产生直流分量和谐波分量的混合电流对单体锂离子电池进行充电,记下来单体电池端电压大小就能算出单体锂离子电池的欧姆内阻,进而能够实现低成本,有效的检测单体锂离子电池的健康状态。

### 附图说明

[0015] 图1是本发明的检测方法流程图;

[0016] 图2是本发明实施例提供的锂离子电池等效模型结构图。

### 具体实施方式

[0017] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明的技术方案进行详细的描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所得到的所有其他实施方式,都属于本发明所保护的范围。

[0018] 如图1所示,本发明的原理为:当用包含谐波分量的混合电流对单体锂离子电池进行充放电时,单体电池端电压波动的幅值主要是锂离子电池的欧姆内阻分压造成的,基于该原理可以有效的检测锂离子电池欧姆内阻的大小,以此达到检测锂离子电池的健康状态。

[0019] 本发明实施例提供了一种基于Shepherd模型的锂离子电池等效模型,如图2所示,该模型在Simulink上的电池模型上广泛应用。

[0020] 在Simulink上的12.8V-40Ah磷酸铁锂电池(LiFePO<sub>4</sub>)模型中,电池电压的表达式如下:

[0021] 充电时( $i > 0$ )电压表达式为:

$$[0022] \quad V_{\text{batt}}(T) = E_0(T) - K(T) \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot (it + i^*) + A e^{(-B \cdot it)} - R(T) \cdot i$$

[0023] 放电时( $i < 0$ )电压表达式为:

$$[0024] \quad V_{\text{batt}}(T) = E_0(T) - K(T) \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot it - K(T) \frac{Q(T_a)}{it - 0.1Q(T_a)} i^* + A e^{(-B \cdot it)} - R(T) \cdot i$$

[0025] 进一步地,上述公式中部分参数表达式如下:

$$[0026] \quad \begin{cases} E_0(T) = E_0|_{T_{\text{ref}}} + \frac{dE}{dT}(T - T_{\text{ref}}) \\ Q(T_a) = Q + \frac{dQ}{dT}(T_a - T_{\text{ref}}) \\ K(T) = K \cdot e^{\alpha(1/T - 1/T_{\text{ref}})} \\ R(T) = R \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_{\text{ref}})} \end{cases}$$

[0027] 其中, $E_0$ 为电池空载电压(V); $K$ 为极化常数(V/Ah); $Q$ 为电池容量(Ah); $it = \int i dt$ 为电池容量(Ah); $i^*$ 则为经过滤波器后的电流(A); $A$ 为指数区振幅(V); $B$ 为指数区时间常数的倒数(Ah<sup>-1</sup>); $R$ 为电池欧姆内阻( $\Omega$ ); $\frac{dE}{dT}$ 为电压温度系数(V/K); $\frac{dQ}{dT}$ 为最大容量温度系数(Ah/K); $T$ 为电池内部温度, $T_{\text{ref}}$ 为设定的环境温度, $T_a$ 为实际环境温度,单位都为K; $\alpha$ 为极

化电阻的Arrhenius速率常数; $\beta$ 为欧姆内阻的Arrhenius速率常数。 $K(T) \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot it$ 代表锂离子电池的极化电压; $K(T) \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it}$ 代表锂离子电池的极化内阻; $Ae^{(-B \cdot it)}$ 代表电池放电初期的电压压降部分。

[0028] 进一步地,假设包含谐波分量的电流*i*(*t*)表达式如下:

$$[0029] \quad i(t) = \begin{cases} I_{dc} + I_{nw\_m} \sin(nwt) & , \text{放电时} \\ -(I_{dc} + I_{nw\_m} \sin(nwt)) & , \text{充电时} \end{cases}$$

[0030] 其中, $I_{dc}$ 为电流中的直流分量, $I_{2w\_m}$ 为电流中的谐波分量幅值,*n*为谐波次数,*w*为角频率。

[0031] 进一步地,用*i*(*t*)代入充放电电压表达式里的*i*,则对 $it = \int idt$ 来说电流中的谐波分量经过积分后为0,而*i\**是滤波后的电流,其值基本只含直流分量 $I_{dc}$ ,故可忽略谐波分量对*it*和*i\**的影响。

[0032] 进一步地,当设定的环境温度与实际环境温度一样且不变时,本案例中两者都设置为25℃,则可以忽略环境温度的影响,分别用函数 $V_1$ 和 $V_2$ 代替与谐波分量无关的变量,则单体电池电压可化简成如下式子:

$$[0033] \quad V_{batt}(T) = \begin{cases} V_1(T) + R(T) \cdot I_{nw\_m} \sin(nwt) & , \text{充电时} \\ V_2(T) - R(T) \cdot I_{nw\_m} \sin(nwt) & , \text{放电时} \end{cases}$$

[0034] 式中, $V_1(T)$ 为充电时与谐波分量无关联的函数, $V_2(T)$ 为放电时与谐波分量无关联的函数。

[0035] 进一步地,在本实施例中,锂离子电池充电时间为30秒,其时间比较短,故可忽略电池温度*T*对单体电池端电压的影响,以对磷酸铁锂电池( $LiFePO_4$ )充电为例,则单体电池端电压充电表达式如下。

$$[0036] \quad V_{batt} = V_1 + R \cdot I_{nw\_m} \sin(nwt)$$

[0037] 进一步地,在电池的SOC为50%时对电池进行第一次恒流充电,电流为*i*(*t*) = 20A,此时 $I_{nw\_m} \sin(nwt) = 0$ ,记录下充电30秒后锂离子电池的端电压 $V_0$ ,得 $V_{batt} = V_1 = V_0 = 13.642V$ 。

[0038] 进一步地,进行第二次充电前,除了改变充电电流外,其他充电条件保持与仅用直流分量充电时的条件一致,充电电流改为*i*(*t*) = 20+10sin(2wt)A,记录下充电30秒后的 $LiFePO_4$ 电池端电压峰值 $V_{pp\_1}$ ,得 $V_{pp\_1} = V_0 + R_1 \cdot I_{nw\_m} = 13.767V$ 。

[0039] 进一步地,2次谐波下 $LiFePO_4$ 电池欧姆内阻 $R_1$ 的大小如下:

$$[0040] \quad R_1 = \frac{V_{pp\_1} - V_1}{I_{2w\_m}} = \frac{13.7672 - 13.6418}{10} = 12.54 \text{ m}\Omega$$

[0041] 进一步地,同样除了改变充电电流外,其他条件保持不变,充电电流改为*i*(*t*) = 20+10sin(3wt)A,以此电流对电池进行第三次充电,记录下充电30秒后 $LiFePO_4$ 电池的端电压峰值 $V_{pp\_2}$ ,得 $V_{pp\_2} = 13.7674V$ 。

[0042] 类似的,3次谐波下的 $LiFePO_4$ 电池欧姆内阻 $R_2$ 的大小如下:

$$[0043] \quad R_2 = \frac{V_{pp-2} - V_2}{I_{2w\_m}} = \frac{13.7673 - 13.6418}{10} = 12.55 \text{ m}\Omega$$

[0044] 同理,5次谐波和7次谐波下的锂离子电池欧姆内阻的大小如下:

$$[0045] \quad R_3 = \frac{V_{pp-3} - V_3}{I_{2w\_m}} = \frac{13.7674 - 13.6418}{10} = 12.56 \text{ m}\Omega$$

$$[0046] \quad R_4 = \frac{V_{pp-4} - V_4}{I_{2w\_m}} = \frac{13.7673 - 13.6418}{10} = 12.55 \text{ m}\Omega$$

[0047] 进一步地,取上述谐波分量下LiFePO<sub>4</sub>电池欧姆内阻的平均值作为LiFePO<sub>4</sub>电池欧姆内阻的测量结果,表达式如下:

$$[0048] \quad R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4} = 12.55 \text{ m}\Omega$$

[0049] 进一步,在本案例中,该时刻的LiFePO<sub>4</sub>电池真正的欧姆内阻大小为  $R_N = 12.6 \text{ m}\Omega$ 。

[0050] 进一步的,计算在本案例中,本发明方法的误差大小,计算结果如下:

$$[0051] \quad \delta = \frac{(R - R_N)}{R_N} \cdot 100\% = \frac{(12.55 - 12.6)}{12.6} \cdot 100\% = -0.397\%$$

[0052] 综上,虽然该方法存在一定的误差,但其误差非常小,在案例中误差只有负百分之四不到,故本发明提供了一种基于谐波分量的锂离子电池欧姆内阻检测方法是有效的,而且计算简单,可以有效反应实际锂离子电池的欧姆内阻大小,进而可以有效判断出锂离子电池的寿命健康状态。

[0053] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

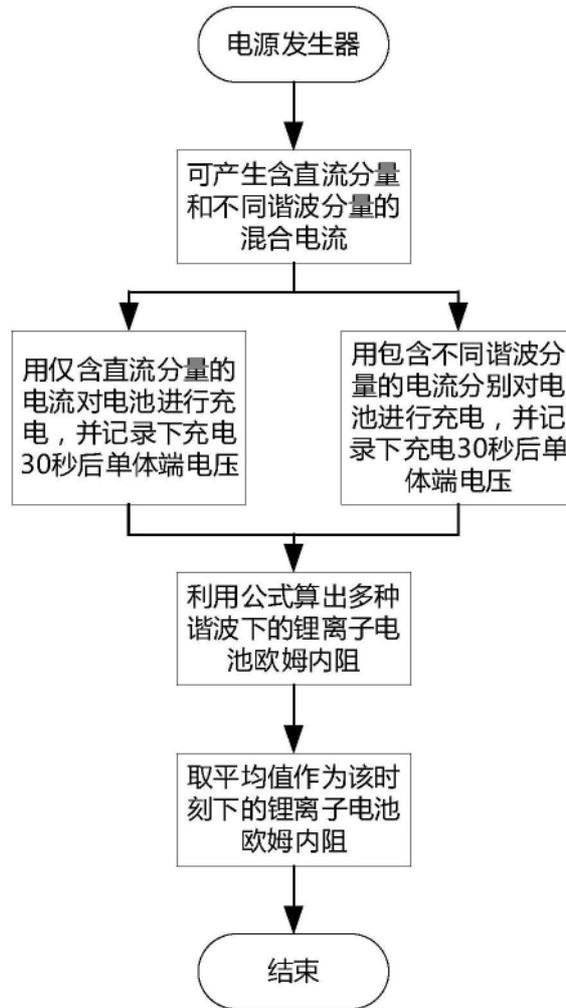


图1

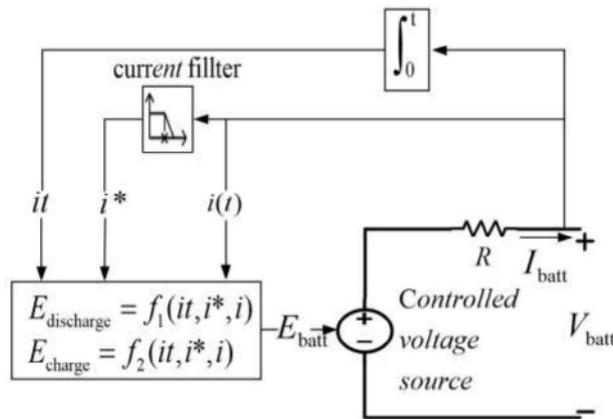


图2