



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106908732 A

(43)申请公布日 2017.06.30

(21)申请号 201710071043.2

(22)申请日 2017.02.09

(71)申请人 北京长城华冠汽车科技股份有限公司

地址 101300 北京市顺义区仁和镇时骏北街1号院4栋(科技创新功能区)

(72)发明人 陆群 钟柳芳

(74)专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018

代理人 张驰 宋志强

(51)Int.Cl.

G01R 31/36(2006.01)

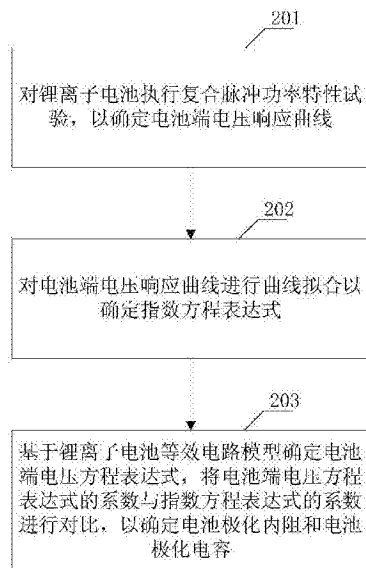
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法和装置

(57)摘要

本发明提出一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法和装置。方法包括：对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验，以确定电池端电压响应曲线；对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式；基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式，将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比，以确定电池极化内阻和电池极化电容。本发明实施方式采用曲线拟合方法实现辨识电池极化电阻和电池极化电容，计算过程清晰简单，避免了现有技术的参数辨识时复杂的矩阵运算。



1. 一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,其特征在于,包括:

对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;

对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;

基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。

2. 根据权利要求1所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,其特征在于,所述指数方程表达式为:

$$y = a * e^{-bt} + c;$$

其中y为电池端电压,t为采样时间点,a、b和c分别为指数方程表达式的系数,e为自然常数。

3. 根据权利要求2所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,其特征在于,所述基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式包括:

基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式;

基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应,确定电池极化电压表达式;

基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式,其中所述电池端电压方程表达式为:

$$\begin{aligned} U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\ &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \end{aligned}$$

其中U(t)为电池端电压;U<sub>ocv</sub>(t)为电池开路电压;R<sub>0</sub>为电池欧姆内阻;τ为时间常数,τ=R<sub>p</sub>C<sub>p</sub>;U<sub>p</sub>(0)为极化电容电压初始值;R<sub>p</sub>为电池极化内阻;I为电流值;C<sub>p</sub>为电池极化电容。

4. 根据权利要求3所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,其特征在于,所述确定电池极化内阻的和电池极化电容包括:

$$\text{基于方程组} \begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1 / b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases} \quad \text{确定电池极化内阻} R_p \text{和电池极化电容} C_p。$$

5. 根据权利要求3所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,其特征在于,该方法还包括:

基于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压U<sub>ocv</sub>(t);

基于电池开路电压U<sub>ocv</sub>(t)计算电池欧姆内阻R<sub>0</sub>。

6. 一种锂离子电池等效电路模型参数辨识装置,其特征在于,包括:

曲线确定模块,用于对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;

曲线拟合模块,用于对所述电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;

参数确定模块,用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。

7. 根据权利要求6所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识装置,其特征在于,

所述指数方程表达式为:

$$y = a * e^{-bt} + c;$$

其中y为电池端电压,t为采样时间点,a、b和c分别为指数方程表达式的系数,e为自然常数。

8. 根据权利要求7所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识装置,其特征在于,

参数确定模块,用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式;基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应,确定电池极化电压表达式;基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式,其中所述电池端电压方程表达式为:

$$\begin{aligned} U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\ &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \end{aligned}$$

其中U(t)为电池端电压;U<sub>ocv</sub>(t)为电池开路电压;R<sub>0</sub>为电池欧姆内阻;τ为时间常数,τ=R<sub>p</sub>C<sub>p</sub>;U<sub>p</sub>(0)为极化电容电压初始值;R<sub>p</sub>为电池极化内阻;I为电流值;C<sub>p</sub>为电池极化电容。

9. 根据权利要求8所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识装置,其特征在于,

参数确定模块,用于基于方程组 
$$\begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1 / b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases}$$
 确定电池极化内阻R<sub>p</sub>和电池极

化电容C<sub>p</sub>。

10. 根据权利要求8所述的锂离子电池等效电路模型参数辨识装置,其特征在于,还包括:

开路电压和欧姆内阻确定模块,用于基于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压U<sub>ocv</sub>(t);基于电池开路电压U<sub>ocv</sub>(t)计算电池欧姆内阻R<sub>0</sub>。

## 一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及汽车技术领域,更具体地,涉及一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法和装置。

### 背景技术

[0002] 能源短缺、石油危机和环境污染愈演愈烈,给人们的生活带来巨大影响,直接关系到国家经济和社会的可持续发展。世界各国都在积极开发新能源技术。电动汽车作为一种降低石油消耗、低污染、低噪声的新能源汽车,被认为是解决能源危机和环境恶化的重要途径。混合动力汽车同时兼顾纯电动汽车和传统内燃机汽车的优势,在满足汽车动力性要求和续驶里程要求的前提下,有效地提高了燃油经济性,降低了排放,被认为是当前节能和减排的有效路径之一。

[0003] 汽车锂离子电池的荷电状态(State-of-Charge, SOC)估计是汽车电池管理系统的重要功能。SOC表征电池的剩余容量,准确估计SOC能有效防止电池的过充和过放,能有效提高车辆的利用效率,延长动力电池的使用寿命,最大限度地保证电池的可靠运行,从而降低电动汽车的使用成本。目前卡尔曼滤波算法在电池SOC状态估计领域应用广泛,使用卡尔曼滤波估计SOC需要建立电池模型。电池模型用来直观的表征电池外部电气特性(比如,电压、电流、温度等)和内部状态(比如, SOC、内阻、电动势等)的定量关系。通过模型的建立,可以根据测试出的外部变量来估算电池内部状态量。电池模型根据研究的对象和机理的不同可以分为电化学模型、数学模型和等效电路模型。

[0004] 在现有技术中,对汽车锂离子电池的参数进行辨识时,需要执行复杂的矩阵运算,计算复杂,运算量大。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提出一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法和装置,从而降低计算复杂度及运算量。

[0006] 本发明实施方式的技术方案包括:

[0007] 一种锂离子电池等效电路模型参数辨识方法,包括:

[0008] 对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;

[0009] 对所述电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;

[0010] 基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。

[0011] 在一个实施方式中,

[0012] 所述指数方程表达式为:

[0013]  $y = a * e^{-bt} + c$ ;

[0014] 其中y为电池端电压,t为采样时间点,a、b和c分别为指数方程表达式的系数,e为自然常数。

[0015] 在一个实施方式中，

[0016] 所述基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式包括：

[0017] 基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式；

[0018] 基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应，确定电池极化电压表达式；

[0019] 基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式，其中所述电池端电压方程表达式为：

$$[0020] \quad U(t) = U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\ = [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] ;$$

[0021] 其中 $U(t)$ 为电池端电压； $U_{ocv}(t)$ 为电池开路电压； $R_0$ 为电池欧姆内阻； $\tau$ 为时间常数， $\tau = R_p C_p$ ； $U_p(0)$ 为极化电容电压初始值； $R_p$ 为电池极化内阻； $I$ 为电流值； $C_p$ 为电池极化电容。

[0022] 在一个实施方式中，

[0023] 所述确定电池极化内阻的和电池极化电容包括：

$$[0024] \quad \begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1/b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases} \quad \text{确定电池极化内阻 } R_p \text{ 和电池极化电容 } C_p。$$

[0025] 在一个实施方式中，

[0026] 该方法还包括：

[0027] 基于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ ；

[0028] 基于电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ 计算电池欧姆内阻 $R_0$ 。

[0029] 一种锂离子电池等效电路模型参数辨识装置，包括：

[0030] 曲线确定模块，用于对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验，以确定电池端电压响应曲线；

[0031] 曲线拟合模块，用于对所述电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式；

[0032] 参数确定模块，用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式，将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比，以确定电池极化内阻和电池极化电容。

[0033] 在一个实施方式中，

[0034] 所述指数方程表达式为：

$$[0035] \quad y = a * e^{-bt} + c;$$

[0036] 其中 $y$ 为电池端电压， $t$ 为采样时间点， $a$ 、 $b$ 和 $c$ 分别为指数方程表达式的系数， $e$ 为自然常数。

[0037] 在一个实施方式中，

[0038] 参数确定模块，用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式；基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应，确定电池极化电压表达式；

[0039] 基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式，其中所述电池端电压方程表达式为：

$$\begin{aligned}
 [0040] \quad U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\
 &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \quad ;
 \end{aligned}$$

[0041] 其中 $U(t)$ 为电池端电压; $U_{ocv}(t)$ 为电池开路电压; $R_0$ 为电池欧姆内阻; $\tau$ 为时间常数, $\tau = R_p C_p$ ;  $U_p(0)$ 为极化电容电压初始值; $R_p$ 为电池极化内阻; $I$ 为电流值; $C_p$ 为电池极化电容。

[0042] 在一个实施方式中,

$$[0043] \quad \text{参数确定模块,用于基于方程组} \begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1/b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases} \quad \text{确定电池极化内阻} R_p \text{和}$$

电池极化电容 $C_p$ 。

[0044] 在一个实施方式中,

[0045] 还包括:

[0046] 开路电压和欧姆内阻确定模块,用于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ ;基于电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ 计算电池欧姆内阻 $R_0$ 。

[0047] 从上述技术方案可以看出,在本发明实施方式中,对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。本发明实施方式采用曲线拟合方法实现针对电池极化电阻和极化电容的辨识,计算过程清晰简单,避免了传统参数辨识时复杂的矩阵运算。

## 附图说明

[0048] 以下附图仅对本发明做示意性说明和解释,并不限定本发明的范围。

[0049] 图1为根据本发明锂离子电池一阶电阻电容(Resistance-Capacitance, RC)等效电路的结构图。

[0050] 图2为根据本发明锂离子电池等效电路模型参数辨识方法流程图。

[0051] 图3为根据本发明SOC为0.9时脉冲放电电池端电压响应曲线示意图。

[0052] 图4为根据本发明锂离子电池等效电路模型参数辨识装置的结构图。

## 具体实施方式

[0053] 为了对发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图说明本发明的具体实施方式,在各图中相同的标号表示相同的部分。

[0054] 为了描述上的简洁和直观,下文通过描述若干代表性的实施方式来对本发明的方案进行阐述。实施方式中大量的细节仅用于帮助理解本发明的方案。但是很明显,本发明的技术方案实现时可以不局限于这些细节。为了避免不必要地模糊了本发明的方案,一些实施方式没有进行细致地描述,而是仅给出了框架。下文中,“包括”是指“包括但不限于”,“根据……”是指“至少根据……,但不限于仅根据……”。由于汉语的语言习惯,下文中没有特别指出一个成分的数量时,意味着该成分可以是一个也可以是多个,或可理解为至少一个。

[0055] 本发明提出一种针对电池一阶RC模型的参数辨识方法,采用曲线拟合方法实现针对电池极化电阻和电池极化电容的辨识,计算过程清晰简单,避免传统参数辨识时复杂的矩阵运算。

[0056] 电池等效电路模型使用电阻、电容、电压源等元件来等效电池的外部电特征,可以用具体的电路方程描述电池内部的变化,而且各个参数的物理意义明确,能够较准确地对参数进行辨识。电池一阶RC模型中各元件物理意义明确,电路结构简单,能较好地体现电池的动静态特性。在考虑到温度、电流以及充放电过程中差异的情况下,可以较准确地模拟电池的充放电行为,并且其结构相对比较简单,所以在动力电池的建模方面得到了广泛的应用。

[0057] 汽车锂离子电池的内阻包括欧姆内阻、极化内阻和极化电容产生的容性阻抗,分别用电阻和电容来等效即可得到一阶RC模型。

[0058] 图1为根据本发明锂离子电池一阶RC等效电路的结构图。

[0059] 在图1中:

[0060]  $U_{ocv}$ 是电池的电动势,也代表电池开路电压的大小,在同一温度下与SOC有固定的函数关系。

[0061]  $R_0$ 是电池的欧姆内阻。

[0062]  $R_p$ 是电池的极化内阻,表示电池内部电化学极化和浓差极化引起的电阻。

[0063]  $C_p$ 是极化电容,表示电池在极化过程中所产生的容抗。

[0064] 内阻 $R_p$ 与电容极化 $C_p$ 构成RC并联回路,用于模拟电池在极化产生和消除过程中所表现出的动态特性。

[0065]  $I$ 是系统充放电电流;当电池充电时电流 $I$ 为正,当电池放电时电流 $I$ 为负。

[0066]  $U$ 表示电池端电压; $U_p$ 为RC并联网路的端电压,即为极化电压。

[0067] 当电池有负载时,端电压的变化会表现出既有突变性又有渐变性,突变的地方表现在 $R_0$ 上,渐变的地方则表现在 $R_p$ 和 $C_p$ 上。

[0068] 基于图1所示的锂离子电池等效电路模型,图2为根据本发明锂离子电池等效电路模型参数辨识方法流程图。

[0069] 如图2所示,该方法包括:

[0070] 步骤201:对锂离子电池执行复合脉冲功率特性(Hybrid Pulse Power Characteristic, HPPC)试验,以确定电池端电压响应曲线。

[0071] 电池模型通常需要辨识4个参数,即电池开路电压 $U_{ocv}$ 、电池内阻 $R_0$ 、电池极化内阻 $R_p$ 和电池极化电容 $C_p$ 。电池模型参数辨识需选择合适的测试条件和测试流程对电池进行充放电试验。具体测试流程可以参考关于复合脉冲功率特性试验的相应描述,本发明对此不再赘述。在电池特性测试试验中,考虑电池充放电参数特性,在等间隔的SOC点处对电池的参数进行辨识,达到对不同荷电状态下的参数识别。为了对不同温度下的参数进行识别,将电池搁置在不同温度下的恒温箱中,进行HPPC试验,从而考虑不同温度对电池参数的影响。

[0072] 经过HPPC试验后,可以得到不同温度下、不同SOC处的电池端电压响应数据,并获得不同温度下、不同SOC处的电池端电压响应曲线。

[0073] 步骤202:对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式。

[0074] 在这里,针对某个特定温度下的某个特定SOC处的电池端电压响应曲线进行曲线

拟合,以确定出该特定温度下的某个特定SOC处的指数方程表达式。

[0075] 在一个实施方式中,指数方程表达式为:

[0076]  $y = a * e^{-bt} + c$ ,其中y为电池端电压,t为采样时间点,a、b和c分别为指数方程表达式的系数,e为自然常数。

[0077] 具体地,可以利用矩阵实验室(matrix laboratory, MATLAB)等软件平台,将HPPC试验数据代入此指数方程,利用lsqcurvefit()函数编程实现曲线拟合,保证误差的平方和最小。

[0078] 而且,在不同温度下、不同的SOC处分别进行曲线拟合,从而得到各个温度下的各个SOC点的电池端电压响应曲线的指数方程表达式。

[0079] 步骤203:基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。

[0080] 根据电池的荷电状态-开路电压曲线,可利用最小二乘法拟合出 $U_{ocv}$ 与SOC之间的关系。然后,再利用电流加载或卸载瞬间的电压变化得到欧姆内阻, $R_0 = dU/I$ 即为电池欧姆内阻。根据不同SOC下得到的欧姆内阻值,可利用最小二乘法拟合 $R_0$ 与SOC之间的关系。

[0081] 在一个实施方式中,基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式包括:

[0082] 基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式;

[0083] 基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应,确定电池极化电压表达式;

[0084] 基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式,其中所述电池端电压方程表达式为:

$$\begin{aligned}
 U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\
 &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \quad ;
 \end{aligned}$$

[0086] 其中U(t)为电池端电压; $U_{ocv}(t)$ 为电池开路电压; $R_0$ 为电池欧姆内阻; $\tau$ 为时间常数, $\tau = R_p C_p$ ;  $U_p(0)$ 为极化电容电压初始值; $R_p$ 为电池极化内阻; $I$ 为电流值; $C_p$ 为电池极化电容。

[0087] 在一个实施方式中,确定电池极化内阻的和电池极化电容包括:

$$\text{[0088] 利用} \begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1/b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases} \text{ 确定电池极化内阻} R_p \text{和电池极化电容} C_p。$$

[0089] 在一个实施方式中,该方法还包括:

[0090] 基于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ ;基于电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ 计算电池欧姆内阻 $R_0$ 。

[0091] 下面结合图1所示结构图,对图2描述的流程进行详细说明。

[0092] 根据基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律,针对图1所示结构图,得到电池模型微分方程表达式,如下:

$$[0093] \quad \begin{cases} U(t) = U_{ocv}(t) + R_0 I(t) + U_p(t) \\ I(t) = \frac{U_p(t)}{R_p} + C_p \frac{dU_p(t)}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

[0094] 根据一阶电路的全响应,得到电池极化电压如下:

$$[0095] \quad \begin{cases} U_p(t) = U_p(0)e^{-t/\tau} + I * R_p(1 - e^{-t/\tau}) \\ \tau = R_p C_p \end{cases} \quad (2)$$

[0096] 利用安时积分法,通过对电池电流与时间的积分,再考虑电池的充放电效率 $\eta$ ,可计算锂离子电池充入和放出的电量,该电量与电池的可用容量 $C_N$ 相比即可得电池变化的SOC。其中充电时电流为正,放电时电流为负。式(3)中,SOC( $t_1$ )为电池在 $t_1$ 时刻的SOC,SOC( $t_2$ )为电池在 $t_2$ 时刻的SOC。

$$[0097] \quad SOC(t_2) = SOC(t_1) + \frac{1}{C_N} \int_{t_1}^{t_2} \eta I dt \quad (3)$$

[0098] 根据电池端电压响应曲线,按指数方程的形式进行曲线拟合,得到:

$$[0099] \quad y = a * e^{-bt} + c \quad (4)$$

[0100] 将式(2)代入式(1),可得电池端电压方程为:

$$[0101] \quad \begin{aligned} U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\ &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \end{aligned} \quad (5)$$

[0102] 将式(4)与式(5)对比,可得:

$$[0103] \quad \begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1/b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases} \quad (6)$$

[0104] 由于已辨识出不同温度下、不同SOC处的电池开路电压 $U_{ocv}$ 和欧姆内阻 $R_0$ ,利用电池HPPC试验数据和式(6)可计算得到电池极化内阻和极化电容。

[0105] 而且,利用图2所描述的方法流程,可以获得不同温度下、不同SOC处电池的极化内阻和极化电容。

[0106] 下面以温度为20摄氏度,电池SOC为0.9时的HPPC试验数据为例,阐述电池极化电阻和极化电容的辨识方法。

[0107] 图3为根据本发明温度为20摄氏度,SOC为0.9时脉冲放电电池端电压响应曲线示意图。

[0108] 在图3中,横轴为时间,纵轴为电池端电压,数据采样时间为0.1s。

[0109] 在电池放电瞬间,电池端电压发生突变,此时主要是电池欧姆内阻引起的端电压变化。此后,电池端电压以指数趋势逐渐递减,直至电流变为0。电压缓慢变化的过程主要是极化内阻和极化电容的作用引起的。以此段缓慢变化的电池端电压数据和放电电流数据为基础,进行电池极化内阻和极化电容的辨识。基于此段电池端电压数据和放电电流数据为基础,确定电池端电压响应曲线,并按指数方程的形式进行曲线拟合,得到指数方程的表达式 $y = a * e^{-bt} + c$ ;其中 $y$ 为电池端电压, $t$ 为采样时间点。基于曲线拟合结果,系数 $a$ , $b$ 和 $c$ 为可确定的具体值。

[0110] 然后,由于之前已辨识出电池在不同温度下、不同SOC处的开路电压 $U_{ocv}$ 和欧姆内阻 $R_0$ ,因此可以确定温度为20摄氏度,SOC为0.9时的电池开路电压 $U_{ocv}$ 和欧姆内阻 $R_0$ 。

[0111] 再利用方程组 
$$\begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = I / b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0 = c \end{cases}$$
 即可以确定出SOC为0.9时的电池极化内阻

和极化电容。

[0112] 具体地,a、b和c为基于曲线拟合得到的已知数;I为基于HPPC试验数据可确定的已知数; $U_{ocv}$ 和欧姆内阻 $R_0$ 也为已知数字; $U_p(0)$ 、电池极化内阻 $R_p$ 和电池极化电容 $C_p$ 为未知数。三个求解方程包含三个未知数,因此可以计算得出 $U_p(0)$ 、电池极化内阻 $R_p$ 和电池极化电容 $C_p$ 。

[0113] 最终计算出的结果,即为温度为20摄氏度,SOC为0.9时的电池极化内阻 $R_p$ 和电池极化电容 $C_p$ 。

[0114] 类似地,在不同温度和不同的SOC处,可以重复利用此方法获得不同温度和不同的SOC处的电池极化内阻和电池极化电容。

[0115] 基于上述描述,本发明实施方式还提出了一种锂离子电池等效电路模型参数辨识装置。

[0116] 图4为根据本发明锂离子电池等效电路模型参数辨识装置的结构图。

[0117] 如图4所示,该装置包括:

[0118] 曲线确定模块401,用于对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;

[0119] 曲线拟合模块402,用于对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;

[0120] 参数确定模块403,用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。

[0121] 在一个实施方式中,

[0122] 指数方程表达式为:

[0123]  $y = a * e^{-bt} + c$ ;

[0124] 其中y为电池端电压,t为采样时间点,a、b和c分别为指数方程表达式的系数,e为自然常数。

[0125] 在一个实施方式中,参数确定模块403,用于基于锂离子电池等效电路模型确定电池模型微分方程表达式;基于锂离子电池等效电路模型的一阶电路全响应,确定电池极化电压表达式;基于电池极化电压表达式和电池模型微分方程表达式确定电池端电压方程表达式,其中所述电池端电压方程表达式为:

[0126] 
$$\begin{aligned} U(t) &= U_{ocv}(t) + [U_p(0) * e^{-t/\tau} + I * R_p * (1 - e^{-t/\tau})] + I * R_0 \\ &= [U_p(0) - I * R_p] * e^{-t/\tau} + [U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_0] \end{aligned}$$
 ;

[0127] 其中U(t)为电池端电压; $U_{ocv}(t)$ 为电池开路电压; $R_0$ 为电池欧姆内阻; $\tau$ 为时间常数, $\tau = R_p C_p$ ; $U_p(0)$ 为极化电容电压初始值; $R_p$ 为电池极化内阻;I为电流值; $C_p$ 为电池极化电

容。

[0128] 在一个实施方式中，

[0129] 参数确定模块403,用于利用方程组

$$\begin{cases} U_p(0) - I * R_p = a \\ \tau = 1/b \\ U_{ocv}(t) + I * R_p + I * R_o = c \end{cases} \quad \text{确定电池极化内阻 } R_p$$

和电池极化电容 $C_p$ 。

[0130] 在一个实施方式中,还包括:

[0131] 开路电压和欧姆内阻确定模块404,用于基于荷电状态-开路电压曲线确定电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ ;基于电池开路电压 $U_{ocv}(t)$ 计算电池欧姆内阻 $R_o$ 。

[0132] 综上所述,在本发明实施方式中,对锂离子电池执行复合脉冲功率特性试验,以确定电池端电压响应曲线;对电池端电压响应曲线进行曲线拟合以确定指数方程表达式;基于锂离子电池等效电路模型确定电池端电压方程表达式,将电池端电压方程表达式的系数与指数方程表达式的系数进行对比,以确定电池极化内阻和电池极化电容。本发明实施方式采用曲线拟合方法实现针对电池极化电阻和极化电容的辨识,计算过程清晰简单,避免了传统参数辨识时复杂的矩阵运算。

[0133] 上文所列出一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,而并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方案或变更,如特征的组合、分割或重复,均应包含在本发明的保护范围之内。

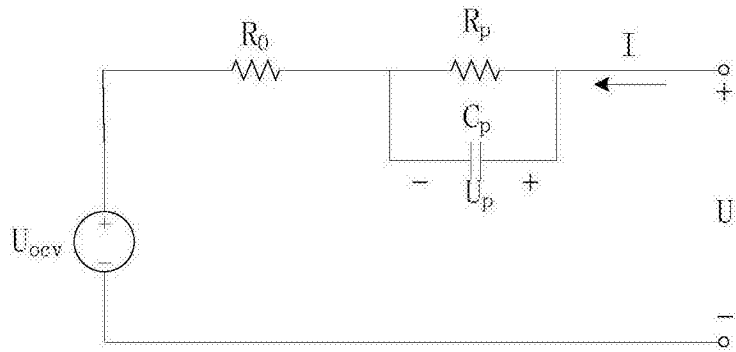


图1

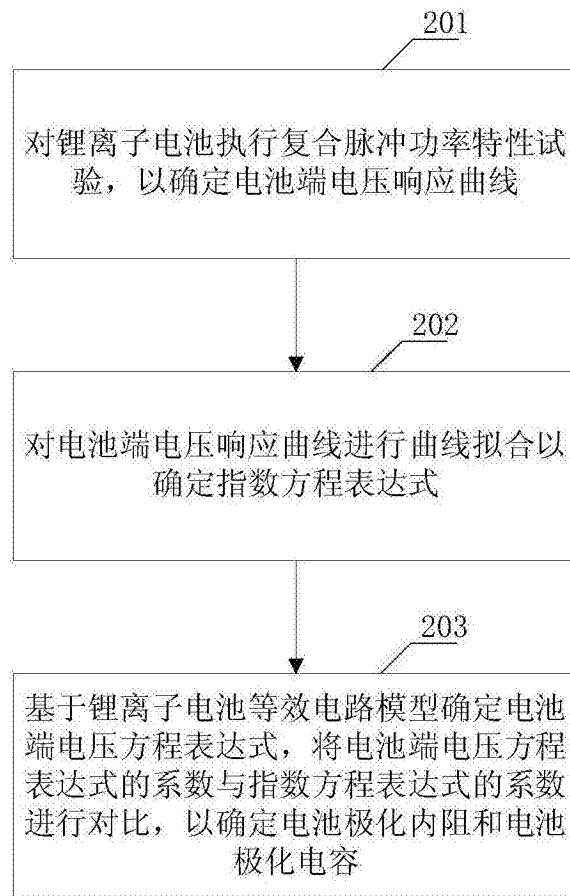


图2

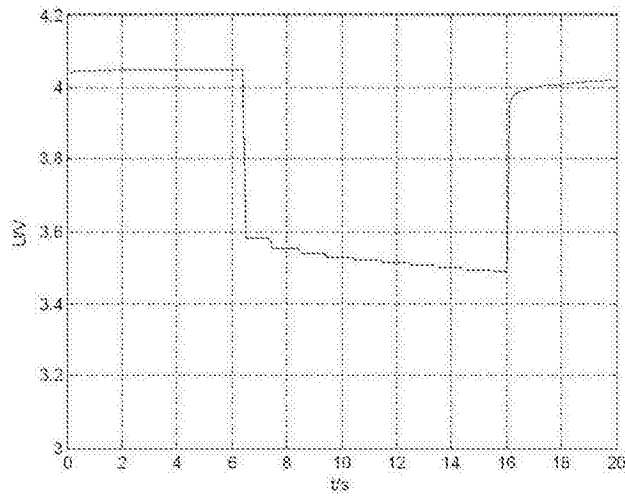


图3

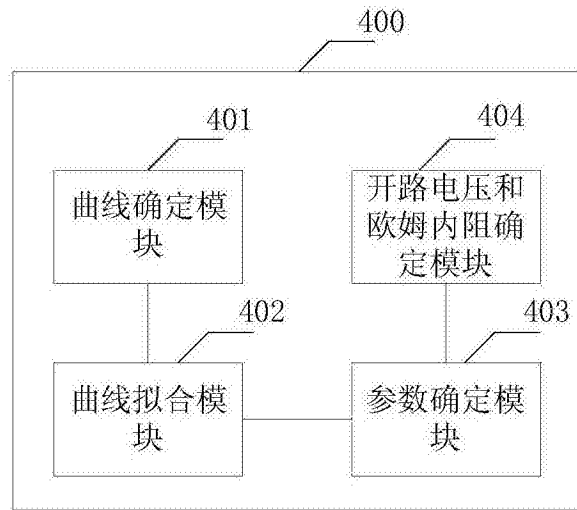


图4