



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103323781 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 05

(21) 申请号 201310205539. 6

CN 202794475 U, 2013. 03. 13,

(22) 申请日 2013. 05. 29

WO 2012/013453 A1, 2012. 02. 02,

(73) 专利权人 西安交通大学

戴海峰 等. 基于扩展卡尔曼滤波算法的燃料电池车用锂离子动力电池荷电状态估计. 《机械工程学报》. 2007, 第 43 卷 (第 2 期), 第 92-95, 103 页.

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路 28 号

(72) 发明人 续丹 霍小宁 包鑫 房念兴
曹秉刚

审查员 孙玲玲

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

代理人 蔡和平

(51) Int. Cl.

G01R 31/36(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101799519 A, 2010. 08. 11,

CN 102736031 A, 2012. 10. 17,

CN 102569922 A, 2012. 07. 11,

CN 102645637 A, 2012. 08. 22,

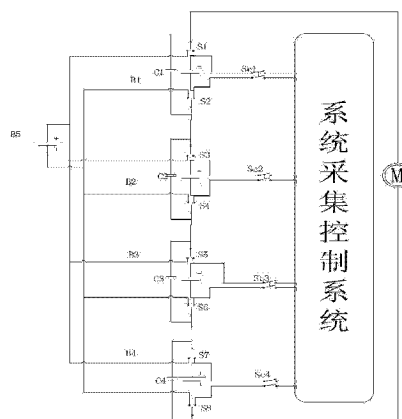
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

动力电池组在线参数检测系统及 SOC 估计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种动力电池组在线参数检测系统及 SOC 估计方法, 本发明通过新型硬件拓扑的电池参数检测系统测量电池组单体电池的实时端电压、开路电压 OCV、电流值以及 OCV 与电池 SOC 对应表, 并采用改进的扩展 Kalman 滤波算法估计电池的 SOC 和欧姆内阻值。本发明去除了电池 SOC 估测方程中传统的二阶 RC 模型中的阻值变化复杂且测量困难的欧姆内阻, 减少了估计荷电误差; 使扩展 Kalman 滤波算法对电池模型的精确性要求降低, 对系统的参数的不确定性或变化、外界因素的扰动不敏感具有较强的鲁棒性; 本发明可以更加精确地预测电动汽车的续驶里程, 对电动汽车的商业量产意义重大。



1. 采用动力电池组在线参数检测系统进行 SOC 估计的方法,其特征在于,所述动力电池组在线参数检测系统包括备用续流电池、工作电机 M、系统采集控制系统和至少两个结构相同的测量单元;每个测量单元均包括一个电池、一个电容、一个双刀单掷开关、一个第一单刀双掷开关和一个第二单刀双掷开关;电池的正极连接第一单刀双掷开关的第一固定端,电池的负极连接第二单刀双掷开关的第一固定端;电池的正极和负极通过双刀单掷开关连接系统采集控制系统;第一单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的正极,第二单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的负极;第一单刀双掷开关的动端连接电容的一端和工作电机 M 的正极,第二单刀双掷开关的动端连接电容的另一端和工作电机 M 的负极;所有测量单元中的电容依次相互串联;

所述 SOC 估计的方法包括以下步骤:

1)、所有双刀单掷开关合闸,所有第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关打到对应电池两端,所有测量单元的电池正常给工作电机 M 供电;

2)、将所有测量单元中的一组电池退出给工作电机 M 供电,同时将备用续流电池接入电路给工作电机 M 供电,测量退出供电的电池不受欧姆内阻影响的端电压 V_{okT} ;同时采集流过工作电机 M 的电流 $i(k)$;

3)、重复步骤 2),采集得到所有测量单元中电池的端电压 V_{okT} ,同时采集流过工作电机 M 的电流 $i(k)$;

4)、然后运用扩展 Kalman 方法结合电池的二阶 RC 模型建立离散状态方程和输出方程:

状态方程:

$$\begin{bmatrix} SOC(k+1) \\ U_s(k+1) \\ U_l(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} SOC(k) \\ U_s(k) \\ U_l(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\eta \Delta t}{C} \\ R_s(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}}) \\ R_l(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}}) \end{bmatrix} \times i(k) + \omega(k) \quad (2)$$

输出方程:

$$V_{okT} = OCV(SOC(k)) - U_s(k) - U_l(k) + v(k+1) \quad (5)$$

其中, η 为充放电效率; $i(k)$ 为采样的 k 时刻的动力电池系统的电流采样值; $SOC(k)$ 为 k 时刻电池的预计 SOC 值; C 为电池的额定容量; OCV 为电池的开路电压, $OCV(SOC(k))$ 表示在 k 时刻当荷电状态为 $SOC(k)$ 时电池的开路电压; Δt 表示电池的采样间隔; τ_s 、 τ_l 表示电池模型的 R_s 、 C_s 环节和 R_l 、 C_l 环节的时间常数,即 $\tau_s = R_s C_s$, $\tau_l = R_l C_l$; $U_s(k)$ 为 R_s 上电压; $U_l(k)$ 为 R_l 上电压; T 为电池的隔离时间; $\omega(k)$, $v(k)$ 为互不相关系统误差;

联合求解公式 (2) 和 (5),得到电池 SOC 估计。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,步骤 2) 中通过将第一单刀双掷开关打开,将对应的一组电池退出给工作电机 M 供电;同时将对应的测量单元的第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关打到第二固定端,将备用续流电池接入电路给工作电机 M 供电。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述系统采集控制系统连接所述至少两

个结构相同的测量单元中所有双刀单掷开关、第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述系统采集控制系统为单片机。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时控制,第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时连接对应的电池或备用续流电池。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电池和备用续流电池参数相同。

动力电池组在线参数检测系统及 SOC 估计方法

技术领域

[0001] 本发明属于纯电动汽车电池管理领域,特别涉及一种动力电池组在线参数检测系统及 SOC 估计方法。

背景技术

[0002] 在当今社会,铅酸电池作为能源被广泛地应用于纯电动汽车。因此,精确地估计电池的容量和性能对提高电动汽车的续驶里程估算精度至关重要。电池的荷电状态(State of charge, SOC),是电池管理系统研究的核心和难点,有必要获得 SOC 的更精确的结果。

[0003] 目前常用的 SOC 估计方法有安时法、开路电压法、电化学阻抗谱法、神经网络法、卡尔曼滤波法等。但是,各种估计方法适用于不同的应用领域。其中最常用的和被广泛接受的方法是安时法。但是此种方法需要精确地测量电流值以便减少累计误差。因此,此方法的最大缺点是随着时间的积累误差会被逐渐放大,不适合精确估计电池的剩余电量,其误差大致在 15% 左右。由于卡尔曼方法实时端电压更新的特点,扩展卡尔曼方法与安时法的结合使用可以在一定程度上提高估计精度,可以提高到 5% 左右。由于扩展卡尔曼方法严重依赖电池模型的精确度,但是电池存在着一些不可测而且变化不规律的变量如电池的欧姆内阻等。这些因素限制了估算精度的进一步提高。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种动力电池组在线参数检测系统及 SOC 估计方法,以实现纯电动汽车车载动力电池组 SOC 的精确估计。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 动力电池组在线参数检测系统,包括至少两个结构相同的测量单元、备用续流电池、工作电机 M 和系统采集控制系统;每个测量单元均包括一个电池、一个电容、一个双刀单掷开关、一个第一单刀双掷开关和一个第二单刀双掷开关;电池的正极连接第一单刀双掷开关的第一固定端,电池的负极连接第二单刀双掷开关的第一固定端;电池的正极和和负极通过双刀单掷开关连接系统采集控制系统;第一单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的正极,第二单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的负极;第一单刀双掷开关的动端连接电容的一端和工作电机 M 的正极,第二单刀双掷开关的动端连接电容的另一端和工作电机 M 的负极;所有测量单元中的电容依次相互串联。

[0007] 本发明进一步的改进在于:所述系统采集控制系统连接所述至少两个结构相同的测量单元中所有双刀单掷开关、第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关。

[0008] 本发明进一步的改进在于:所述系统采集控制系统为单片机。

[0009] 本发明进一步的改进在于:所述第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时控制,第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时连接对应的电池或备用续流电池。

[0010] 本发明进一步的改进在于:所述电池和备用续流电池参数相同。

[0011] 采用动力电池组在线参数检测系统进行 SOC 估计的方法,包括以下步骤:

[0012] 1)、所有双刀单掷开关合闸,所有第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关打到对应电池两端,所有测量单元的电池正常给工作电机 M 供电;

[0013] 2)、将所有测量单元中的一组电池退出给 M 供电,同时将备用电池接入电路给 M 供电,测量退出供电的电池不受欧姆内阻影响的端电压 V_{okT} ;同时采集流过电机 M 的电流 $i(k)$;

[0014] 3)、重复步骤 2),采集得到所有测量单元中电池的端电压 V_{okT} ,同时采集流过电机 M 的电流 $i(k)$;

[0015] 4)、然后运用扩展 Kalman 方法结合电池的二阶 RC 模型建立离散状态方程和输出方程:

[0016] 状态方程:

[0017]

$$\begin{bmatrix} SOC(k+1) \\ U_s(k+1) \\ U_l(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} SOC(k) \\ U_s(k) \\ U_l(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\eta \Delta t}{C} \\ R_s(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}}) \\ R_l(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}}) \end{bmatrix} \times i(k) + \omega(k) \quad (2)$$

[0018] 输出方程:

$$V_{okT} = OCV(SOC(k)) - U_s(k) - U_l(k) + v(k+1) \quad (5)$$

[0020] 其中, η 为充放电效率; $i(k)$ 为采样的 k 时刻的动力电池系统的电流采样值; $SOC(k)$ 为 k 时刻电池的预计 SOC 值; C 为电池的额定容量; OCV 为电池的开路电压, $OCV(SOC(k))$ 表示在 k 时刻当核电状态为 $SOC(k)$ 时电池的开路电压; Δt 表示电池的采样间隔; τ_s 、 τ_l 表示电池模型的 R_s 、 C_s 环节和 R_l 、 C_l 环节的时间常数,即 $\tau_s = R_s C_s$, $\tau_l = R_l C_l$; $U_s(k)$ 为 R_s 上电压; $U_l(k)$ 为 R_l 上电压; T 为电池的隔离时间; $\omega(k)$, $v(k)$ 为互不相关系统误差;

[0021] 联合求解公式(2)和(5),得到电池 SOC 估计。

[0022] 本发明进一步的改进在于:步骤 2)中通过将一一个双刀单掷开关打开,将对应的一组电池退出给电机 M 供电;同时将对应的测量单元的第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关打到第二固定端,将备用电池接入电路给电机 M 供电。

[0023] 本发明基于车载电池的 OCV 与 SOC 对应表和车载电池荷电状态的变化量计算电池的 SOC。

[0024] 电池的剩余电量由以下公式表示:

$$SOC = SOC_0 - \int_0^T \frac{\eta I}{C_e} dt \quad (1)$$

[0026] 式中: SOC_0 为车载电池初始荷电状态; η 为充放电效率; I 为放电电流; C_e 为电池的额定容量。

[0027] 相对于现有技术,本发明具有以下优点:

[0028] (1)本发明去除了电池 SOC 估测方程中传统的二阶 RC 模型中的阻值变化复杂且测

量困难的欧姆内阻,减少了估计荷电误差。使扩展 Kalman 滤波算法对电池模型的精确性要求降低,对系统的参数的不确定性或变化、外界因素的扰动不敏感具有较强的鲁棒性。

[0029] (2)本发明可以精确地对动力电池的荷电状态(SOC)进行估计,可以更加精确地预测电动汽车的续驶里程,对电动汽车的商业量产意义重大。

[0030] (3)本发明还可以估算电池的欧姆内阻,此参数实测难度较大而且精度较低,因此参数可以为电池的健康度预测(SOH)提供必要的参数。

附图说明

[0031] 图 1 为 Kalman 滤波方法框图;

[0032] 图 2 为电池的二阶 RC 模型示意图;

[0033] 图 3 为在动力电池组在线参数检测系统的示意图。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明动力车载电池组在线参数检测系统及电池 SOC 估计方法做详细描述:

[0035] 如图 1 所示:卡尔曼滤波的处理对象有真实系统和系统模型。利用真实系统和电池模型的输出差值进行修正系统的状态变量 u_{kt} 和 u_k ,使得假定的状态变量向真实的状态变量靠近。

[0036] 如图 2 所示:二阶 RC 模型。一个欧姆电阻和两个 RC 网络,同时去掉寄生支路,其中 R_e 是电池的欧姆内阻; R_s 和 R_1 视为电池的极化内阻。 C_1 和 C_s 视为电池的极化电容。

[0037] 如图 3 所示:一种测定动态过程中电池组电参数的动力电池组在线参数检测系统,包括至少两个结构相同的测量单元、备用续流电池、工作电机 M 和系统采集控制系统(单片机)。电池和备用续流电池参数相同。每个测量单元均包括一个电池、一个电容、一个双刀单掷开关和两个单刀双掷开关;电池的正极连接第一单刀双掷开关的第一固定端,电池的负极连接第二单刀双掷开关的第一固定端;电池的正极和和负极还通过双刀单掷开关连接单片机;第一单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的正极,第二单刀双掷开关的第二固定端连接备用续流电池的负极;第一单刀双掷开关的动端连接电容的一端和工作电机 M 的正极,第二单刀双掷开关的动端连接电容的另一端和工作电机 M 的负极;所有测量单元中的电容依次相互串联。电路中电容用来减弱开关切换对原电路的影响。

[0038] 系统采集控制系统连接所述至少两个结构相同的测量单元中所有双刀单掷开关、第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关。第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时控制,第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关同时连接对应的电池或备用续流电池。

[0039] 请参阅图 3 所示,下面以四组测量单元为例,详细说明本发明动力电池组在线参数检测系统,该系统包括四个结构相同的测量单元、备用续流电池 B5、工作电机 M 和单片机。第一测量单元包括电池 B1、电容 C1、双刀单掷开关 SC1、第一单刀双掷开关 S1 和第二单刀双掷开关 S2;第二测量单元包括电池 B2、电容 C2、双刀单掷开关 SC2、第一单刀双掷开关 S3 和第二单刀双掷开关 S4;第三测量单元包括电池 B3、电容 C3、双刀单掷开关 SC3、第一单刀双掷开关 S5 和第二单刀双掷开关 S6;第四测量单元包括电池 B4、电容 C4、双刀单掷开关 SC4、第一单刀双掷开关 S8 和第二单刀双掷开关 S9。经采集的电参数信号单体电池的实时

端电压、开路电压 OCV、电流值输入扩展 Kalman 估计器中估计动力电池的 SOC。在电动汽车启动后,通过电池两侧开关不断把电路中电池隔离出电路同时把备用续流电池替换原电池放入电路,在大电容缓冲下保证在切换过程中电路的导通。采集隔离前车载单体电池的端电压和电路电流以及隔离后车载单体电池的开路电压 OCV。基于车载单体电池的 OCV 与 SOC 对应表和车载电池荷电状态的变化量计算电池的 SOC。

[0040] 本发明一种 SOC 估计方法,包括以下步骤:

[0041] 1、所有双刀单掷开关(SC1 - SC4)合闸,所有第一单刀双掷开关(S1、S3、S5、S7)和第二单刀双掷开关(S2、S4、S6、S8)打到电池 B1 - B4 两端,四个电池 B1 - B4 正常给工作电机 M 供电;

[0042] 2、将一个双刀单掷开关打开,电池 B1 - B4 中的一组退出给 M 供电,同时将对应的测量单元的第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关打到第二固定端,将备用电池 B5 接入电路给 M 供电,测量退出供电的电池不受欧姆内阻影响的端电压 V_{okT} ;同时采集流过电机 M 的电流 $i(k)$;

[0043] 3、重复步骤 2,采集得到四组电池 B1 - B4 的端电压 V_{okT} ,同时采集流过电机 M 的电流 $i(k)$;

[0044] 4、然后运用扩展 Kalman 方法结合电池的二阶 RC 模型建立离散状态方程和输出方程:

[0045] 状态方程:

[0046]

$$\begin{bmatrix} SOC(k+1) \\ U_s(k+1) \\ U_l(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} SOC(k) \\ U_s(k) \\ U_l(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\eta \Delta t}{C} \\ R_s(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}}) \\ R_l(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}}) \end{bmatrix} \times i(k) + \omega(k) \quad (2)$$

[0047] 输出方程:

$$V_{okT} = OCV(SOC(k)) - U_s(k) - U_l(k) + v(k+1) \quad (5)$$

[0049] 联合求解公式(2)和(5),得到电池 SOC 估计。

[0050] 本发明基于车载电池的 OCV 与 SOC 对应表和车载电池荷电状态的变化量计算电池的 SOC。电池的剩余电量由以下公式表示:

$$SOC = SOC_0 - \int_0^T \frac{\eta I}{C_e} dt \quad (1)$$

[0052] 式中: SOC_0 为车载电池初始荷电状态; η 为充放电效率; I 为放电电流; C_e 为电池的额定容量。

[0053] 本发明运用扩展 Kalman 方法结合电池的二阶 RC 模型建立离散状态方程和输出方程如下:

[0054] 状态方程:

[0055]

$$\begin{bmatrix} SOC(k+1) \\ U_s(k+1) \\ U_l(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} SOC(k) \\ U_s(k) \\ U_l(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\eta \Delta t}{C} \\ R_s(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}}) \\ R_l(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}}) \end{bmatrix} \times i(k) + \omega(k) \quad (2)$$

[0056] 输出方程：

[0057] 实时端电压输出方程

$$V_{ok} = OCV(SOC(k)) - i(k)R_e - U_s(k) - U_l(k) + v(k+1) \quad (3)$$

[0059] 电池被隔离后,由于没有外部输出电流导致 $i(k) \approx 0A$,从而导致 $i(k)R_e \approx 0V$ 。这样电池的欧姆内阻变化对电池可测的端电压影响基本可以忽略。基于此,电池端电压不再受欧姆内阻变化而变化。所以隔离后输出方程如下：

[0060] 隔离后输出方程

[0061]

$$V_{okT} = OCV(SOC(k)) - U_s(k) \times e^{-\frac{T}{\tau_s}} - U_l(k) \times e^{-\frac{T}{\tau_l}} + v(k+1) + \frac{T}{\Delta t} \quad (4)$$

[0062] 当忽略隔离时间时

$$V_{okT} = OCV(SOC(k)) - U_s(k) - U_l(k) + v(k+1) \quad (5)$$

[0064] 状态变量

$$X_k = [SOC(k+1) \ U_s(k+1) \ U_l(k+1)]^T \quad (6)$$

[0066] 状态转移矩阵及控制矩阵

$$[0067] \quad A_k = \frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}} \end{bmatrix},$$

$$B_k = \begin{bmatrix} -\frac{\eta \Delta t}{C} \\ R_s(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_s}}) \\ R_l(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau_l}}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0068] 测量矩阵

[0069]

$$H_k = \frac{\partial g}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{dOCV}{dS} & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0070] 状态方程噪音方差

[0071] $Q = E[\omega_k \omega_k^T], k = 1 \sim N$ (9)

[0072] 测量方差矩阵

[0073] $R = E[v_k v_k^T], k = 1 \sim N$ (10)

[0074] 式中, η 为充放电效率,一般要通过实验获得,在正常情况下,充电效率 $\eta=1$,放电效率 $\eta < 1$; $i(k)$ 为采样的 k 时刻的动力电池系统的电流采样值;规定充电时为负,放电时为正;SOC(k) 为 k 时刻电池的预计 SOC 值;C 为电池的额定容量;OCV 为电池的开路电压,一般和电池的 SOC 存在确定的对应关系,因此可以用 OCV(SOC(k)) 表示在 k 时刻当核电状态为 SOC(k) 时电池的开路电压为 OCV(SOC(k));表示电池的采样间隔; τ_s 、 τ_1 表示电池模型的; R_s 、 C_s 环节和 R_1 、 C_1 环节的时间常数,即 $\tau_s=R_s C_s$, $\tau_1=R_1 C_1$ 。 $U_s(k)$ 为 R_s 上电压; $U_1(k)$ 为 R_1 上电压; T 为电池的隔离时间; $\omega(k)$, $v(k)$ 为互不相关系统误差。

[0075] 由以上分析可知(2)式观测的电压值 V_{okT} 不包含欧姆内阻,通过比较分析(3)式和(4)式可以一定程度上矫正欧姆内阻,使电池模型更加精确,不断更新。同时我们可以进一步分析,由于电池的 SOC 变化比较缓慢,采样周期一般不会很高,此时我们可以认为 V_{ok} 和 V_{okT} 是同一时间采样的,此时(4)式可以简化为(5)式。由(2)式和(5)式组成的模型的离散状态方程和输出方程组已经不存在欧姆内阻了,即欧姆内阻的变化已经不能影响 SOC 的估计精度。用(2)式减去(5)式,可以得到欧姆内阻的阻值:

[0076] $R_e(k) = (V_{okT} - V_{ok}) / i(k)$ (11)

[0077] 以上所述仅为本发明的一种实施方式,不是全部或唯一的实施方式,本领域普通技术人员通过阅读本发明说明书而对本发明技术方案采取的任何等效的变换,均为本发明的权利要求所涵盖。

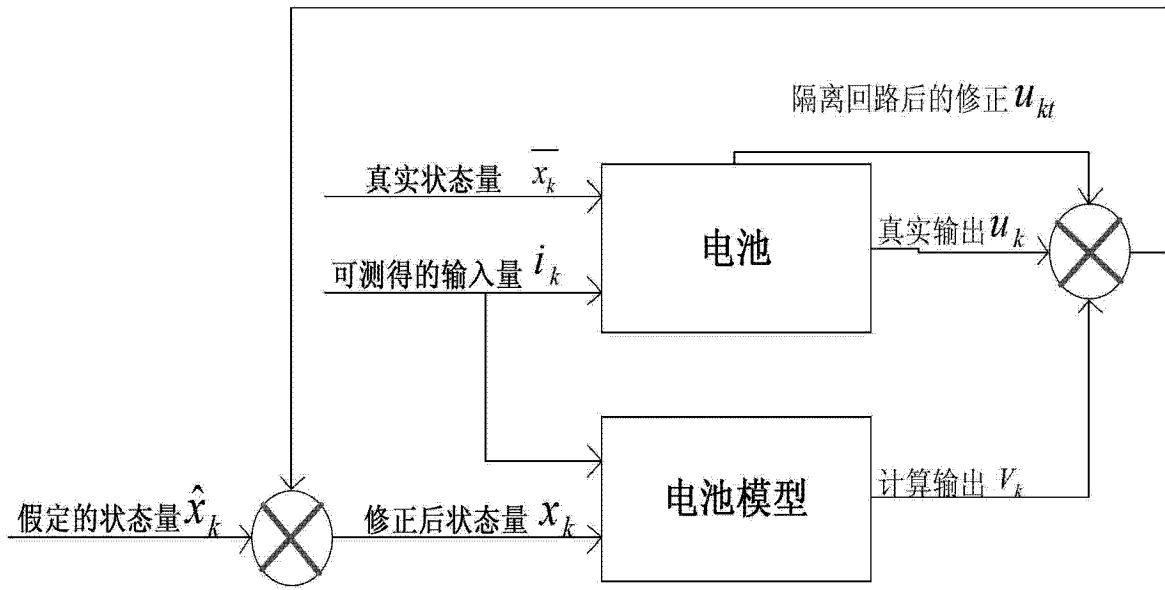


图 1

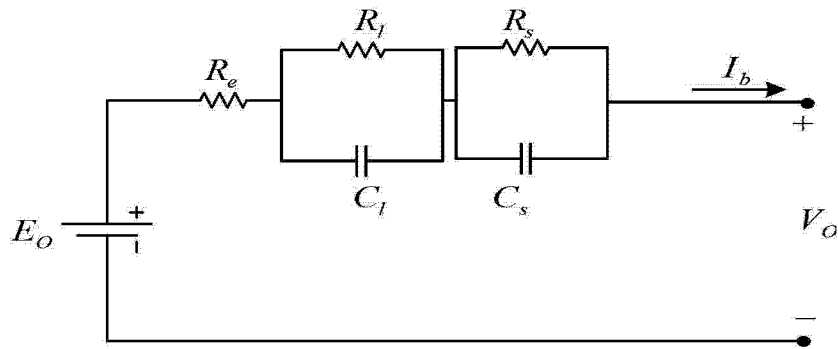


图 2

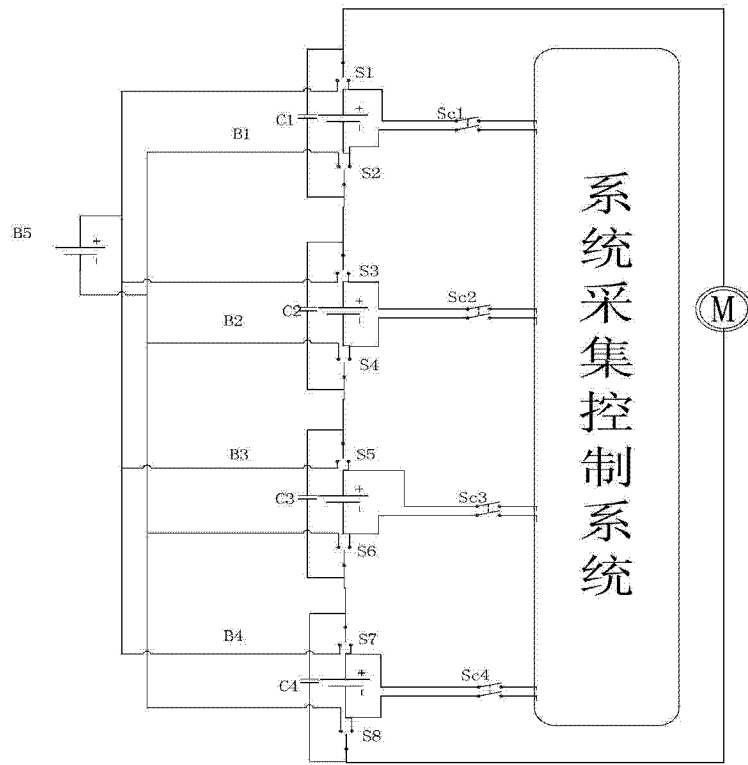


图 3