



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103003710 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 27

(21) 申请号 201180036774. 4

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2011. 07. 04

代理人 李少丹 卢江

(30) 优先权数据

102010038646. 4 2010. 07. 29 DE

(51) Int. Cl.

G01R 31/36(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 01. 28

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2011/061233 2011. 07. 04

(87) PCT申请的公布数据

W02012/013453 DE 2012. 02. 02

(71) 申请人 罗伯特·博世有限公司

地址 德国斯图加特

(72) 发明人 A. 英雷 A. 施密特 M. 比策

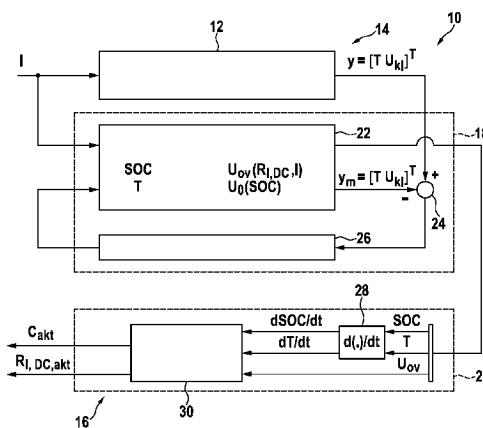
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

用于估计可再充电电池的至少一个电池单元的效率和装置

(57) 摘要

本发明涉及用于在可选择的运行点借助于电池(14)或者至少电池单元(12)的模型(22)、尤其是数学模型来估计可再充电电池(14)的至少一个电池单元(12)的充电状态(SOC)和电池单元的至少一个描述该电池单元的老化状态(SOH)的参量(C<sub>akt</sub>, R<sub>i,DC,B,akt</sub>)的方法,其中首先估计充电状态(SOC)。规定,描述老化状态(SOH)的参量是电池单元(12)的当前的充电容量(C<sub>akt</sub>),所述当前的充电容量从电池单元在运行点的负载电流(I<sub>B</sub>)和电池单元(12)的先前所估计的充电状态(SOC)的时间导数的倒数中来估计。本发明此外涉及用于估计可再充电电池(14)的电池单元(12)的充电状态的相应的装置(10)。



1. 用于借助于电池(14) 或者至少电池单元(12) 的模型(22)、尤其是数学模型在可选择的运行点来估计可再充电电池(14) 的至少一个电池单元(12) 的充电状态(SOC) 和电池单元的至少一个描述该电池单元的老化状态(SOH) 的参量  $(C_{akt}, R_{i,DC,B,akt})$  的方法, 其中首先估计充电状态(SOC), 其特征在于, 描述老化状态(SOH) 的参量是电池单元(12) 的当前的充电容量  $(C_{akt})$ , 所述当前的充电容量从电池单元在运行点的负载电流  $(I_b)$  和电池单元(12) 的先前所估计的充电状态(SOC) 的时间导数的倒数中来估计。

2. 根据权利要求1 所述的方法, 其特征在于, 电池单元是电池单格。

3. 根据权利要求1 或2 的方法, 其特征在于, 描述老化状态的另一参量  $(C_{akt}, R_{i,DC,B,akt})$  是电池单元的当前的内阻  $(R_{i,DC,B,akt})$ , 其从所确定的过电势  $(U_{ov})$  和电池单元(12) 在运行点的负载电流  $(I_b)$  中来估计。

4. 根据权利要求3 所述的方法, 其特征在于, 电池单元(12) 的过电势  $(U_{ov})$  从电池单元(12) 在运行点的负载电流  $(I_b)$ 、所确定的温度  $(T)$  的时间导数和电池单元(12) 的描述热量传输的函数  $(f(T))$  中来估计。

5. 根据前述权利要求之一所述的方法, 其特征在于, 描述电池单元(12) 在运行点的充电状态  $(SOC_b)$  的参量从电池单元(12) 的与老化状态有关的静电势  $(U_0)$  和与负载有关的过电势  $(U_{ov})$  之和得出。

6. 根据前述权利要求之一所述的方法, 其特征在于, 电池模型(22) 描述以下参量和功能上的关联性:

- 物理充电状态(SOC),
- 作为充电状态(SOC) 的函数的静电势  $(U_0)$ ,
- 电池单格的温度  $(T)$ ,
- 负载下的过电势  $(U_{ov})$ , 和
- 作为静电势  $(U_0)$  和过电势之和  $(U_{ov})$  的箝位电压  $(U_{kl})$ 。

7. 根据前述权利要求之一所述的方法, 其特征在于, 借助于状态估计器(18) 进行对充电状态(SOC) 的估计。

8. 根据权利要求7 所述的方法, 其特征在于, 状态估计器(18) 是按照卡尔曼的状态估计器或者按照龙伯格的状态观测器。

9. 用于利用电池单元(12) 和电池(14) 或者至少电池单元(12) 的在装置(10) 的计算设备(16) 中实现的模型(22)、尤其是数学模型在可选择的运行点来估计可再充电电池(14) 的至少一个电池单元(12) 的充电状态(SOC) 和电池单元(12) 的至少一个描述该电池单元(12) 的老化状态(SOH) 的参量  $(C_{akt}, R_{i,DC,B,akt})$  的装置(10), 其中状态估计器(18) 借助于模型(22) 首先估计充电状态(SOC), 其特征在于, 描述老化状态(SOH) 的参量是电池单元的当前的充电容量  $(C_{akt})$ , 并且所述装置(10) 具有老化状态估计器(20), 所述老化状态估计器被设立用于从电池单元在运行点的负载电流  $(I_b)$ 、电池类型特定的常数  $(k1)$  和电池单元的先前所估计的充电状态(SOC) 的时间导数的倒数中来估计所述充电容量  $(C_{akt})$ 。

10. 根据权利要求9 所述的装置, 其特征在于, 状态估计器(18) 是按照卡尔曼的状态估计器或者按照龙伯格的状态观测器。

## 用于估计可再充电电池的至少一个电池单元的效率的方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于借助于电池或至少电池单元模型、尤其是数学模型在可选择的运行点估计可再充电电池的至少一个电池单元的充电状态和电池单元的至少一个描述该电池单元的老化状态的参量，其中首先估计充电状态。本发明此外涉及用于利用电池单元和电池或至少电池单元的在装置的计算设备中实现的模型、尤其是数学模型在可选择的运行点估计可再充电电池的至少一个电池单元的充电状态和电池单元的至少一个描述该电池单元的老化状态的参量，其中第一状态估计器借助于模型首先估计充电状态。

### 背景技术

[0002] 为了减少机动车辆的(本地)排放，目前开发增强的混合动力传动方案或纯电传动方案。这种传动方案的电动机和发电机运行中的电机运行以诸如车辆中的可再充电电池的电能存储为前提。锂离子电池由于其与其他电池系统相比高的能量密度而被偏爱用于电能的移动和固定存储器、也即电能存储器。为了尽可能完全地使用所安装的存储器功率和存储器容量，借助于数学模型在确定的负载分布、也即相应的充电和放电电流下预测电池或其电池单元的输入/输出特性。这典型地利用所谓的状态估计器实现，所述状态估计器比较所测量的和仿真的参量并且从中例如计算当前的充电状态(SOC: State of Charge (充电状态))。但是在该行动情况下，涉及存储器的功率和容量的退化效应保持不被考虑。

[0003] 由 EP 01 231 476 A3 已知用于借助于电池或至少其电池单元的模型在可选择的运行点估计可再充电电池的电池单元的充电状态和电池单元的至少一个描述该电池单元的老化状态的参量的开头所述的方法和相应的装置，其中首先估计充电状态。在该方法中，除了当前的充电状态(SOC)之外，也估计另一参量，所述另一参量描述当前的效率或当前的老化状态(SOH: State of Health (健康状态))。

### 发明内容

[0004] 具有在权利要求 1 中所述的特征的本发明方法提供以下优点，对描述电池单元的老化状态的参量的估计是对所述参量的即刻的(瞬时的)和与负载情况无关的确定。

[0005] 根据本发明为此规定，描述老化状态的参量是电池单元的当前的充电容量  $C_{akt}$ ，其从电池单元在运行点的负载电流  $I_b$  和电池单元的先前所估计的充电状态(SOC: State of charge)的时间导数的倒数中被估计。

[0006] 这样的方案使得能够直接从状态估计器的所估计的状态参量中确定电能存储器、尤其是蓄电池的与新状态有关的剩余容量和功率负荷量。从而可以在每个时刻基于表征参数确定存储器的当前的老化状态(SOH: Stage of Health)。在已知的初始容量  $C_0$  时，从而仅仅两个以时间区间  $\Delta t$  相继的时间步  $k$  和  $k+1$  就足够用于借助于差商  $dSOC/dt = (SOC(k+1) - SOC(k))/\Delta t$  来确定先前所估计的充电状态的时间导数。

[0007] 优选地在此规定,当前的充电容量  $C_{akt}$  根据方程式

$$C_{akt} = k1 \cdot I_B \cdot 1 / (dSOC / dt)$$

被估计。在此 k1 是电池类型特定的常数。

[0008] 将充电老化状态  $SOH_Q$  定义为剩余容量的尺度,即:

$$SOH_Q = C_{akt} / C_0 ,$$

其中  $C_0$  是新的单格 (Zell) 的容量并且  $C_{akt}$  是在所观察的时刻老化的电池单格的容量。

[0009] 一般地,利用该方法可以估计任意的电(能量)存储器的存储单元的充电状态和至少一个描述该电池单元的老化状态的参量。电存储器在此尤其是是所述的可再充电电池,也即蓄电池或借助于电化学过程存储电能的元件或者纯电容性存储器,优选地存储电容器或双层电容器。

[0010] 一般地,电池单元可以是单个电池单格、相互并联地和 / 或串联地接线的电池单格的装置或整个电池。但是尤其是规定,电池单元是电池单格。从而优选地单独地估计每个单个电池单格的效率。

[0011] 根据本发明的一种有利的扩展方案规定,描述老化状态的参量中的另一个是电池单元的当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$ ,其从所确定的过电势  $U_{OV}$  和电池单元在运行点中的负载电流  $I_B$  来估计。运行点经由当前所需要的负载电流  $I_B$ 、电池单元的当前的充电状态(英语: Stage of Charge=SOC) 以及环境的温度  $T_{um}$  和电池单元的温度  $T$  本身来定义。

[0012] 优选地在此规定,电池单元的当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  根据方程式

$$R_{i,DC,B,akt} = U_{OV,B} / (q3 \cdot I_B)$$

来估计。在此, q3 是由离线参数化中已知的参数,其表征特定的电池单元。

[0013] 根据本发明的另一有利的扩展方案规定,电池单元的过电势  $U_{OV}$  从电池单元在运行点的负载电流  $I_B$ 、所确定的温度  $T$  的时间导数和电池单元的描述热量传输的函数  $f(T)$  中来估计。借助于该过电势  $U_{OV}$  可以如所述将当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  确定为描述老化状态的另一参量。代替当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  也可以使用在确定的负载电流时出现的过电势  $U_{OV}$  作为效率的尺度。相应的功率老化状态  $SOH_P$  定义为

$$SOH_P = (R_{i,DC,akt} / R_{i,DC,0})^n \text{ 或者 } SOH_P = (U_{OV,akt} / U_{OV,0})^n .$$

[0014] 尤其是规定,过电势  $U_{OV}$  根据方程式:

$$U_{OV,B}(R_{i,DC,B}, I_B) = 1 / I_B \cdot (dT / dt + k2 \cdot f(T))$$

来估计。在此, k2 是另一电池类型特定的常数。

[0015] 根据本发明的另一有利的扩展方案规定,可以从电池单元的与老化状态有关的静电势  $U_0$  和与负载有关的过电势  $U_{OV}$  之和中来确定描述电池单元在运行点的负载状态  $SOC_B$  的参量,即:

$$SOC_B = 1/q_2 \cdot ((y_2 - U_{OV}(R_{i,DC,B,akt}, I_B)) - q_1)。$$

[0016] 在此,  $q_1$ 、 $q_2$  是两个另外的参数, 其在离线参数化的范围中被估计。

[0017] 根据本发明的另一有利的扩展方案规定, 遵循电池模型的参量和功能上的关联性描述:

- (a) (物理) 充电状态 SOC,
- (b) 作为充电状态 SOC 的函数的静电势  $U_0$ ,
- (c) 电池单元的温度 T,
- (d) 负载下的过电势  $U_{OV}$ , 和
- (e) 作为静电势和过电势之和的电池单元的箝位电压  $U_{kl}$ 。

[0018] 根据本发明方法的另一有利的扩展方案规定, 借助于状态估计器来进行充电状态 SOC 的估计。尤其是规定, 该状态估计器是按照卡尔曼(Kalman)的状态估计器或按照龙伯格(Luenberger)的状态观测器。卡尔曼(卡尔曼滤波器)的解题途径基于状态空间建模, 其中明确地在系统状态的动态性和其测量的过程之间进行区分。作为系统的状态矢量在此经常理解为足够准确地描述系统的最小确定块并且在模型形成的范围中以多维矢量的形式利用相应的动态方程式、即所谓的状态空间模型来表示。龙伯格的解题途径也与卡尔曼的解题途径一样基于状态估计器的输出参量与调节段的输出参量的比较。在此, 在段的测量值与观测器的所估计的输出之间的差被化为模型。观测器从段的模型和校正项中得出, 所述校正项通过将段输出与模型的所估计的输出进行比较来将状态矢量引向真的状态矢量。也称为反馈放大装置的校正项也可以按照卡尔曼借助于随机解题途径通过假设测量和过程噪声或者按照龙伯格借助于确定性解题途径来确定。基础的调节结构在两种情况下是相同的。从而, 观测器/状态估计器可以补偿干扰以及测量和过程噪声或者模型不确定性并且使模型的状态矢量相对于段的状态矢量收敛。

[0019] 具有在权利要求 9 中所述的特征的本发明装置提供以下优点: 对描述电池单元的由容量老化状态  $SOH_Q$  和功率老化状态  $SOH_P$  组成的老化状态的参量的估计是对所述参量的即刻的(瞬时的)和与负载情况无关的确定。

[0020] 根据本发明, 在该装置情况下规定, 描述容量老化状态  $SOH_Q$  的参量是电池单元的当前充电容量  $C_{akt}$  并且该装置具有老化状态估计器(SOH 估计器), 其被设立为用于从电池单元在运行点的负载电流  $I_B$ 、电池类型特定的常数和电池单元的先前所估计的充电状态 SOC 时间导数的倒数中估计该充电容量  $C_{akt}$ 。

[0021] 有利地此外规定, 描述功率老化状态  $SOH_P$  的参量是电池单元的当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  或者过电势  $U_{OV,B}$ 。老化状态估计器此外被设立用于从电池单元在运行点的负载电流  $I_B$ 、所确定的温度 T 的时间导数和电池单元的描述热量传输的函数  $f(T)$  中来估计电池单元的过电势  $U_{OV}$ 。借助于该过电势  $U_{OV}$ , 可以如上所述将当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  确定为描述老化状态的另一参量。代替当前的内阻  $R_{i,DC,B,akt}$  也可以使用在确定的负载电流时出现的过电势  $U_{OV}$  作为效率的尺度。

[0022] 优选地规定, 在装置的计算设备中实现状态估计器以及老化状态估计器(SOH 估计器)。

[0023] 根据本发明装置的一种有利的扩展方案规定,状态估计器是按照卡尔曼的状态估计器或按照龙伯格的状态观测器。按照卡尔曼的状态估计器优选地是状态变量滤波器。替换地,状态估计器也按照另一方法、例如“无味变换(unscented transformation)”方法、也即作为无味卡尔曼滤波器(UKF)起作用。

### 附图说明

[0024] 下面根据实施变型方案的附图来进一步描述本发明。该图示出用于根据本发明的优选实施方式估计被构造为可再充电电池的存储器的充电状态和老化状态的装置的示意图。

### 具体实施方式

[0025] 该图示出用于估计至少一个可再充电电池 14 的电池单元 12 的充电状态和电池单元 12 的至少一个描述该电池单元 12 的老化状态的参数的装置 10 的框图。该装置 10 除了电池单元 12 之外还具有计算设备 16,在所述计算设备中实现状态估计器 18 和老化状态估计器(SOH 估计器) 20。状态估计器 18 典型地被构造为充电状态估计器(SOC 估计器)。老化状态估计器 20 被接在状态估计器 18 之后。状态估计器 18 具有电池单元 12 的模型,该模型至少涉及以下参量:(物理)充电状态 SOC,在负载下作为内阻  $R_{i,DC,B}$  和负载电流  $I$  的函数的过电势  $U_{ov}$ , 电池单元的温度  $T$  和作为充电状态 SOC 的函数的静电势  $U_0$ 。

[0026] 电池单元 12 的输入参量和所分配的模型 22 是负载电流  $I$ 。借助于比较器 24 将模型 22 和电池单元 12 的相应的输出参量  $y = [T \ U_0]^T$  比较并且将比较结果经由反馈放大装置(校正项) 26 作为另一输入值输送给模型 22。得出闭合调节回路。

[0027] 状态估计器的输出参量是(i)温度  $T$  和(ii)箝位电压  $U_{KL}$ 。作为内部状态参量的 SOC、输出参量温度  $T$  以及过电势  $U_{ov}$  (根据用于估计过电势  $U_{ov}$  的前述公式)被输送给老化状态估计器 20。在老化状态估计器 20 内,借助于(时间离散的)微分器 28 对参量充电状态 SOC 和温度  $T$  在时间上求导。对充电状态 SOC 和温度  $T$  的时间求导的结果(也与过电势  $U_{ov}$  一样)被输送在用于对模型求逆和必要时用于执行最小二乘法(LSQ)的设备 30 的老化状态估计器 20 内。该设备 30 从中确定描述电池单元 12 的老化状态 SOH 的参量  $C_{akt}$  和 / 或  $R_{i,DC,B,akt}$ 。

[0028] 一般而言有利的是,在由多个时间步组成的时间区间上并且  $I = \text{常数}$  对参量  $dSOC/dt$  和  $dT/dt$  求平均并且才从中确定值  $C_{akt}$  和 / 或  $R_{i,DC,B,akt}$ 。视模型结构而定,直接计算  $C_{akt}$  和 / 或  $R_{i,DC,B,akt}$  或者经由最小二乘法(LSQ)来确定。

[0029] 下面应当以可再充电电池、尤其是锂离子电池的被构造为电池单格的电池单元 12 为例讨论关联性:

例如作为电化学电池单格的仍存在的功率和容量的尺度引入容量  $C$  和内阻  $R_{i,DC}$ 。后者观察不同效应的纯欧姆数值,所述效应导致在负载下单格的箝位电压  $U_{KL}$  的电压扰动。因为在锂离子单格情况下出于安全性原因总是必须遵守上和下击穿电压,所以由  $R_{i,DC}$  得出的电压扰动表征电池 14 的功率特性。替换地也可以考虑在确定的负载电流时出现的过电势  $U_0$ 。

用于观察功率。

[0030] 如开头已经所提及的,作为剩余容量的尺度定义容量老化状态  $SOH_0$ ,即

$$SOH_0 = C_{akt} / C_0 \quad (1),$$

其中  $C_0$  是新的单格的容量并且  $C_{akt}$  是老化的单格在所观察的時刻的容量。

[0031] 同样地,将功率老化状态  $SOH_P$  定义为

$$SOH_P = (R_{i,DC,akt} / R_{i,DC,0})^{-1} \quad (2) \text{ 或}$$

$$SOH_P = (U_{OV,akt} / U_{OV,0})^{-1} \quad (2)。$$

[0032] 下面,示例性地对于简单的物理存储器模型 22 执行对参量  $C_{akt}$  和  $U_{OV,akt}$  或  $R_{i,DC,akt}$  的计算。在该图中示出示意性行动。

[0033] 为此可以如下观察存储器模型(蓄电池模型)22:输入参量  $u$  是负载电流  $I$ ;由此状态空间模型于是为

$$dSOC/dt = k1 \cdot (1/C) \cdot I \quad (3)$$

$$dT/dt = -k2 \cdot f(T) + U_{OV}(R_{i,DC}, I) \cdot I \quad (4)。$$

[0034] 模型 22 的输出参量是:  $y1$  温度  $T$  和  $y2$  箱位电压  $U_M = U_0(SOC) + U_0(R_{i,DC}, I)$ 。

[0035] 在此情况下,常数  $k1$  和  $k2$  是两个电池类型特定的常数,函数  $f(T)$  是描述热量运走(例如借助于自由对流,辐射、散热)的函数。 $C$  是电容并且  $R_{i,DC}$  是可再充电电池的内阻。因为温度  $T$  直接可以被测量,所以为此观测任务是不重要的。通常,状态估计器 18(该图中的 SOC 估计装置)从  $u$ ,  $y1$  和  $y2$  中确定(内部)参量 SOC 和  $T$ 。

[0036] 现在提出问题:是否能够从存在的测量信息中明确地确定容量  $C$  和内阻  $R_{i,DC}$ 。为此采取以下假设:

新的电池单元、尤其是电池单格的模型参数化包括  $\{C_0, R_{i,DC,0}\}$  是已知的,状态估计器(SOC 状态估计器)18 是收敛的,也即所估计的状态渐进地接近真实系统的状态并且第二输出参量  $y2$  在运行点  $(I_B, T_B, SOC_B, R_{i,DC,B})$  的线性化得出:

$$y2_B = -q1 + q2 \cdot SOC_B + q3 \cdot R_{i,DC,B} \cdot I_B \quad (5)。$$

[0037] 于是可以根据以下方案确定所寻求的参量  $\{C_{akt}, R_{i,DC,akt}\}$ :

1. 从  $y1$  的定义中直接确定过电势:

$$U_{OV,B}(R_{i,DC,B}, I_B) = 1/I_B \cdot (dT/dt + k2 \cdot f(T)) \quad (6)$$

2. 由此根据

$$R_{i,DC,B,akt} = U_{OV,B} / (q3 \cdot I_B) \quad (7)$$

得到当前的内阻;

3. 同样从(5)中的(6)得到充电状态:

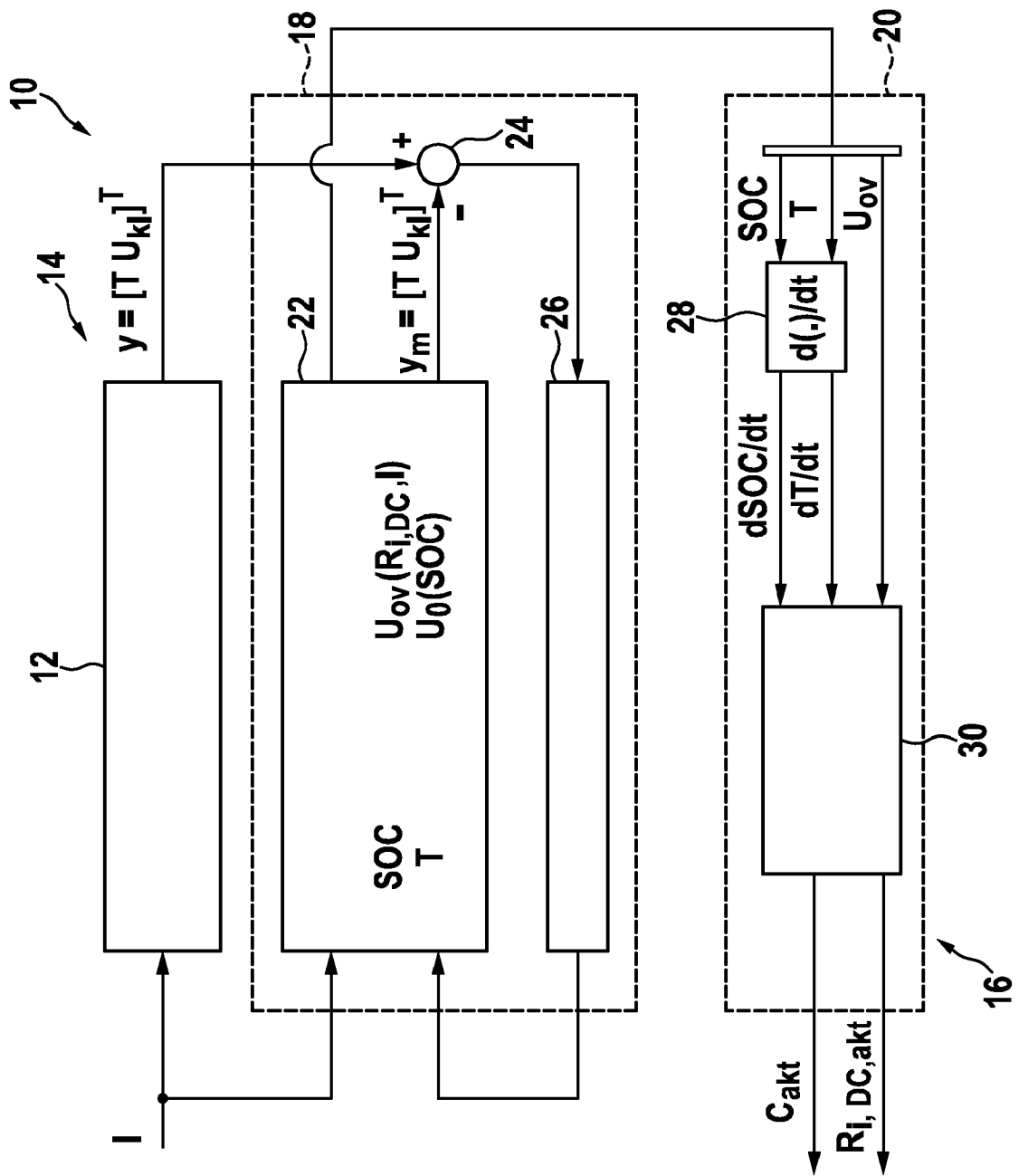
$$SOC_B = 1/q2 \cdot ((y2 - U_{OV}(R_{i,DC,B,akt}, I_B)) - q1) \quad (8)$$

4. 最后现在可以从(3)中确定电池单元(尤其是单格)的当前容量:

$$C_{akt} = k1 \cdot I_B \cdot 1/(dSOC/dt) \quad (9)$$

利用步骤 1 至 4 可以明确地从存在的信息中确定参数对  $\{C_{akt}, R_{i,DC,akt}\}$ 。





图