



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104297578 B

(45)授权公告日 2017.10.24

(21)申请号 201310296011.4

(22)申请日 2013.07.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104297578 A

(43)申请公布日 2015.01.21

(73)专利权人 同济大学
地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 韦莉 肖海山 顾帅 张逸成
姚勇涛 沈玉琢 李万欣 姚飞
刘帅 张佳佳 詹地夫 叶尚斌

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵继明

(51)Int. Cl.

G01R 31/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 1654974 A,2005.08.17,
CN 202057733 U,2011.11.30,
JP 2010071905 A,2010.04.02,
EP 2246956 A1,2010.11.03,

夏晴.电动汽车动力电池荷电状态的滑模估计方法.《东南大学学报(自然科学版)》.2011,第41卷97-101.

何洪文 等.基于滑模观测器的锂离子动力电池荷电状态估计.《吉林大学学报(工学版)》.2011,第41卷(第3期),623-628.

审查员 陈梦慧

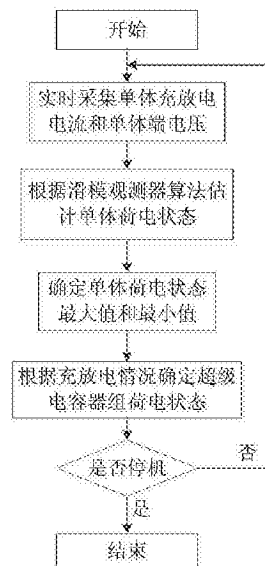
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法,包括以下步骤:(1)实时采集超级电容器组工作时的每一超级电容器单体的充放电电流值和端电压值;(2)利用滑模观测器算法估计出每一超级电容器单体的荷电状态值;(3)通过比较所有单体的荷电状态值确定超级电容器组中单体荷电状态的最大值SOC_{max}和最小值SOC_{min};(4)若当前超级电容为充电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为SOC_{max};若超级电容为放电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为SOC_{min}。与现有技术相比,本发明具有计算量较低、延长超级电容器组使用寿命、保证整个储能系统工作安全性等优点。



1. 一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

(1) 实时采集超级电容器组工作时的每一超级电容器单体的充放电电流值和端电压值;

(2) 根据步骤(1)中采集的电流和电压值,利用滑模观测器算法估计出每一超级电容器单体的荷电状态值;

(3) 通过比较所有单体的荷电状态值确定超级电容器组中单体荷电状态的最大值 SOC_{max} 和最小值 SOC_{min} ;

(4) 根据超级电容器组当前的工作状态确定其荷电状态值:

若当前超级电容器组为充电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{max} ;若超级电容器组为放电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{min} ;

(5) 判断是否停机,若是,则结束,若否,则返回步骤(1);

所述的步骤(2)具体包括以下步骤:

① 建立超级电容器单体的等效电路模型,并对模型参数进行辨识;

② 根据步骤①中等效电路模型,对超级电容器单体充电与放电建立不同的状态空间模型,状态空间方程为:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

其中, x 为状态变量,且将荷电状态作为其中一个状态变量, A 、 B 、 C 、 D 为系统矩阵, $u=I$ 为系统输入, I 为充放电电流, $y=U$ 为系统输出, U 为端电压;

③ 根据步骤②中充放电状态空间模型,设计超级电容器单体充放电荷电状态滑模观测器结构,滑模观测器方程为:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + k \operatorname{sgn}(y - \hat{y}) + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} + Du \end{cases}$$

式中, \hat{x} 为 x 的观测值, \hat{y} 为 y 的观测值, k 和 L 为滑模观测器参数;

④ 根据采集到的每一单体充放电电流和端电压值,利用滑模观测器方程估计超级电容器单体的荷电状态。

2. 根据权利要求1所述的一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法,其特征在于,所述的对模型参数进行辨识的方法包括最小二乘法、粒子群优化方法或差分进化方法。

基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种荷电状态估计方法,尤其是涉及一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法。

背景技术

[0002] 超级电容器作为新型的电能存储器件,因具有功率密度大、工作温度范围宽、循环寿命长等优点,在可再生清洁能源发电、电压补偿、电动汽车节能运行和城市轨道交通制动能量回收等领域得到广泛使用。

[0003] 在实际应用中,为保证储能系统的安全性和可靠性,需要对超级电容器内部状态进行预估。超级电容的内部状态包括荷电状态(State of Charge, SOC)和健康状态(State of Health, SOH)两大部分。准确预估超级电容器SOH,首先要对SOC进行有效估计。由于超级电容器单体电压较低,因此在实际应用中需由大量超级电容器单体串并联使用。但是组成超级电容器组的所有超级电容器单体的性能不可能做到完全一致,因此每节超级电容器储存的能量会有所不同,其差异与各单体之间不一致的程度有关。

[0004] 目前,对于整个超级电容器组荷电状态估计方法的研究比较少,而针对超级电容器单体荷电状态的估计主要采用以下两类方法:1)基于安时计量的估计方法。安时法是根据充放电电流对时间的积分来实时估计超级电容器SOC。该方法主要缺点是无法准确确定初始SOC初始值和估计精度很大程度依赖于电流传感器的精度。2)基于卡尔曼滤波算法的估计方法。超级电容器在应用场合中具有较强的非线性动态特性,应用卡尔曼滤波器以及扩展卡尔曼滤波器方法时,在线性化过程中会引入与状态估计值有关的模型误差,导致估计精度降低。同时该算法对超级电容器等效电路模型的精度具有很强的依赖性,而且需要复杂的高计算量的矩阵求逆运算,对噪声的初值的选择十分敏感,错误的先验信息容易导致算法发散。因此使用以上两类方法不能准确估计超级电容器的荷电状态。

发明内容

[0005] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种计算量较低、延长超级电容器组使用寿命、保证整个储能系统工作安全性的基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法,该方法包括以下步骤:

[0008] (1) 实时采集超级电容器组工作时的每一超级电容器单体的充放电电流值和端电压值;

[0009] (2) 根据步骤(1)中采集的电流和电压值,利用滑模观测器算法估计出每一超级电容器单体的荷电状态值;

[0010] (3) 通过比较所有单体的荷电状态值确定超级电容器组中单体荷电状态的最大值 SOC_{max} 和最小值 SOC_{min} ;

[0011] (4) 根据超级电容器组当前的工作状态确定其荷电状态值：

[0012] 若当前超级电容器组为充电状态，则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{max} ；若超级电容器组为放电状态，则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{min} ；

[0013] (5) 判断是否停机，若是，则结束，若否，则返回步骤(1)。

[0014] 所述的步骤(2)具体包括以下步骤：

[0015] ①建立超级电容器单体的等效电路模型，并对模型参数进行辨识；

[0016] ②根据步骤①中等效电路模型，对超级电容器单体充电与放电建立不同的状态空间模型，状态空间方程为：

$$[0017] \quad \begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

[0018] 其中， x 为状态变量，且将荷电状态作为其中一个状态变量， A 、 B 、 C 、 D 为系统矩阵， $u = I$ 为系统输入， I 为充放电电流， $y = U$ 为系统输出， U 为端电压；

[0019] ③根据步骤②中充放电状态空间模型，设计超级电容器单体充放电荷电状态滑模观测器结构，滑模观测器方程为：

$$[0020] \quad \begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + k \operatorname{sgn}(y - \hat{y}) + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} + Du \end{cases}$$

[0021] 式中， \hat{x} 为 x 的观测值， \hat{y} 为 y 的观测值， k 和 L 为滑模观测器参数；

[0022] ④根据采集到的每一单体充放电电流和端电压值，利用滑模观测器方程估计超级电容器单体的荷电状态。

[0023] 所述的对模型参数进行辨识的方法包括最小二乘法、粒子群优化方法或差分进化方法。

[0024] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：

[0025] 1) 可以使超级电容器组中所有单体不会出现过充电或过放电等不良使用状况，从而延长超级电容器组的使用寿命，同时又保证了整个储能系统工作的安全性。

[0026] 2) 由于滑模观测器是一种鲁棒性很强的非线性状态观测器，可以有效补偿系统的模型误差和外界干扰，结构简单，不需要预知噪声的先验信息，固定增益的观测器结构可以确保估计算法的实时性，计算量较低、不依赖初始值也能准确测得荷电状态真实值。

附图说明

[0027] 图1为混合型超级电容器单体等效电路模型；

[0028] 图2为本发明超级电容器单体荷电状态估计流程图；

[0029] 图3为本发明超级电容器组荷电状态估计流程图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0031] 如图2和图3所示，一种基于滑模观测器的超级电容器组荷电状态估计方法，该方

法包括以下步骤：

[0032] (1) 实时采集超级电容器组工作时的每一超级电容器单体充放电电流值和端电压值。

[0033] (2) 根据步骤(1)中采集的电流和电压值,利用滑模观测器算法估计出每一超级电容器单体的荷电状态值,具体包括以下步骤:

[0034] ①建立超级电容器单体的等效电路模型,如图1所示为混合型超级电容器等效电路模型,图1中, $U(t)$ 为超级电容器端电压, $I(t)$ 为电流, C_f 、 C_d 为电容, R_f 、 R_p 、 R_s 为电阻,并采用最小二乘、粒子群优化或差分进化对模型参数进行辨识。

[0035] ②根据步骤①中等效电路模型,对超级电容器充电与放电建立不同的状态空间模型,充放电状态空间模型包括两部分,即系统状态方程和系统输出方程,本实施例中,系统状态方程为:

$$[0036] \quad \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + Bu$$

[0037] 其中 $[x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [U_f \ U_d \ S]^T$, U_f 、 U_d 分别为电容 C_f 和 C_d 两端的电压, S 代表荷电状态;

[0038] 系统输出方程为:

$$[0039] \quad y = C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + Du$$

[0040] 系统输入输出为 $u=I$, $y=U$,其中 I 为充放电电流, U 为超级电容器的端电压 A 、 B 、 C 、 D 为系统矩阵。

[0041] ③根据步骤②中充放电状态空间模型,设计超级电容器充放电荷电状态滑模观测器结构,滑模观测器方程为:

$$[0042] \quad \begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_1 \\ \dot{\hat{x}}_2 \\ \dot{\hat{x}}_3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} + Bu + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} \operatorname{sgn}(y - \hat{y}) + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} (y - \hat{y})$$

[0043] 式中, k 和 L 为滑模观测器参数;

[0044] ④根据采集到的每一单体充放电电流和端电压值,利用滑模观测器方程估计超级电容器单体的荷电状态;

[0045] ⑤判断是否停机,若是,则结束,若否,则返回步骤①。

[0046] (3) 通过比较所有单体的荷电状态值确定超级电容器组中单体荷电状态的最大值 SOC_{\max} 和最小值 SOC_{\min} 。

[0047] (4) 根据超级电容器组当前的工作状态确定其荷电状态值:

[0048] 若当前超级电容为充电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{\max} ;若超级电容为放电状态,则当前超级电容器组的荷电状态值为 SOC_{\min} 。

[0049] (5) 判断是否停机,若是,则结束,若否,则返回步骤(1)。

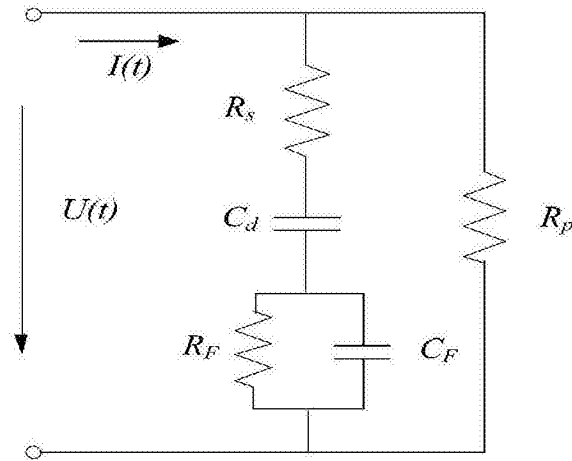


图1

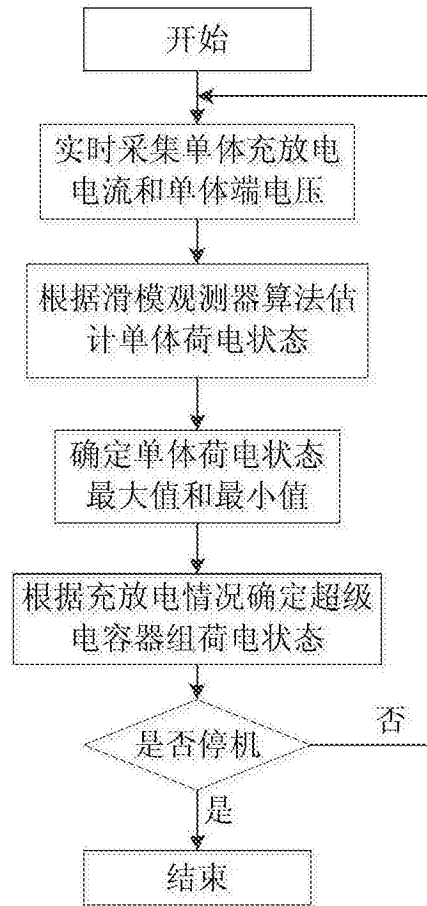


图2

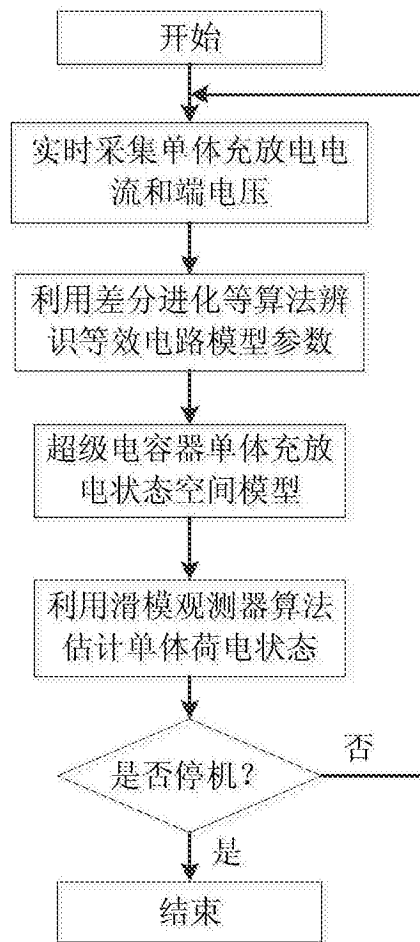


图3