

## 基于改进卡尔曼滤波算法的光伏电池剩余电量估算

王建南

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232000)

**摘要:** 针对光伏系统电池剩余电量(SOC)估算不准确的问题,文中提出了以安时法、开路电压法以及卡尔曼滤波算法相结合的方法来准确估计电池SOC。在光伏系统中,对电池剩余容量的准确估计可以大大延长系统的使用寿命,提高系统的可靠性。以安时法为基础,采用开路电压法估算初始SOC<sub>0</sub>,初始SOC<sub>0</sub>和实时SOC通过卡尔曼滤波算法进行校正,降低了初始SOC<sub>0</sub>的估计误差和电流的累积误差,保证了SOC估计的准确性。实验以12 V-100 Ah铅酸电池为例来进行说明。结果表明,该算法可以准确估计SOC。

**关键词:** 电池剩余电量;安时法;开路电压法;卡尔曼滤波算法;初始SOC<sub>0</sub>;实时SOC

**中图分类号:** TP39; TM912

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2095-1302 (2017) 11-0058-02

## 0 引言

随着世界能源危机加剧和环境污染问题的日益严重,太阳能光伏成为世界关注的焦点。在独立光伏系统中,对电池剩余容量的准确估计可大大延长系统的使用寿命,提高系统的可靠性<sup>[1]</sup>。目前,荷电状态(SOC)被广泛用于代表国内外电池的剩余容量<sup>[2]</sup>。SOC是直接反映电池可持续供电和健康状况的重要参数。对电池SOC的估算方法有开路电压法,安时法,电阻法,神经网络法,卡尔曼滤波算法<sup>[3]</sup>等。

为了准确有效地估计电池的SOC,本文以安时法为基础,通过开路电压法估算初始SOC<sub>0</sub>值,通过卡尔曼滤波算法对初始SOC<sub>0</sub>和实时SOC进行校正,降低初始SOC<sub>0</sub>估计误差和电流累积误差,提高SOC的估计精度。

## 1 卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波(Kalman Filtering)是一种利用线性系统状态方程,通过系统输入输出观测数据,对系统状态进行最优估计的算法。由于观测数据中含有系统中的噪声和干扰等影响,因此最优估计也可看作滤波过程<sup>[4]</sup>。

$$X(k|k-1) = AX(k-1|k-1) + BU(k) \quad (1)$$

其中, $X(k|k-1)$ 是利用上一状态预测的结果, $X(k-1|k-1)$ 是上一状态最优的结果, $U(k)$ 是当前状态控制量,若没有控制量,它可以为0。

当前状态协方差计算:

$$P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A' + Q \quad (2)$$

其中, $P(k|k-1)$ 是 $X(k|k-1)$ 的协方差, $P(k-1|k-1)$ 是 $X(k-1|k-1)$ 的协方差, $A'$ 表示 $A$ 的转置矩阵, $Q$ 是系统过程的协方差。

卡尔曼增益的计算:

$$K_g(k) = P(k|k-1)H'(HP(k|k-1)H' + R) \quad (3)$$

通过预测值和测量值的结合获得当前状态的最优估算值:

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g(k)(Z(k) - HX(k|k-1)) \quad (4)$$

更新当前状态的协方差:

$$P(k|k) = (I - K_g(k)H)P(k|k-1) \quad (5)$$

其中, $I$ 为1的矩阵,对于单模型单测量, $I=1$ 。当系统进入 $k+1$ 状态时, $P(k|k)$ 是式(2)的 $P(k-1|k-1)$ 。由此,算法便可自回归运算下去。

## 2 实验与算法设计

## 2.1 实验设计

电池开路电压(OCV)可以通过放电实验方法测量OCV和电池SOC之间的关系获得,准确、简单,但需要静置较长时间才能得到稳定的OCV<sup>[5]</sup>。电池OCV恢复曲线如图1所示。

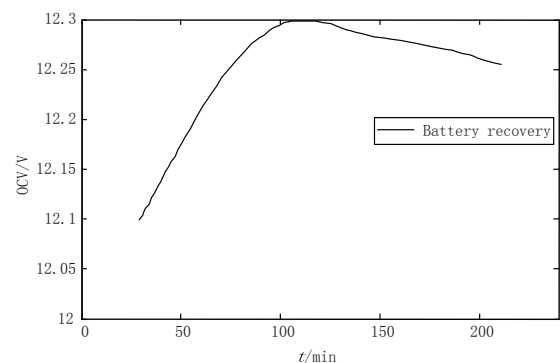


图1 电池OCV恢复曲线

电池静置3小时和17小时的OCV误差为0.21%,可以满足实验要求,本次电池的静置时间为3小时。

为获得准确的OCV-SOC曲线,采用VT12100型铅酸蓄电池进行充放电实验研究。当电池充电至13.8 V时,将SOC

设置为1；当电池放电至10.8 V时，将SOC设定为0，实验放出实际容量为55.3 A·h。

电池放电实验取5 A恒流，持续1小时，然后电池静置3小时，测量OCV。当电池SOC放电到0时，5 A充电实验开始。电池充电实验持续1小时，电池静置3小时，测量OCV。通过充放电实验得出实验测量数据循环。

电池OCV-SOC曲线如图2所示。

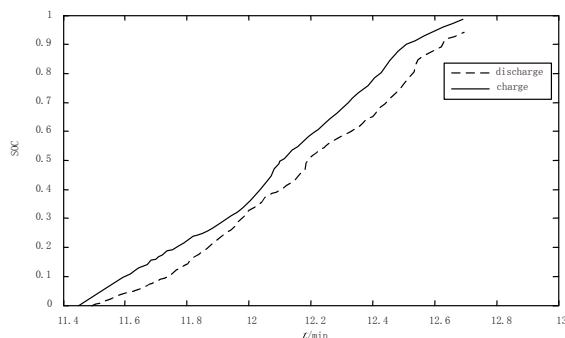


图2 电池OCV-SOC曲线

从图2可以看出，OCV和SOC具有良好的线性关系。本文采用放电实验曲线确定SOC与OCV之间的关系，得出线性公式：

$$\text{SOC} = 0.8311 \text{ OCV} - 9.5597 \quad (6)$$

## 2.2 SOC的估计过程

安时法是最常用的SOC估计方法。安时法估计SOC可以表示为：

$$\text{SOC} = \text{SOC}_0 - \frac{\eta}{C} \int_0^t I dt \quad (7)$$

SOC<sub>0</sub>是初始SOC，I表示电池电流，η为电池库仑效率，C为电池的容量。

安时法只考虑电池的工作电流和效率系数，适用于所有电池，且该算法简单易懂，但无法确定电池SOC<sub>0</sub>，随着时间的推移，电流测量的误差将使SOC的误差变大<sup>[6]</sup>。在开路电压法中，SOC和OCV具有相对稳定的线性关系，但不能用于实时在线检测。本文采用OCV方法修正SOC<sub>0</sub>，通过卡尔曼滤波对SOC<sub>0</sub>和实时SOC进行修正，降低SOC估计误差和电流测量累积误差<sup>[7]</sup>。

通过卡尔曼滤波算法随时预测和校正SOC的算法流程如图3所示。

为了验证所提出的SOC估计方法，在实验中选用12 V-100 Ah铅酸蓄电池。分别采用安时法、开路电压法及卡尔曼滤波算法等的混合方法来估算SOC<sup>[8]</sup>。

从实验结果可以得出，该算法可以准确预测电池SOC，如图4所示。由安时法确定的初始SOC具有较大误差，且SOC估计误差在实验过程中有增加的趋势，这是由当前采样误差引起的累积误差。基于安时法、开路电压法以及和卡尔

曼滤波算法相结合对电池SOC进行估计可以修正初始SOC<sub>0</sub>，误差为2.2%，它接近初始SOC<sub>0</sub>。由于当前采样误差所引起的累积误差降低，SOC的估算值在放电过程中接近SOC的理论值，误差非常小。

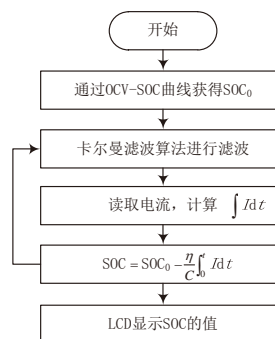


图3 软件流程图

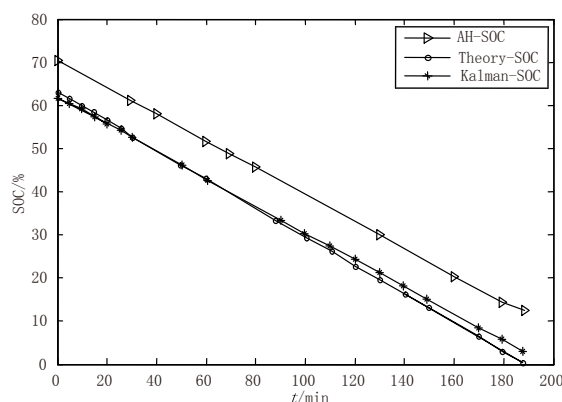


图4 SOC估计结果

与普通安时法相比，该混合算法对SOC的估计具有较小的误差。

## 3 结语

本文以安时法为基础，采用开路电压法估算初始SOC<sub>0</sub>，采用卡尔曼滤波算法校正初始SOC<sub>0</sub>和实时SOC，通过降低初始SOC<sub>0</sub>估计误差和电流累积误差来确保SOC估计的准确性。实验结果表明，该方法具有较高的精度和可行性。

## 参考文献

- [1] GAO Yu-feng, SUN Lei, LIU Ya-long, et al. Estimating SOC of lead-acid battery based on extended Kalman filtering[J]. Journal of Power Sources, 2014, 38 (2) : 303-306.
- [2] HUANG Xiang-dong, WANG Xiao, WEI Su-jing. SOC Estimation and Detection Method of PV Battery[J]. Measurement & Control Technology, 2014, 3 (5) : 28-34.
- [3] Mohammad Charkhgard, Mohammad Farrokhi. State-of-Charge estimation for Lithium-Ion batteries using neural networks and EKF[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57 (12) : 4178-4187.
- [4] ZHANG Mei. SOC estimation of batteries based on fuzzy adaptive Kalman filter[J]. Journal of Power Sources, 2013, 37 (10) : 1817-1831.

(下转第62页)

等时间段的不同, 结合不同的方式实现时效性信息服务。

### 3.2 根据服务终端提供应用

服务终端提供的应用是为了适应农村不同阶段用户的需求, 通过采用互联网、信息机、触摸屏、通讯手机、杂志和报刊等不同服务终端以不同的结合方式进行数据服务, 主要包括以下几种:

(1) 互联网络信息服务。农业网站借助信息更新快、内容量大、可远程交易、查询便利等优点成为当今较为通用的信息服务方式。同时还可利用互联网向农业科技人员、管理部门、以及广大农业生产加工者发送市场动态、相关政策、科学技术、物资供求、招商引资和农产品等相关信息<sup>[9]</sup>。

(2) 手机信息服务。手机以使用方式简单方便、不受地域限制、信息有效性强等优点成为当今提供信息服务的主要方式, 能够展示农业特有产品、当地农作物价格、劳务输出以及新型技术等信息内容。

(3) 视频点播服务。智能电视、4G 等新兴信息服务可以清晰地展示相应的培训课程以及农业产品技术, 受到用户一致好评。

(4) 语音信息服务。用户既可依据自己所需获取相应的语音数据信息, 也可借助人工咨询获取信息服务, 当在数据库中查找不到相关内容时, 可依据服务人员丰富的知识和经验享受现场答疑服务。

(5) 信息机信息服务。信息机是一种高效、简单、价格适中的集典型电话网络和互联网为一体的终端信息服务产品, 为获取综合信息而设计, 其主要任务包括浏览网页、发布信息、下载信息和定制信息。

(6) 触摸屏信息服务。利用便捷的触摸屏, 无需借助外部多余的硬件设备便可上网查阅, 即使是中老年农民用户也能在短期上手, 同时也可直观地进行信息查阅、远程视频、电话

语音以及在线更新等<sup>[10]</sup>。

(7) 纸质媒体传播服务。杂志、报刊等传统纸质媒体具有涉及面广、发行量大、易于保存以及信息时效长等特点, 所以便于在农村推广。

## 4 结 语

本文使用 XML 技术对农业多源信息的数据进行融合, 使数据具体化、模型化, 使得数据传输与整合问题得以有效解决。利用农业信息平台获取相关信息, 使农业数据利用率大大提高, 同时也对农业多源异构数据集成与融合产生了重大影响, 加快了现代化农业发展的步伐。

### 参 考 文 献

- [1] Bellinger G, Castro D, Mills A. Data, information, knowledge, and wisdom[EB/OL]. (2004-05-04) <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>.
- [2] Kanehisa M, Goto S, Sato Y, et al. Data, information, knowledge and principle: back to metabolism in KEGG[J]. Nucleic acids research, 2014, 42: 199-205.
- [3] 倪凯, 祝晓东, 张超. 基于关联规则的空间数据知识发现及实现[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(12): 34-35, 87.
- [4] Pimentel D, Houser J, Preiss E, et al. Water resources: Agriculture, the environment, and Ethics[J]. BioScience, 1997, 47(2): 97-106.
- [5] 常宏. 甘肃现代制种业发展的思路与对策[J]. 农业科技与信息, 2013(2): 11-16.
- [6] 冯华. 发展现代农业时机已经成熟[N]. 人民日报, 2007-03-07(12).
- [7] 马新明, 杨林楠. 农业信息技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [8] 王亚东, 黄梯云, 赵春江. 中国农业信息化建设研究[J]. 情报学报, 2002, 21(2): 214-218.
- [9] 余振华. 杨凌示范区农业企业投资环境研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [10] 赵卫利, 刘冠群, 程俊力. 国外农业信息化发展现状及启示[J]. 世界农业, 2011(5): 71-73.

(上接第 59 页)

- [5] Jun Xu, Chunting Chris Mi, Binggang Cao, et al. The State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries Based on a Proportional-Integral Observer[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(4): 1614-1620.
- [6] LI Zhe, LU Languang, OUYANG Minggao. Comparison of methods for improving SOC estimation accuracy through an ampere-hour integration approach[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2010, 50(8): 1293-1296.
- [7] 李文江, 张志高, 庄益诗. 电动汽车用铅酸电池管理系统 SOC 算

- 法研究[J]. 电源技术与设计, 2010, 34(12): 1266-1286.
- [8] 汪涵, 郑燕萍, 蒋元广, 等. 实用型磷酸铁锂电池 SOC 高精度算法研究[J]. 电源技术与设计, 2011, 35(10): 1198-1207.
- [9] ZHANG Jin-long, QI Han-hong. Battery SOC estimation based on two-dimensional parameter identification[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2014, 33(9): 30-34.
- [10] 邓涛, 孙欢. 锂离子电池新型 SOC 按时积分实时估算方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015(1): 101-106.