

# 基于风光互补的蓄电池充电技术研究\*

巩兆伟 付永升  
(西安工业大学 西安 710021)

**摘要:**为提高风光互补发电系统中蓄电池使用寿命,设计并实现了新型节能铅酸蓄电池快速充电系统。采用安时计量法确定蓄电池SOC估计容量,实时调节蓄电池充电状态和充电控制。通过分析比较传统三阶段蓄电池充电方法,结合风光互补发电系统中蓄电池充电易受外部环境的影响特点,建立风光互补发电系统蓄电池快速充电控制策略。实验结果表明,在外部风光环境发生变化扰动时,该充电策略可根据蓄电池状态合理控制充电电流大小,提高充电速度和延长使用寿命。

**关键词:**风光互补;蓄电池充电;SOC估计

**中图分类号:** TM743 TN86 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

## Research of battery charging based on wind-solar system

Gong Zhaowei Fu Yongsheng  
(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** To improve the battery life of wind-light complementary system, so we design a new fast charging system. Using Ah measurement to ensure the battery SOC estimation, and adjust the state of battery charging in real time. Through analyzing the traditional three stages of battery charging and battery charging characteristics easily influenced by external environment, we build wind-light complementary system battery quick charging control strategy. The experimental results show that the charging control strategy can improve the charging speed and prolong service life by adjusting charging current when the external environment disturbance changes.

**Keywords:** wind-solar power system; battery charging; SOC estimation

### 1 引言

电能的存储及其管理在离网式风光互补发电系统中起着非常重要的作用。在该系统中,阀控式铅酸蓄电池因具有无泄漏,无污染等优点得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。

常规的蓄电池充电器多采用小电流慢充方式,对新的阀控式铅酸蓄电池来说初次充电需要70 h以上,进行普通充电也需要10 h左右。由于常规的充电器对蓄电池充电缺少有效的控制方式,容易造成过冲、欠充,导致大大缩减铅酸蓄电池的使用寿命<sup>[2]</sup>。经常更换蓄电池增加系统的使用成本,这是风光互补发电系统中急需解决的问题。

目前对蓄电池的充电方法有很多种,如恒压充电法、恒流充电法、两阶段充电法、三阶段充电法、快速充电法、智能充电法、均衡充电法等<sup>[3]</sup>,通过对比各种充电方法,作

出以下总结:

#### 1) 恒压充电法

优点:充电过程接近最佳充电曲线,避免了蓄电池过冲,控制方法简单。

缺点:充电起始阶段电流太大,算坏蓄电池寿命,且容易造成极板的弯曲。

#### 2) 恒流充电法

优点:可根据充电阶段选择和调整充电电流,适合蓄电池小电流长时间充电。

缺点:充电起始阶段电流太小,充电后期电流又过大,造成充电时间长,析出气体多,能耗较高<sup>[4]</sup>。

#### 3) 阶段充电法

优点:析气量相对较小。

缺点:不易控制,前后两段都包含恒流恒压充电的缺点。

收稿日期:2016-12

\* 基金项目:西安工业大学校长基金(XAGDJ15013)资助项目

4) 脉冲式充电法

优点: 充电过程减少大量析气现象, 从而可缩减充电时间; 同时一定频率的反向脉冲放电有利于消除蓄电池极板表面的硫化<sup>[5]</sup>。

缺点: 容易导致蓄电池极板活性物质脱落, 且快速充电的能量转化效率低。

5) 间歇充电法

优点: 能量效率较高, 速度快。

缺点: 控制硬件复杂, 难以精确控制。

通过对几种充电方法的比较, 脉冲充电法虽然可以加快充电速度, 但同时降低了充电效率, 减少了蓄电池使用寿命, 在风光互补发电中蓄电池是不可以反向放电的, 所以选择三阶段充电方法给蓄电池充电, 它具有充电速度快、析气小的优点, 同时在加入电压温度补偿, 可以很好的进行充电, 延长使用寿命。

2 原理与设计

风光互补发电系统受外部天气因素影响较大, 导致其发出的功率具有不稳定和不可预测性, 主要表现为输出电流的波动<sup>[6]</sup>。当充电电流较小时, 加速蓄电池老化过程。当充电电流过大时, 蓄电池会发生极化现象, 使极板活性物质脱落, 所以应该对蓄电池充电进行合理的控制, 以延长蓄电池的使用寿命损坏蓄电池, 使蓄电池温度升高和出气加重<sup>[7]</sup>。当外部发出功率较大时, 超过蓄电池的最大允许值, 应使其偏离最大功率点; 当外部发出功率不足时, 应该调节控制器使其工作在最大功率点, 系统结构如图 1 所示。

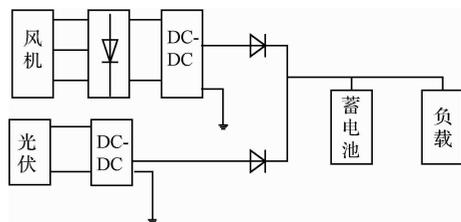


图 1 风光互补发电系统结构

2.1 SOC 估计

图 2 所示的蓄电池充电电压电流曲线上, 可以发现由于其端电压存在虚位电压, 在采用恒流恒压充电时, 不能根据其电压很好的进行控制, 所以在引入 SOC 进行控制, 避免由于虚位电压的原因导致蓄电池充不满, 或者过放电, 从而损坏蓄电池。常用的 SOC 估计方法如下:

1) 卡尔曼滤波法: 该方法是一种最优化估计法, 通过电池的各个状态参数得到最小方差的最优化估计。在不考虑实现复杂度的情况下是一种比较好的方法, 能够实时检测电池的 SOC, 估测出误差, 且精确度较高。但是卡尔曼滤波法对于处理器的要求较高, 电路较复杂, 对于高压大功率动力电池的 SOC 估测很有意义, 但对一些低压小

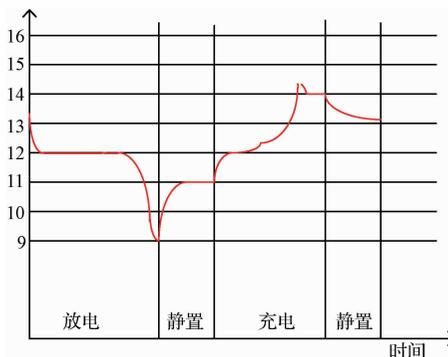


图 2 蓄电池充电电压电流曲线

功率的电池的 SOC 估测不便使用<sup>[8]</sup>。

2) 开路电压法: 由于电池的开路电压在数值上接近电池电动势, 因此开路电压法可以很好的估计 SOC。虽然锂电池的线性度稍微差点, 但是当电池静置一定时间后仍可以作为估测 SOC 的重要参考, 所以开路电压法适合于电池静置长时间的场合下, 不能用在电池实时在线的动态 SOC 估测<sup>[9]</sup>。

3) 安时(Ah)计量法: Ah 计量法是最常用的 SOC 估测方法。如果充放电起始状态为  $SOC_0$ , 那么当前状态的 SOC 可以表示为:

$$SOC = SOC_0 - \int_0^t \frac{\eta I}{C_N} dt$$

式中:  $C_N$  为额定容量;  $I$  为电池充放电电流, 电池放电时取正, 充电时取负;  $\eta$  为平均充放电效率, 由于电池存在内阻, 电池充放电时就有能量损失, 它受电池充放电电流、温度、SOC 等影响<sup>[10]</sup>。

4) 内阻法: 电池内阻分为直流内阻和交流内阻, 他们与电池 SOC 都有一定的关系, 但却不存在明确的线性关系。其表现为当电池剩余容量较大时电池内阻较小, 而剩余容量变小时却变的较大, 因此内阻法适用于检测诊断电池的好坏方面。

通过对以上方法的比较, 采用开路电压法结合安时法进行 SOC 估计, 其主要的工作是前期对蓄电池充放电, 记录电压的变化, 通过对开路电压法获得  $SOC_0$  (SOC 的初始值), 最后通过查表获得最终 SOC 估计值。

2.2 系统设计及仿真

基于 MATLAB 的系统仿真, 采用 MATLAB 中自带的蓄电池模型, 更加逼近实际的蓄电池充电特性。

仿真参数如下:

$$U_m = 24 \text{ V}, L = 5 \text{ mL}, C = 100 \mu\text{F}$$

蓄电池参数为 12 V/200 Ah

恒压限流充电方法, 该方案是前期大电流充电, 当蓄电池电压达到 13.8 V 时, 变成恒压充电, 蓄电池充电电流呈指数减少, 符合蓄电池的接受曲线, 但是不能显示蓄电池的荷电量, 不能据此控制蓄电池的充电电流。

基于 SOC 估计的蓄电池充电方法, 在充电前期采用

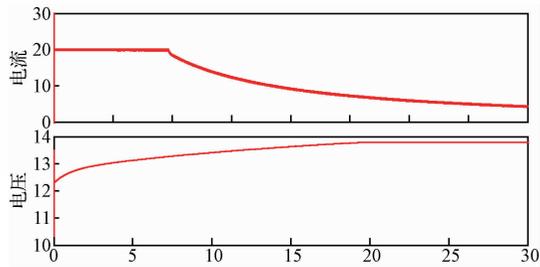


图3 恒压限流充电

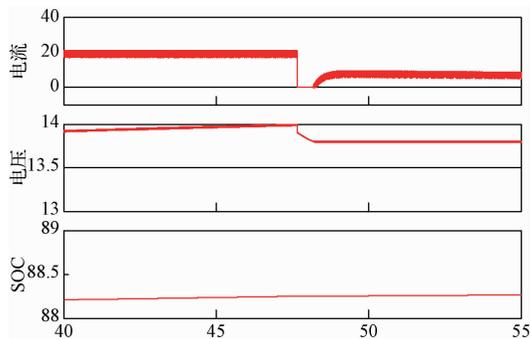


图4 基于SOC估计的蓄电池充电

0.1 C 的大电流充电, 缩短的充电时间, 在这个阶段是蓄电池接受电量最多的阶段, 当蓄电池容量达到 85% 左右时, 进入恒压充电阶段, 此时会有通过间歇停充, 使蓄电池化学反应产生的氧气有时间被重新化合吸收掉, 从而减轻了蓄电池的内压, 使蓄电池可以吸收更多的电量。在恒压充电蓄电池充电电流呈指数下降, 直至截止电流, 完成蓄电池充电。

### 2.3 系统控制策略

通过对风光互补发电控制系统的分析, 该系统应该在不同的情况下, 进行不同控制模式的切换, 以满足蓄电池和负载的需求。在系统中引入 SOC 估计, 可以合理控制, 满足风光协调发电的要求。如图 5 所示的系统流程, 当只有蓄电池作为负载时, 首先进行蓄电池的状态估计, 判断此时蓄电池能否以大电流充电。当蓄电池电量接近饱和的时候, 风光互补发电应该恒压充电, 以满足蓄电池对充电电流的要求。当蓄电池的电量较低时, 风光互补发电应该工作在最大功率跟踪控制和负载跟踪控制之间, 此时应该进行比较蓄电池需求的最大功率与风光发出的最大功率的大小, 进而判断系统是工作在最大功率跟踪模式还是负载跟踪模式。

### 3 实验

根据上述分析, 进行 BUCK 电路参数的选择, 输入电压  $U_i = 24\text{ V}$ , 电感  $L = 5\text{ mH}$ , 电容  $C = 47\text{ }\mu\text{F}$ , 续流二极管选用 MUR860, 蓄电池采用 First Power 12 V/7.2 Ah 进行实验。图 6 给出模拟风光互补蓄电池充电的实验波形。

如图 6 所示, 系统进行两路输出时的电流和开关管的

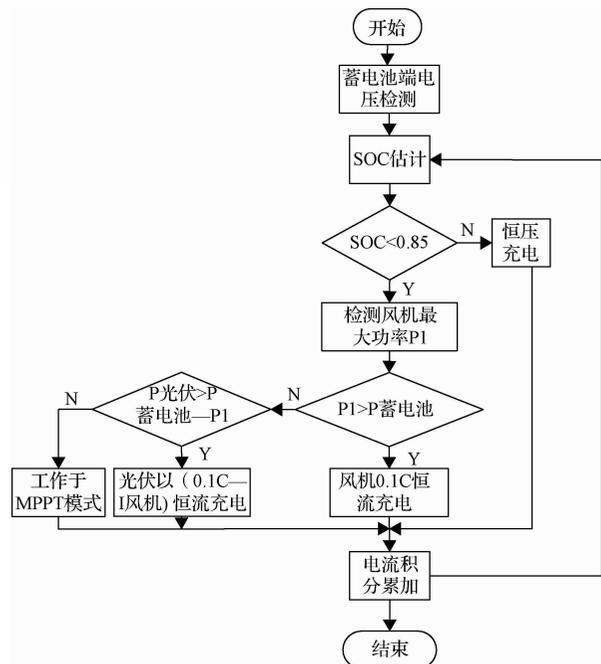
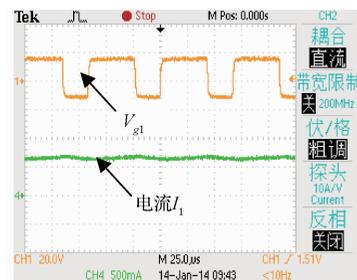
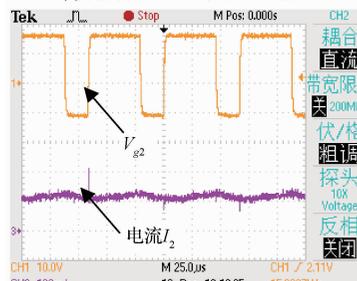


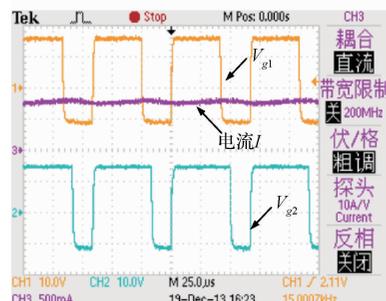
图5 系统控制策略



(a) 模拟风机电源输出0.6 A电流



(b) 模拟光伏电源输出0.1 A电流



(c) 总输出电流0.7 A

图6 两路恒流输出0.7 A电流

驱动信号波形图。从图6中可以看出,系统输出电流约为0.7 A,其中模拟风机电源提供0.1 A的电流,而模拟光伏电源提供0.6 A的输出电流,以满足蓄电池恒流充电的电流需求。

如图7所示,对系统进行闭环实验。图7(a)所示为当系统对模拟风机电源进行扰动时,发现开关管S1的驱动控制信号占空比D1发生变化且占空比D1减小,说明系统的输入电压减少。开关管S2的驱动控制信号占空比D2,不发生变化;同理,图7(b)所示为在给模拟光伏电源的输入电压进行扰动时,可以看出开关管S2的驱动控制信号占空比D2发生变化且占空比D2减少,由此可以得出系统的输入电压增加。开关管S1的驱动控制信号占空比D1,不发生变化。

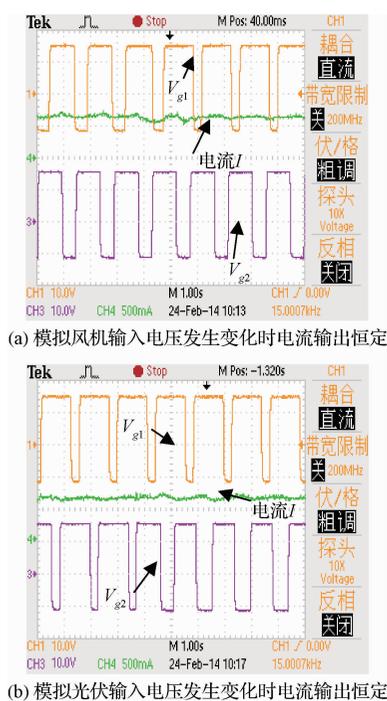


图7 电源扰动系统电流输出恒定

以上两组实验结果与MATLAB仿真一致,蓄电池的SOC容量估计通过12864的液晶进行实时显示,蓄电池的充电电流有小范围的波动,可通过增加电感减少电流纹波。实验结果表明:在外部风光环境发生变化扰动时,该充电策略可根据蓄电池状态合理控制充电电流大小。

#### 4 结论

本文在模拟风光外部因素波动的情况下,采用安时法进行蓄电池SOC估计,改进三阶段蓄电池充电方法,建立风光互补的蓄电池充电策略。实验结果表明,该控制策略

可快速跟踪风光情况的变化,当风光资源充足的时候采用恒流充电可实现快速充电,恢复蓄电池容量;当风光资源不足的时候采用最大功率追踪,实现能量高效利用。该控制方法可实现蓄电池快速充电和延长蓄电池的使用寿命,并通过仿真和部分实验验证了理论的正确性。

#### 参考文献

- [1] 温宗周,李辰. 高效光伏充电控制器的设计[J]. 电子测量技术,2014(37):29-31.
- [2] TIAN G, DING X, LIU J. Study of control strategy for hybrid energy storage in wind- photovoltaic hybrid streetlight system [J]. Chinese Journal of Power Sources, 2011:77-81.
- [3] 王立志,宋伟,汪德洋,等. STM32的风光互补发电蓄电池充放电保护研究[J]. 片机与嵌入应用,2016(2):21-24.
- [4] 宋洪磊,吴俊勇,高立志,等. 风光互补独立供电系统的多目标优化设计[J]. 电工技术学报,2011,26(7):105-108.
- [5] 周家帅,龚仁喜,谭伟付,等. 独立光伏发电系统蓄电池充电测量的研究[J]. 电源技术,2015,39(11):2429-2432.
- [6] 王丹,李敏,王磊. 基于脉冲技术的蓄电池可编程电源设计[J]. 电气自动化,2016,38(4):56-58.
- [7] 蔡国伟,孔令国,杨德友. 大规模风光互补发电系统建模与运行特性研究[J]. 电网技术,2012,36(1):66-69
- [8] 刘泽元,王友仁,陈则王,等. 基于改进EKF的飞机蓄电池在线SOC估计方法[J]. 电子测量技术,2015,38(7):119-124.
- [9] 曹卫华,李明杨,陈鑫,等. 独立光伏发电系统高效率充电控制器设计[J]. 浙江大学学报,2010,44(7):1261-1263.
- [10] 吴红斌,顾翔,赵波,等. 蓄电池充放电管理的全过程仿真研究[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(8):843-850.

#### 作者简介

巩兆伟,1987年出生,工科硕士,助教,主要研究方向为开关电源设计、光伏发电逆变器设计、仪器与测试技术等。

E-mail:911737860@qq.com

付永生 1987 年出生,工科硕士,助教,主要研究方向为图像处理、无线输电等。

E-mail: 312872680@qq.com