

独立光伏系统用蓄电池充放电策略的设计

粟梅¹, 李黎明^{1,2}, 孙尧¹, 封焯文¹, 饶程²

(1.中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083; 2.新余高新技术产业园区新能源发展研究院, 江西新余 338004)

摘要: 在独立光伏系统中, 蓄电池充/放电控制效果的好坏在很大程度上会影响光伏产业的发展。本文以目前独立光伏系统主流使用的阀控铅酸蓄电池(VRLA)为研究对象, 在考虑系统的性能和成本的基础上, 对蓄电池的充/放电和维护等进行了研究。在充电阶段, 采用分段设定参考电压的方式实现对电池状态的判断, 共分了 6 个阶段, 存在着最大功率点跟踪(MPPT)、恒流充电、恒压充电、浮充和停止充电等 5 种状态。实验表明该充电策略能在充分利用太阳能的同时提高蓄电池的荷电状态。

关键词: 独立光伏系统; 阀控式铅酸蓄电池; 最大功率点跟踪

中图分类号: TM912 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006—0847(2010)03—127—05

The design of battery charge/discharge control strategy in stand-alone photovoltaic systems

SU Mei¹, LI Li-ming^{1,2}, SUN Yao¹, FENG Zhuo-wen¹, RAO Cheng²

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083; 2. New Energy Development Academe of Xinyu Hi-Tech Industrial Park, Xinyu Jiangxi 338004, China)

Abstract: In the stand-alone photovoltaic systems, the effects of battery charge/discharge control systems in stand-alone photovoltaic systems remarkably influence the development of photovoltaic industry. Considering performance and costs of small stand-alone photovoltaic systems, this paper studies the control strategies of charging and discharging and the maintenance of VRLA batteries. In the charging process, this system divides the whole charging process into six phases based on the charging voltage of VRLA batteries and determines the battery status. Experiments verify that this strategy can make full use of the solar energy and improve the state of charge of the batteries, thereby extend the standby time of the system.

Key words: stand-alone photovoltaic system; VRLA battery; MPPT

1 引言

蓄电池作为独立光伏系统中一个重要的组成部

分, 起着至关重要的作用: 在光照情况下它既能补充太阳能供应的不足, 又能储存多余的太阳能; 在无光照的情况下它是负载的唯一能源。由于外界环境和条件要求的不同, 如光照强度与时间、环境温度、负载、系统的可靠性等, 独立光伏系统中可能会使用到各种型号的蓄电池。

而 VRLA 蓄电池在独立光伏系统的投资成本

收稿日期: 2010-11-19

中所占比例较高,一般要达到 1/4 ~ 1/2,而且在大多数情况下 VRLA 蓄电池达不到其使用寿命,从而严重影响了整个独立光伏系统的运行寿命。因此,VRLA 蓄电池成为了独立光伏系统中最昂贵的部件之一。为了有效地解决这些问题,不仅要提高 VRLA 蓄电池自身的性能,高品质的系统能量管理对整个光伏系统的性价比评价起了至关重要的影响,特别是蓄电池充/放电策略的设计^[1]。

本文以目前独立光伏系统主流使用的阀控铅酸蓄电池(VRLA)为研究对象,通过对蓄电池的充/放电策略进行优化设计,改善蓄电池的性能并减缓其失效,提高整个光伏系统的性价比。

2 充电控制策略

市电可以近似看成一个无穷的电源。而由于光照时间的长短变化及间隙性,光伏系统阵列的能源输出不可能是无穷的,提供给蓄电池的最大电流也不是无限的。参考普通独立光伏系统的设计,可以分为以下两种情况来实现:

(1) 当光照强度不足,即光伏阵列输出的能量除满足负载需求外的剩余能量,不足以维持蓄电池在当前充电情况下充电所需能量,蓄电池的充电策略可以采用最大功率点跟踪充电方式(MPPT),即通过跟踪控制使光伏阵列在最大功率点工作,阵列输出的剩余能量全部由蓄电池收纳。

(2) 当光照强度十分充足的情况下,即光伏阵列输出的剩余能量超过了蓄电池在当前充电情况下的充电所需能量时,则光伏阵列无法通过跟踪控制使光伏阵列在最大功率点工作,应采用分阶段充电方式。

同时,为了更好地维护蓄电池以延长其使用寿命,应适当地保持浮充状态。有研究表明适当地采用过充电更有利于蓄电池容量的恢复,特别是当蓄电池深度放电后,通过适应的浮充,可以减少蓄电池酸分层和结晶大小。

3 充电控制方法

本独立光伏系统中使用的是 VRLA 蓄电池,参考其充电特性曲线,确定采用分段设定参考电压

的方式实现对电池状态的判断。

本系统使用两只 VRLA 蓄电池,采用串联方式连接后电池组正常工作电压范围为 20 ~ 28.8 V。设定充电终止电压为 28.8 V,并将充电过程分为 6 段,用不同颜色和数量的发光二极管来表示系统处于不同的充电状态。

(1) 当检测到 VRLA 电池组端电压 $U_b \leq 25.8$ V 且其充电电流 $I_b < 10$ A 时,设定标示有“MPPT 方式充电”的红色发光二极管处于发光状态,表示蓄电池组进入 MPPT 方式充电状态。

(2) 当检测到电池组端电压 $U_b \leq 25.8$ V 且其充电电流 $I_b \geq 10$ A 时,设定标示有“恒流充电”的红色发光二极管处于发光状态,表示蓄电池组进入恒流充电状态。

(3) 当检测到电池组端电压 25.8 V $\leq U_b \leq 28$ V 时,设定标示有“恒压充电”的红色发光二极管处于发光状态,表示蓄电池组进入恒压充电状态(限制电流根据实际情况不断变化)。

(4) 当检测到电池组端电压 28 V $\leq U_b \leq 28.8$ V 且其最大限制充电电流 $I_b \geq 1$ A 时,如果蓄电池的充电电流 $I_b \geq 1$ A,保持恒压充电;否则将蓄电池的最大限制充电电流降低 1/2 倍,继续保持恒压充电状态。

(5) 当检测到电池组端电压 28 V $\leq U_b \leq 28.8$ V 且其最大限制充电电流 $I_b < 1$ A 时,设定标示有“浮充”的黄色发光二极管处于发光状态,表示蓄电池组进入浮充状态。

(6) 当检测到电池组端电压 $U_b \geq 28.8$ V 时,设定标示有“充满”的绿色发光二极管处于发光状态,表示蓄电池组已经充满,处于停止充电状态。

4 充/放电过程设计及具体参数选择

本系统使用的是 2 只阀控式铅酸蓄电池,型号为 SP12-100 (12 V, 100 Ah), 25 °C 下可以使用 20 h, 电压 14.4 ~ 15 V, 浮充电压 13.5 ~ 13.8 V, 充/放电电流小于 30 A。

厂家提供的串联后蓄电池的相关工作参数列于表 1。

4.1 充电电路的选择

充电主电路要求能够改变开关管的占空比而改

表 1 蓄电池相关工作参数

蓄电池参数	取值
输入端峰值电压	34 V
输入端峰值功率	220 W
输入端峰值电流	6.47 A
正常工作电压范围	20 ~ 28.8 V
过放报警电压	21 V
过放断开电压	20 V
过放恢复电压	21.6 V
提供的直流电电压	24 V

变光伏电池的工作点,完成蓄电池3个阶段的充电。适用于光伏MPPT发电系统的主电路拓扑有Buck、Boost、Buck-Boost和Cuk电路等。由于本系统中只需要实现降压,所以采用电路结构简单的Buck电路作为充电控制器的主电路。

4.2 最大功率跟踪

实现最大功率跟踪(MPPT)的方法通常有几种:恒压法、曲线拟合法、干扰观察法和增加电导法。由于干扰观察法只需获得电压及电流参数,算法简单、易于实现,所以在本系统中采用的是一种改进的变步长的扰动观察法。初期采用较大的步长,能迅速地跟踪到最大功率点附近,然后改变步长采用较小的步长来进行最大功率点跟踪,该方法克服了单一步长的缺点,能根据实时的状况改变步长,快速准确地跟踪最大功率点^[2]。在MPPT充电环节中还补充一限流环节,防止充电电流过大造成电池温度过高,对蓄电池造成损伤。

在使用最大功率点跟踪充电过程中,当蓄电池组的端电压超过过充所设定的阈值时,需要转换充电方式,采用常规充电。

4.3 各阶段充电电压电流的确定

本系统中蓄电池充电控制采用阶段式充电控制方式。由厂家所给定的蓄电池参数,设置蓄电池最大允许充电电流为10 A ($C/10$)。当最大限制充电电流降低到0.625 A ($C/160$)时,进入浮充阶段。浮充时,以很小的涓流电流(充电倍率约为 $C/300 \sim C/200$)继续给蓄电池充电,以便补偿蓄电池的自放电。当检测到放电发生时,重新允许以最

大电流对蓄电池进行充电^[3]。

根据系统需要,选择恒流充电倍率 $C/10$,恒压充电电压 $U_{\text{浮}} = 28 \text{ V}$ 。根据文献^[4],浮充电压一般在26.8 ~ 28.8 V,在此实验中选择为 $U_f = 26.8 \text{ V}$,选择浮充时涓流电流充电率 $C/250$ 。

4.4 过充电压(与最小充电电压)的温度补偿

当蓄电池的电解液温度较高时,电解液的粘度会降低,同时电解液内部的化学反应会变活跃,使得蓄电池内阻变小,导致蓄电池在较低的充电电压情况下即可使充电反应顺利完成;而当蓄电池的电解液温度较低时,电解液的粘度会增加,同时电解液内部物质的流动性变差,扩展速度减慢,蓄电池两极极化增加,内阻也随之增加,导致蓄电池充电时所需充电电压急剧增加。由上述分析可知蓄电池受温度的影响比较显著,因此在对蓄电池充电策略进行设计时,必须将蓄电流充电终止电压的温度补偿纳入设计中。一般VRLA蓄电池的充电电压温度补偿系数大约在 $-3 \sim -5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 之间。在蓄电池的充电过程中,为使其充电速度较快,即电压较高时电流较大,其充电电压温度补偿系数可以分以下两种情况取值:当电解液所处温度高于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,其温度补偿系数取值 $-3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$;当电解液所处温度低于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,其温度补偿系数取值 $-5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。在独立光伏系统的蓄电池充电策略设计中,采用线性补偿方式较阶梯补偿方式更为合理,因此在此采用线性补偿,其充电终止电压温度补偿关系式为^[1]:

$$u = u_0 + k^* (T - T_0)$$

其中: u — 经补偿后的过充电压阈值

u_0 — 标准温度下的过充电压阈值(本系统中为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,此时为 28.8 V)

T — 电池充电时的温度

k^* — 温度补偿系数(当大于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时取 $-3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$;当小于 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时取 $-5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$)

最小充电电压(即欠压保护电压)的温度补偿方法与其相同。

4.5 放电

在独立光伏系统的蓄电池进行放电为负载提供能量时,放电控制的目的是维持系统中直流母线电压的稳定,从而保证在负载不断变化的情况下,光伏系统能够及时提供足够的能量。光伏系统的放电率一般较小,通常在 $C/20 \sim C/240$ 之间。

在独立光伏系统的放电控制中设置了欠压保护过程：当蓄电池的端电压低于欠压保护电压 U_p 时，立即停止蓄电池向负载提供电能来保护蓄电池。而如果欠压保护过程的保护电压监控点只设一个定值 U_p ，系统很容易产生振荡。产生振荡原因是：在蓄电池为负载提供能量时，其直流侧电压会逐渐下降，当检测到蓄电池直流侧电压为 U_p 时，由于欠压保护则蓄电池停止供电，直流侧电压在停止供电后会再上升至 U_p 以上，蓄电池再次为负载提供能量，从而会导致停止 - 运行 - 停止这种振荡现象。因此，为了避免蓄电池在放电过程中产生振荡现象，本系统中加入了滞环处理^[9]，具体步骤如下：

(1) 在蓄电池放电过程中，当检测到蓄电池的端电压接近欠压保护电压 U_p 时 ($U_p = U_p + U'$)，系统将报警。

(2) 当检测到蓄电池端电压低于欠压保护电压 U_p 时，蓄电池停止为负载提供能量，并在蓄电池开路电压低于设定欠压恢复电压 U_r (可设置为 1.1 倍的欠压电压) 时不允许再次使用^[1]。

(3) 当检测到蓄电池开路电压 U_p 高于蓄电池的欠压恢复电压 U_r 时，就启动系统让蓄电池继续给负载供电。

根据实验设备的实际情况，选择适合的欠压保护电压为 $U_p = 21.6 \text{ V}$ 、欠压恢复电压 $U_r = 22.8 \text{ V}$ 。厂家提供的过放断开电压为 20 V 、过放恢复电压为 21.6 V 。

4.6 充 / 放电过程中具体参数的确定

综上所述，确定充 / 放电过程中的具体参数见表 2。

表 2 充 / 放电过程中具体参数

蓄电池参数	取值
正常工作电压范围	20 ~ 28.8 V
恒流充电电流 I_{cc}	20 A
恒压充电电压 U_{rc}	28 V
浮充电压 U_f	26.8 V
浮充时涓流电流 I_f	0.8 A
过放报警电压 U_a	21 V
过放断开电压 U_p	20 V
过放恢复电压 U_r	21.6 V

5 实验

针对独立光伏系统的特点，进行两组充 / 放电实验，每组重复 3 次，放电至 SoC 为 50%，分别对它们进行充电 (室温为 $24 \text{ }^\circ\text{C}$)。第一组采用普通的先恒流再恒压充电方式，第二组采用本充电策略。在光伏阵列功率输出足够的情况下，充电 5 h 后，如图 1 所示，第一组的平均荷电状态为 93%；第二组的达到 98%。

理论上只要蓄电池能够接受阵列发出的能量，它们得到的能量应该是相同的。但由于蓄电池充电策略的不同，第一次不能全部接受能量，第二次在不同时期采用不同充电方式，可提高充电接受能

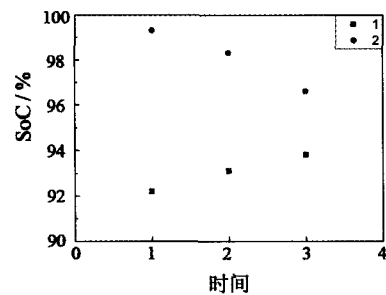


图 1 两组充电方式充电的 SoC 对比图

力。因此，本充电策略在维持较低成本的情况下更有利于提高独立光伏系统蓄电池的荷电状态。

6 结论

本系统使用了两只阀控式铅酸蓄电池，电池正常工作电压范围为 $20 \sim 28.8 \text{ V}$ 。充电过程以 3 阶段充电为基准，采用分段设定参考电压的方式实现对电池状态的判断。同时科学地选择了充 / 放电过程中的恒流充电电流、恒压充电电压、浮充电压、浮充时涓流电流、过放报警电压、过放断开电压和过放恢复电压等重要参数。实验表明该充电策略能充分利用太阳能，提高蓄电池的荷电状态。

参考文献：

[1] 欧阳名三. 独立光伏系统中蓄电池管理的研究 [博士学位]. 合肥工业大学, 2004.

[2-5]略