

独立光伏系统中蓄电池充电控制策略

任 柱¹, 陈渊睿¹, 张 淼²

(1. 华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640; 2. 广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510090)

摘要: 在光伏系统中, 储能蓄电池达不到其使用寿命是制约光伏产业发展的一个重要因素. 文章对目前光伏系统中蓄电池使用的特点以及影响蓄电池使用寿命的因素进行了简要分析, 对蓄电池常用充电控制方法和策略进行了讨论. 提出了一种新的充电控制策略, 设计出了基于 AVR 单片机的独立光伏系统蓄电池充电管理系统. 实验表明该控制策略能在充分利用太阳能的同时提高蓄电池的荷电状态, 从而达到延长光伏系统中蓄电池使用寿命的目的.

关键词: 独立光伏系统; 可接受充电电流; 控制策略; 荷电状态

中图分类号: TP17 **文献标识码:** A

Battery charge control strategy in stand-alone photovoltaic system

REN Zhu¹, CHEN Yuan-rui¹, ZHANG Miao²

(1. Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;

2. Automation College, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510090, China)

Abstract: In the existing PVS(photovoltaic system), the storage battery cannot attain its life-span, which is an important constraint on PVS's further development. This paper briefly analyzes the existing problems arising from the utilization of batteries in the photovoltaic system, and states the control strategies for charging the battery. A new charging control strategy is put forward, and a battery charge management system in stand-alone PVS based on AVR MCU is designed. Experiments verify that this strategy can make full use of the solar energy and improve the state of charge situation of the battery, so as to extend the standby time of the system. It is expected that the purpose to extend the useful life of the battery in the photovoltaic system can be realized.

Key words: stand-alone photovoltaic system; acceptable charging current; control strategy; state of capacity(SOC)

1 引言(Introduction)

随着世界经济的发展, 人类对能源的需求越来越大, 太阳能光伏发电正逐渐受到世界各国的高度重视. 随着光伏发电技术发展, 光电转换效率不断提高、光电池制造成本不断下降、各种新型太阳能电池先后问世^[1]. 但光伏发电系统中所使用的储能蓄电池基本都不是专门为光伏系统设计的, 加之光伏系统中蓄电池的运行状态和外界环境不同有关, 尤其是不当的控制策略导致储能蓄电池的使用寿命短于预期. 因此, 合理的充放电控制策略的研究对提高光伏系统蓄电池的使用寿命有很大的帮助. 目前应用于光伏系统中的蓄电池主要为阀控式密封铅酸蓄电池(VRLA), 关于 VRLA 的充电方法主要有恒流充电法、恒压充电法、阶段充电法(包括 2 阶段法和 3 阶段法)、脉冲充电法等方法^[2,3]. 这些方法都有个各自的特点和优劣, 在实际应用中根据需要通常采用其

中的一种或者几种组合的方式来对蓄电池进行充电管理. 光伏电池所发功率取决于照射到其表面的太阳辐射量. 由于受到当地纬度、经度、时间、空气状态及气象条件等各种因素的影响, 光伏电池输出功率是随温度、光照强度等因素而不断变化的. 采用常规的充电控制策略很难达到在充分利用太阳能电池板输出能量的同时提高蓄电池使用寿命的目的. 目前国内外的光伏系统充电控制器中, 小规模的一般采用常规的 2 阶段或 3 阶段法, 大规模的充电控制一般采用万能控制芯片以及复杂的充放电管理系统^[2]. 对于中小型独立光伏系统中蓄电池的充放电管理, 目前还没有一种结构简单且控制策略较为理想的管理系统. 针对以上情况, 本文提出了一种新的充电控制策略, 设计了基于 AVR 单片机的中小型独立光伏系统蓄电池充放电管理系统, 并进一步进行了实验验证.

2 光伏系统蓄电池面临的问题(The problems faced in the battery charge in PVS)

光伏系统对蓄电池的要求: 自放电率低, 使用寿命长, 深放电能力强, 充电效率高, 可以少维护或免维护, 价格低廉. 目前在光伏系统中应用较多的是阀控式密封铅酸蓄电池(VRLA). 应用于光伏系统中的蓄电池的工作条件和蓄电池应用在其他场合的工作条件不同, 主要区别有几个: 1) 充电率非常小, 平均电流一般为 $I_{50} \sim I_{100}$, 很少达到 $I_5 \sim I_{10}$; 2) 放电率非常小, 通常为 $C/20 \sim C/240$, 或者更小; 3) 由于受到自然资源的限制, 蓄电池只有在日照时才能充电, 即充电时间受到限制; 4) 不能按给定的充电规律对蓄电池进行充电^[4,5]. 以上原因将导致光伏系统中蓄电池出现酸分层的问题, 最终将导致其使用寿命大为缩短. 对于独立光伏系统, 日照时间是无法人为调节的, 而光伏阵列的容量也由整个光伏系统的投资所限制, 仅用前面所介绍的常规充电控制策略不能达到高效利用的目的. 主要表现在两个方面: 1) 为防止大电流充电, 造成蓄电池析气, 而采用工作在限流方式; 2) 蓄电池在恒压充电状态, 充电电流小. 因此蓄电池此时不能吸收全部能量, 而且由于充电时间长, 到最后蓄电池并未充满.

3 新控制策略的提出(Propose new control strategies)

3.1 主充电控制(Main charge control)

本文考虑采用一种新的充电控制策略, 来提高蓄电池的荷电. 该策略分两种情况来实现: 第一, 蓄电池在恒流或恒压充电方式下, 蓄电池能够接受这个最大功率时, 对蓄电池的充电方式保持原方式. 这时对蓄电池的充电可以采用常规的控制方法: 先恒流、再恒压2阶段控制方式; 第二, 蓄电池在恒流或恒压充电方式下, 蓄电池不能接受阵列输出的最大功率时, 采用高效充电技术来提高蓄电池的充电接受能力, 使蓄电池得到快速充电, 提高蓄电池的荷电水平. 关于快速充电的优越性, 文献[3,5]中都有较为详细的论证. J.A.Mas提出了以最低析气率为前提的蓄电池可接受的充电电流. 在充电过程中, 只要充电电流不超过VRLA蓄电池可接受的电流, VRLA蓄电池内部就不会产生大量的气泡. 如果在整个充电过程中能使实际充电电流始终等于或接近于VRLA蓄电池可接受的充电电流, 则充电速度就可大大加快, 而且析气率也可控制在很低的范围内, 这就是快速充电的基本理论. 按照J.A.Mas的快速充电的三定律, 可以通过放电来提高蓄电池的充电可接受电流^[6]. 在蓄电池充电的过程中实时地暂停充电, 并适当加入合适的放电脉冲, 就可以迅速而有效地消除各种极化电压, 提高充电速度和蓄电池使用寿命. 究竟采用怎样的脉冲进行放电, 必须根据蓄电池的容量和

极化的程度来确定, 整个充电控制策略的实现流程如图1所示.

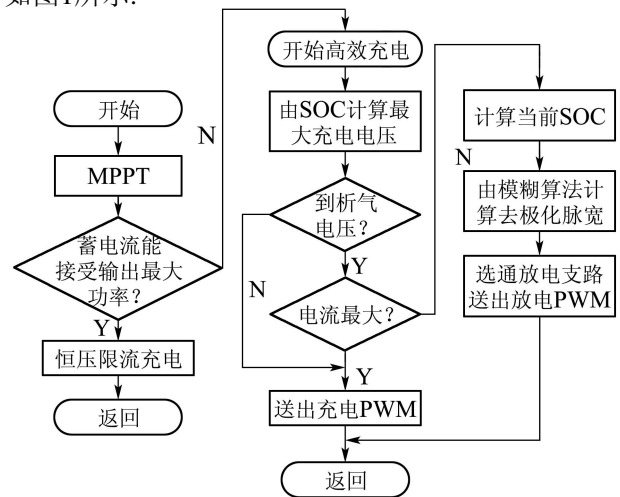


图1 光伏系统充电实现流程图

Fig. 1 Charge implement of PV-system flow chart

3.2 欠充时分组循环充电(Grouping cycle charge when less charge)

由于季节性日照、温度变化等原因, 虽然在前节提出的方法下, 光伏系统中蓄电池出现欠充的情况有改善, 但欠充的现象不可避免. 为避免蓄电池始终在欠充状态, 将蓄电池组分成不同容量的小组, 集中有限的阵列能量对小组进行充电, 使小组的达到充满状态, 循环地针对不同小组实施这样的充电, 从而使蓄电池组脱离始终欠充状态, 改善蓄电池特性.

3.3 维护充电(Maintenance charge)

1) 浮充: 蓄电池一旦接近全充满时, 其内部的活性物质大部分已经恢复成原来的状态, 这时候为防止过充, 采用比正常充电更低的充电电压进行充电. 浮充电压根据蓄电池的实际要求设定, 对12V的VRLA蓄电池来说, 一般在13.4V~14.4V之间.

2) 适时适当的过充: 系统记录蓄电池组的每天的充电状态, 当发现有欠充组时, 系统首先解决欠充组的充电. 当发现有长期欠充现象, 则在阵列能量足够蓄电池中各组充满并且还有多余的能量时, 对欠充蓄电池进行一次5%~10%的过充处理.

3.4 可行性及优点(Feasibility and merits)

该充电控制策略中所采取的主要理论和控制方法都是目前在各类蓄电池充电系统中应用到的, 其理论和控制方法都较为成熟, 具体实现也较简单. 本策略是针对光伏系统充电的特殊性进行了分情况、分阶段的考虑而提出的, 具有一定的针对性. 能避免由于单一充电方式而造成的能量浪费或电池损坏. 依照蓄电池的最佳充电曲线, 在每个阶段都使电池处在一个较理想的充电状态, 达到延长蓄电池的使用寿命的目的.

4 快速充电实验及结果分析(The experiments and result analysis of fast-charging)

4.1 硬件结构(Hardware structure)

该系统主充电电路采用Buck变换电路, 控制电路采用单片机Atmega16作为控制芯片, 控制电路硬件系统结构框图如图2所示. 该控制系统中对光伏系统的最大功率跟踪、充放电控制及过程转换都是由单片机来处理, 处理完输出的PWM信号来控制Buck电路的开关管的占空比来实现对蓄电池的充电控制. 蓄电池的分组管理由单片机控制继电器来实现.

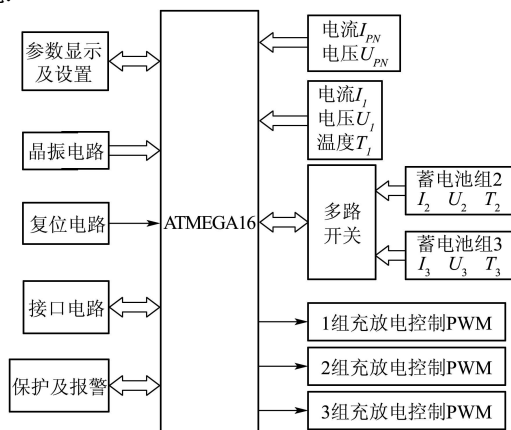


图2 充放电管理系统硬件系统结构图

Fig. 2 Hardware structure of charge and discharge management system

4.2 实验分析(Experimental analysis)

实验使用的蓄电池为沈阳松下阀控式密封铅酸蓄电池LC-1224, 每节规格: 12 V 24 Ah. 试验采用2节电池串联作为一组. 蓄电池的额定输出电压为额定输出电压 $U_0 = 24\text{ V}$, 恒流充电电流 $I = 1.5\text{ A}$, 恒压充电电压 $U = 27.4\text{ V}$. 负载采用15 W白炽灯, 通过对两组24 V 24 Ah(一组为新使用, 一组为使用一段时间)蓄电池进行充放电实验. 一组放电至SOC为95%, 另一组放电至SOC为85%(等效为同一负载下3个蓄电池组放电至95%的放电容量), 分别对它们进行充电. 前面一组采用恒压限流充电, 后面一组采用高效充电, 在光伏阵列功率输出足够的情况下, 充电60 min后前一组的荷电状态达到97%, 后面一组达到96%. 如图3所示.

如果前1组作为3组计算, 充入的电量为 $(97\% \sim 95\%) \times 3C = 1.44\text{ Ah}$, 而后1组充入的电量为 $(96\% \sim 85\%) \times 3C = 2.64\text{ Ah}$, 多充入 $(2.64 - 1.44) = 1.2\text{ Ah}$ 也即5% C的容量. 理论上讲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. 但由于蓄电池接受能力在充电后期变差, 前1组不能接受全部能量, 后1组通过高效快速充电方法提高了充电接受能力, 因而获得了更多的能量. 因此高效快速充电方法有利于提高蓄电池的荷

电状态, 也即能提高光伏系统的利用率和蓄电池的使用寿命.

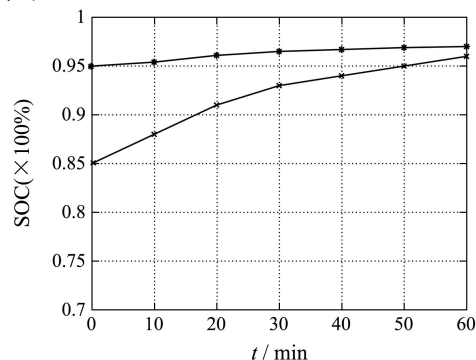


图3 充电时间与SOC关系曲线

Fig. 3 The relation curve of charge time and SOC

5 结语(Conclusion)

在环境危机、能源危机日益严重的今天, 太阳能光伏发电系统将会得到更广泛地应用. 而由于光伏系统中能量的不确定性和蓄电池使用条件的特殊性, 造成蓄电池成为影响整个光伏系统寿命的一个重要环节, 也成为阻碍光伏产业发展的一个重要因素. 这就要求有一个合理的充放电控制策略, 在充分利用太阳能阵列能量的同时对蓄电池进行高效的管理, 延长光伏系统中蓄电池的使用寿命. 本文所提出的充电控制策略较好的满足了上述要求, 且该控制系统硬件结构简单, 性价比较高, 在中小型独立光伏发电系统中有突出优势.

参考文献(References):

- [1] 吴捷, 杨俊华. 绿色能源与生态环境控制[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(6): 864 - 869.
(WU Jie, YANG Junhua. Control on green energy source and ecologic environment[J]. *Control Theory & Applications*, 2004, 21(6): 864 - 869.)
- [2] 史云鹏, 王莹莹, 李培芳. 光伏系统中蓄电池充放电方案的探讨[J]. 太阳能学报, 2005, 26(1): 86 - 89.
(SHI Yunpeng, WANG Yingying, LI Peifang. An approach one control of the lead-acid rechargeable battery in PV systems[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2005, 26(1): 86 - 89.)
- [3] 张建军. 铅酸蓄电池快速充电系统[J]. 绝缘材料, 2002, 35(5): 46 - 48.
(ZHANG Jianjun. An express charging system for lead acid storage battery[J]. *Insulating Materials*, 2002, 35(5): 46 - 48.)
- [4] SPIERS D J. A review of state-of-charge indication of batteries by means of AC impedance measurements[J]. *Journal of Power Sources*, 2000, 87(2): 12 - 20.
- [5] 马建荣, 王菊芬. 光伏发电系统中蓄电池充放电控制策略研究[J]. 大学物理实验, 2004, 17(4): 4 - 8.
(MA Jianrong, WANG Jufeng. Study one the charge and discharge control strategy in photovoltaic system[J]. *Physical Experiment of College*, 2004, 17(4): 4 - 8.)
- [6] 欧阳名三. 独立光伏系统中蓄电池管理的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004: 49 - 59, 79 - 100.
(OUYANG Mingsan. Study one the batteries management in stand-alone photovoltaic system[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2004: 49 - 59, 79 - 100.)