

基于 MPPT 的太阳能智能充电控制器

苏秀蓉,王正仕*,马进红,庞晋永
(浙江大学 电气工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要:针对离网光伏发电系统中光伏电池利用率不高和蓄电池极易因充电不当而损坏的问题,分析了光伏电池的输出特性和蓄电池的充放电特性,结合最大功率点跟踪(MPPT)技术和同步整流技术,设计了一个基于同步 BUCK 电路的太阳能充电控制器并搭建了试验样机。通过运用带有温度补偿的并列三环 PID 控制方法对充电全过程进行了控制以实现蓄电池在恒流、恒压、MPPT 等不同充电方式之间的智能切换。研究表明,该控制器在充分利用太阳能的基础上照顾了蓄电池本身的充电特性,避免了蓄电池意外受损,将充电效率提升到了 96% 以上,最终达到了优化能量管理的目的。

关键词:最大功率点跟踪;太阳能充电;蓄电池;能量管理

中图分类号:TM615

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)09-1133-04

Photovoltaic intelligent charging controller based on MPPT

SU Xiu-rong, WANG Zheng-shi, MA Jin-hong, PANG Jin-yong
(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at solving problems of underutilization of photovoltaic panels and damage of batteries caused by misuse in off-network photovoltaic power generation systems, the photovoltaic panel output characteristics and battery charging and discharging characteristics were analyzed. A photovoltaic charging controller built on synchronous BUCK circuit was designed integrated with the most power point tracking (MPPT) technology and synchronous rectification technology, and an experimental prototype was set up. A paratactic three-loop PID control method with temperature compensation was applied to control the overall process of charging so as to realize intelligent switches between different charging ways such as constant current charging, constant voltage charging, MPPT charging and so on. The results indicate that, the controller uses the solar energy to the most while following the battery's charging characteristics, by which the battery's accidental damages are avoided, and the charging efficiency is improved up to 96% and the energy management is optimized eventually.

Key words: most power point tracking(MPPT); photovoltaic charging; battery; energy management

0 引 言

独立运行的太阳能光伏发电系统是一种利用太阳能电池半导体材料的光伏效应,将太阳光辐射能直接转换为电能并储存在蓄电池中的系统。在利用光伏电池给蓄电池充电的过程中,一方面需要提高光伏电池的利用率,尽可能多地从光伏电池抽取能量给蓄电池,另一方面需要遵循蓄电池本身的充放电规律,不能长

时间地大电流充电以防过充损坏蓄电池。目前,国内外对最大功率点跟踪(Most Power Point Tracking, MPPT)技术^[1]研究较多,最常用的 MPPT 方法有扰动观察法^[2-3]、电导增量法^[4-5]、模糊逻辑控制法^[6]、神经网络法、滑膜控制法^[7]等。

本研究设计一个太阳能智能充电控制器系统。该系统采用高效率同步整流技术,结合 MPPT 技术,实现对蓄电池的智能充电,其效率可达到 96%。

1 太阳能充电控制器系统设计

1.1 系统拓朴

太阳能充电控制器系统由太阳能光伏电池、DC-DC 变换电路、蓄电池和控制电路组成,系统框图如图 1 所示。光伏电池输出经 BUCK 电路降压后给蓄电池充电。

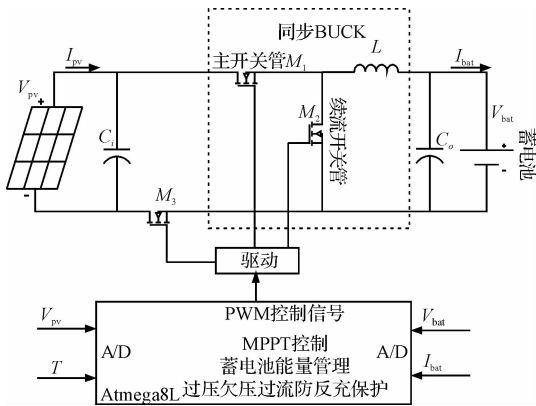


图 1 太阳能充电控制器系统框图

1.2 同步整流 BUCK 变换器

对于电压低、电流大的 BUCK 变换器来说,续流二极管上的损耗相对较大,影响充电器效率。针对该问题,本研究采用导通电阻较小的 POWER MOSFET 来代替二极管即采用同步整流技术,当 M_1 关断时触发 M_2 导通,为了防止 M_1 、 M_2 同时导通中间留有一定的死区。

1.3 夜间防反充保护

在夜晚或阴天时,光伏电池输出电压较低,当 V_{pv} 低于蓄电池电压 V_{bat} 时就会出现反充现象,即蓄电池电压加在光伏电池两端,电流 I_{pv} 反向向光伏电池倒灌。为此笔者在电路中加入自动切断电路,通过关断 MOSFET 管 M_3 将光伏电池和后面的蓄电池隔离开来,有效地阻止了反充。

1.4 数字化控制电路

本研究选用 Atmel 公司的 8 位单片机 ATmega8L 作为控制电路的核心,单片机实时采样光伏电池输出电压 V_{pv} 、蓄电池充电电压 V_{bat} 和充电电流 I_{bat} ,根据采样结果选择充电方式,产生相应的 PWM 信号调节 BUCK 电路的占空比,如此循环往复直到充电完成。同时通过中断控制 LED 灯实时显示充电状态。

2 光伏电池最大功率点跟踪

2.1 光伏电池输出特性

240 W 光伏电池在标准测试条件下,即光照

1 kW/m^2 , $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的典型输出特性曲线如图 2 所示^[8-9]。由图 2 可知,光伏电池既非恒压源也非恒流源,其 P/U 曲线是一个单峰值曲线,输出功率随输出电压的变化而变化,中间存在一个最大值点,即最大功率点 (MPP)。

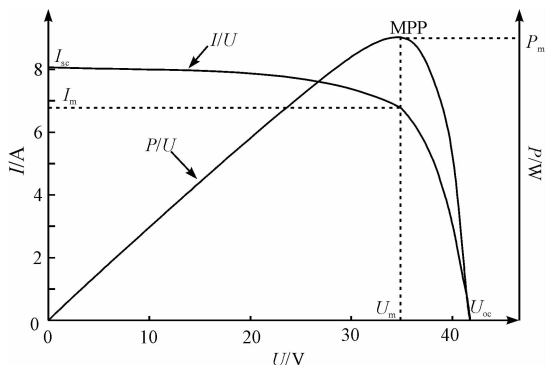


图 2 光伏电池的 I/U 和 P/U 特性曲线

2.2 最大功率点跟踪方法

要提高光伏电池的利用率,光伏电池最好一直工作在最大功率点。在温度变化不大的情况下,光伏电池最大功率点电压 V_m 不会随光照强度的改变而有太大的变化,恒定电压跟踪 (constant voltage tracking, CVT) 法就是利用这一特点将光伏电池的输出稳定在 V_m 从而实现 MPPT。实验证明, CVT 法较之不带 CVT 法直接耦合的工作方式可获得最多达 20% 的能量; CVT 法与其他 MPPT 方法相比,成本低、控制简单、容易实现、可靠性高、稳定性好,配合温度补偿措施,就可以较好地满足一般工程应用要求。

其控制框图如图 3 所示。

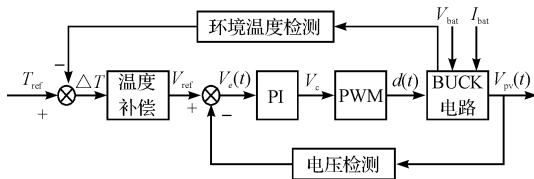


图 3 带温度补偿的恒定电压跟踪法控制框图

3 蓄电池充电策略

铅酸蓄电池由于价格低、容量大而得到了广泛的使用。但是若使用不当,其循环寿命将大大的缩短,好的充电策略是避免蓄电池提前报废、提高系统可靠性的有效手段。本研究采用三阶段充电法^[10]并对其做了进一步的改善,在三阶段充电法中加入了 MPPT 充电技术。

3.1 改进三阶段充电法

改进三阶段充电法包括 MPPT 限流充电、恒压限

流充电、浮充电 3 个阶段,改进的三阶段充电法如图 4 所示。

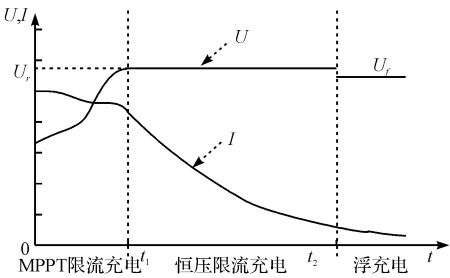


图 4 改进的三阶段充电法

(1)MPPT 限流充电。充电初期,系统待充蓄电池端电压较小,采用 MPPT 充电方式,尽可能多地将光伏电池的输出功率抽到蓄电池端。当光照强度变强,光伏电池输出功率上升,充电电流随之上升而达到阈值时,中止 MPPT 充电而转入恒流充电方式。当光照强度变弱以至于恒流出现困难时再转入 MPPT 充电方式,如此自由切换直到蓄电池端电压上升达到饱和电压 U_f 为止,蓄电池进入恒压充电阶段。通过 MPPT 充电方式和恒流充电方式的相互配合和自动切换,既可以充分利用太阳能给蓄电池快速充电,又可以避免蓄电池被大电流充坏。

(2)恒压限流充电。该阶段充电电压值恒为 U_f ,随着蓄电池内部的电化学反应的进行,充电电流逐渐减小,当充电电流下降到约 0.01 C 时,终止恒压充电,进入浮充阶段。在恒压阶段也做限流处理以保护蓄电池。

(3)浮充电。以一个略小于恒压充电的电压 U_f 对蓄电池进行浮充电,该阶段主要用来补充蓄电池自放电所消耗的能量,此时标志着充电过程结束。

3.2 系统总体充电及保护策略

蓄电池充电的并列三环控制框图如图 5 所示,控制器根据充电的状态自动选择充电方式,进入对应的环路直到充电完成。

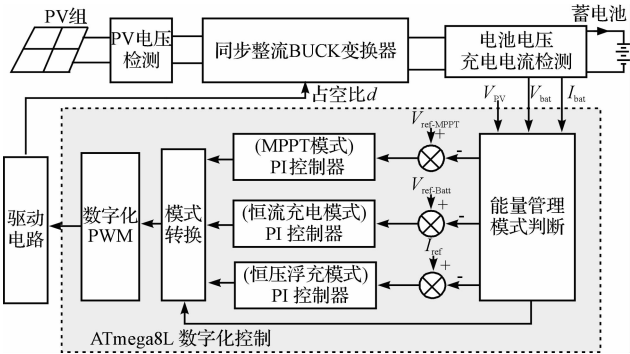


图 5 并列三环控制框图

系统充电和保护过程的流程图如图 6 所示。

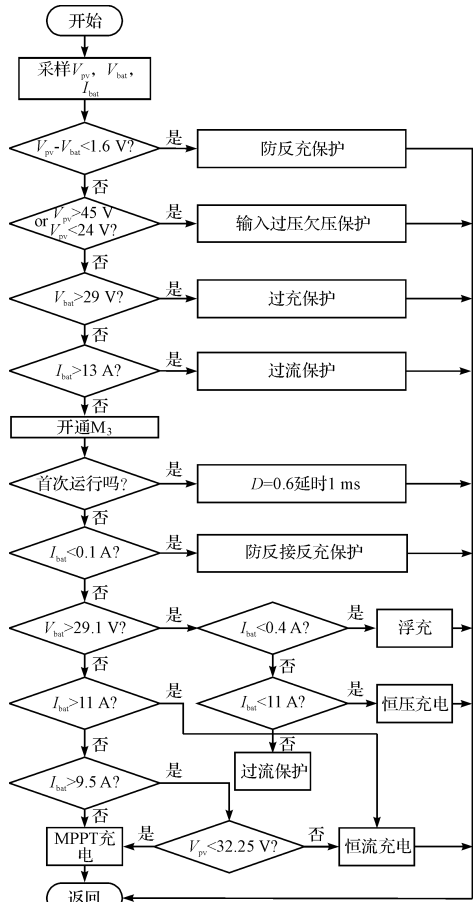


图 6 系统流程图

4 实验结果及分析

在图 1 所示的电路中,光伏电池额定功率为 240 W,开路电压 43.1 V,短路电流 8.08 A,工作电压 34.9 V,工作电流 6.87 A。待充的蓄电池为两节 6-DZM-20 铅酸蓄电池,每节蓄电池的额定电压为 12 V。同步整流 BUCK 设为电流连续工作模式(CCM),电感大小要满足:

$$L \geq \frac{(U_i - U_o) \times U_o}{2 \times U_i \times I_{on} \times f_{sw}}$$

其中: f_{sw} 为 M_1 的开关频率,单位为 Hz; L 取 150 μ H; $C_i = C_o = 1\,410\,\mu$ F。

(1)标准条件下蓄电池充电整个过程的实验曲线如图 7 所示。图 7 中,蓄电池组初始开路电压是 23.4 V。

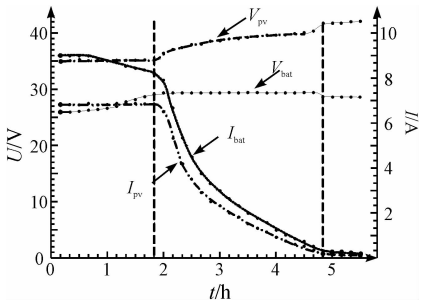


图 7 蓄电池充电过程曲线

(2) 系统启动时太阳能板端电压 V_{pv} 的值如图 8 所示。由图 8 可知, 经过 2 s 系统即可进入 MPPT 充电, 将输入电压稳定在 35 V。

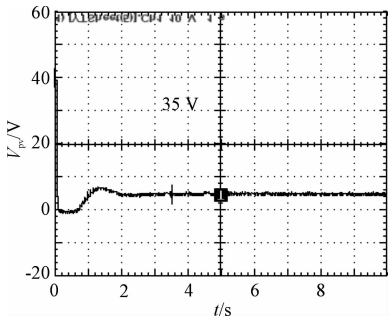


图 8 MPPT 启动时太阳能板端电压 V_{pv}

(3) 系统工作于 MPPT 限流阶段时的电压电流及效率数据如表 1 所示。

表 1 MPPT 充电时的转换效率

V_{pv}/V	I_{pv}/A	P_i/W	V_{bat}/V	I_{bat}/A	P_o/W	$\eta/(%)$
34.9	6.86	239.4	25.4	9.06	230.1	96.1
35.1	6.79	238.3	25.5	8.97	228.7	96.0
35.3	6.77	239	25.7	8.94	229.7	96.1
35.0	6.85	239.8	25.8	8.93	230.4	96.0
35.1	6.79	238.3	25.9	8.85	229.2	96.2
34.9	6.86	239.4	26.1	8.83	230.4	96.2
35.0	6.85	239.8	26.5	8.70	230.6	96.2
35.1	6.79	238.3	27.3	8.41	229.6	96.3

从表 1 可以看出, 同步整流 BUCK 充电器的效率可达到 96%。

5 结束语

(1) 该实验验证了基于 MPPT 的太阳能充电器控制方案的可行性。该方案在充分利用太阳能电池的同时, 满足了蓄电池的充放电特性, 实现了恒流、恒压、MPPT 3 种充电方式之间的全自动智能切换和能量管理, 取得了很好的效果。太阳能光伏转换、储存和能量管理技

术的提升和优化必将促进整个光伏产业以及新能源领域的长足发展。

(2) 由于光伏电池的伏安特性受温度的影响较大, 而本研究所使用的 MPPT 方法是 CVT 式, 该充电控制方案更适用于温度变化不大的地区。

参考文献 (References) :

[1] ESRAM T, CHAPMAN P L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques [J]. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 2007, 22 (2) : 439-449.

[2] 闵江威. 光伏发电系统的最大功率点跟踪控制技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学电气与电子工程学院, 2006.

[3] 刘 莉, 张彦敏. 一种扰动观察法在光伏发电 MPPT 中的应用 [J]. 电源技术, 2010, 134 (2) : 186-189.

[4] 朱湘临, 廖志凌, 刘国海. 太阳能电池 MPPT 方法的初值问题及其实验研究 [J]. 电力电子技术, 2010, 44 (2) : 7-9.

[5] PAN Jun, WANG Cheng-hua, HONG Feng. Research of photovoltaic charging system with maximum power point tracking [C]// The ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments. Beijing: [s. n.], 2009: 478-481.

[6] 杨自娟. 基于模糊控制的太阳能 MPPT 充电控制器的研究与实现 [D]. 广州: 华南理工大学电力学院, 2010.

[7] 程启明, 程尹曼, 汪明媚, 等. 光伏电池最大功率点的跟踪方法 [J]. 上海电力学院学报, 2009, 25 (4) : 345-352.

[8] 司传涛, 周 林, 张有玉. 光伏阵列输出特性与 MPPT 控制仿真研究 [J]. 华东电力, 2010, 8 (2) : 284-288.

[9] ZHENG Shi-cheng, LIU Wei. Research and implementation of photovoltaic charging system with maximum power point tracking [C]// The 3rd IEEE Conference of Industrial Electronics and Applications, Singapore: [s. n.], 2008: 619-624.

[10] 王 恩, 杨海柱, 陈广华. 独立光伏发电系统中蓄电池充电方法探究 [J]. 电子质量, 2010 (6) : 21-23.

[编辑: 李 辉]