

# 独立光伏系统中太阳能充电器的研究

孙超, 郭勇, 陈新

(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

**摘要:**首先介绍了独立型光伏系统的一般结构,然后对其中的充电器部分作了重点研究。提出了太阳能充电器的设计,介绍了几种常用的最大功率点跟踪(MPPT)方法,其中重点研究了扰动观察法(Perturb&Observe,简称 P&O 法),并给出了 P&O 法的软件流程设计。在 Matlab 中建立了太阳能电池的仿真模型,借以对 P&O 法的软件流程进行仿真验证。描述了蓄电池的充电控制策略,给出了三阶段充电的具体软件实现方法。实验证明了该太阳能充电器的可行性,其充电效率达到 87.6%。

**关键词:**太阳能; 充电 / 光伏系统; 最大功率点跟踪

中图分类号:TM914.4

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2009)04-0044-03

## Research on Photovoltaic Charger for Stand-alone Photovoltaic System

SUN Chao, GUO Yong, CHEN Xin

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:**The common structure of the stand-alone photovoltaic system is introduced,aiming at the photovoltaic charger, much work is done specially.The system design of photovoltaic charger is proposed,some means of maximum power point tracking (MPPT) for solar cell are introduced,focusing on the perturb and observe (P&O),the software flowchart is presented,and the simulation model for solar cell is created in Matlab,and then the P&O method is validated by simulation with the model created.The charging strategy is described and the software implementation is proposed.The experimental result shows the feasibility of this photovoltaic charger,and the charger efficiency can achieve 87.6%.

**Keywords:**solar energy; charger / photovoltaic system; maximum power point tracking

### 1 引言

随着时代的发展,人类对能源的需求越来越大,然而煤、石油、天然气等传统能源是有限的,因此能源问题亟待解决。时代也对人类提出了两个要求,一是节约能源,二是开发新能源,而开发新能源才能从根本上解决能源问题。太阳能光伏发电是新能源和可再生能源的重要组成部分,各发达国家已投入了大量的人力、物力进行研究开发和利用。

在独立运行的光伏发电系统中,首先利用太阳能电池来收集太阳能,再经过 DC/DC 变换器给蓄电池充电。由于蓄电池的电压较低,因此需要一个升压变换器,以提升直流电压,再通过逆变器将直流电转化为 220 V/50 Hz 的交流电供用户使用。在利用太阳能电池给蓄电池充电的过程中,由于受太阳能电池输出特性的制约,太阳能电池并非时刻工作在最大功率点附近,因而造成了太阳能电池能量的浪费,而最大功率点跟踪(MPPT)恰恰能解决这一问题;另外,据统计资料显示,由于充放电控制不合理会导致蓄电池提前损坏,损坏比例约占蓄电池总损坏数的 85%,因而蓄电池的充放电管理就显得尤为重要。为此,在设计太阳能充电器时,既要考虑太阳能电池的 MPPT,又要考虑蓄电池的充放电特性。

### 2 太阳能电池充电器系统设计

系统硬件框图如图 1 所示。功率电路中,当温度为 25 ℃,光照为 1 kW/m<sup>2</sup> 时,太阳能电池的最大输出功率  $P_{\text{omax}}=170 \text{ W}$ ,开路电压  $U_{\text{oc}}=43.8 \text{ V}$ ,短路电流  $I_{\text{sc}}=5.3 \text{ A}$ ;蓄电池组采用两块 12 V 的铅酸蓄电池串联组成,额定电压为 24 V,充电电路采用 Buck 变换器。 $VD_0$  为防止电流反灌的防反二极管,Buck 电路的电感  $L=130 \mu\text{H}$ ,由于 Buck 电路开关管的源极是浮地的,所以采用变压器隔离驱动电路。

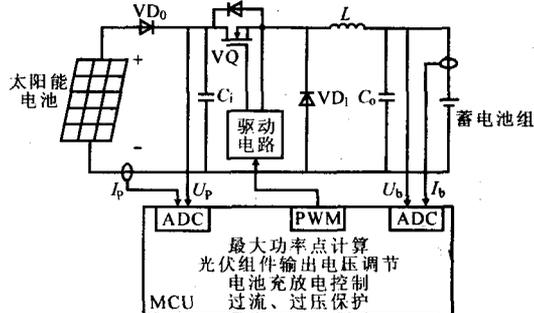


图 1 太阳能充电器系统框图

选用 16 位单片机 XC164SM 作为控制电路的核心,其时钟频率为 40 MHz,具有强大的外设资源:①一个 ADC 模块,支持 16 路信号的采样,A/D 转换结果的精度为 10 位或 8 位,A/D 转换速度最快为 1.65 μs;②两个捕获比较单元,既可以产生 PWM 信号,又可以实现对外部脉冲信号的捕获;③两个定时器模块,不仅可以产生定时中断,还可以对外部的脉冲信号进行计数;④两个同步串行通讯接口(SPI)和

定稿日期:2008-11-21

作者简介:孙超(1982-),男,江苏阜宁人,硕士研究生,研究方向为功率电子变换。

两个异步串行通讯接口(SCI),利用这些接口可以实现单片机与上位机以及外部设备的通讯。

在该系统中,采样太阳能电池的输出电压  $U_p$  和输出电流  $I_p$ ,以及蓄电池的电压  $U_b$  和充电电流  $I_b$ 。利用单片机内部定时器模块的定时器中断服务子程序计算出  $U_p$  和  $I_p$  的乘积,找到最大功率点所对应的电压  $U_{pref}$ 。由于太阳能电池外部环境的变化比较缓慢,因此最大功率点的变化也不会太快,所以定时器中断周期为 26.2 ms;利用单片机中捕获比较单元的定时器中断,完成由  $U_p$  和  $U_b$  构成的电压环的计算,得到占空比  $D$ ,通过 PWM 模块输出,再经过隔离驱动电路去驱动功率开关管 VQ,并且根据  $U_b$  和  $I_b$  完成充放电的管理和监护。捕获比较单元定时器中断的频率为 50 kHz, VQ 的开关频率为 100 kHz。

### 3 太阳能电池最大功率点跟踪

图 2a 为同一温度、不同日照下太阳能电池的 P-U 特性曲线图<sup>[1]</sup>。由图可见,太阳能电池的 P-U 特性为一组非线性曲线,曲线中不同日照强度下的最大功率点所对应的电压近似相等,因此,基于这一点,文献[2]提出了恒压跟踪(CVT)方法,近似实现了 MPPT。该方法的优点是硬件电路简单,控制也简单,然而它又有着无法回避的缺点。如图 2b 所示,在同一日照、不同温度下,最大功率点所对应的电压相差很大,当温度变化时,若仍采用 CVT 方法,就无法实现 MPPT,造成能量的浪费。

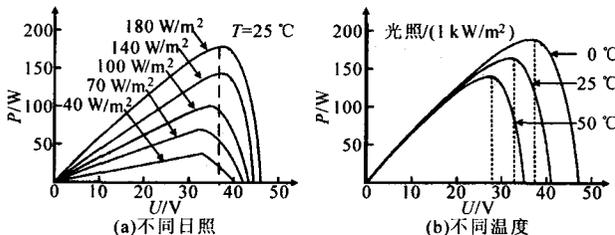
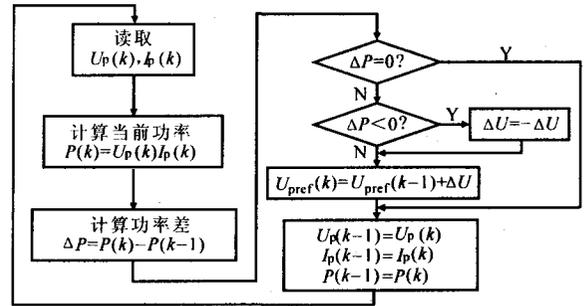


图 2 不同日照和不同温度下的特性曲线

然而,当日照强度和温度变化时,最大功率点所对应的电压和  $U_{oc}$  之间总存在着一个近似的比例关系。文献[3]提出了一种简单的 MPPT 策略,它通过间歇地检测  $U_{oc}$ ,并将其乘以一定的系数(通常约为 0.76)来确定当时日照和温度条件下的最大功率点所对应的电压,并以此作为太阳能电池输出电压的基准来实现 MPPT。在不同光照和温度条件下,采用该策略实现 MPPT 比 CVT 策略有了很大的改善,但是严格来讲,该策略只是近似实现了 MPPT 的功能。

扰动观察法(P&O 法)是一种常用的 MPPT 方法<sup>[4]</sup>,它通过改变  $U_p$ ,并给予一定的扰动,实时地采样  $U_p$  和  $I_p$ ,计算出它们的乘积,得到太阳能电池此刻的输出功率,将其与上一采样时刻的功率相比较,若大于上一时刻的功率,则维持原来的电压扰动方向;若小于上一时刻的功率,则改变电压扰动的方

向。这样确保了  $U_p$  向着使输出功率增大的方向变化,从而实现 MPPT。P&O 的算法流程如图 3 所示。



$\Delta P$  为两次采样的功率差;  $\Delta U$  为太阳能电池输出电压扰动量

图 3 P&O 程序流程图

为了对 MPPT 算法进行仿真,搭建了太阳能电池模型。图 4 示出太阳能电池的等效电路。

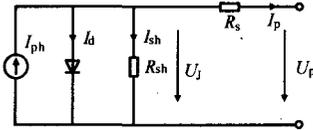


图 4 太阳能电池等效电路

太阳能电池的 I-U 特性方程为:

$$I_p = I_{ph} - I_{sat} \left\{ \exp \left[ \frac{q(U_p + I_p R_s)}{A k T} \right] - 1 \right\} - \frac{U_p + I_p R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

式中:  $I_{ph}$  为太阳能电池光生电流;  $I_{sat}$  为电池单元的二极管反向饱和电流;  $k$  为波尔兹曼常数;  $T$  为太阳能电池的绝对温度;  $q$  为电子电量;  $R_s, R_{sh}$  为串联等效电阻和并联等效电阻。

无量纲任意曲线拟合常数  $A$  的取值范为  $1 \leq A \leq 2$ , 当太阳能电池输出高电压时  $A=1$ ; 反之,  $A=2$ 。

式(1)能较好地描述太阳能电池一般工作状态下的特性。根据太阳能电池的等效电路及其 I-U 特性方程,建立了 Matlab 仿真模型,仿真所得 I-U 和 P-U 曲线如图 5 所示,可见 Matlab 仿真模型能很好地模拟太阳能电池的输出特性,最大功率点在 35.5 V 左右,最大功率为 155 W。

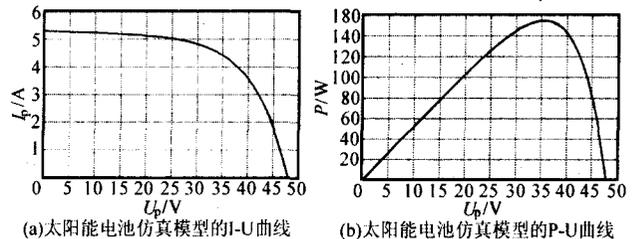


图 5 太阳能电池 I-U 和 P-U 曲线

根据 P&O 法的算法特点,利用太阳能充电器模型,运用 Matlab 进行算法的仿真。图 6 示出利用 P&O 法仿真得到的  $U_p$  和  $P$  曲线。

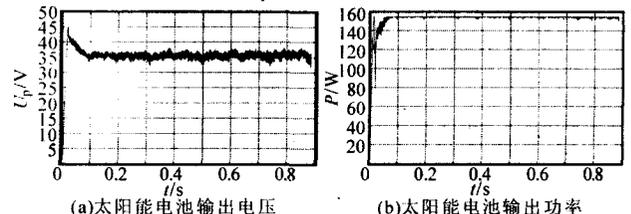


图 6 P&O 法太阳能电池输出电压和输出功率仿真波形

由仿真曲线可见, P&O 法能使  $U_p$  在 35.5 V 左右波动,  $P$  基本在 155 W 左右波动, 验证了采用 P&O 方法计算最大功率点的正确性和可行性。

#### 4 蓄电池充电策略

在太阳能光伏发电系统中, 蓄电池的充放电控制技术会直接影响系统的性能。充电控制方法一方面影响到蓄电池荷电量的大小, 另一方面关系到其使用寿命。对铅酸蓄电池的充电有恒流充电、恒压充电、恒压限流充电、两阶段充电、三阶段充电等方法。由于在独立光伏系统中, 蓄电池的寿命直接决定了系统的寿命, 所以不能简单地使用恒流充电或者恒压充电, 必须对蓄电池的充电进行更好的控制和保护, 为此采用三阶段充电的策略。图 7 示出三阶段充电特性; 图 8 示出三阶段充电和过充保护过程。

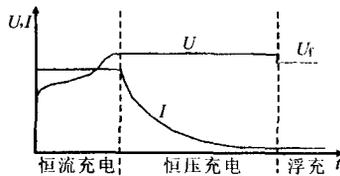


图 7 三阶段充电特性

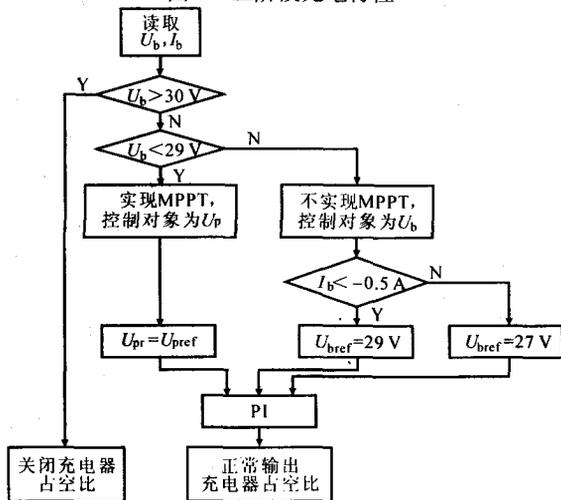


图 8 三阶段充电和过充保护流程图

(1) 恒流充电 在充电初期, 蓄电池的荷电状态比较低, 故采用恒流充电。充电器的控制对象为 Buck 变换器的输入电压  $U_p$ , 通过 MPPT 算法找到最大功率点所对应的电压, 作为  $U_{pref}$ , 并且通过数字 PI 算法使太阳能电池工作在最大功率点。当太阳能电池实现 MPPT 时, 蓄电池也就实现了最大功率充电。由于蓄电池电压在短时间内可认为是不变的, 而且最大功率在短时间内也是不变的, 因此一段时间内  $I_b$  基本上是不变的, 从而实现了恒流充电。

(2) 恒压充电 当恒流充电进行一段时间后,  $U_b$  升高到 29 V, 并退出恒流充电, 进入恒压充电阶段。此时, 充电器的控制对象为 Buck 变换器的输出电压  $U_b$ , 并且通过数字 PI 算法使  $U_b$  稳定在 29 V, 从而实现了恒压充电。

(3) 浮充 随着恒压充电的进行, 蓄电池对电流的接受能力减弱,  $I_b$  开始变小, 当  $I_b < 0.5 A$  时, 则退出恒压充电, 进入浮充状态。根据蓄电池手册上的数据, 浮充电压约为 27 V。此时, 充电器的控制对象仍然是  $U_b$ , 并且通过数字 PI 算法使  $U_b$  稳定在 27 V, 从而实现了浮充。

#### 5 实验结果及分析

表 1 示出蓄电池恒压充电时测得的充电器的电压、电流及效率数据, 可以看出充电器效率  $\eta \approx 85\%$ 。

表 1 恒压充电时充电器效率

$U_{in}/V$	$I_{in}/A$	$P_{in}/W$	$U_o/V$	$I_o/A$	$P_o/W$	$\eta/\%$
38.5	1.45	55.8	29.3	1.65	48.3	86.4
38.75	1.2	46.5	29.3	1.35	39.5	84.92
37.75	1.15	43.4	29.3	1.3	38.0	87.59
37	1.12	41.4	29.3	1.2	35.1	84.70
36.8	1.05	38.6	29.3	1.1	32.2	83.27

采用 P&O 法进行最大功率跟踪, 启动时  $U_p$  和  $I_p$  波形如图 9a 所示, 可以看出在 1 s 内系统就实现了 MPPT; 由图 9b 系统稳定工作后的波形可见, 在实现 MPPT 时,  $U_p$  始终围绕最大功率点在小范围内波动, 波动范围约为 1 V。

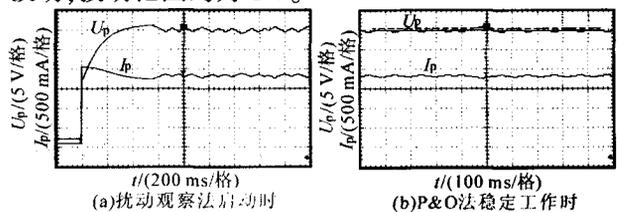


图 9 太阳能电池输出电压和电流的实验波形

#### 6 结束语

实验验证了独立运行太阳能光伏转换系统中 MPPT 充电器的可行性, 在充分利用太阳能资源的同时, 兼顾了蓄电池的充放电特性, 完成了蓄电池的过充保护, 三阶段充电延长了蓄电池的寿命, 取得了很好的效果。太阳能光伏转换系统有望在新能源领域得到更多的研究和推广应用, 为解决能源问题做出更大贡献。

#### 参考文献

- [1] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, et al. Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method[J]. IEEE Trans. on Power Electron., 2005, 20(4): 963-973.
- [2] V Salas, E Olias, A Barrado, et al. Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, 90(3): 1555-1578.
- [3] 卢琳, 段国华, 张仕文. 基于 MPPT 的智能太阳能充电系统研究[J]. 电力电子技术, 2006, 41(2): 96-98.
- [4] 欧阳名三, 余世杰, 沈玉梁, 等. 具有最大功率点跟踪功能的户用光伏充电系统的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 272-2751.