

基于 PIC 单片机的太阳能路灯智能控制器

彭 芳, 卢满怀

(电子科技大学 中山学院, 广东 中山, 528402)

摘要: 针对太阳能控制系统的特点, 探讨了太阳能路灯控制系统各部件的选用, 设计了一种基于 PIC16F877 单片机的智能控制器。提出了可行的太阳能电池最大功率点跟踪方法和合理的蓄电池充放电策略。该控制器具有电路结构简单、可靠性高、实用性强等特点。

关键词: 太阳能电池; 蓄电池; 控制器; 最大功率点跟踪; 充电策略

中图分类号: TP273+.5

文献标识码: B

An intelligent controller of solar street lamp based on PIC MCU

PENG Fang, LU Man Huai

(Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan 528402, China)

Abstract: According to the properties of photovoltaic control system, this paper discusses the selection of all parts of solar street lamp control system, and designs an intelligent controller based on PIC16F877 MCU. An effective MPPT method and rational strategies for storage battery charging and recharging are used in the controller. This controller has characteristics of simple circuit, high reliability and applicability, etc.

Key words: solar cell; storage battery; controller; maximum power point tracking (MPPT); charge strategy

太阳能是取之不尽、用之不竭的绿色能源。太阳能光伏发电以其安全可靠、无噪声、无污染、随处可见、无机械传动的部件、规模大小随意、可无人值守等优点受到越来越多的重视。

目前, 太阳能路灯在推广应用中遇到的主要问题一是太阳能电池的转换效率低; 二是蓄电池的使用寿命有限, 从而提高了太阳能路灯的成本。本文针对以上问题设计了一套先进的智能控制器。

1 太阳能路灯控制系统

太阳能路灯控制系统的结构框图如图 1 所示, 虚线框所示即为所提出的控制器的主要部分。整个系统用 Microchip 的 PIC16F877 单片机实现控制, 并利用单片机输出的 PWM 波控制 BUCK 型降压电路来改变太阳电池阵列的等效负载, 实现太阳能电池的最大功率跟踪。D1 为太阳能电池板防反接、反充二极管, 采用快恢复二极管, C₁、C₂ 为滤波电容, Q 为场效应开关管, L 为储能电感, D₂ 为续流二极管。

1.1 太阳能电池

太阳能电池阵列是太阳能路灯控制系统的输入^[1], 为整个系统提供照明和控制所需电能, 白天将太阳能电池阵列所接收的光能转换为电能, 对蓄电池进行充电; 晚上, 太阳能电池停止充电, 输出端开路。在众多太阳能电池中较常用的有单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池及非晶硅太阳能电池 3 种。多晶硅太阳能电池生产工艺相对简单,

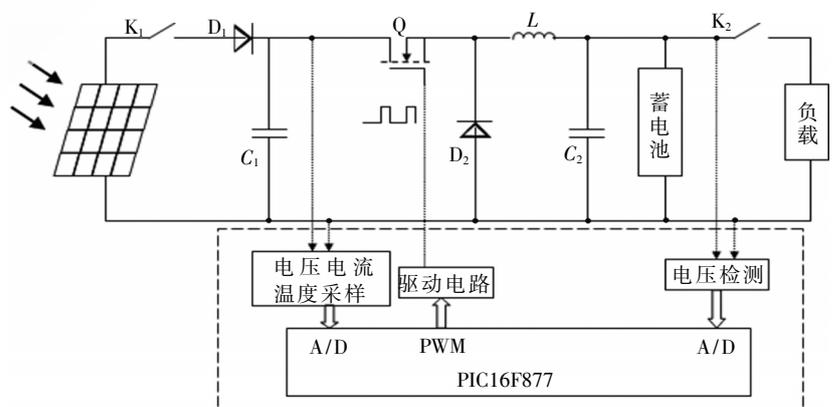


图 1 太阳能路灯控制系统结构框图

应用奇葩 Example of Application

价格比单晶低, 适合用于太阳光充足日照好的东西部地区。单晶硅太阳能电池性能参数比较稳定, 适合用于阴雨天比较多、阳光相对不是很充足的南方地区。非晶硅太阳能电池对太阳光照条件要求比较低, 适合室外阳光不足的情况下使用。目前单晶硅和多晶硅太阳能电池的光电转换效率为 12%~15% 左右, 如何提高转换效率是当前太阳能应用的研究重点之一。太阳能电池方阵工作电压一般为负载工作电压的 1.4 倍。

1.2 蓄电池

蓄电池是太阳能照明系统的储能环节。白天, 蓄电池将太阳能电池输出的电能转换为化学能储存起来, 到夜间再转换回电能输出给照明负载。目前在太阳能路灯系统中常用的蓄电池是阀控式密封铅酸 (VRLA) 蓄电池, 它具有不需补加酸水、无酸雾析出、可任意放置使用、使用清洁等优点。VRLA 蓄电池的容量可用式 (1) 进行估算^[2]:

蓄电池用量=(安全系数) 1.4 × (蓄电池放电容量修正系数) 1.5 × 负载工作电流 × 日工作时数 × 最长连续阴雨天数 (1)

蓄电池容量过小, 不能够满足夜晚照明的需要; 蓄电池过大, 则始终处在亏电状态, 影响蓄电池寿命, 同时造成浪费。蓄电池应与太阳能电池、用电负荷 (路灯) 相匹配。太阳能电池的电压要超过蓄电池的工作电压 20%~30%, 才能保证给蓄电池正常负电。

1.3 照明负载

一般太阳能灯具采用低压节能灯、低压钠灯、无极灯、LED 光源。

(1) 低压节能灯: 功率小, 光效较高, 使用寿命可达 2 000h, 一般适合太阳能草坪灯、庭院灯;

(2) 低压钠灯: 低压钠灯光效高, 但需逆变器, 因而价格贵, 整个系统造价高, 采用较少;

(3) 无极灯: 功率小, 光效较高。该灯在 220V 普通市电条件下使用, 寿命可以达到 50 000 h, 但在太阳能灯具上使用时长大大减少和普通节能灯差不多;

(4) LED 灯光源: 寿命长, 可达 1 000 000 h, 工作电压低, 光效较高。随着技术进步, LED 的性能将进一步提高, LED 作为太阳能路灯的光源将是一种趋势。

2 控制器硬件设计

作为太阳能路灯控制系统的核心, 太阳能控制器设计的好坏关系到整个系统能否正常运行。本文所提出的智能控制器的结构框图如图 2 所示。

控制器的核心是 PIC16F877, 它是目前世界上片内集成外围模块最多、功能最强的单片机品种之一, 是高性能的 8 位单片机^[3]。它采用哈佛总线结构和 RISC 技术, 指令执行效率高, 功耗极低, 带有 FLASH 程序存储器, 配置有 5 个端口 33 个双向输入输出引脚, 这些引脚大部分有第二、第三功能, 内嵌 8 个 10 位数字量精度的 AD 转换器, 配有 2 个可实现脉宽调制波形输出的 CCP 模块。控制器主要的工作是白天实现太阳能电池对蓄电池充电的控

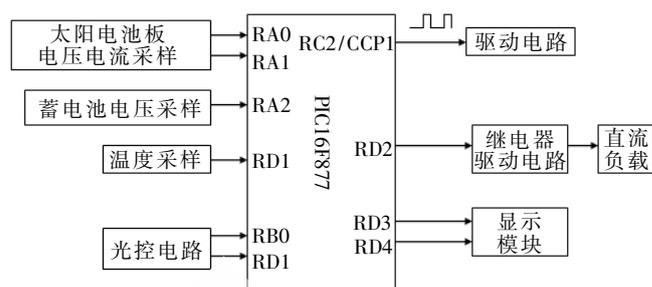


图 2 太阳能路灯智能控制器硬件结构框图

制, 晚上实现蓄电池对负载放电的控制, 同时具有光控、时控功能, 能够在白天夜间自动切换。

2.1 电流电压采集

控制器采集太阳能电池的电压电流, 用以实现太阳能电池最大功率点 MPPT 的跟踪; 采集蓄电池的端电压, 防止蓄电池的过充及过放; 采集温度, 用以实现温度补偿。电压采集可用霍尔电压传感器或电阻分压法实现, 电流采集可用霍尔电流传感器或分流器实现。

2.2 显示模块

显示模块有工作正常提示, 蓄电池过充、蓄电池欠压等显示功能, 可采用两个双色 LED 发光二极管实现, 分别显示充电和放电状态。当电压由低到高变化时, 指示灯由红色到橙色到绿色渐变颜色显示电压高低。充电状态: 当蓄电池电压低于 13.0 V 时, LED1 显示绿色; 当蓄电池电压在 13.4 V~14.4 V 之间时, LED1 显示橙色; 当蓄电池电压高 14.4 V 时, LED1 显示红色。放电状态: 当蓄电池电压低于 11.0 V 时, LED2 显示红色; 当蓄电池电压在 12.2 V~12.4 V 之间时, LED2 显示橙色; 当蓄电池电压高于 12.4 V 时, LED2 显示绿色。

3 蓄电池充放电策略

作为太阳能路灯照明系统储能用的蓄电池由于存在过放、过充、使用寿命短等问题, 要选择合适的充放电策略。所有的蓄电池充电过程都有快充、过充和浮充 3 个阶段, 每个阶段都有不同的充电要求。现行的充电方法主要有恒流充电、恒压充电、恒压限流充电、间隙式充电法等, 这些充电方法各有利弊。本文设计的控制器采取综合使用各充电方法应用于 3 阶段充电。

(1) 快充阶段: 蓄电池能够接受最大功率时, 采取太阳能电池最大功率跟踪对蓄电池进行充电。当蓄电池端电压达到转换门限值后, 进入过充阶段。

(2) 过充阶段: 采用恒压充电法, 给蓄电池一个较高的恒定电压, 同时检测充电电流。当充电电流降低到低于转换门限值时, 认为蓄电池电量已充满, 充电电路转到浮充阶段。

(3) 浮充阶段: 蓄电池一旦接近全充满时, 其内部的大部分活性物质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 12 V 的 VRLA 蓄电池来说,

应用奇葩 Example of Application

一般在 13.4V~14.4 V 之间。此时，在温差较大的地区，还应该进行适当的温度补偿。合理考虑温度变化范围，充电器应该根据蓄电池的温度系数给予某种形式的补偿。因此，实际可采取式 (2) 确定浮充电压 V_f ：

$$V_f = V_0 + (T - 25) c \quad (2)$$

其中 V_0 为基准点的电压，即未进行温度补偿时的电压， T 为检测到的当前温度，25℃ 为设定的基准温度， c 为电压温度系数，这里可设置为 0.013 2。

4 最大功率点控制策略

由于太阳能电池的输出电压和输出电流随着日照强度和电池结温的变化具有强烈的非线性，因此在特定的工作环境下存在着一个唯一的最大功率输出点 MPP (Max Power Point)。在实际应用系统中，为了在同样的日照强度和电池结温下获得尽可能多的电能，就存在着一个最大功率输出点跟踪 MPPT (MPP Tracking) 的问题。MPPT 指为充分利用太阳能，控制改变太阳能电池阵列的输出电压或电流的方法使阵列始终工作在最大功率点附近。

4.1 MPPT 控制方法

为了实现太阳电池最大功率点跟踪，国内外提出了许多种实现方法。主要方法有^[9]增量电导法 (incremental conductance, 简称 IncCond 法)、曲线拟合法 (curve-fitting)、神经网络 (neural network)、干扰观测法 (perturbation and observation, 简称 P&O 法) 等。而且，每一种控制方法又有多种实现算法。

本控制器采用干扰观测法来实现 MPPT。干扰观测法是通过不断改变电池方阵的工作电压，实时观察、比较前后两点输出功率值，以便改变调节电压的方向，最终稳定在最大功率点。尽管系统工作点会在 MPP 两侧存在振荡现象，造成一定的功率损失，但此方法结构简单，只需测量电压及电流两个参数，因此易于实现并得到广泛应用。

在电路的具体实现中，干扰观测法可通过 DC-DC 变换器来实现。DC-DC 转换电路 (也称为斩波电路或斩波器) 是接在直流电源和负载之间，通过控制电压将不可控的直流输入变为可控的直流输出的一种变换电路。从工作方式的角度，DC-DC 转换电路又可分为升压 (Boost)、降压 (Buck)、升降压 (Boost-Buck) 和丘克 (Cuk) 4 种，其中降压、升压和升降压式 DC-DC 转换电路是比较常用的类型。本控制器采用的是 Buck 型降压电路。

4.2 DC-DC 转换电路的实现

Buck 型降压电路原理如图 3 所示。电路由开关 K、续流二极管 D、储能电感 L、滤波电容 C 等构成。当开关闭合时，电源通过开关 K、电感 L 给负载供电，并将部分电能储存在电感 L 以及电容 C 中。由于电感 L 的自感，在开关接通后，电流增大得比较缓慢，即输出不能立刻达到电源电压值。一定时间后，开关断开，由于电感 L 的自感作用，将保持电路中的电流不变，电流流过负载，经过续流二极管 D，返回电感 L 的左端，从而形成了一个回路。通

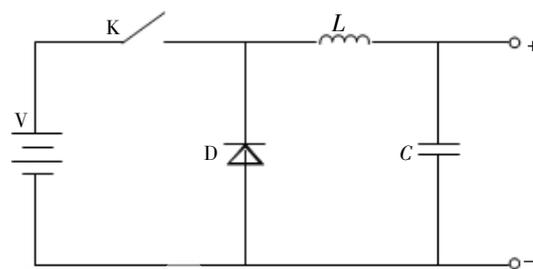


图 3 Buck 型降压电路原理

过控制开关闭合跟断开的的时间 (即 PWM——脉冲宽度调制)，就可以控制输出电压。

将 Buck 型降压电路应用于太阳能路灯控制系统后如前文图 1 所示，用 IRF540 NMOS 场效应管 Q 代替此处的开关 K，开关管的驱动采用 TLP250，单片机输出一个频率为 10 kHz 的 PWM 波来控制开关器件。由此，通过调节负载两端的电压改变了太阳电池阵列的等效负载，从而实现太阳能电池的最大功率点跟踪^[9]。

4.3 MPPT 的控制流程

采用干扰观测法，原则是电压的变化始终能让太阳能电池输出功率朝大的方向改变。因此，首先让太阳能电池以某个电压输出，采集电压电流后计算得出它的输出功率 P_i ，再与前一刻的输出功率 P_j 进行比较，若 $P_i < P_j$ ，则修改脉宽使 $U = U - \Delta U$ ；若 $P_i > P_j$ ，则使 $U = U + \Delta U$ 。按照以上原则再测、再比、再修改脉宽，逐次逼近太阳能电池的最大功率点。MPPT 的控制流程如图 4 所示。

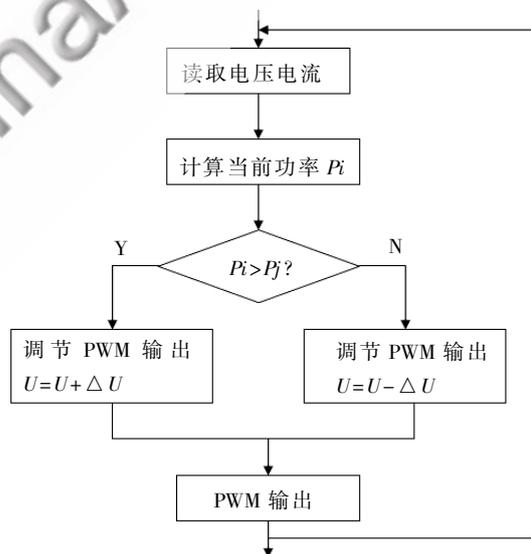


图 4 MPPT 控制流程

5 控制系统软件设计

控制器软件的主要任务是：实现蓄电池的充电控制；完成电压、电流的采集、处理和计算，实现 MPPT 控制算法；实现蓄电池对负载的放电控制。控制系统软件采用模块化程序设计方法，使用 MPLAB-IDE 集成开发环境进行程序开发，其主程序流程图如图 5 所示。

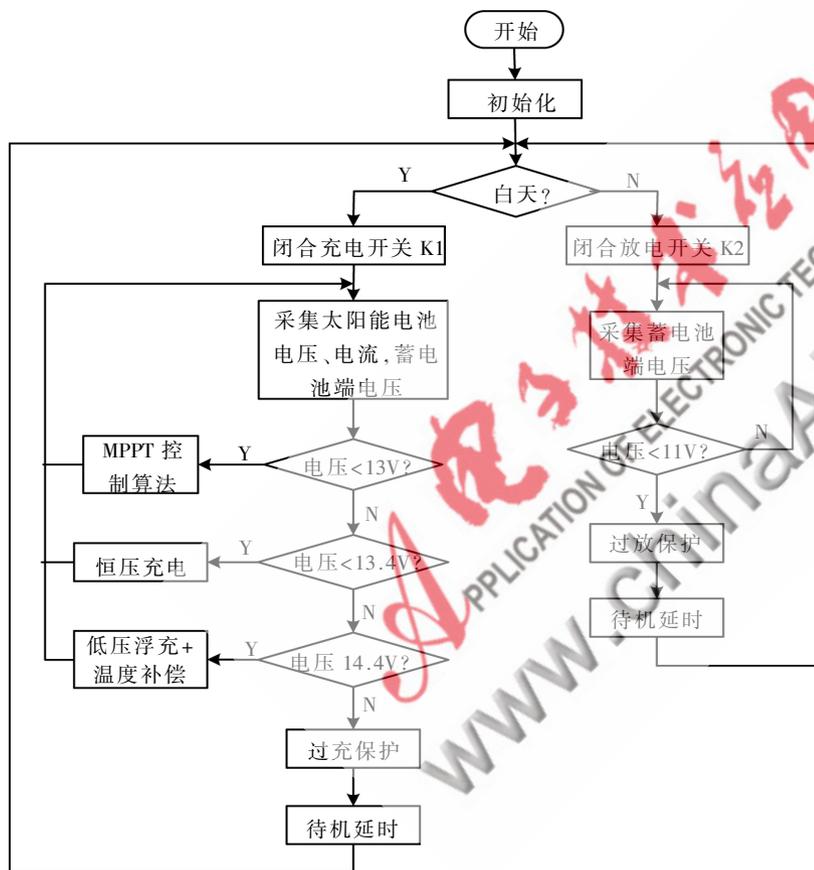


图 5 控制系统主程序流程

本文所设计的以 PIC16F877 为控制核心的智能太阳能路灯控制器, 具有外围电路简单、可靠性高的特点, 实现了太阳能电池的最大功率点跟踪, 采用了合理的蓄电池充放电策略, 实现算法简单, 既提高了太阳能电池板的使用效率, 又延长了蓄电池的使用寿命, 具有一定的参考和推广价值。

参考文献

- [1] 吴理博, 赵争鸣, 刘建政. 用于太阳能照明系统的智能控制器[J]. 清华大学学报, 2003, 43(9): 1195-1198.
- [2] 汤建皮, 黄刚. 光伏系统配套蓄电池选择[J]. 蓄电池, 2002(4): 187-190.
- [3] 李荣正, 刘启中, 陈学军. PIC 单片机原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [4] 余发平, 张兴, 王国华. 基于自适应 PI 控制的太阳能 LED 照明系统 PWM 恒流控制器[J]. 太阳能学报, 2006, 27(2): 132-135.
- [5] HUA C, LIN J. A modified tracking algorithm for maximum power tracking of solar array[J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45 (6): 911-925.
- [6] EFTICHIOS K, KOSTAS K. Development of a microcontroller based, photovoltaic maximum powerpoint tracking control System[J]. IEEE transactions on power electronics, 2001, 16 (1): 46-54.