

基于 STM32F103VC 的简易太阳能充电控制系统的研制

徐淑珍,张浩然,薛莉莉

(浙江师范大学 数理与信息工程学院,浙江 金华 321004)

摘要: 为了提高太阳能光伏组件的充电效率以及适应外界气候变化,设计了一套具有自适应四种充电模式且具备最大功率点跟踪的太阳能充电控制系统。该系统采用意法半导体公司的 STM32F103VC 作为控制系统的核心,监控整个系统的正常工作,具有浮充、防过充功能。硬件设计采用高精度的集成芯片,使得系统设计简易精确、集成度更高。测试结果表明,该控制器能实时跟踪最大功率点,正确监控蓄电池各充电模式,充电效率高,性能可靠。

关键词: 太阳能光伏组件;最大功率点跟踪;自适应充电模式;STM32F103VC;蓄电池

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)03-0023-04

Research of smart solar energy controller system based on STM32F103VC

Xu Shuzhen, Zhang Haoran, Xue Lili

(Department of Electronic Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: In order to improve the charging efficiency and adapt to change of weather conditions, a set of maximum peak power tracking techniques and four-stage charging strategy solar energy controller is designed using a STM32F103VC as a core processor. This controller is able to detect system's work stably. What's more, the hardware design of the system is smart, flexible and integrate facility. The experimental results show that this system does a good job of keeping the solar panel operating at its maximum power point, which can change the state of the system to reach a flexible application based on the reading weather conditions.

Key words: solar energy cell array; MPPT; adaptive charging strategy; STM32F103VC; storage battery

随着日本核泄漏事故的发生,化石能源的枯竭以及化石能源的开发利用所造成的生态破坏和环境污染等问题日趋严重,使开发与利用人类社会可持续发展、可再生的新能源成为人类急需解决的问题。太阳能作为一种新型的绿色可再生能源,具有储量大、经济、清洁环保等优点,因此,发展以太阳能为能源的发电系统具有重要意义。另外,微电子技术以及电力电子技术的迅猛发展为太阳能充电系统的硬件实现奠定了基础。意法半导体公司推出的 STM32 系列微控制器(MCU)是基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 bit 嵌入式处理器,它无需操作系统的支持,实时性能优异,功耗控制杰出。其优势之一在于快速采集、处理数据,具有两个以上高速 ADC,转换时间可达 $1 \mu\text{s}$,可同时对多个模拟量进行快速采集,这是一般的 MCU 所不具备的。本系统采用 STM32 系列的 STM32F103VC 作为太阳能充电控制系统的主控制器。相对于传统的太阳能充电控制电路,该充电系统硬件电路

设计简易且新颖,采用集成电流检测芯片 MAX4173 以及精密电流传感器电阻进行精确电流检测,使得整个控制系统更加准确、集成度更高、功能更完善。

1 太阳能电池的基本原理与特性

太阳能电池是把太阳能转换为电能的能量转换器,其工作原理^[1]即半导体 P-N 结的光生伏打效应。当光照射到太阳能电池表面时,吸收到具有一定能量的光子,使 P-N 结半导体内的电荷分布状态发生变化,电子-空穴对被分离,电子集中在 N 结一边,空穴集中在 P 结一边,P-N 结两边产生异性电荷的积累,从而产生光生电动势。若在 P-N 结的两侧引出电极,并接上负载,则在外电路中即有光生电流输出。太阳能光伏组件需将多个单体电池合理地通过串并联混合方式连接起来。太阳能电池的等效电路如图 1 所示。其中 I_{ph} 为太阳能电池产生的电流, D_j 为 P-N 结二极管, R_{sh} 、 R_s 分别为旁漏电阻和串联电阻。

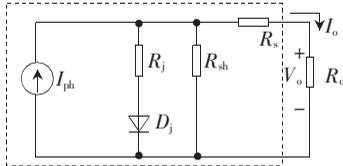


图1 太阳能电池等效电路图

在恒常温 25℃、不同光照条件下, 太阳能光伏组件的 P-V 曲线图如图 2(a) 所示, U-I 曲线图如图 2(b) 所示。分析图 2 可得: (1) 太阳能光伏组件在最大功率点工作电压之前(图中 13 V)输出电流基本恒定, 而之后随着工作电压的增加将大幅下降; (2) 太阳能光伏组件输出功率在最大功率点工作电压左侧随着工作电压的增加而增大, 相反, 在右侧随着工作电压的增加而减小。

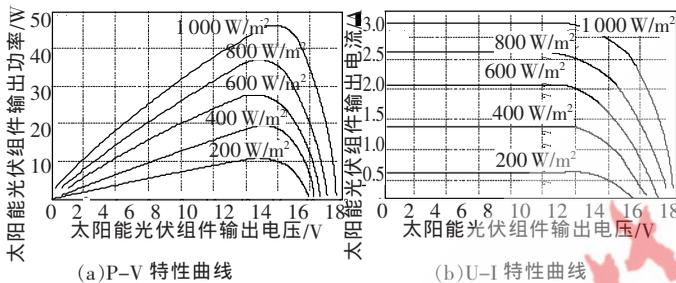


图2 在恒温 25℃ 不同光照的条件下太阳能光伏组件特性曲线图

因此, 本文采用最大功率点算法 (MPPT) 来保证光伏充电系统的能量利用效率。此外, 随着外界昼夜以及日照强度的变化, 整个充电系统应该工作在不同的模式下, 分别为夜晚、阴天多云、阳光充足的白天、蓄电池浮充四种自适应的模式。

2 系统硬件设计

本设计采用意法半导体公司的 STM32 系列 STM32F103VC 为整个太阳能电池充电系统的主控制器, 整个硬件的框架图如图 3 所示。当 Q2 导通时, D2 导通, R1 提升 Q1 栅极(G) 电压, 使得 Q1 导通; 同理, Q2 截止时, D2 截止, R1 拉低 Q1 栅极电压, 使得 Q1 截止。此外, Q1 至关重要和新颖之处在于 Q1 内嵌的二极管可以防止夜晚蓄电池倒充向太阳能光伏组件; Q2 为该电路真正的开关控制元件, Q2、D1、L1、C2 组成为 Buck DC/DC 转换器; Q3 与 Q2 组成半桥电路, 两者互补, 设计时需加入死区电压, 防止 Q2 与 Q3 的同时导通而导致短路。简言之, 运用两路 PWM 波控制 Q1~Q3 场效应管的关断, PWM1 通过驱动芯片 IR2104 (HO、LO) 端输出两路互补的 PWM 波, PWM2 通过 IR2104 的 SD 端控制输出波的关断。此外, STM32F103VC 内嵌 3 个 12 bit 的模数转换器 (ADC0、ADC1、ADC2), 每个 ADC 共用多达 16 个外部通道, 可以实现单次或扫描转换。在扫描模式下, 自动进行在选定的一组模拟输入上的转换。本次设计通过 STM32 内 ADC1 的 3 个采样通道进行 A/D 采样, 应用 ADC10、ADC11 采集太阳能光伏组件输出的电压和电流 (U_{PV} , I_{PV}), ADC12 采集铅酸蓄电池的电压。

《微型机与应用》2012 年第 31 卷第 3 期

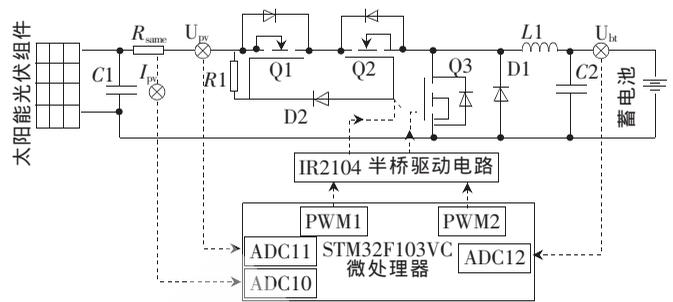
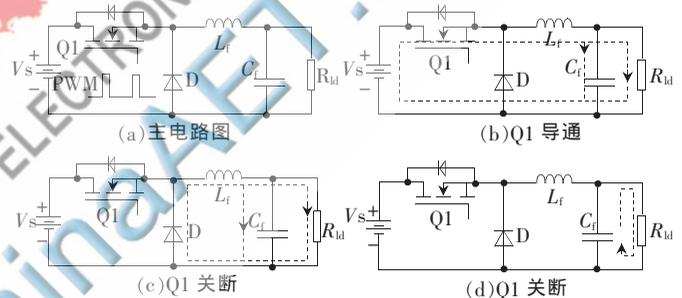


图3 太阳能充电系统原理框图

2.1 Buck DC/DC 降压型电路

由于太阳能电池的输出功率深受外界天气和气候的影响, 因此引入 PWM DC/DC 转换器。PWM DC/DC 转换器是整个充电系统的主要组成部分和直流电能转换与控制中心, 用来将输入的直流电压转换成符合蓄电池充电需要的直流电压。

本设计采购的太阳能光伏组件为 18 V/20 W 规格, 铅酸蓄电池采用的是 12 V 规格的。因此, 选用 Buck 降压式 DC/DC 转换器是最为合适的。该电路结构简单, 主要包括 Q1、D、L_f、C_f 4 种元件。电感电流连续的 Buck 降压式 DC/DC 转换电路工作原理^[2] 如图 4 所示。

图4 电感电流 I_L 不同开关模式时的等效电路图

开关管 Q 导通期间电流 i_L 的增量等于 $\Delta i_{L,+}$ 等于开关管 Q 关断期间减小量 $\Delta i_{L,-}$, 从而得出 buck 转换电路的输出电压与输入电压关系式:

$$V_o/V_s = D \quad (1)$$

由此可知, 输出电压与输入电压比为 PWM 波的占空比 D , 只要适当调整占空比, 就可调解太阳能充电系统的电压比。这在后续的软件设计中至关重要。

2.2 基于 MAX4173 电流采样电路

一直以来电源电流的高效测量是工程实际必须首先解决的关键问题, 对于流经电路的电源电流检测, 一般采用基于串联电阻的电流检测方法, 即在电路的电源引脚与相应的输入通道之间插入一阻值已知的采样电阻, 然后运用电压检测出采样电阻两端的电压。以往电流检测电路是基于分立或半分立元件设计, 需要采用精密运放和精密电阻电容, 比较繁琐。美国美信公司 (Maxim) 生产的精密高端电流检测芯片已经形成系列化产品, MAX4173 是其中最具代表性的, 它是一款低成本、高精度、高放大倍数的电流检测芯片, 广泛地应用于笔

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

记本、手机、蓄电池等需要电流检测系统电路中。本设计采用 MAX4173 来检测太阳能光伏组件的输出电流。

采用 MAX4173^[3]只需外加一个采样电阻和一个滤波电容,便可将太阳能光伏组件的输出电流转换成电压,实现高速高精度的实时测量。图 3 中的 R_{sense} 就是应用此方法来检测光伏组件的输出电流 I_{pw} ,如图 5 所示。其输出的 A/D 采样电压为:

$$V_{\text{OUT}} = \text{GAIN} \times I_{\text{pw}} \times R_{\text{sense}} \quad (10)$$

2.3 基于 IR2104 的半桥驱动电路

IR2104 是美国 IR 公司生产的新一代驱动集成芯片,其内部集成了互相独立的控制驱动输出电路,可直接驱动两个功率半导体器件 MOSFET 或 IGBT,动态响应快、驱动能力强、工作频率高,具有多种保护功能。图 3 中的驱动电路模块就是驱动 Q2、Q3 半桥电路的,于是采用 IR2104 半桥驱动电路设计,具体电路图如图 6 所示,电路原理可参考文献[4]。

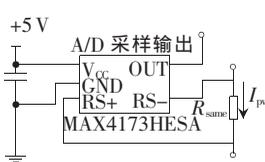


图 5 基于 MAX4173 的电流采样电路

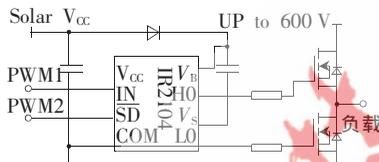


图 6 基于 IR2104 的驱动电路

3 系统软件设计

3.1 STM32F103 系列微处理器

STM32F103 系列微处理器^[5]是首款基于 ARMv7-M 体系结构的 32 bit 标准 RISC 处理器,最高频率可达 72 MHz,具有高效的代码效率,内置高达 128 KB 的 Flash 存储器和 20 KB 的 SRAM,具有丰富快速 I/O 端口多达 51 个,每个端口都可以由软件配置成(推挽或开漏)输出(带或不带)上拉或下拉输入功能,2~3 个 12 bit ADC 多达 16 个外部通道,转换时间可达 1 μs,最高工作频率可达 14 MHz,多达 7 个 12 bit 的定时器,因而该微控制器能很好地满足整个充电系统软件设计要求,特别是 ADC 的多通道同时转换以及高转换速率,可以实时采集太阳能光伏组件电压、电流以及蓄电池电压,控制功率管的关断以及调节 PWM 波占空比。

3.2 MPPT 控制策略

针对太阳能电池板的特性,采用电压寻优^[6]的最大功率点跟踪 MPPT (Maximum Peak Power Tracking) 算法,实现对最大功率点的跟踪。当太阳能组件工作在最大功率点时,处于该点的工作电压与开路电压存在线性比例关系,因而可在软件上将光伏阵列最大功率点的工作电压设置为 KU_{oc} (K 一般取值为 0.76),该点即为最大功率点,控制流程如图 7 所示。若采集工作电压 $U(k) > KU_{oc}$,

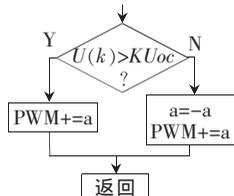


图 7 MPPT 控制算法流程图

则说明此时功率在最大功率点右侧,需增加 PWM 波的占空比,提高充电电压;相反,则减小 PWM 波占空比。

3.3 系统软件实现

本系统软件设计主要实现了自适应四种充电模式,分别是夜晚模式、阴天多云模式、阳光充足的白天模式、蓄电池浮充模式。另外,MPPT 控制算法的实现是包含在白天模式下的实现最大功率点的跟踪,总程序框图如图 8 所示。



图 8 为太阳能充电系统软件流程图

4 实验结果讨论

本实验采用 20 W/18 V 的单晶光伏阵列组件,用阻性负载替换充电电路中的蓄电池。在上午 8:00 测得太阳能阵列输出电压 12 V,负载两端输出电压稳定在 7.2 V,此时,软件处于阳光充足的白天模式,设置 PWM 波占空比为 60%,现场调试所测的实验波形如图 9 所示。此外,在上午 10:00~10:45 期间,检测在阻性负载下太阳能组件的输出电压和电流(每点间隔 5 min),并计算输出功率,如表 1 所示。



图 9 阳光充足的白天模式下的实验波形

表 1 太阳能光伏组件的输出功率

负载(33.3 Ω)	太阳能光伏组件的输出功率/W										平均值/W
带 MPPT	19.40	19.22	19.61	19.71	18.99	19.70	19.78	20.05	20.08	19.62	
不带 MPPT	17.66	17.46	17.64	17.85	17.70	17.82	17.76	17.75	17.81	17.71	

从表 1 中可以分析得到,加入 MPPT 控制之后,太阳能光伏组件的输出功率得以提高。

本设计已在实验中获得显著的效果,能时刻跟踪最大功率点(MPPT),使得太阳能充电系统高效率的工作。在绿色能源方面具有一定的社会效益和广泛的推广价值。

参考文献

- [1] 王长贵,王斯成.太阳能光伏发电实用技术[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 刘凤君.现代高频开关电源技术及应用[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [3] 郭朝有,罗建明,陈航波.基于集成电流检测芯片的电源电流测量装置[J].机电工程技术,2009(10):75-76.
- [4] 陈忠仁,余艳,孙云莲.IR2304 半桥驱动集成电路的功能原理及应用[J].国外电子元器件,2005(1):44-47.

[5] 孙书鹰,陈志佳,寇超.新一代嵌入式微处理 STM32F103 开发与应用[J].微计算机应用,2010(12):59-63.

[6] LEE Dong Yun, NOH Hyeong Ju, HYUN Dong Seok, et al. An improved MPPT converter using current compensation method for small scaled PV applications [C]. IEEE APEC' 03, 2003:540-545.

(收稿日期:2011-09-08)

作者简介:

徐淑珍,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统与应用、太阳能光伏系统。

张浩然,男,1972年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:现代电子技术。

薛莉莉,女,1988年生,本科,主要研究方向:智能控制技术。