

采用超级电容的太阳能与市电切换系统的设计

胡治伟, 郭震宁, 刘祖隆, 林建南

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 设计一种采用超级电容作为能量的缓冲和短时储能, 当外界阳光辐射能不足或超级电容暂存能量不足时自动切换到市电供电的即充即用系统. 系统采用最大功率点跟踪控制方法, 利用单片机控制开关管的占空比来实现光伏阵列最大功率输出, 并用干扰观测法实现太阳能电池的最大功率跟踪. 实验结果表明: 该系统能有效地利用太阳能电池, 提高系统效率和降低成本, 白天基本不会切换到市电供电, 符合设计要求.

**关键词:** 即充即用系统; 超级电容; 太阳能; 最大功率点跟踪

**中图分类号:** TM 914.4                      **文献标志码:** A

随着现代城市的发展, 越来越多诸如地下车库等白天需要照明的场所将出现, 目前这些场所的照明通常是通过市电供电的. 这种供电方式在白天外界太阳辐射较为充足的情况下是很浪费的. 虽然太阳能应用越来越广泛, 但是传统独立式太阳能系统使用了铅酸蓄电池, 其成本占光伏系统造价的 20%~25%<sup>[1]</sup>, 使用寿命短, 并且对环境有一定的污染, 这与国家提倡环保、节能减排的理念相违背. 因此, 本文利用超级电容充电条件不受限制、循环寿命长的优点<sup>[2]</sup>, 结合太阳能电池最大功率点跟踪 (MPPT) 控制, 设计基于超级电容的太阳能与市电切换的即充即用系统.

1 系统设计和原理

由于去掉了蓄电池, 为保证在阴雨天或晚上系统的正常工作, 同时在不加大超级电容容量即不增加成本的情况下, 必须将原有的市电路径经开关电源 AC/DC 变换后为 LED 负载供电. 系统设计框图如图 1 所示.

从图 1 可知: 单片机采样光伏阵列的输出电流和电压, 通过自适应 PI 算法控制栅极驱动 1 的开关状态, 以最大功率给超级电容充电. 单片机实时检测超级电容的放电电流, 若该电流 ( $I$ ) 小于设定值时, 即表明当前太阳辐射不足且前期暂存于超级电容的能量也不足, 单片机输出信号使栅极驱动 2 导通 PMOS 管, 使市电经开关电源 AC/DC 变换后为 LED 负载供电. 由于 MOS 管是高速器件, 比传统机械式继电器快很多, 其导通时间达 ns 级, 不影响负载灯具的视觉差异<sup>[3]</sup>. 若该电流 ( $I$ ) 大于设定值时, 表明当前太阳辐射充足或前期暂存于超级电容的能量也充足, LED 负载由太阳能单独供电, 栅极驱动 2 使 PMOS 管关断, 市电不再供电, 即实现了即充即用.

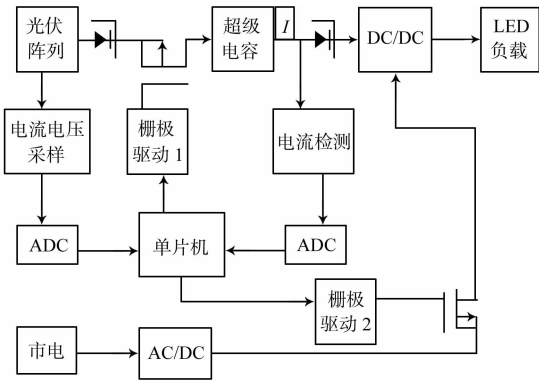


图 1 系统结构框图

Fig. 1 System structure diagram

2 系统结构分析

2.1 最大功率点跟踪

为了有效利用太阳能电池,提高系统效率和降低成本,系统采用 MPPT 控制方法. MPPT 程序流程图,如图 2 所示. 利用单片机控制开关管的占空比来实现光伏阵列最大功率输出<sup>[4-5]</sup>,超级电容的特性极好的吸收光伏阵列输出的能量.

光伏电池的输出特性具有非线性<sup>[6]</sup>. 目前太阳能电池最大功率跟踪方法有扰动观察法(爬山法)、增量电导法、恒定电压法与短路电流法<sup>[7-8]</sup>. 为简化软件设计,本系统采用干扰观测法来实现太阳能电池的最大功率跟踪. 即通过一定的间隔时间分别检测太阳能电池两端的输出电压、输出电流,计算当前功率  $P(i)$ ,并与前一时刻的功率  $P(i-1)$  相比较,根据其差值  $\Delta P$  大小适当调整占空比  $D(i)$ ,即

$$D(i) = D(i-1) \pm K\Delta P.$$

(1)

式(1)中: $K\Delta P$  为占空比增量,当  $P(i) > P(i-1)$  时,保持相同的扰动方向,  $D(i) = D(i-1) + K\Delta P$  占空比增加,加大开关管导通时间;当  $P(i) < P(i-1)$  时,朝相反的方向扰动,  $D(i) = D(i-1) - K\Delta P$  减小占空比,减少开关导通时间;当  $\Delta P = 0$  时,即  $P(i) = P(i-1)$  时,当前的功率与前一时刻的输出功率相等. 显然,这是最大功率点的位置,故保持占空比不变<sup>[9-11]</sup>.

2.2 栅极驱动电路

图 3 为栅极驱动电路图. 图 1 中的栅极驱动 1,2 都是由图 3 的电路来驱动 PMOS 管. 栅极驱动 1 中 J2 的脚 2,1 分别接太阳能电池的正、负输出端;J1 的脚 1,2 分别接超级电容器组的正、负级,脚 3 由单片机的 I/O 口管脚控制. 栅极驱动 2 中 J2 的脚 2,1 接 DC/DC 电路的正、负端;J1 的脚 1,2 接市电经开关电源 AC/DC 变换后的正、负端,脚 3 由单片机的另一 I/O 口管脚控制.

2.3 超级电容的选取

DC/DC 电路的最小输入电压为 4.5 V,超级电容电压变化范围为 4.5~20 V. 超级电容所能放出的最大能量  $W_c$  为

$$W_c = \frac{1}{2}C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2) = UI t.$$

(2)

由于目前超级电容价格比较昂贵,所以使用较大的超级电容,系统造价压力较大<sup>[12-13]</sup>;如果选用较小的超级电容,超级电容暂存的电量较小,外界光辐射能变化较大的情况下市电会频繁切入供电. 本系统给一个 8 W 的 LED 灯具供电,选用 20 V,150 F 的超级电容组合,在超级电容充满电即使无光照环境下由式(2)计算的放电时间  $t = 59.3$  min,大约 1 h 的供电时间保证了系统不会处于市电频繁切换,能满足白天各种光照环境下市电不切入供电的要求.

3 实验结果与数据分析

在  $t_0 \sim t_4$  时刻,分不同光照环境不同测试阶段进行测试,结果如表 1 所示. 表 1 中:太阳能电池的输出电压  $U_1$ ,输出电流  $I_1$ ;超级电容器组的电压  $U_2$ ,电流  $I_2$ ;市电经 AC-DC 开关电源变换后输出电压  $U_3$ ,电流  $I_3$ ;负载灯具电流值  $I_4$ . 电流输入为正,输出为负.

由表 1 可知: $t_0$  时刻,光照条件较好,太阳能板为系统供电,且给超级电容充电储能,超级电容端电压升高,系统经恒流模块后负载灯具获得 0.7 A 的电流,系统正常工作;对比  $t_1, t_2, t_3$  时刻,光照减弱,超级电容开始供电直到放完,市电开始切入系统提供补偿,使负载灯具基本保持恒定电流,市电切入时,灯照效果并未发生明显变化; $t_4$  时刻,光照非常弱,太阳能输出能量基本为 0,超级电容在之前充满的情况下,系统由超级电容供电,负载灯具正常工作.

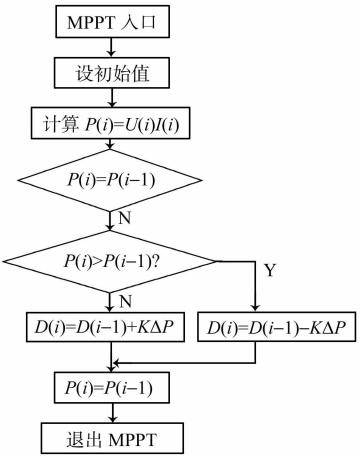


图 2 MPPT 程序流程图  
Fig. 2 MPPT program flowchat

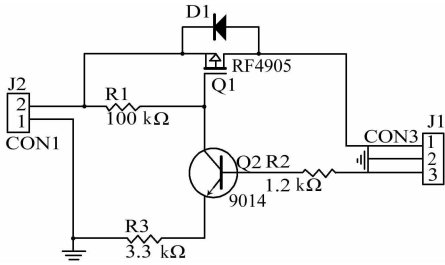


图 3 栅极驱动电路图  
Fig. 3 Gate drive circuit

表 1 系统测试表  
Tab. 1 System test table

$t$	$I_1/\text{A}$	$U_1/\text{V}$	$I_2/\text{A}$	$U_2/\text{V}$	$I_3/\text{A}$	$U_3/\text{V}$	$I_4/\text{A}$
$t_0$	1.62	18.50	0.87	18.41	0	16	0.70
$t_1$	0.35	17.47	-0.38	17.34	0	16	0.71
$t_2$	0.18	16.62	0	5.35	-0.45	16	0.71
$t_3$	0.01	15.50	0	5.43	-0.64	16	0.70
$t_4$	0.01	15.52	-0.55	18.21	0	16	0.70

4 结束语

设计基于超级电容的太阳能与市电切换系统,不仅降低了系统成本,而且提高了系统的可靠性. 经过对系统实物的测试观察,实验结果基本符合设计要求,白天基本不会切换到市电供电,有效地降低了电网供电压力.

参考文献:

[1] 杨子龙,王环,彭燕昌,等. 基于超级电容器储能的太阳能路灯系统设计[J]. 可再生能源,2009,27(2):59-61.

[2] 黄小贤,王亚军,谢晶,等. 离网型超级电容储能的太阳能照明系统的设计[J]. 新能源及工艺,2009(4):31-36.

[3] 刘祖隆,郭震宁,胡治伟,等. 调光方式对 LED 色温和光通量的影响[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2013,34(1):14-17.

[4] 张超,何湘宁,赵德安. 光伏发电系统变步长 MPPT 控制策略研究[J]. 电力电子技术,2009,43(10):47-49.

[5] 廖志凌,阮新波. 独立光伏发电系统能量管理控制策略[J]. 中国电机工程学报,2009,29(21):46-52.

[6] 时剑,单春贤,童红,等. MCU 控制的太阳能电池最大功率跟踪控制器[J]. 电力电子技术,2008,42(11):45-46.

[7] 徐鹏威,刘飞,刘邦银,等. 几种光伏系统 MPPT 方法的分析比较及改进[J]. 电力电子技术,2007,41(5):3-5.

[8] 韦和平. 自适应 PI 控制的太阳能 LED 照明系统 PWM 恒流控制器[J]. 数控技术,2009(11):116-118.

[9] LIU K H,LEE F C. Topological constraints on basic PWM converters[C]//19th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Kyoto:IEEE,1988:164-172.

[10] 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):7-10.

[11] 余发平,张兴,王国华. 基于自适应 PI 控制器的太阳能 LED 照明系统 PWM 恒流控制器[J]. 太阳能学报应用,2006,27(2):132-135.

[12] 苏全振,蔡丹,李文生. 超级电容器太阳能草坪灯的设计与实现[J]. 电子元器件应用,2008,10(11):36-38.

[13] 石新春,张玉平,陈雷. 一种基于超级电容器储能的光伏控制器的实现[J]. 现代电子技术,2008(21):133-137.

Design the Solar Energy and Electricity Switching System  
Used the Uhracapacitor

HU Zhi-wei, GUO Zhen-ning, LIU Zu-long, LIN Jian-nan

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Adopting the ultracapacitors as an energy buffer and short-term storage, the charge-and-paly system switches to electricity supply automatically when the sun radiation or ultracapacitors temporary energy shortage. The system uses the maximum power point tracking control method, using single chip microcomputer control switch tube duty ratios for photovoltaic array maximum power output, and disturbance observer method to achieve maximum power point tracking for solar cells. The experimental results show that using the system can effectively utilize solar energy cell, improve system efficiency and reduce cost. Basically, it will not switch to the electricity supply during the day time, and comply with the design requirements.

**Keywords:** chare-and-play system; uhracapacitor; solar energy; maximum power point tracking