

最大功率点追踪 (MPPT) 技术在LED太阳能路灯照明中

汪勇, 张金明

摘要: 在传统的太阳能路灯系统中, 通常经过防电流倒灌二极管将太阳能板与蓄电池直接相连, 这将导致太阳能板的利用效率低, 同时容易使蓄电池长期处于欠充满状态, 造成其使用寿命的缩减。本文在研究太阳电池电路模型的基础上, 提出了一种数模混合的最大功率点追踪 (Maxim Power Point Tracking, 简称MPPT) 策略, 它可最大程度地利用太阳能, 同时对固态光源LED的驱动电路做了研究, 最后用实验验证了该方案的高效性和实用性。

1 引言

随着固态光源的发展, LED的应用已不再仅仅局限于指示灯领域, 它凭借寿命长, 光效高等优点在现代照明体系中日益凸现优越性。伴随着光伏技术的发展, 大功率高亮度LED更以其高效、节能而进一步引起了社会各界对该光源的广泛关注。但目前, LED太阳能路灯还存在因灯驱动电路导致LED光衰现象及太阳能利用率不高等不足。业界普遍认为LED的恒流驱动对抑制光衰效果显著。

传统的太阳能路灯充电系统中, 通常经过防电流倒灌二极管将太阳能板与蓄电池直接相连, 这将导致太阳能板的工作点偏移最大功率点 (Maxim Power Point, 简称MPP), 而未有效利用太阳能板的可输出功率; 同时容易使蓄电池因供电不足而长期处于欠充满状态, 造成寿命缩减。本文在研究太阳电池电路模型的基础上, 分析了恒压追踪^[1]、扰动观察^[2,3]等最大功率追踪 (MPP Tracking, 即MPPT) 法, 提出了一种数模混合的MPPT策略, 它可使太阳电池的输出稳定在MPP附近, 从而有效利用了太阳能板可输出的最大功率。

2 太阳电池的电路模型

图1示出太阳电池的电路模型。通常, 材料内部的等效并联电阻 R_{sh} 值大, 而材料内部的等效串联电阻 R_s 值

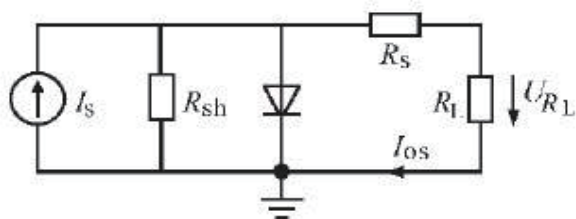
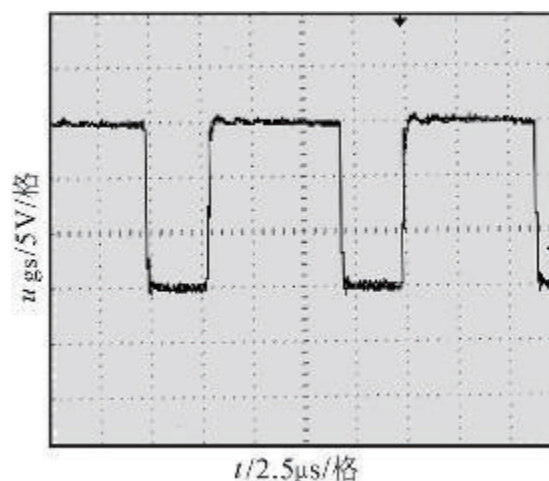


图1 太阳电池的电路模型

很小。

图中 I_s ---由光生伏特效应产生的电流
输出负载 R_L 上的电压电流关系为:



式中 q, k ---电子电荷量及玻耳兹曼常数

A ---太阳能板的理想因素, $A=1\sim 5$

T ---太阳能板的温度

I_{os} ---太阳能板的逆向饱和电流, 与 T 有关

由上述关于太阳能板电路模型的分析可见, 太阳电池的输出是一个随光照条件及温度等因素变化的复杂变量。

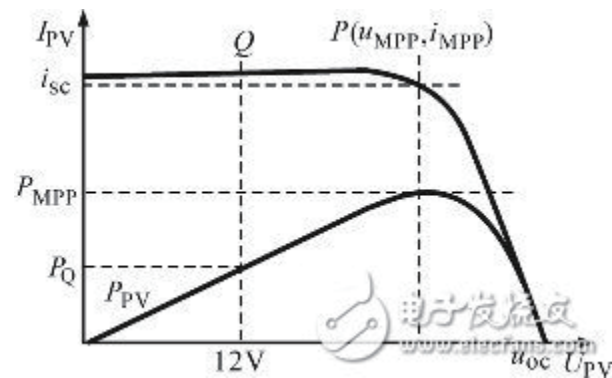


图2 太阳能板的典型输出特性曲线

图 2 示出太阳电池在标准测试条件下，即光照 $1\text{kW}/\text{m}^2$ ， $T=25^\circ\text{C}$ 时的典型输出特性。

太阳能板的输出开路电压 u_{oc} 和输出短路电流 i_{sc} 的值由生产厂给出。

3 电路工作原理

目前，市场上绝大部分太阳能路灯都是通过防电流倒灌二极管将蓄电池与太阳能板直接相连以充电的。图 3 示出传统的充电电路。

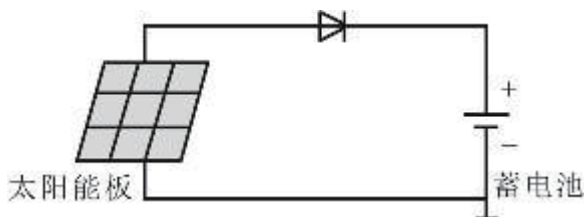


图 3 传统的充电电路

这种做法的弊端是它将使太阳能板的输出电压 U_{arr} 被蓄电池箝位在其电动势 12V 左右，也即其工作点被限制在图 2 的 Q 点，这将使太阳能板的输出功率 P_{arr} 大幅度降低。

在太阳能板与蓄电池组中加入 DC/DC 电路，通过对其进行控制，调节 U_{arr} ，从而使其稳定在图 2 的 P 点，以便能有效利用太阳能板的可输出功率。在标准测试条件下，太阳电池的最佳工作电压与其开路电压之间存在一个特定的比例关系，基于该思想产生了恒压跟踪 MPPT 策略，但在非标准条件下，其实用性较差。利用扰动开关管的工作占空比 D ，直至输出功率 P_{arr} 达到最大的扰动观察法，在寻找 MPP 上更具通用性。

对于 Buck 电路，存在 $U_{arr}D=U_{bat}$ 关系，所以：

$$\begin{cases} dU_{arr}/dD = -U_{bat}/D^2 \\ dP_{arr}/dD = (dP_{arr}/dU_{arr})(dU_{arr}/dD) \end{cases} \quad (2)$$

式中 U_{bat} --- 蓄电池电压

式 (1) 代入得：

$$dP_{arr}/dD = -(dP_{arr}/dU_{arr})(U_{bat}/D^2) \quad (3)$$

$$\text{所以：} \frac{d^2P_{arr}}{dD^2} = \frac{2U_{bat}}{D^3} \frac{dP_{arr}}{dU_{arr}} - \frac{U_{bat}}{D^2} \frac{d^2P_{arr}}{dD dU_{arr}} \quad (4)$$

由图 2 可知，在 MPP 时， $dP_{arr}/dU_{arr}=0$ ($d^2P_{arr}/dU_{arr}^2 < 0$)，因此可由式 (3) 和式 (4) 化简为：

$$\left. \frac{dP_{arr}}{dD} \right|_{MPP} = 0, \left. \frac{d^2P_{arr}}{dD^2} \right|_{MPP} < 0$$

因此，输出功率和 D 的关系与图 2 中的 P 和 U 关系相似。从而可通过扰动 D ，实现输出功率的变化，并寻找到 MPP。由于输出电压即蓄电池的充电电压短期内变化不大，在进行 D 扰动寻找 MPP 期间可近似认为恒定，因此输出功率的大小直接反应在输出电流即蓄电池的充电电流上，通过采样该充电电流值，从而判断出输出功率随 D 扰动的变化情况，以便进行 MPPT。为了提高控制精度和驱动能力，单片机与开关管间加入了 D/A 转换和 PWM 芯片，图 4 示出其主电路拓扑。

4 最大功率点追踪 (MPPT)

电路寻找 MPP 的工作原理可简述为：通过不断改变开关管驱动信号的 D ，直至蓄电池的充电电流达到最大，此刻即可认为太阳电池的输出功率达到最大，实现太阳电池的最大功率点追踪。在寻找 MPP 过程中，根据 D 的扰动情况，输出功率有 3 类模式，对应 9 种大小关系。

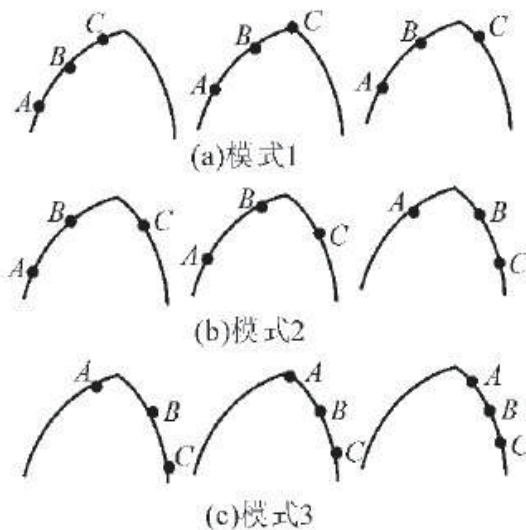


图 5 示出输出功率随 D 扰动的变化情况

根据上述模式变化，扰动开关管的 D ，当检测到当前输出功率与 D 的大小关系为模式 2 时，即可认为已搜寻到 MPP，同时将以该 D 进行工作。

考虑到温度及光照条件的改变，太阳电池的输出参数不断变化，同时导致 MPP 的漂移，单片机在经过设定时间后，将再一次做 D 的扰动，搜寻新的 MPP，以保证太阳电池的最大功率输出，从而有效利用太阳能。

根据上述分析，编制了相关程序。图 6 示出其设计流程。

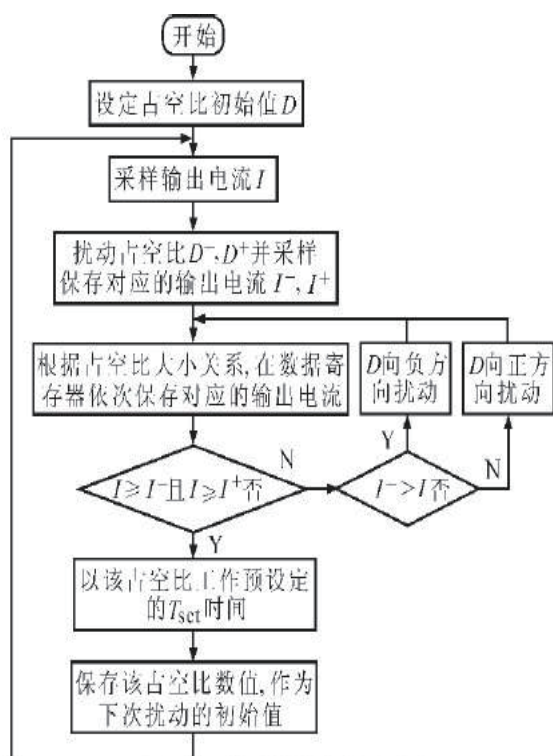


图6 软件设计流程图

通过实验发现, 在晴日里不同时刻的MPP处, 电路工作的D均变化不大。因此, 为了避免搜寻过程中造成寻找时间太久及带来的能量浪费, 下一时刻进行MPP追踪的搜寻起点设定为上一次MPP时的D值。

5 MPPT 策略实验结果

主电路的工作频率为100kHz, 当搜寻到输出电流达到最大时, 即认为该点为电路工作的MPP, 图7示出此刻的驱动信号 u_{gs} 实验波形。可见, 此时开关管的 $D \approx 0.65$, 这与理论分析结果很吻合。表1给出由上述分析得到的传统电路与MPPT电路的对比性试验结果。

由表1可见, 传统太阳能充电电路中, 15W的 P_{arr}

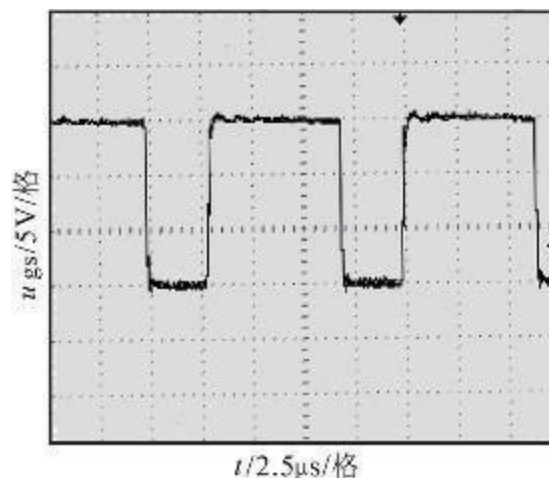


图7 输出最大功率时的 u_{gs} 波形

表1 传统充电电路与MPPT充电电路的实验结果

参数	测量时刻	U_{oc} /V	I_{sc} /A	U_{arr} /V	I_{arr} /A	P_{arr} /W
传统充电(太阳能电池→二极管→蓄电池)电路	09:30	19.95	0.92	13.33	0.77	10.26
	10:00	19.76	0.91	13.39	0.71	9.51
	10:35	19.43	0.92	13.47	0.71	9.56
	11:20	19.16	0.90	13.51	0.68	9.19
具有MPPT功能的DC/DC电路	09:30	19.95	0.92	18.54	0.78	14.46
	10:00	19.76	0.91	18.46	0.76	14.02
	10:35	19.43	0.92	18.29	0.76	13.90
	11:20	19.16	0.90	18.20	0.74	13.51

最大值出现在早上温度不高、光照比较强的时刻, 但此时的利用率仅仅约为68.4%; 而采用带有MPPT功能的DC变换电路后, 输出功率明显上升。

6 结论

LED灯的恒流驱动, 对抑止光衰现象起到了很有效的作用; 通过数模混和的方法, 避免了单纯数字控制所带来的控制精度不高等问题, 且单片机的智能控制, 使得能够较快的寻找到最大功率点, 提高了太阳能板的利用率及整个路灯照明系统的性能价格比。