

太阳能逆变器最大功率点跟踪算法的研究

朱丛, 张剑贤

(西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘要:文中在分析研究了三点比较法和可调步长的登山法最大功率点跟踪算法基础上,提出了由两者优点相结合的三点登山法。在太阳能光伏转换系统中,通过具体实验比较了三点比较法和可调步长的登山法,验证了三点登山法的可行性及优越性。

关键词:最大功率点跟踪;三点比较法;登山法

Research on the Solar Inverter Maximum Power Point Tracking Algorithm

Zhu Cong,Zhang Jianxian

(Xidian University, Xi'an Shanxi 710071,China)

Abstract:This paper analyzes the three-point comparing method and the adjustable-step climbing method on maximum power point tracking (MPPT). Then a new method named three-point climbing way is proposed, which combines the advantages of those two methods. In photovoltaic conversion systems, some experiments are established to compare the three-point comparing method and the adjustable-step climbing method. The results show that our method is feasible and advanced.

Keywords:maximum power point tracking; three-point comparing method; climbing method

0 引言

在光伏转换系统中,最大功率点跟踪技术是非常重要的研究方向,为了能够在相同条件下提高光伏发电效率,人们提出了各种最大功率点跟踪(MPPT)的方法,比如登山法、电导增量法、三点比较法、恒定电压法等,这些MPPT方法跟踪原理各不相同,跟踪效果也各有差异,因此就决定了适用场合各不相同。针对目前各种MPPT算法,已有很多文献对其中部分算法的跟踪效果进行了实验比较或仿真研究,但只是局限于利用模拟软件进行仿真,本文对登山法与三点比较法进行了

分析比较,结合两者的优点提出了三点登山法,并设计独立型实验系统对三种算法进行了比较和测试验证。

1 最大功率点跟踪算法

最大功率点跟踪算法是太阳能光伏转换系统的重要部分,算法效率的高低直接影响着光伏转换系统的效率,因此对其进行分析与研究是非常必要的。

光伏电池阵列输出特性具有非线性特征,其输出电压和功率受光照强度、环境温度和负载情况影响。在一定的光照强度和环境温度下,光伏电

收稿日期:2008-11-04

池可以有不同的输出电压,但是只有在某一输出电压值时,光伏电池的输出功率才能达到最大值,这时光伏电池的工作点就达到了输出功率曲线的最高点,称之为最大功率点。因此,在光伏发电系统中,要提高系统的整体效率,一个重要的途径就是实时调整光伏电池的工作点,使之始终工作在最大功率点附近,这一过程就称之为最大功率点跟踪(MPPT)。

MPPT的工作原理为:在一个规定的周期内,微处理器定期地主动调节PWM的占空比 D ,改变太阳能电池的输出电流,从而引起太阳能电池的输出电压变化,检测太阳能电池输出电压及输出电流,计算出太阳能电池阵列的输出功率,然后根据最大功率点跟踪策略寻找最大功率点的位置。

1.1 三点比较法

三点比较法是指通过不断调整电压步长 ΔU 对最大功率点进行判断和控制,最后利用阈值 ΔU 判断是否达到最优点。具体是在光伏电池 $P-U$ 特性曲线峰值点附近从左到右依次取A、B、C三个点的电压和功率,然后用三个点的功率比较结果来调整PWM,从而实现快速跟踪。该方法有以下四个特点:

(1)算法本身就能够准确快速地跟踪到最大功率点;

(2)避免了在最大功率点附近因扰动造成的功率损失,但是在三点比较过程中,由于每次比较均需要先采集三个点的电压和功率,而在采集期间系统并没有工作在最大功率点,造成了功率的损失,因此在找到了最大功率点后,应该间隔比较长的时间再进行三点比较;

(3)算法的复杂性决定了需要处理大量数据,对硬件系统的性能提出了较高要求;

(4)当光强发生突变时,不能盲目移动工作点,需待日照量稳定后再追踪。

由于三点比较法采用软件控制,算法中把“ $P_a \geq P_b$ 且 $P_b \leq P_c$ ”这种情况(即天空有云遮挡)归

入了系统已达到最大功率点的情况,两者做同样处理:不跟随日照量的快速改变而盲目调整工作电压,避免了系统过快的振荡。此种处理会造成一小部分功率损失,但相对于换来整个系统稳定运转是值得的:假设原来系统处于最大工作电压 U_{max1} 上,检测到的相应电流为 I_{max1} ,日照突变后应达到的最大工作电压为 U_{max2} ,相应电流为 I_{max2} ,则系统不移动工作点造成的功率损失为 $P=P_{max2}-P_{max1}=U_{max2}I_{max2}-U_{max1}I_{max1}$,由于太阳很快恢复到原来的日照量,没改动的 U_{max1} 又成为最大工作电压,系统恢复原先稳定状态。这个过程以不变应万变,避免了登山法对 P_{max} 的误判以及来回振荡现象。

1.2 可调步长的登山法

登山法是目前实现MPPT最常用的方法之一。其原理是每隔一定的时间增加或减少电压,并观测其后的功率变化方向,来决定下一步的控制信号。在本系统的硬件环境下,通过实验验证,在登山法设定步长相同的情况下,最大功率点所工作的占空比越大,那么功率的波动幅度就会越大,即功率的损失越大。因此,步长值的设定应该随着占空比的增大而减小,这样就会使在最大功率点附近的功率损耗达到最低,从而实现了可调步长的登山算法。

可调步长登山法的优点如下:

(1)跟踪方法简单,实现容易;

(2)可调步长的登山法虽然也是在光伏阵列最大功率点附近振荡运行,但是功率的损失已经尽可能地减小;

(3)对传感器精度要求不高。

缺点如下:

(1)步长对跟踪精度和响应速度无法兼顾,步长大,跟踪速度快,但是在最大功率点附近功率输出摆动大;步长小则跟踪速度慢,但是输出能更好地靠近最大功率点;

(2)在特定情况下会出现判断错误。

1.3 三点登山法

通过以上对三点比较法与登山法的原理分析,本文提出了采用将三点比较法与可调步长的登山法相结合的方式进行最大功率点跟踪,此算法称为三点登山法。此结合方法有如下特点:

(1)当检测到功率为零时,能自动搜索功率不为零的最大功率点;

(2)三点比较法能快速地找到最大功率点的大体位置,相当于粗调;

(3)登山法可以实时地进行最大功率点的跟踪,相当于微调;

(4)在功率变化过快的位置,将步长缩小;在功率变化过慢的位置,将步长放大,这种随功率变化而自动改变的步长更能准确地进行最大功率点的跟踪,并且能够在天气突然变化的情况下自动找回最大功率点,从而保证对最大功率点的跟踪不会丢失。

(5)当蓄电池的充电电压过大时,会缩短蓄电池的寿命,因此利用软件编程使蓄电池在此时转入到浮充阶段,通过AD采样蓄电池两端电压,然后将电压与所设定的上限电压值比较,如果超过上限值,则通过改变BUCK充电电路的PWM占空比来减小蓄电池电压。

2 算法验证与比较

2.1 硬件电路设计

充电电路是利用太阳能对蓄电池进行充电,而控制电路是通过进行最大功率点跟踪来提高光能转化为电能的效率。控制电路采用英飞凌8位微控制器XC888芯片,对太阳能电池板的电压与电流及蓄电池的电压进行采集,并利用最大功率点跟踪算法调节PWM占空比,控制BUCK(降压)电路,从而完成对蓄电池的充电管理。其功能框图如图1所示。

(1)控制电路设计

为了能够给充电控制电路的各个芯片提供

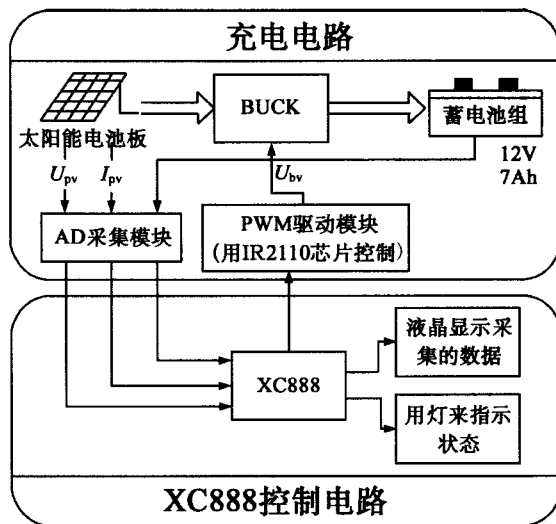


图1 充电控制电路设计框图

电压,在控制电路上先用LM2596将输入的24V电压转换成16V电压为MOS管的驱动芯片IR2110供电,用7805芯片将16V电压转换成5V电压,为XC888与液晶供电,再用SL7660产生负电压供运算放大芯片OP07使用。为了提高AD采样的精度,电路中采用REF02芯片为XC888提供精准的4.096V基准电压。

XC888芯片具有高性能的XC800内核,与标准8051处理器兼容,2个时钟的机器周期结构,集成256B的IRAM、1.5kB的XRAM和32kB的FLASH,并具有8通道10位模数转换单元(ADC),自带有产生脉冲宽度调制信号(PWM)、电机控制专用模式的捕获/比较单元6(CCU6)。设计中将XC888芯片的P2.4作为太阳能电压的采集端口,将P2.5作为太阳能电流的采集端口,将P2.6作为蓄电池电压的采集端口。

①XC888芯片捕获/比较单元6的配置

为了对BUCK电路的NMOS管IRF540进行控制,就需要XC888芯片产生PWM,再经过芯片IR2110完成对IRF540的驱动。XC888的捕获/比较单元6(CC6)中有两个独立的定时器(T_{12} 、 T_{13}),可用来产生脉宽调制(PWM)信号,其中定时器 T_{12}

的3路通道可工作在捕获和比较模式, T_{13} 只能工作在比较模式。在此设计中, 选用 T_{12} 的0通道作为PWM的输出端口, 输入到IR2110芯片HIN引脚中。将 T_{12} 的时钟周期设置为 $0.042\ \mu\text{s}$, T_{12} 的周期寄存器设置为 $0x0257$, 则PWM的周期即为 20kHz , 经过此配置, 0通道比较寄存器就有了 $0x0000$ 到 $0x0257$ 的数值, 给比较寄存器相应的数值, 就会产生相应的PWM占空比。

②XC888芯片模数转换模块的配置

XC888芯片具有8通道10位模数转换单元, 选用其中3个通道的8位模数转换单元作为AD采样的端口, 分别采样太阳能电压、太阳能电流和蓄电池的电压。在配置中, 将AD总的转换时间设定为 $3.29\ \mu\text{s}$, 设定采用并列请求源模式, 并行产生此三个通道的转换请求。

(2)充电电路设计

为实现蓄电池的充电控制策略, 充电电路的硬件拓扑采用了BUCK电路, 其原理如图2所示。通过采集光伏电池电压、电流及蓄电池的端电压, 运用最大功率点跟踪算法对NMOS管IRF540N进行调整占空比的控制。

为了更好地驱动NMOS管, 设计中采用了高压高速功率管MOSFET和IGBT驱动器IR2110

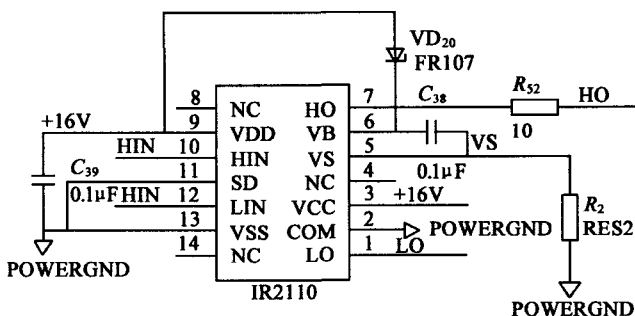


图3 PWM驱动原理图

芯片, 并用其高端来驱动IRF540N, 相应原理图如图3所示。其中IR2110的HIN引脚连接XC888输出的PWM信号, VS端连接IRF540N的源极, HO连接其栅极。

2.2 算法验证

在进行三种方法的效果比较前, 需要验证这三种方法在此硬件基础上是否已经追踪到了最大功率点。

(1)测试环境

- ①充电控制板;
- ②稳压源: 电压最大64V, 电流最大3A;
- ③蓄电池: 7Ah、12V单节铅酸免维护电池。

(2)测试方法

因为充电板的内阻约在 $6\ \Omega$ 左右, 所以将一个

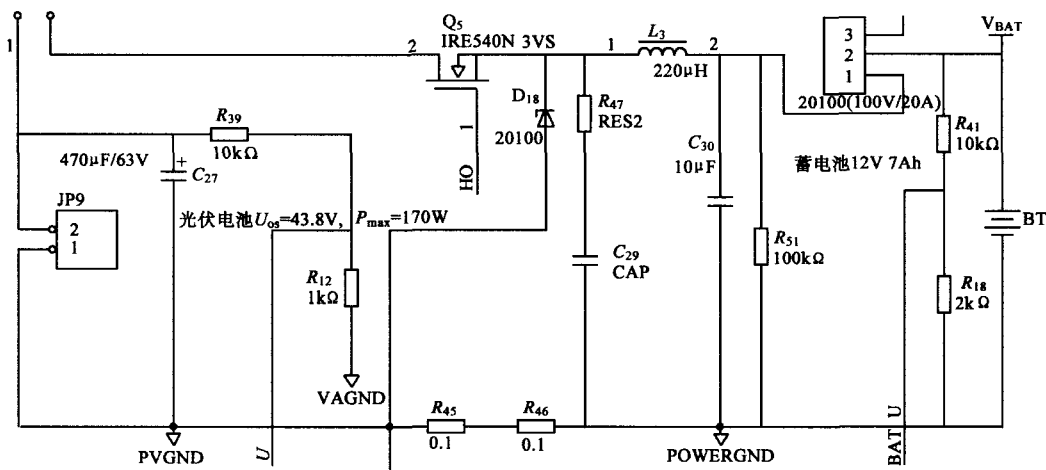


图2 充电电路的原理图

6Ω的电阻与稳压源相串联,并将其接入到充电板的输入端,再将蓄电池作为充电板的输出端,把三点比较法、可调步长的登山法与三点登山法的程序分别下载到XC888芯片。根据戴维南定理,如果充电板的输入电压在稳压源电压的一半左右时,说明稳压源此时输出的功率最大。

(3)实验数据(如表1所示)

表1 实验数据

稳压源电压(V)	输入电压		
	三点比较法(V)	登山法(V)	三点登山法(V)
60	30.5	30.2	30.2
50	27.0	26.8	26.7
40	22.4	22.1	22.2

(4)实验分析

根据表1可以看出,输入电压基本上约为稳压源电压的一半,说明这三个程序在此硬件电路中均跟踪到了最大功率点。

2.3 算法比较

本文提出了一种新的最大功率点跟踪算法,即三点登山法。为了测试此算法的优越性与可靠性,本章将在已有的独立型光伏转换系统的硬件基础上,对三点比较法、可调步长的登山法与三点登山法分别进行验证。

测试环境

- ① 充电控制板;
- ② 太阳能电池板:最大功率170W,开路电压43.8V,1块;
- ③ 蓄电池:7Ah、12V单节铅酸免维护电池;
- ④ 天气:晴,上午10点半。

测试说明

配置XC888捕获比较单元6的0通道比较寄存器产生频率为20kHz但占空比不同的PWM,再对充电电路的MOS管IRF540进行控制。比较寄存器有0x0000到0x0257的数值,因此对应着不同的占空比,比较寄存器数值越大,代表占空比越小,在实验

数据中,如果比较寄存器数据为400,则表示PWM占空比为 $(600-400)/600=33.3\%$ 。

测试方法

用太阳能电池板作为充电板的输入端,蓄电池作为充电板的输出端。将控制器采集的数据和比较寄存器数值通过串口显示保存,并将数据通过图表的形式绘制出来。

(1)三点比较法

①算法流程图

三点比较法的算法流程如图4所示。变量time用来标识三点采样的次数,当time=3时,表明本次比较的三点采样完毕,要将time清零,为下次三点采样计数,初始值time=0。

变量pwm_a表示在A点对应的0通道比较寄

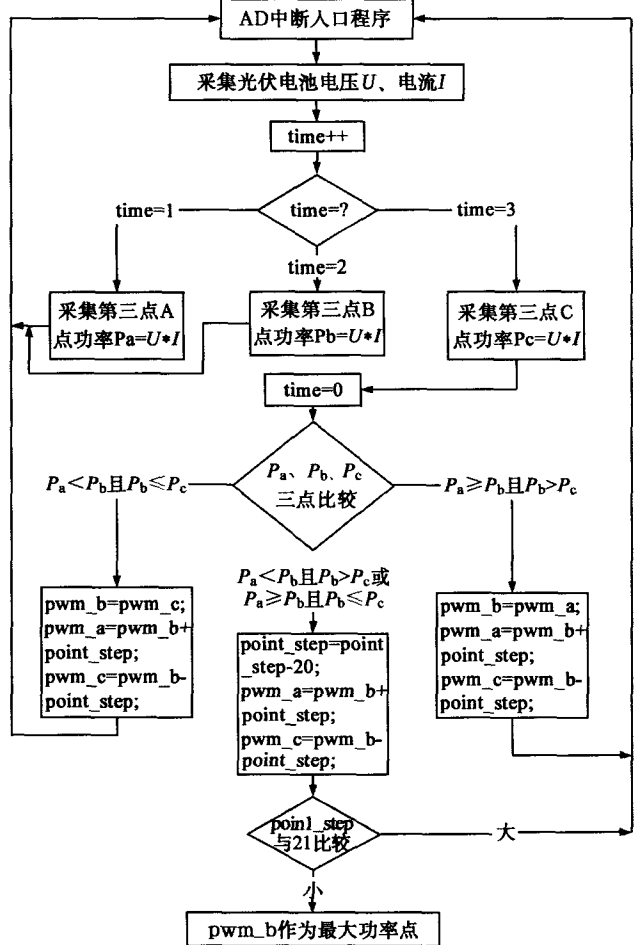


图4 三点比较法的算法流程图

寄存器数值,初始值为400。

变量pwm_b表示在B点对应的0通道比较寄存器数值,初始值为200。

变量pwm_c表示在C点对应的0通道比较寄存器数值,初始值为80。

变量point_step表示三点比较法程序中所采用的步长。

在 $P_a < P_b$ 且 $P_b \leq P_c$ 时,各语句所表示的含义:

pwm_b=pwm_c表示 $U_b=U_c$;

pwm_a=pwm_b+point_step表示 $U_a=U_b-\Delta U$;

pwm_c=pwm_b-point_step表示 $U_c=U_b+\Delta U$;

在 $P_a < P_b$ 且 $P_b > P_c$ 或 $P_a \geq P_b$ 且 $P_b \leq P_c$ 时,各语句

所表示的含义:

point_step=point_step-20表示 $\Delta U=\Delta U-u$;

pwm_a=pwm_b+point_step表示 $U_a=U_b-\Delta U$;

pwm_c=pwm_b-point_step表示 $U_c=U_b+\Delta U$;

在 $P_a \geq P_b$ 且 $P_b > P_c$ 时,各语句所表示的含义:

pwm_b=pwm_a表示 $U_b=U_a$;

pwm_a=pwm_b+point_step表示 $U_a=U_b-\Delta U$;

pwm_c=pwm_b-point_step表示 $U_c=U_b+\Delta U$;

② 实验数据

具体实验数据的功率时间表如图5所示。

③ 实验分析

从功率时间表(见图5)中可以看到,控制器先是以三点比较法只通过三次比较,即9个采样周期,就快速找到了最大功率点大体位置(此时比较寄存器数据值为240),于是三点比较法就默认数据值240为最大功率点,并稳定下来。由于三点比较时损耗的功率过大,因此要设法减少三点的比较次数。可以根据太阳光的缓慢变化而调定为每五分钟进行一次三点比较,而如果在此五分钟内天气发生了突然变化,三点比较法

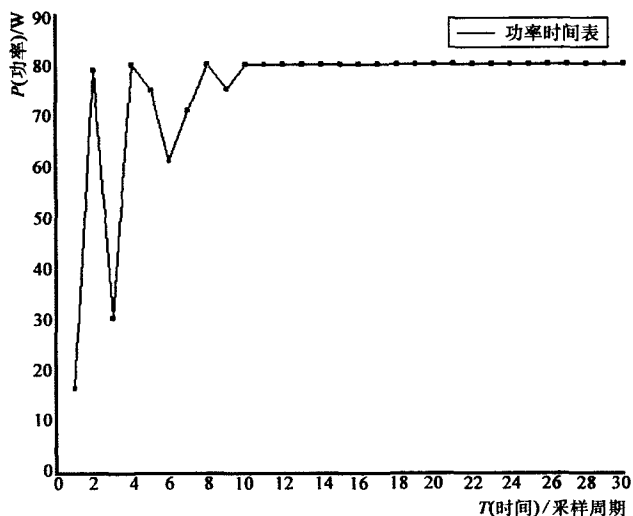


图5 三点比较法的实验数据

将仍以数据值240为最大功率点,因此,可以看出三点比较法虽然能够快速找到最大功率点大体位置,但是不能实时进行最大功率点跟踪。

(2) 可调步长的登山法

① 算法流程图

登山法的算法流程图如图6所示,并将初始的比较寄存器数据值pwm_b设定为400,即占空比为33.3%。

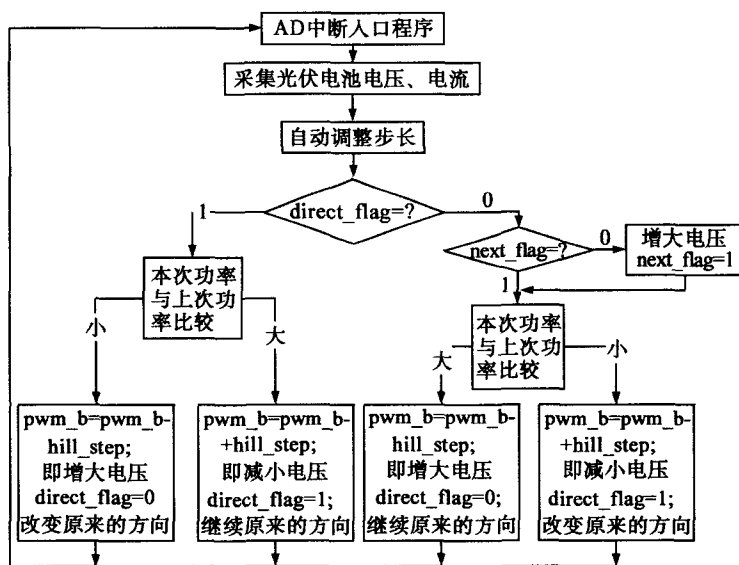


图6 登山法的软件流程图

变量direct_flag表示方向标志位,初始值为0。

变量next_flag在登山法中仅用一次,用此标志位是为了在最开始给程序以增大电压方向的标志,从而与direct_flag=0相对应,使减小电压方向与direct_flag=1相对应,初始值为0。

变量hill_step表示登山法中调整PWM点空比所用的步长,初始值为8。

②实验数据(见图7)

③实验分析

控制器先以400作为初始比较寄存器数值,最后在224左右稳定下来并且在其附近以调节后的最佳步长8摆动,从图7中可以看到,经过22个采样周期才精确地找到了最大功率点,虽然稳定下来后功率摆动损失较小,但是跟踪速度过慢。

(3)三点登山法

①算法流程图

三点登山法算法流程如图8所示,变量初始值pwm_a=400, pwm_b=200, pwm_c=80, direct_flag=0, time=0, hill_step=8, point_step=60, next_flag=0。

由于在此流程中所采用的三点比较法与登山法的算法流程图与以上所介绍的几乎完全相同,因

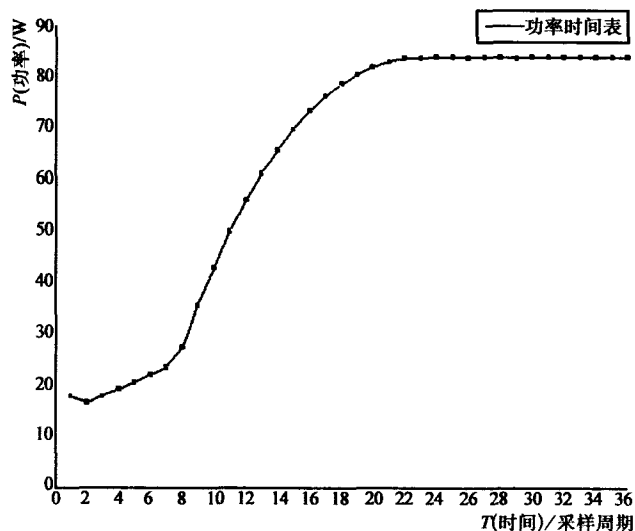


图7 登山法的实验数据

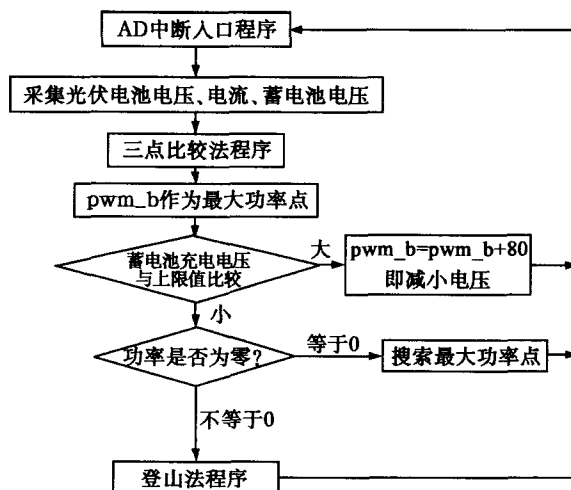


图8 三点登山法的算法流程图

此在图中省略。不过,所不同的是登山法的初始比较寄存器数据值pwm_b是由三点比较法得出的。

因此,本设计采用了三点比较与可调步长的登山法相结合的方式进行最大功率点的跟踪,利用这两个算法的优点来弥补彼此的缺点。

为了避免一些不可预测的干扰,将每次采样的数据进行1000次求和然后再取平均值。由于三点比较法能够快速的跟踪到最大功率点附近,但是此算法复杂而且在三点比较时损失功率大,不宜多用,因此,根据太阳光的缓慢变化,每五分钟进行一次三点比较法,这样既提高了效率,又能够弥补登山法出现判断错误的情况。要使蓄电池的浮充电电压恒定并且实时地跟踪最大功率点,就要运用登山法的简单易用性,做到实时地检测,从而进行相应地调整。为了弥补登山法在最大功率点附近振荡而导致损失的功率,运用了可调步长的方法,从而尽可能地减少功率的振荡损失。

②实验数据

具体的实验数据如图9所示。

③实验分析

从图9分析得出,控制器先是以三点比较法只通过三次比较即九个采样周期就能快速找到了最大功率点大体位置(比较寄存器数据值为240),然后

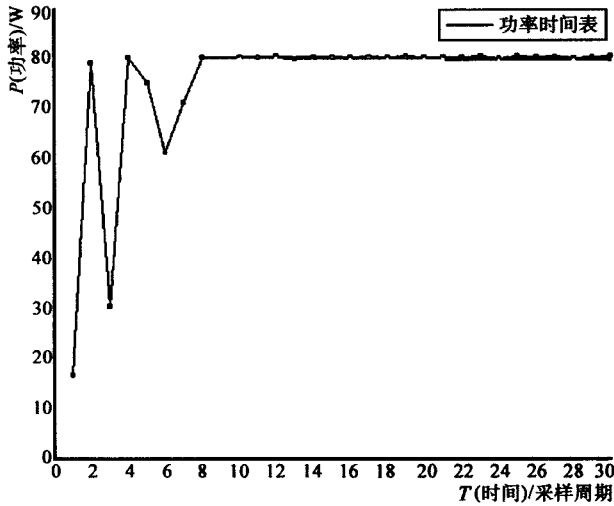


图9 三点登山法的实验数据

再通过登山法找到最大功率点的精确位置(比较寄存器数据值在224左右波动),可以看出功率的损耗很小,因此此结合的方法不仅利用三点比较法快速地找到了最大功率点,而且还能够在利用登山法对最大功率点进行实时跟踪的情况下通过对步长的调节尽可能减少功率损失。

3 结束语

在光伏转换系统中,最大功率点跟踪算法对充电效率起着非常重要的作用,本设计通过对三点比较法与登山法的原理分析,提出了三点登山法算法,此算法采用了三点比较与可调步长的登山法相结合的方式来进行最大功率点的跟踪。通过对三点登山法的实验分析,可以明显得出,此算法充分利用了这两个算法的优点来弥补彼此的缺点,比单独用三点比较法或登山法的效果好,不但能快速地找到最大功率点,而且也能根据天气的变化做出相应的调整,体现了系统高效率的特点。由于三点比较法对硬件有着比较高的要求,三点登山法通过减少三点比较法的次数,并用登山法的简单易用性减少了对硬件的依赖度,从而也突出了低成本的特点。

因此,通过实验证明了三点登山法不仅充分地

提高了光伏转换系统的充电效率,而且大大降低了系统的成本。

参考文献

- [1]李进国,金新民. 小功率光伏并网逆变器控制系统的设计,北方交通大学学报,Vol.27, No.2, Apr.2003:57~61.
- [2]刘爱忠,刘俊化,肖 岚. 数字锁相环在逆变器并联系统中的应用[J],电力电子技术,Vol.41, No.7, July.2007:80~82.
- [3]徐鹏威,刘飞,刘邦银,段善旭. 几种光伏系统MPPT方法的分析比较及改进[J],电力电子技术,Vol.41No.5, May,2007:3~5.
- [4]张 超,光伏并网发电系统MPPT及孤岛检测新技术的研究:[博士学位论文],浙江大学电气工程学院,2006.

作者简介

朱 丛,男,西安电子科技大学硕士研究生,主要从事计算机应用技术的研究。

张剑贤,男,西安电子科技大学学生,主要从事计算机应用技术的研究。

注:此文为“英飞凌杯”第二届嵌入式处理器及功率电子设计应用大奖赛参赛获奖选手论文。

