

文章编号: 1005-0523(2012)03-0083-05

# 扰动观察法的MPPT负载突变误判现象研究

王春圣

(华东交通大学电气与工程学院, 江西南昌, 330013)

**摘要:**在光伏系统中, Boost电路常常作为前级电路, 使其工作在最大功率点处, 以向后级电路传输最大的能量。然而在系统运行过程中, 由于后级电路在调整过程中以及到达稳态后负载的加载、掉载等原因, 会造成后级电路等效输入电阻(前级电路输出电阻)发生变化。因此可能会造成前级 Boost 电路功率点比较发生错误, 从而发生误判现象。针对前级电路在应用扰动观察法做 MPPT 时, 负载突变对电路误判的影响, 对电路从开始调整到电路稳态后的全过程中的误判现象做了理论分析和总结。最后搭建了 Boost 实验电路验证了分析的正确性。

**关键词:** Boost 电路; 最大功率点跟踪; 扰动观察法; 负载突变

**中图分类号:** TM464

**文献标志码:** A

常用的光伏阵列的最大功率点跟踪(max power point tracking, MPPT)算法包括固定电压或电流跟踪法<sup>[1]</sup>、扰动观察法和导纳增量法<sup>[2-3]</sup>等, 其中扰动观察法由于算法简洁、容易实现、与光伏阵列的电气特性参数无关和跟踪效率高的特点得到了广泛应用。常规的实现方法是给光伏电池的输出电压一个扰动, 通过判断扰动方向和功率方向使电路最终工作在最大功率点。

近年来, 虽有不少学者对扰动观察法进行了一些改进, 提出了一些新的方法, 如变步长的扰动观察法<sup>[4]</sup>, 根据斜率调整的扰动观察法<sup>[5]</sup>, 定电压启动与扰动观察法结合的方法<sup>[6-7]</sup>等。但它们本质还是扰动观察法, 因此也会存在上述问题。前级电路在做 MPPT 时, 由于前级电路负载发生变化而引起的电路功率点比较误判现象尚无人研究。本文即以 Boost 电路为例, 对应用扰动观察法做 MPPT 时, 电路负载发生突变对 MPPT 的误判现象进行了理论分析, 并把电路运行过程中可能会发生的误判做了全面总结。最后用 DSP 作为控制芯片, 搭建了 Boost 实验电路, 并验证了理论分析的正确性。

## 1 原理与推导

### 1.1 Boost 电路最大功率点的求解

Boost 电路结构如图 1 所示, 其中  $U_s$  相当于光伏输入电压,  $U_{in}$  相当于光伏输出电压,  $R_{in}$  为输入电阻,  $R_0$  为输出电阻(相当于后级电路等效输入电阻),  $L$  为主电路电感,  $Q$  为开关管,  $D_R$  为二极管,  $C_0$  为输出滤波电容。

假定电路中各个器件均为理想器件, 依据输入功率等于输出功率的原理, 由电路可得如下公式。

$$\frac{U_s - U_{in}}{R_{in}} \times U_{in} = \frac{U_0^2}{R_0} \quad (1)$$

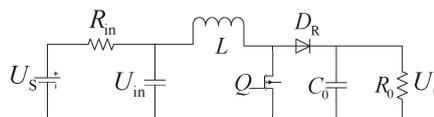


图1 Boost 电路 MPPT 结构  
Fig.1 MPPT structure of Boost circuit

收稿日期: 2012-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51067004); 江西省科技支撑计划重点项目(2010BGA02000)

作者简介: 王春圣(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动。

$$U_{in} = (1-D)U_0 \quad (2)$$

$$P_{in} = P_0 = \frac{U_0^2}{R_0} = \frac{(1-D)^2 U_S^2}{\frac{R_{in}^2}{R_0} + 2R_{in}(1-D)^2 + R_0(1-D)^4} \quad (3)$$

式中:  $D$  为占空比;  $P_{in}$ ,  $P_0$  分别为输入功率和输出功率。

对  $P_0$  关于  $R_0$  求偏导得

$$\frac{\partial P_0}{\partial R_0} = \frac{(1-D)^2 U_S^2 R_{in}^2 - (1-D)^6 U_S^2 R_0^2}{(R_{in}^2 + 2R_{in}R_0(1-D)^2 + R_0^2(1-D)^4)^2} \quad (4)$$

令

$$\frac{\partial P_0}{\partial R_0} = 0$$

此时即为MPP点。此时有

$$R_{in} = (1-D)^2 R_0 \quad (5)$$

最大功率为

$$P_0 = \frac{U_S^2}{4R_{in}} \quad (6)$$

由式(6)可知MPP点幅值<sup>[8]</sup>与输出电阻  $R_0$  无关。只与输入电阻  $R_{in}$  和输入电压  $U_S$  有关。由式(5)可知可以通过调节  $D$  来调整电路到达MPP点。

## 1.2 不同负载 $R$ 下各曲线交点处 $D$ 值的求解

不同负载下功率与占空比关系的仿真波形如图2所示,其中  $D$  为占空比,  $P$  为输入功率。 $R_1$ ,  $R_0$ ,  $R_2$  分别为不同负载下的电阻值。其中  $R_1 > R_0 > R_2$ ,  $R_0$  曲线为系统初始工作负载,系统由  $R_0$  曲线到  $R_2$  曲线为负载增大,系统由  $R_0$  曲线到  $R_1$  曲线为负载减小。根据图2曲线中  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  点,可将其划分为3个区间。分别为①,②,③区间。

下面以图2中  $D_2$  点为例对  $D$  进行求解。

根据(1)(2)式推导可知:

$$U_0 = \frac{(1-D)U_S}{\frac{R_{in}}{R_0} + (1-D)^2} \quad (7)$$

设某点功率为  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{U_0^2}{R_0} = \frac{(1-D)^2 U_S^2}{\frac{R_{in}^2}{R_0} + 2R_{in}(1-D)^2 + R_0(1-D)^4} \quad (8)$$

$R_0$  曲线中  $D$  的小值等于  $R_2$  曲线中  $D$  的大值,故有以下关系式:

$$\frac{U_S^2 - 2PR_{in} - U_S \sqrt{1 - 4PR_{in}}}{2PR_2} = \frac{U_S^2 - 2PR_{in} + U_S \sqrt{1 - 4PR_{in}}}{2PR_0} \quad (9)$$

解得

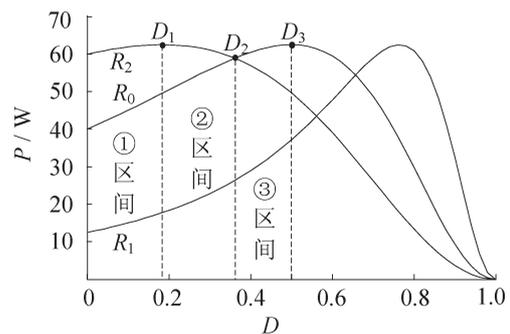


图2 不同负载时的功率与占空比关系波形  
Fig.2 Relationship waveform of power and duty cycle in different load

$$D = 1 - \frac{1}{(R_0 - R_2)} \sqrt{\frac{(R_0 - R_2)^2 U_s^2 - 4R_0 R_2 U_s^2 + U_s \sqrt{(R_0^2 - R_2^2)^2 + R_0 R_2 (R_0 + R_2)^2}}{R_0 + R_2}} \quad (10)$$

用以上方法可分别求得图中标定点处  $D_1, D_2, D_3$  值:

$$D_1 = 1 - \sqrt{\frac{R_{in}}{R_2}} \quad (11)$$

$$D_2 = 1 - \frac{1}{(R_0 - R_2)} \sqrt{\frac{(R_0 - R_2)^2 U_s^2 - 4R_0 R_2 U_s^2 + U_s \sqrt{(R_0^2 - R_2^2)^2 + R_0 R_2 (R_0 + R_2)^2}}{R_0 + R_2}} \quad (12)$$

$$D_3 = 1 - \sqrt{\frac{R_{in}}{R_0}} \quad (13)$$

## 2 负载突变误判现象分析

### 2.1 稳态前负载突变引起的误判分析

以系统运行在①区间为例,对在此区间上发生的负载突变(增大或减小)是否会发生误判进行分析。如图2所示,①区间时:假设某时刻功率为  $P_0$ ,由于占空比  $D$  的扰动方向是一直增大的,故在此功率  $P_0$  后一时刻  $D$  继续增大。若此时负载由  $R_0$  突变到  $R_1$ ,则当前拍功率  $P_1$  小于  $P_0$ ,则下一时刻  $D$  将减小以使功率增大,但这正与  $R_1$  的功率调整方向相反,故会有一拍的误判进行调整。

若此时负载由  $R_0$  突变到  $R_2$ ,则当前拍功率  $P_1$  大于  $P_0$ ,则下一时刻  $D$  将续增大以使功率增大,这与  $R_2$  的功率调整方向相同,系统不会发生误判。系统运行在各个区间时的误判现象如表1所示。

表1 稳态前负载突变引起的误判

Tab.1 Misjudgment resulted from load mutation before the steady state

区间	突变方向	前一拍	当前拍	后一拍	后两拍	是否误判
①区间	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$	是
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \uparrow$		否
②区间	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$	是
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$	是
③区间	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$	是
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$		否

### 2.2 系统进入稳态后负载突变引起的误判分析

系统进入稳态后示意图如图3所示,进入稳态后  $D$  的变化将从 I 时刻到 II 时刻,再到 III 时刻,再到 IV 时刻,再到 V 时刻,并在这5个点循环运动,其中 II 时刻和 IV 时刻为最大功率点, V 时刻和 I 时刻是功率相同的时刻。此图反应了进入稳态后,电路在最大功率点附近来回扰动,这正是传统扰动观察法的特点。

系统进入稳态后,负载突变引起的误判分析方法同稳态前负载突变引起的误判分析相同,在此不再赘述。表2总结了系统进入稳态后运行在各个时刻时的误判现象。

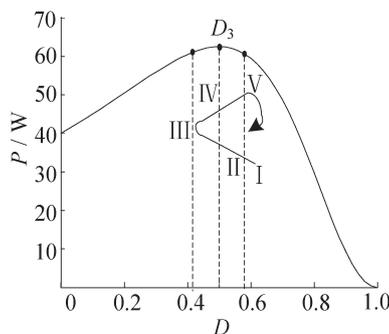


图3 稳态后功率点变化示意图  
Fig.3 Power point variation diagram after the steady state

表2 进入稳态后负载突变引起的误判

Tab.2 Misjudgment resulted from load mutation in the steady state

时刻	突变方向	前一拍	当前拍	后一拍	后两拍	是否误判
I时刻	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$		否
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$	是
II时刻	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \downarrow P \uparrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$		否
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \downarrow P \uparrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$	是
III时刻	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$	是
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$		否
IV时刻	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$	是
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \uparrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$		否
V时刻	$R_0 \rightarrow R_1$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \uparrow$		否
	$R_0 \rightarrow R_2$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \downarrow$	$D \uparrow P \downarrow$	$D \downarrow P \uparrow$	是

### 3 算法流程及波形

在做MPPT时,采用直接扰动占空比的方法,即先给一个初始增加的占空比扰动,通过检测电路输出功率的变化来判断占空比扰动方向是否正确,使电路最终工作在最大功率点附近。具体的程序流程如图4所示。

$U_{in}$ 扰动的实际波形如图5所示,其中横坐标为时间,单位为100 ms/格;纵坐标为 $U_{in}$ 幅值,单位为2 V/格。从图中可清楚地看出 $U_{in}$ 从开始扰动到稳定的整个调整过程,以及系统进入稳态后 $U_{in}$ 的扰动情况。图5还标出了与图2中3个区间以及图3中5个时刻的对应关系。

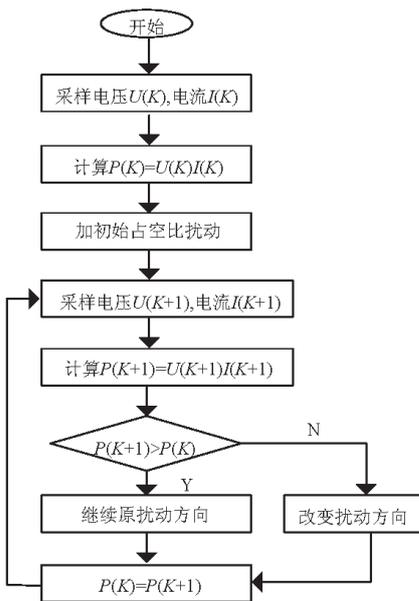


图4 MPPT算法流程  
Fig.4 MPPT algorithm flow

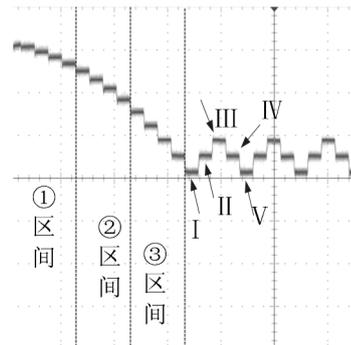


图5  $U_{in}$ 扰动实际波形图  
Fig.5  $U_{in}$  perturbation actual waveform graph

### 4 实验验证

根据上述分析,以DSP为控制芯片设计了Boost最大功率跟踪实验电路。电路中主要参数为输入电压20 V,开关管频率为40 kHz,输入电阻为1  $\Omega$ ,主电路电感值为1 000  $\mu$ H,滤波电容2 200  $\mu$ F,输出稳压电容

470  $\mu\text{F}$ , 二极管用NF835。控制芯片采用TI公司的DSP(TMS320F2812)芯片。为了使实验结果明显以便于观察,实验时所取 $D$ 的扰动量大小为0.05。输出电阻 $R_0$ 为4  $\Omega$ ,  $R_2$ 为2  $\Omega$ ,  $R_1$ 为8  $\Omega$ 。其中纵坐标单位为2 V/格,横坐标为时间,单位为100 ms/格。受篇幅所限,只给出稳态前负载突变引起的误判实验波形,如图6~图8。

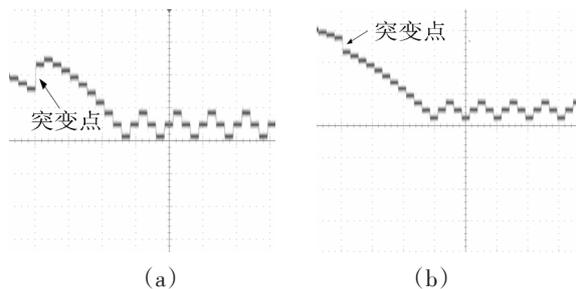


图6 ①区间负载突变波形

Fig.6 Interval ① load mutation waveform

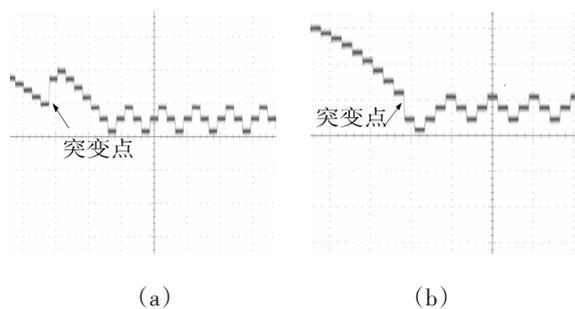


图7 ②区间负载突变波形

Fig.7 Interval ② load mutation waveform

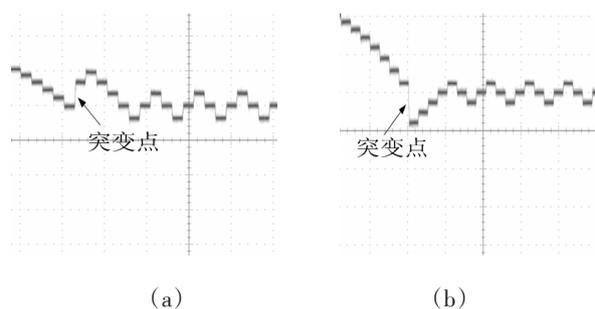


图8 ③区间负载突变波形

Fig.8 Interval ③ load mutation waveform

## 5 结论

应用扰动观察法做MPPT时,对由于前级电路负载突变引起的系统可能发生的误判现象进行了理论分析,并对所有可能发生的误判进行了详细总结。最后用Boost电路进行了实验验证,实验结果与前面的理论分析完全一致,从而证明了理论分析的正确性。

## 参考文献

- [1] XIAO WEIDONG, DUNFORD W G. A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems[C]// Power Electronics Specialists Conference, 2004 PESC IEEE 35<sup>th</sup> Annual, Canada: UBC CIRCLE, 2004: 1957-1963.
- [2] FEMIA N, PETRONE G, SPAGNUOLO G, et al. Optimizing sampling rate of P&O MPPT technique[C]// Power Electronics Specialists Conference, PESC IEEE 35<sup>th</sup> Annual, Canada: UBC CIRCLE, 2004: 1945-1949.
- [3] 王飞, 余世杰, 苏建徽, 等. 太阳能光伏并网发电系统研究[J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 72-74, 91.
- [4] 朱铭炼, 李臣松, 陈新, 等. 一种应用于光伏系统MPPT的变步长扰动观察法[J]. 电力电子技术, 2010, 44(1)20-22.
- [5] 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.
- [6] JUNG YOUNGSEOK, SO JUNGHUN, YU GWONJONH, et al. Improved perturbation and observation method(P&O) of MPPT control for photovoltaic power systems[C]// Photovoltaic Specialists Conference, 2005 Conference Record of the Thirty-first IEEE, Southkorea: Computing Literature, 2005: 1788-1791.
- [7] 郭会娜, 黄洪全. 扰动观察法与滞环比较法实现MPPT的比较分析[J]. 电力电子技术, 2008, 44(1)20-22.
- [8] 赵为. 太阳能光伏并网发电系统的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2003.

(下转第110页)

guage Press, 1996: 185-216.

- [3] 陈振霞.《聊斋志异》研究[D]. 马尔,译. 福州:福建师范大学,2007:323-336.
- [4] 杨国强. 从跨文化翻译视角解读英译本《聊斋志异选》[J]. 内蒙古农业大学学报,2008(3):366-368.
- [5] 李海军,熊云凤. 国内《聊斋志异》英译研究综述[J]. 湖南科技学院学,2009(2):150-152.
- [6] 晏开维. 浅析翟理斯对《聊斋志异》典故的翻译[J]. 商业文化,2009(6):76-78.
- [7] 王绍祥. 翟理斯与英译《聊斋志异》[C]//福建省外国语文学学会2003年年会论文集,福州:福建师范大学,2003:1-6.
- [8] 熊欣. 对外传播及汉译外现状研究[J]. 山东外语教学,2010(5):99-103.

## A Comparison of Two Translation Versions of *Liao Zhai Zhi Yi* from Cross-cultural Translation Perspective

Long Chunfang, Xiong Xin

(School of Foreign Languages, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China)

**Abstract:** The translation of Chinese ancient literature *Liao Zhai Zhi Yi* is full of challenges to convey the information relevant to Chinese customs, traditions and allusions within the acceptance of readers. Starting from the perspective of cross-cultural translation, this paper conducts a comparative study on the two famous English translation versions of Herbert. A. Giles and Denis. C & Victor H. Mair, aiming at finding out the differences and similarities between the two in terms of cultural information as well as unveiling the guiding role and significance of cross-cultural translation perspective in the translation of Chinese classics.

**Key words:** *Liao Zhai Zhi Yi*; comparison of translation versions; cultural transmission

---

(上接第87页)

## On Misjudgment Phenomenon of MPPT Load Mutation Based on Perturbation and Observation Method

Wang Chungsheng

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** In the photovoltaic system, Boost circuit acts as a preceding circuit to transmit maximum energy to backward circuit, achieving maximum power point. However, in the system operation, loading and off load in backward circuit adjustment may cause changes in equivalent input resistance. As a result, there will be something wrong with preceding Boost circuit power point, which may lead to misjudgment phenomenon. The paper focuses on effect of load mutation on circuit misjudgment when perturbation and observation method is applied to make MPPT. Misjudgment of the whole circuit process from adjusting to circuit steady state is analyzed and summarized. Finally, Boost circuit is established to verify its correctness.

**Key words:** Boost circuit; maximum power point tracking; perturbation and observation method; mutational load