

P&O 与定点法相结合在三相光伏并网逆变器中的应用

陶磊¹ 陈威¹ 李维华² 赵为³

(1: 合肥日源电气信息技术有限公司; 2: 合肥工业大学电气与自动化工程学院; 3: 阳光电源股份有限公司)

摘要: 本文详细介绍一种基于 P&O 与定点法相结合的 MPPT 搜索算法。该算法提高了搜索精度与动态响应速度。同时也介绍了大功率光伏并网逆变器中有功无功解耦后独立的控制算法。

关键词: MPPT, P&O, 定点法, 无功补偿

The Application of the Combination of P&O and the Fixed-point method in grid connected PV inverter

Abstract: This paper presents a MPPT algorithm based on the Combination of P&O and the Fixed-point method. The Search accuracy and Dynamic response speed are improved. The decoupled active and reactive power control algorithm used in grid connected PV inverter is also introduced .

Key words: MPPT, P&O, Fixed-point method, Reactive power compensation

随着世界低碳经济的高速发展, 太阳能发电作为一种理想的可再生能源得到越来越广泛的应用。但是由于光伏发电系统中光伏电池板的造价较高, 以及光电转换效率较低的缺陷, 导致太阳能光伏发电到目前还没有得到大范围的推广应用。

由于太阳能电池的输出特性会随着外界环境(例如温度、光照等)的改变而变化, 所以为了更高效的利用太阳能电池, 并网逆变器必须随时能够快速跟踪上太阳能电池输出的最大功率点(MPPT)。目前国内外很多学者相继研究出多种最大功率点跟踪方法, 例如扰动观察法(P&O)、电导增量法(INCo)、间歇扫描法等多种搜索方法。[1]

1: 光伏电池的特性分析

图 1 是太阳能电池的等效电路图, 公式(1)是太阳能电池的 I-V 特性。[1], [2]

$$I_o = I_{Lg} - I_{rs} \left\{ \exp[q(U + R_s I) / nKT] - 1 \right\} - (U + R_s I) / R_{sh} \quad (1)$$

I ——光伏电池的输出电流;

I_{Lg} ——光伏电池短路电流;

I_{rs} ——光伏电池的反向饱和电流;

q ——电荷常数;

K ——Boltzman 常数 (1.38X10²³J/K);

U ——光伏电池输出电压;

R_s, R_{sh} ——太阳能电池的等效电阻;

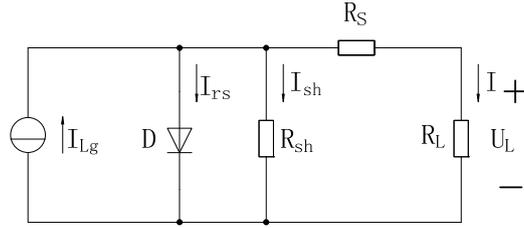


图 1: 太阳能电池的等效电路图

由式 (1) 以及电池的等效电路图可知, 太阳能的输出特性与电池板温度以及光照强度有强烈的关联性, 具有很强的非线性特性。如果在光照以及温度变化不大的情况下, 太阳能电池可以近似看做一个直流电流源。

2: 大功率光伏并网系统的整体结构

大功率光伏并网逆变器通常是用于 MW 级的光伏电站系统中。电站系统结构示意图如图 2 所示。

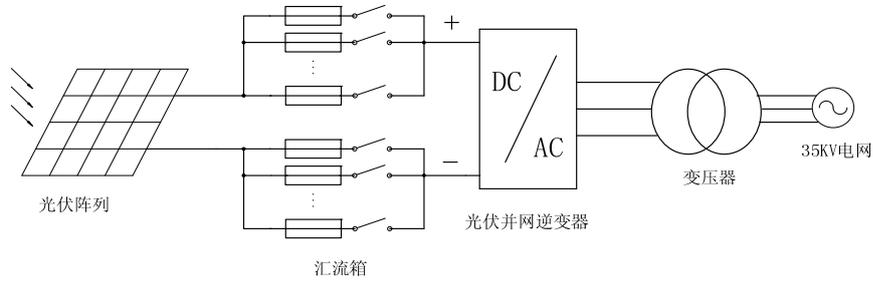


图 2: 光伏并网系统的整体结构

太阳能电池板输出电流经过集中汇流后, 输入到光伏并网逆变器的 DC 输入端, 经过并网逆变器逆变成交流后直接通过升压隔离变压器后接入 35KV 高压电网, 实现太阳能直接并网发电。

3: 并网逆变器的控制算法

在光伏并网系统中, 并网逆变器起到了核心作用, 它的整机效率以及控制方法直接影响到整个电站的发电量与系统稳定性。下面介绍一下三相并网系统中的逆变器核心算法。

控制系统框图如图 3 所示。光伏并网逆变器采用双闭环控制, 外环为直流电压环, 内环是交流电流内环。

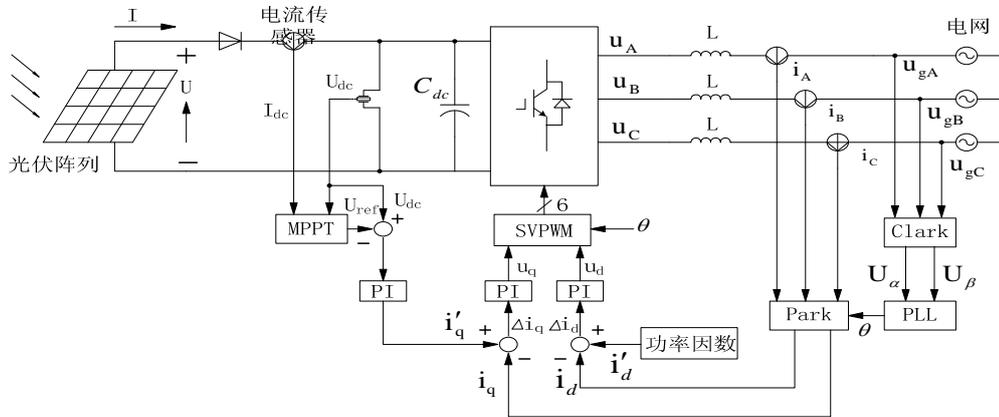


图 3: 并网逆变器控制框图

逆变器的交流电流环采用 $d-q$ 解耦技术、通过两个独立的 PI 调节器实现 $d-q$ 分别独立控制。 d 轴分量控制并网的有功功率的大小， q 轴分量控制并网无功功率输出。由于大功率发电系统通常需要具备无功调节功能，所以在该系统中并网逆变器接收上位机所发出的无功指令，通过控制 q 轴分量的给定电流实现功率因数的可调，达到对电网实现无功补偿的目的。在一般情况下将 q 轴的给定电流设为 0 时，就能实现逆变器的单位功率因数并网。

外环电压环通过 MPPT 的搜索，得到直流电压的给定，通过外环 PI 调节器得到内环给定电流，通过内环的调节实现直流电压外环的稳定。从而使得逆变器的直流电压工作在最大功率点。

4: P&O 与定点法相结合最大功率点跟踪算法

MPPT 的搜索精度以及动态响应速度直接影响到系统的整体发电量。前面所说的 P&O 法简单明了，软件实现起来比较简单。搜索过程见示意图 4。

该方法通过改变太阳能板输出的直流电压实现输出功率变化，然后比较在不同的直流电压下的电池输出功率，这样一直搜索最大功率输出的电压点。在三相并网逆变器控制算法中可以通过更改外环电压给定，达到改变直流电压的目的。由搜索原理可知 P&O 法一直是在最大功率点附近波动，这样会造成一定的功率损失。同时在 P&O 法中步长的选取也很重要，步长如果选短了，造成系统的动态响应速度慢，同时容易在最大功率点附近震荡；步长长了，就会造成功率损失比较大。

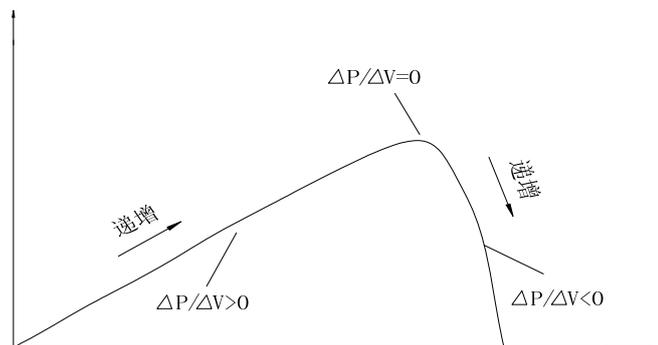


图 4: P&O 法的搜索示意图

所以在本系统选用变步长的搜索方法。但是由于 P&O 法的自身缺陷，为了在 P&O 法实现稳定条件下直流电压稳定，采用定电压法与 P&O 法相结合的方法，首先在机器启动时，直接将直流电压稳定到 $U_{DC} = 0.78U_{OC}$ ，然后启动 P&O 法，当 P&O 法在一定时间范围内，直流电压波动以及功率波动在一定的阈值范围之内，这就表示此时太阳能基本工作在目前的最大功率点，这时可以直接将直流电压稳定在此电压点，实现定电压法。同时通过观测输出功率，如果在定电压过程中，输出功率有大的波动就表示外界环境有大的变化需要重新稳定一个新的 MPPT 电压。这样就放开定电压法，让 P&O 法重新启动，等待出现新的稳定点。算法流程图如图 5 所示。

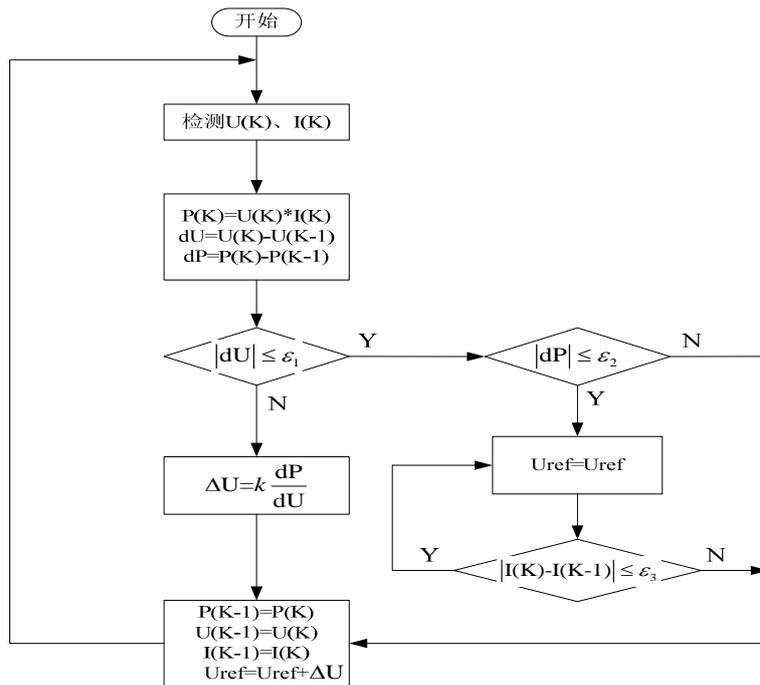


图 5: MPPT 流程图

5: 试验结果

试验数据如表格所示。

	常规 P&O MPPT 算法	P&O 与定点法相结合
发电量（相同条件下，1 天发电量）	1020KWh	1040KWh
谐波	0.91%	0.91%

表格 1: 测试结果

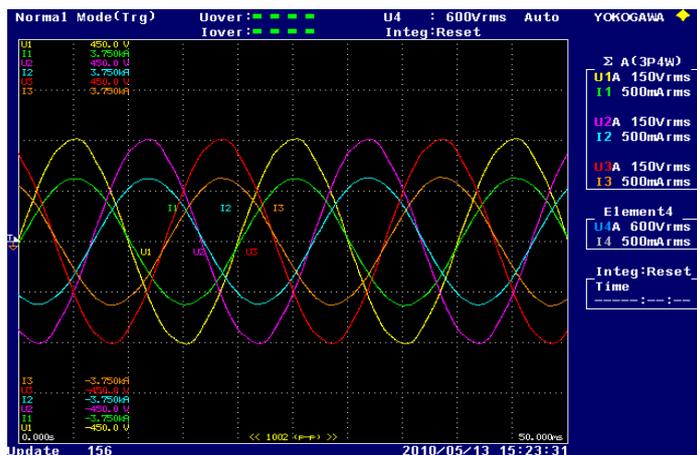


图 6: 实际并网电流电压波形

由上面的试验波形以及单日发电量可以看出，新的 MPPT 算法可以在不改变其它输出情况下达到提高发电量的目的。

参考文献:

- [1] Dong-Yun Lee , Hyeong-Ju Noh, et Improved MPPT Converter Using Current Compensation Method for Small Scaled PV-Applications IEEE 540~545
- [2] Zi-Juan YANG, Yuan-Rui CHEN, Jian-Ming HU The Research on Application of Variable Universe Fuzzy Control to Maximum Power Point Tracking System 2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications