

基于模糊控制的光伏电池 MPPT 的设计

0 引言

随着全球能源紧张问题的日益严重，再生能源正得到越来越广泛的应用。近年来，光伏能源以其具有无污染，可长期使用等优点，得到了很大的发展。一般光伏系统都希望光伏电池阵列在同样日照、温度的条件下输出尽可能多的电能，即在理论上和实践上提出了光伏电池阵列的最大功率点跟踪(Maximum Power Point Tracking, MPPT)问题。光伏并网发电系统中由于阵列的功率等级一般较大，因此 MPPT 问题显得尤为重要。故利用智能控制方法上的智能性、自适应性来对非线性的太阳能光伏发电系统进行控制，无疑是一个很好的选择。

1 光伏电池的最大功率点

从图 1 中可以看出，在一定的光照强度与温度下，光伏电池输出曲线上都可以找到一个最大的功率输出点 P_m ，如果可以使光伏电池时工作在最大功率点，就可以极大地提升光伏电池的效率，故应寻找其最大功率点，即寻优。

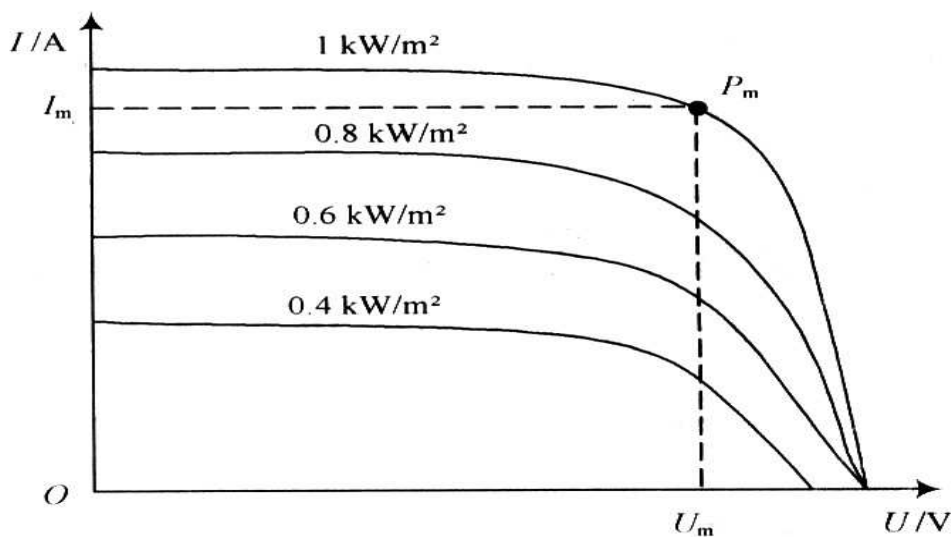


图 1 不同光照下的光伏电池的 $I-U$ 特性曲线(温度为 25 °C)

2 MPPT 控制的原理与设计

MPPT 控制的原理实质上是一个动态自寻优过程，通过对光伏电池当前输出电压与电流的检测，得到当前电池输出功率，将其与前一时刻功率相比较，然后根据功率与占空比的

关系，改变占空比，使其向最大功率点不断靠近，如此反复，直至达到最大点附近的一个极小区域内。当外界光照强度与温度发生明显改变时，系统会进行再次寻优。

从图 2 可知，改变脉宽调制信号(Pulse Width Modulation, PWM)的占空比 D ，实质上是改变了光伏电池的负载。也即使光伏电池的输出功率点发生改变，从而达到寻找最大功率点的目的。

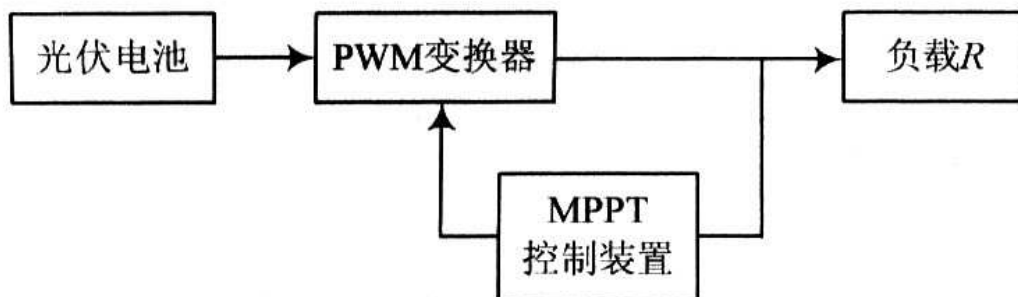


图 2 简单光伏系统的 MPPT 模糊控制结构图

光伏电池的负载 R_L 与负载 R 和占空比 D 的关系式为：

$$R_L = R / D$$

MPPT 控制器通过调整 PWM 信号的占空比 D ，来改变光伏电池的负载，从而实现阻抗匹配的功能。因而，占空比 D 的大小决定了光伏电池输出功率 P 的大小，一般光伏逆变器的 P - D 关系如图 3 所示。

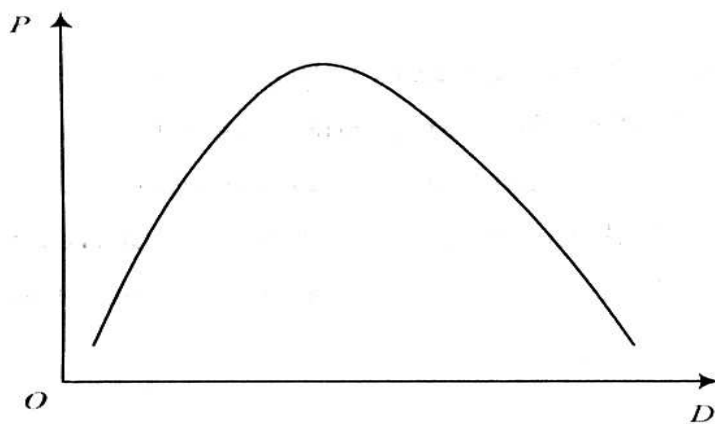


图 3 P - D 关系曲线图

国内外的一些光伏发电系统对光伏电池的最大功率跟踪控制，一般提出过多种方法，如定电压跟踪法、扰动观察法、功率回授法和增量电导法等，这些算法的不足在于：未说清从一个最大功率点怎样跟踪到下一个最大功率点；计算量很大，实现较困难；控制精度差，受外在影响大。本文提出的设计方案进行最大功率点跟踪，可弥补以上不足之处。

3 模糊控制器设计

在光伏并网发电系统中，使用模糊逻辑对系统的输入和输出进行设计，可以得出一系列控制规则，可以由微机十分简明地实现。

3.1 确定模糊控制器的结构

MPPT 控制设计，其关键是模糊控制器的设计。选用双输入单输出模糊控制器，如图 4 所示。

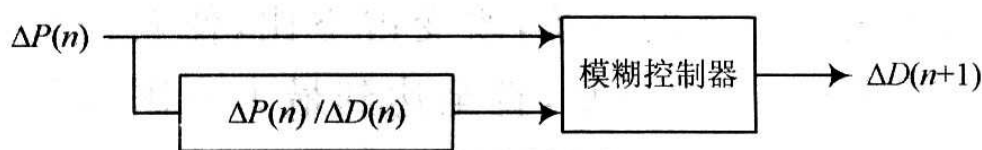


图 4 二维模糊控制器

模糊控制器的第 n 时刻输入量，为第 n 时刻的功率变化量 $\Delta P(n)$ 和功率变化率；第 n 时刻的输出量为第 $n+1$ 时刻的占空比改变量 $\Delta D(n+1)$ ，大小在 $[0, 1]$ 间变化。其中功率变化量 $\Delta P(n) = P(n) - P(n-1)$ ，功率变化率用 $\Delta P(n) / \Delta D(n)$ 代替计算。

3.2 确定输入、输出量模糊子集及论域

$\Delta P(n)$ 的模糊集为 E ， $\Delta P(n) / \Delta D(n)$ 的模糊集为 EC ， $\Delta D(n)$ 的模糊集为 U 。

将语言变量 E 和 U ，定义为 7 个模糊子集， EC 定义为 6 个模糊子集，即：

$$E = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$EC = \{NB, NS, NO, PO, PS, PB\}$$

$$U = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

其中：NB, NM, NS, NO, ZO, PO, PS, PM, PB 分别表示负大，负中，负小，负零，零，正零正小，正中，正大等模糊概念。将 E , U 的论域规定为 15 个等级，将 EC 的论域规定为 12 个等级，即：

$$E = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$$

$$EC = \{-5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5\}$$

$$U = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$$

3.3 确定隶属函数

模糊子集的隶属函数形状较尖，反映模糊集合具有高分辨率特性较高的灵敏度。

故本文选择三角形作为隶属函数的形状，E 和 EC 的隶属函数见图 5 和图 6，U 的隶属函数如图 7 所示。

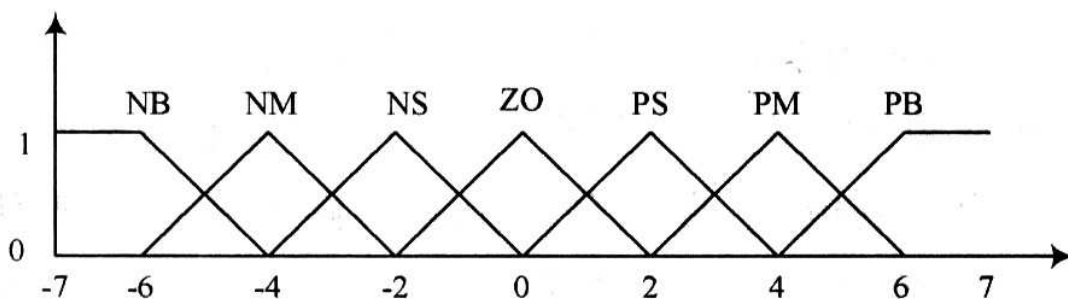


图 5 E 的隶属度函数

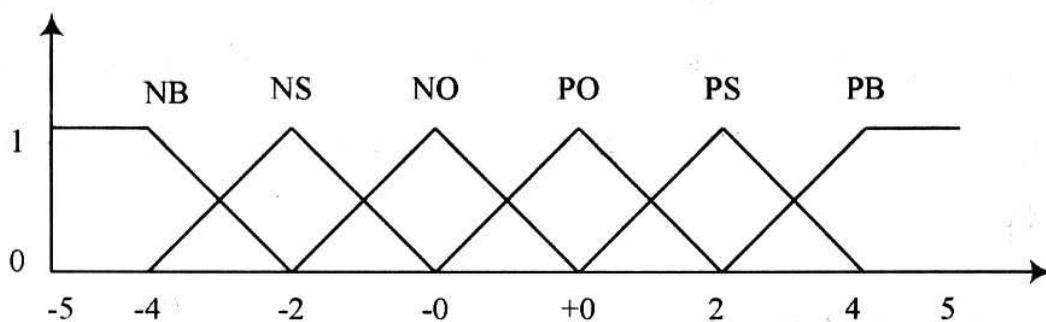


图 6 EC 的隶属度函数

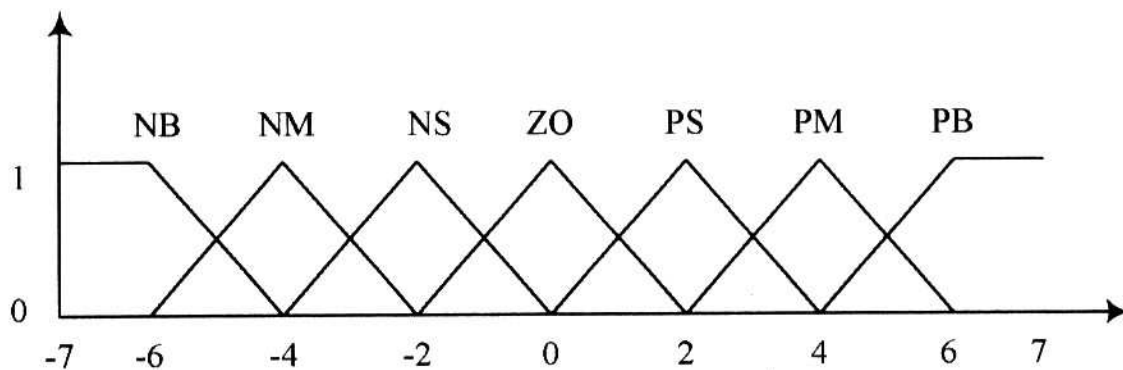


图 7 U 的隶属度函数

3. 4 确定模糊控制规则

根据功率值的变化量，来决定这一时刻的占空比改变量。通过对光伏电池输出功率 P 与占空比 D 之间的特性曲线分析，并且考虑到外界环境因素(温度、日照强度)对光伏电池输出功率的影响得到以下原则：

(1) 若输出功率增加，则继续原来改变量调整方向，否则取相反方向；

(2) 离最大功率点较远处，采用较大改变量以加快跟踪速度；离最大功率点附近，采用较小改变量进行搜索以减小搜索损失；

(3) 当达到以最大功率点为中心的极小的 ZO 区域时，系统稳定下来，直至外界环境再次发生明显变化。

(4) 当温度、日照强度等因素发生变化导致光伏电池输出功率发生明显变化时，系统能够作出快速的反应，进行再次寻优。

遵循上述原则，并对实际仿真结果进行调整得到最终控制规则表，如表 1 所示。

表 1 MPPT 模糊控制规则表

EC	U						
	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
NO	NB	NM	NS	ZO	—	—	—
PO	PB	PM	PS	ZO	—	—	—
PS	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM
PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

3. 5 解模糊方法与仿真

模糊逻辑控制器仿真选择 Mamdani 型控制器，解模糊方法为重心法，其计算式为：

$$a(k) = \frac{\sum_{i=1}^n [u(A_i)A_i]}{\sum_{i=1}^n u(A_i)}$$

式中： $u(A_i)$ 为第 i 个模糊输出量的隶属度； A 为第 i 个模糊输出量。

经过试验仿真，结果如图 8 所示。经过 MPPT 模糊控制占空比时，它能够迅速地跟踪到最大功率点。由此可得，模糊控制能够有效地克服光伏电池的非线性和时滞性，能够快速跟踪到最大功率点，并保持在此状态。

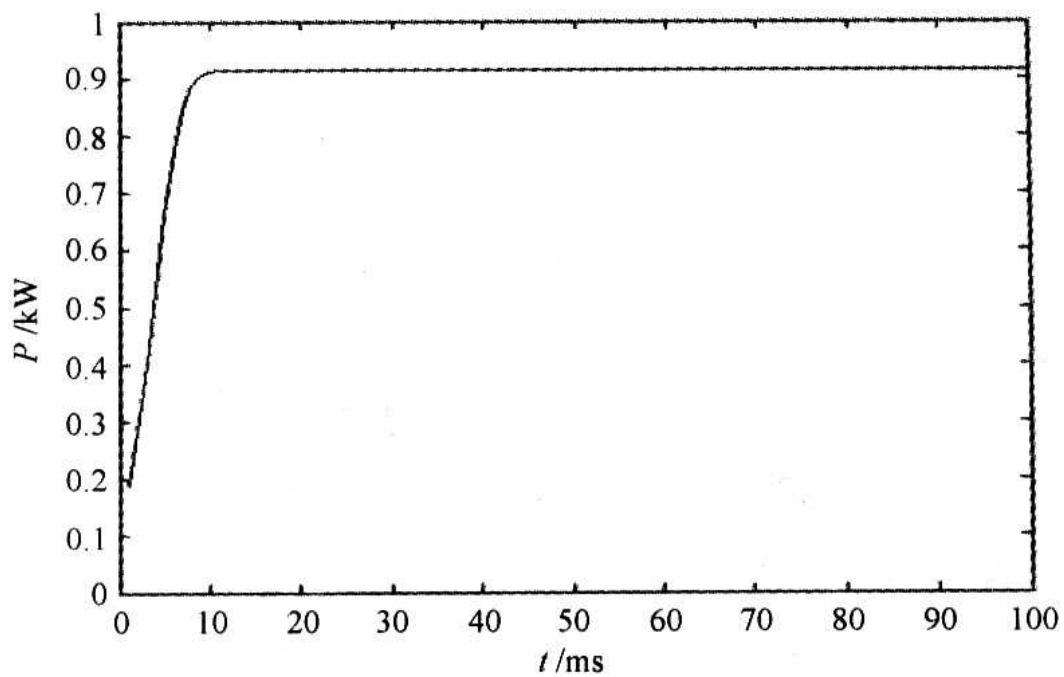


图 8 MPPT 下光伏电池输出功率

4 结语

仿真发现，将模糊逻辑控制应用于光伏电池最大功率点的跟踪不仅跟踪迅速，而且反应灵敏，且通过模糊控制表可以实现离线设计，节省了微机的内部存储空间，提高了工作速度。