

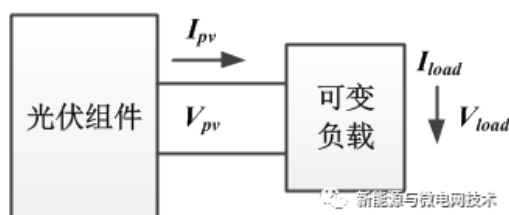
一. 光伏+boost MPPT 原理介绍

1.1 光伏+boost 拓扑的最大功率点跟踪原理

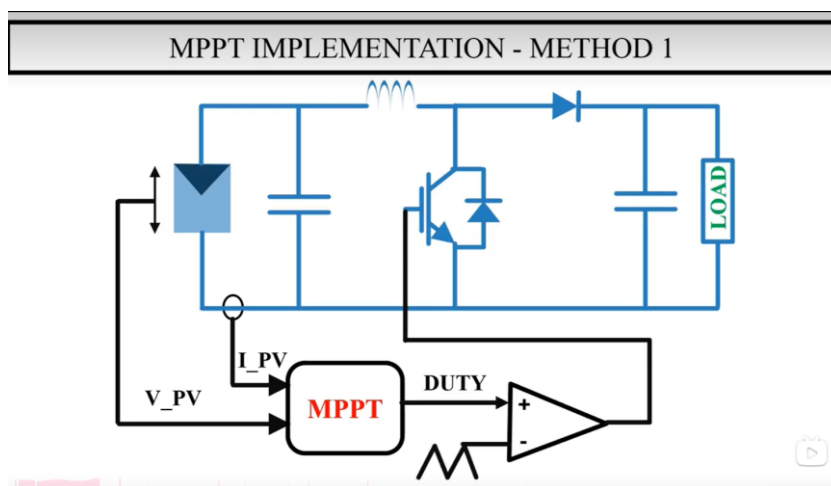
太阳能被全世界广泛地认为是一种非常重要的可持续能源。但由于光伏阵列受到外界环境因素如光照强度或温度的影响，其输出电压、电流呈现出明显的非线性特征。因此如何实时地调节光伏模块的输出功率，在任何外界环境下实现最大功率点跟踪(MPPT)显得十分重要 [1]。

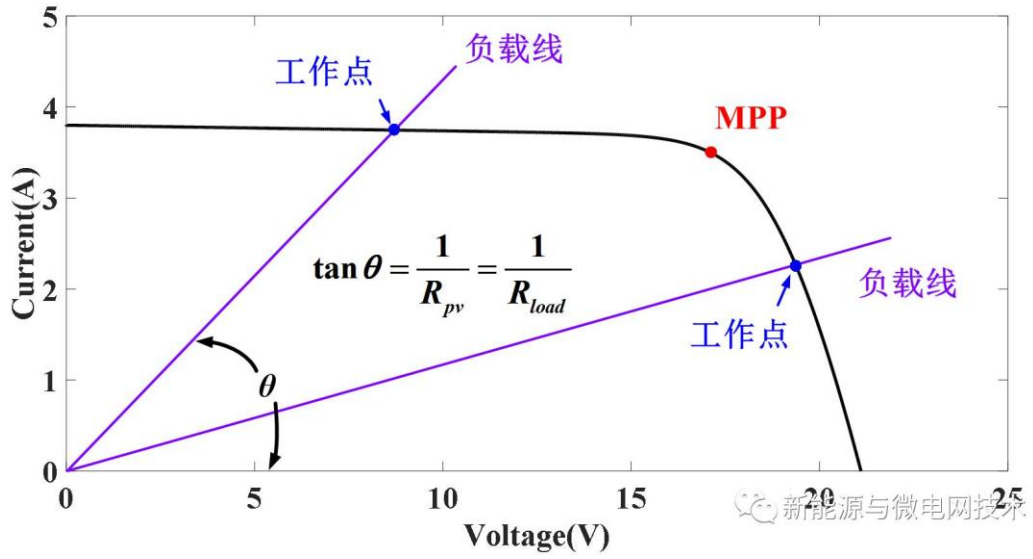
对于 MPPT 而言，大多数人往往知其然而不知其所以然。因此，本文旨在详细讲解 MPPT 的基本原理。

一个简单的光伏 MPPT 系统可以如下图所示，其包含光伏组件和一个可变负载。

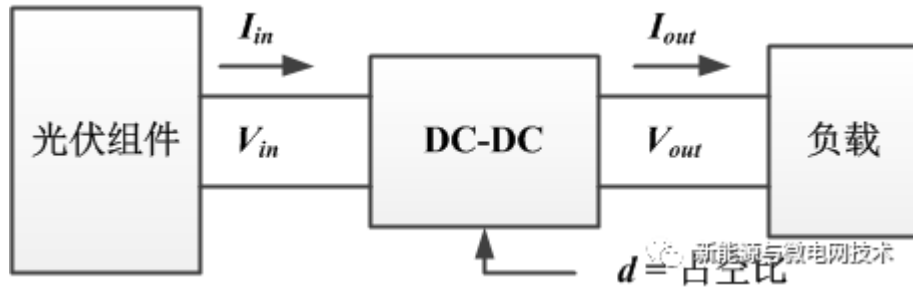


由于光伏组件直接与可变负载相连，因此光伏组件的输出电压 (V_{pv})、输出电流 (I_{pv}) 分别与可变负载的电压 (V_{load})、电流 (I_{load}) 相等。因此，通过调节可变负载的阻值 (R_{load})，即可调节光伏组件的等效电阻 (R_{pv})，继而调节光伏组件在其自身 I - V 曲线上的工作点。如下图所示，当 R_{load} 达到某一个值时，工作点将移动至其最大功率点 (MPP)，从而使光伏组件的发电效率达到最大化。基本的拓扑结构如下：





但是，在实际情况下，在某一段时间内， R_{load} 往往是一个固定值。因此，直接调节负载阻值显然不太现实。为此，我们可以在光伏组件与负载之间添加一个 DC-DC 变流器，如下图所示，其中 d 为 DC-DC 的占空比 [2]。



我们假定 $M(d)$ 为电压转换比，故 dc-dc 输入输出电压可以写为

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{M(d)}$$

然后，假设 η 为 DC-DC 的转换效率，则有

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} / R_{in}} = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 \cdot \frac{R_{in}}{R_{out}}$$

将前式代入后式，则有

$$\eta = M(d)^2 \cdot \frac{R_{in}}{R_{out}}$$

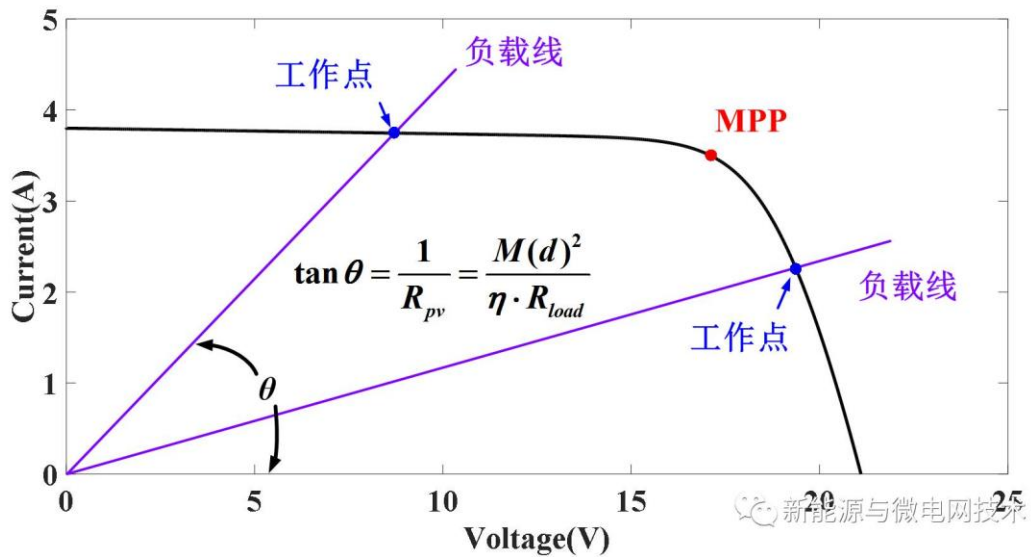
其中 R_{in} 和 R_{out} 为等效输入、输出电阻。

在光伏系统中， $R_{pv} = R_{in}$ 且 $R_{load} = R_{out}$ 。因此上式可写为

$$R_{pv} = \eta \cdot \frac{R_{load}}{M(d)^2}$$

通过上式可知，即使 R_{load} 为某一个定值，通过调节 DC-DC 占空比 d ，工作

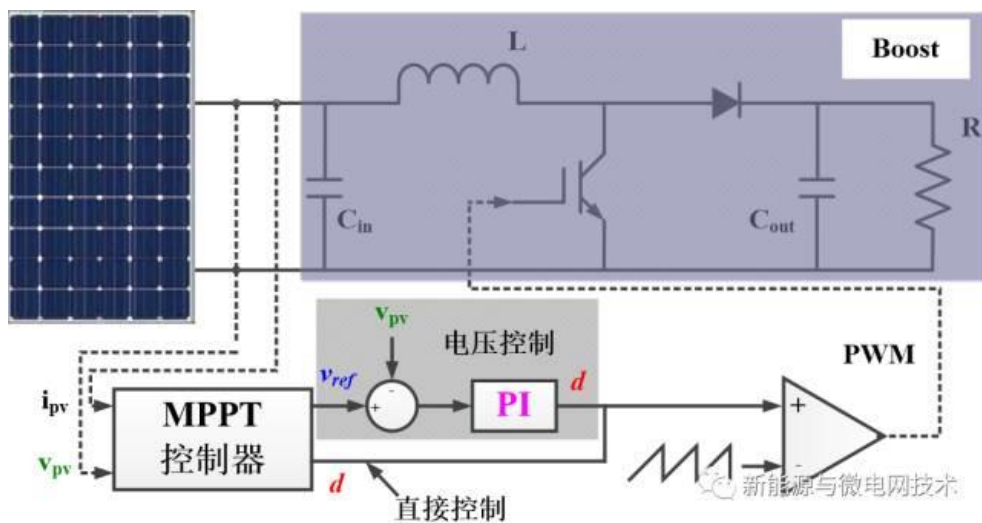
点仍可以将移动至其最大功率点 (MPP)，如下图所示。



需要注意的是，不同的 DC-DC 有不同的电压转换比 $M(d)$ ，如下表所示。

	Buck	Boost	Buck-Boost
$M(d)$	d	$1/(1-d)$	$-d/(1-d)$

在实际情况下，MPPT 控制器一般可以采用电压控制法和直接控制法，如下图所示[3]。

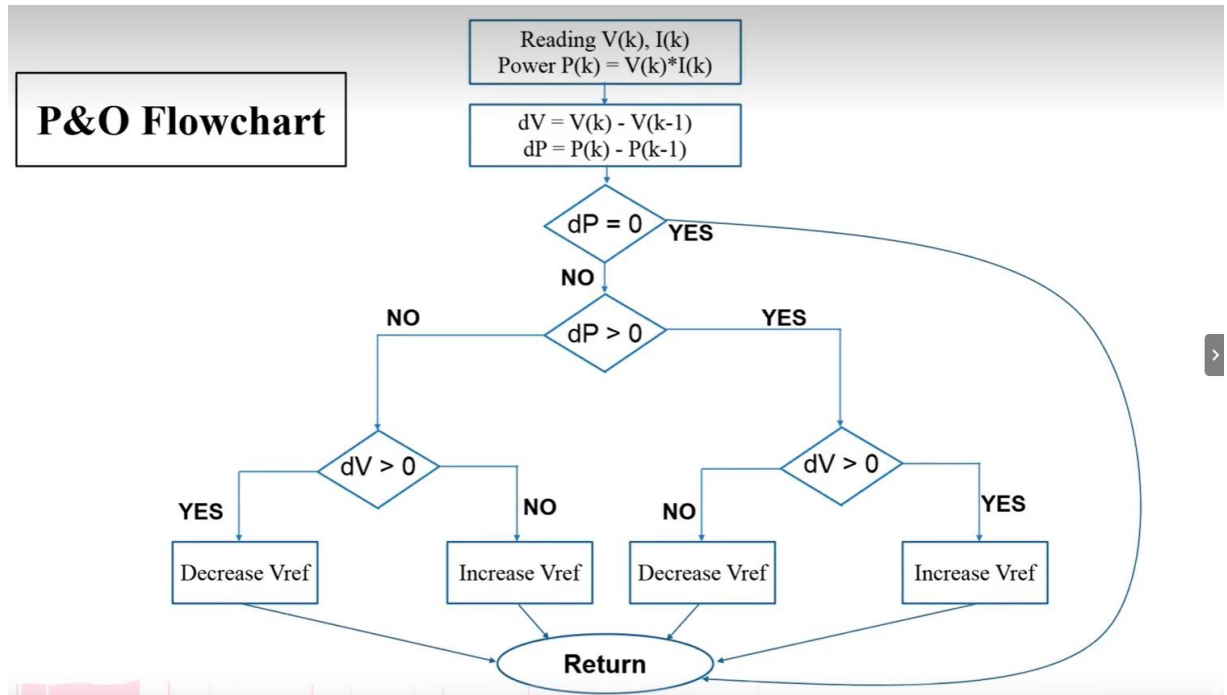


对于电压控制法而言，MPPT 控制器内的 MPPT 算法，如观察扰动法，会生成一个参考电压信号 v_{ref} ，然后 v_{ref} 会与当前 MPPT 控制器所采集的电压信号 v_{pv} 进行比较，所得结果传递给 PI 控制器，继而得到 DC-DC 占空比 d ，最后占空比 d 再与三角波进行比较，从而生成 PWM 来控制 DC-DC。

直接控制法不需要设计 PI 控制器，直接通过 MPPT 控制器内的 MPPT 算法生成占空比 d 继而生成 PWM。

从本质上来说，不管是电压控制法还是直接控制法，MPPT 算法均是通过占空比 d 来进行控制的。至于如何计算占空比 d 的值，则取决于具体的 MPPT 算法，如粒子群优法、电导增量法、以及 Beta 法等。

常用的 MPPT 算法有扰动观察法（P0）和增量电导法：
扰动观察法以原理流程图：



增量电导法原理推导：

摘要 增量电导法是MPPT控制常用的又一算法，也是一种以扰动太阳能电池的输出电压来进行太阳能电池最大功率点追踪的一种策略，它是根据在最大功率点时太阳能电池的输出功率对电压的微分为0而被提出来的。它能够判断出工作点电压与最大功率点电压的关系。

一、增量电导法原理

增量电导法是MPPT控制常用的又一算法，也是一种以扰动太阳能电池的输出电压来进行太阳能电池最大功率点追踪的一种策略，它是根据在最大功率点时太阳能电池的输出功率对电压的微分为0而被提出来的。它能够判断出工作点电压与最大功率点电压的关系。对于功率P有：

$$P = IV$$

同时对上式两端对V求导，可得：

$$dP/dV = d(IV)/dV = I + V(dI/dV)$$

当 $dP/dV > 0$ 时，V 小于最大功率点电压 V_{max} ；当 $dP/dV < 0$ 时，V 大于最大功率点电压 V_{max} ；当 $dP/dV = 0$ ，V 等于最大功率点电压 V_{max} ；将上述三种情况代入上式可得：

$$\text{当 } V < V_{max};$$

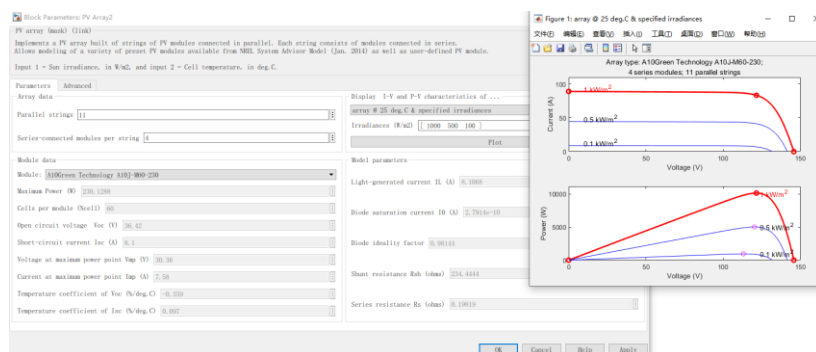
$$\text{当 } V > V_{max} \text{ 时, } dI/dV < -I/V;$$

$$\text{当 } V = V_{max} \text{ 时, } dI/dV = -I/V;$$

这样可以根据 dI/dV 与 $-I/V$ 之间的关系来调整工作点电压,从而实现最大功率跟踪。

1.2 关于 boost 电路的参数选择

首先确定输入的电压电流，输出的电压电流，以下面的光伏板参数设置为例介绍



这是一个 4 串 11 并的光伏板组件，当光照强度为 1000、温度 25 摄氏度时，每个单元的输出最大功率是 230.13W，此时每个单元的电压为 30.36V，那么最大总功率：

$$P = 230.13 * 4 * 11 = 10126W$$

在最大功率点处，boost 电路的输入电压为：

$$V_{in} = 30.36 * 4 = 121V$$

输入电流为：

$$I_{in} = \frac{P}{V_{in}} = 84A$$

设置开关频率 $f=20000\text{Hz}$ ，boost 输出电压 400V，输出电压纹波 1%，输入电流纹波 5% 则，电压纹波：

$$\Delta U = 400 * 1\% = 4V$$

电流纹波：

$$\Delta I = 84 * 5\% = 4.2A$$

电感计算公式为：

$$L = \frac{V_{in}(V_{out} - V_{in})}{f * \Delta I * V_{out}} = \frac{121(400 - 121)}{20000 * 4.2 * 400} = 1.05\text{mH}$$

电容计算公式为：

$$C = \frac{I_{out}(V_{out} - V_{in})}{f * \Delta V * V_{out}} = \frac{25(400 - 121)}{20000 * 4 * 400} = 218\mu\text{F}$$

下面是另外一个 boost 电路的参数取值计算例子：

BOOST CONVERTER DESIGN

Input Current = $100\text{Kw}/250 = 400\text{A}$

Current Ripple = 5% of 400 = 20A

Voltage Ripple = 1% of 600 = 6V

Output Current = $100\text{Kw}/600 = 166\text{A}$

$$\text{Inductance, } L = \frac{V_{ip}(V_{op} - V_{ip})}{f_{sw} * \Delta I * V_{op}} = 1.45\text{mH}$$

$$\text{Capacitance, } C = \frac{I_{op}(V_{op} - V_{ip})}{f_{sw} * \Delta V * V_{op}} = 3227\mu\text{F}$$

SPECIFICATIONS

Vinput = 250 - 350V

Voutput = 600V

Rated Power = 100KW

Switching frequency, $f_{sw} = 5\text{KHz}$

Current ripple, $\Delta I = 5\%$

Voltage ripple, $\Delta V = 1\%$

Power electronics by
Muhammad H Rashid

