

# 太阳能电池接 Boost 电路 MPPT 控制仿真分析

任立平,朱 祁,于跃海,胡 云  
(国网电力科学研究院,江苏 南京 210003)

**摘要:**针对实时数字仿真仪(RTDS)/RSCAD中提供的太阳能阵列模型,测试其  $I-V$  及  $P-V$  特性,并外接 Boost 变换电路进行实时仿真。采用恒定电压跟踪法,对太阳能阵列输出的实时电压值与给定值的偏差信号进行 PI 调节,控制升压斩波(Boost Chopper)变换电路的占空比  $D$ ,进而实现太阳能阵列外接电路的等效电阻值的自动寻优。当电阻值达到太阳能阵列工作于最大功率点(MPP)处外接等效电阻  $R_{eq}$  值时,即实现了太阳能电池阵列最大功率点跟踪(MPPT)控制,从而大大提高了太阳能利用效率。

**关键词:**太阳能阵列;实时数字仿真仪;最大功率点跟踪;Boost 变换电路

**中图分类号:** TM914.4

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2012)03-0034-03

在我国“十二·五”规划中,利用太阳能发电是建设坚强智能电网的重要组成部分。太阳能作为一种最好的可再生能源,必将迎来发展的契机。目前太阳能电池最大功率点跟踪(MPPT)控制算法有很多种,最常用的有:恒定电压跟踪法、扰动观察法和增量电导法等3种<sup>[1,2]</sup>。文中采用恒定电压跟踪法来实现太阳能电池的 MPPT,实现太阳能电池始终工作在最大功率点(MPP)附近。

## 1 太阳能电池模型

RSCAD 软件中太阳能电池模型如图 1 所示,是一种基于肖特基二极管的精确太阳能电池组件。该模型以暂态辐射与外界温度作为输入变量,由一系列的太阳能电池构成的组件经串并联后组成的阵列(array),可以方便地设置各个串并联组件数来实现阵列输出的电压、电流。

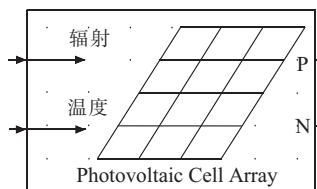


图 1 RSCAD 中太阳能电池模型

该模型中,基本参数如下: $V_{ocref}$ 为单个组件开路电压值; $I_{ocref}$ 为单个组件短路电流值; $V_{mpref}$ 为单个组件在 MPP 处的电压值; $I_{mpref}$ 为单个组件在 MPP 处电流值。假定在标准测试条件下(STC),即暂态辐射强度为  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ ,外界温度为  $25\ ^\circ\text{C}$ , $V_{ocref}=21.7\ \text{V}$ ; $I_{ocref}=3.35\ \text{A}$ ; $V_{mpref}=17.4\ \text{V}$ ; $I_{mpref}=3.05\ \text{A}$ 。

## 2 MPPT 控制原理

根据实际需要,设计出合理的太阳能电池阵

列,一般外接 Boost 变换电路,使其电压升高,然后接逆变器使其并网运行。文中阐述的太阳能电池阵列外接 Boost 变换电路使其电压升高,并控制太阳能电池阵列工作在 MPP 处,最大限度提高太阳能的利用效率。

设任何时刻太阳能电池阵列端电压与端电流分别为  $U_{PV}$  与  $I_{PV}$ ,在 MPPT 控制过程中, $U_{PV}$  与  $I_{PV}$  均在变化,即  $R_{PV}=U_{PV}/I_{PV}$  也在变化,从电路匹配角度看,需要一个阻抗变换器。而实际 Boost 变换电路中,电阻  $R$  是定值,这就需要控制其他变量来调节外接电阻值,达到自动寻优的目的<sup>[3]</sup>。太阳能电池阵列工作在 MPP 处时,其输出功率为:

$$P_{PV}=U_{PV} \cdot I_{PV} \quad (1)$$

外接等效电阻为:

$$R_{eq}=U_{PV}/I_{PV} \quad (2)$$

Boost 变换电路中,假设电路中电感  $L$  值很大,电容  $C$  值也很大。当开关管处于通态时,电感  $L$  中的充电电流基本恒定,同时电容  $C$  向负载供电,保持输出电压  $U_o$  基本恒定,当开关管处于断态时,太阳能电池阵列与电感  $L$  共同向电容  $C$  充电,并向负载提供能量。一个周期内电感  $L$  储能与释能相等。定义开关管通态时间为  $t_{on}$ ,断态时间为  $t_{off}$ ,开关周期为  $T$ ,开关频率为  $f_s$ ( $f_s=1/T$ ),设占空比  $D=t_{on}/T$ <sup>[4]</sup>。则:

$$U_{PV} \cdot I \cdot t_{on} = (U_o - U_{PV}) \cdot I \cdot t_{off} \quad (3)$$

$$U_o = U_{PV} / (1 - D) \quad (4)$$

理想情况下,各开关管损耗为 0,负载电阻  $R$  消耗的功率为  $P_L$ ,则输出功率等于输入功率,即:

$$P_{PV} = P_L \quad (5)$$

$$U_{PV} \cdot I_{PV} = U_o \cdot I_o \quad (6)$$

可以得到:

$$I_o / I_{PV} = U_{PV} / U_o = 1 - D \quad (7)$$

定义:

$$R_L = U_o / I_o \quad (8)$$

联立式(2),(7),(8)得:

$$R_{eq} / R_L = U_{PV} \cdot I_o / U_o \cdot I_{PV} \quad (9)$$

$$R_{eq} = R_L \cdot (1-D)^2 \quad (10)$$

(10)式还可以化为:

$$R_{eq} = R_L \cdot (1-t_{on} \cdot f_s)^2 \quad (11)$$

式中: $f_s$ 为开关频率。

由式(11)可以看出, $R_L$ 值不变的情况下, $R_{eq}$ 值与 $t_{on}$ 及 $f_s$ 有关。可见,保持其中一个变量值不变,调节另一个变量,就可实现 $R_{eq}$ 值的自动寻优。文中采用保持 $f_s$ 不变,调节 $t_{on}$ ,实现MPPT控制。

上述分析是在理想情况下进行的,实际仿真中,开关管及二极管等都存在功率损耗,式(10)不严格相等,仿真出来的 $D$ 值比理想值偏小。

要实现上述外接电阻值的自动寻优,就要设计出合理的MPPT控制电路。MPPT控制电路如图2所示。

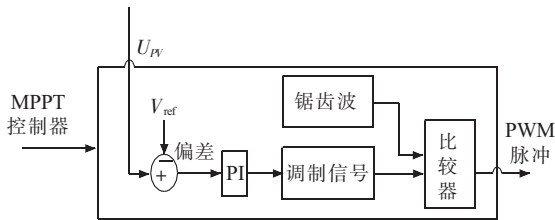


图2 太阳能阵列 MPPT 控制结构

MPPT控制器的设计原理如下:给定直流电压参考值 $V_{ref}$ (一般取为 $0.81U_{oc}$ ),此值可以根据上述提供的最大功率点估算方法得出,误差一般可控制在3%以内<sup>[5]</sup>。然后与太阳能电池阵列即时电压进行比较,偏差值经过PI调节器处理,用于控制PWM的调制信号,进而控制Boost变换电路中开关管脉冲占空比 $D$ ,使其工作在合适的状态,进而可以调节太阳能电池阵列的输出电压及电流,形成闭环控制,使输出电压稳定在估算出的MPP附近。

文中锯齿波幅值为0.5,波形关于纵坐标 $y=0.5$ 对称,这样就保证了 $t_{on}=m$ 。根据PI调解原理及上述公式,有:

$$R = R_L \cdot \left\{ 1 - f_s \cdot K_p \left[ (U_{PV} - V_{ref}) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (U_{PV} - V_{ref}) dt \right] \right\} \quad (12)$$

因为 $R_L, f_s, V_{ref}$ 为定值,由式(12)可以看出,太阳能电池阵列外接端电阻值 $R$ 是关于端电压 $U_{PV}$ 的函数,PI调节器使 $U_{PV}$ 趋于 $V_{ref}$ ,即 $R$ 趋于 $R_{eq}$ ,达到了MPPT控制的目的。

### 3 仿真及结果

利用RSCAD仿真软件搭建仿真模型,模型中

太阳能电池阵列单个组件包含的电池数 $N_c=36$ ,并联的组件数 $N_p=5$ ,串联组件数 $N_s=10$ 。由 $N_p$ 及 $N_s$ 并与上述提供的估算公式,可估算出该太阳能电池阵列MPPT处的电压值 $V_{mpp}=0.8 \cdot 21.7 \cdot N_s=174$  V,此值作为PI调节器的参考电压值 $V_{ref}$ 。仿真拓扑结构如图3所示。

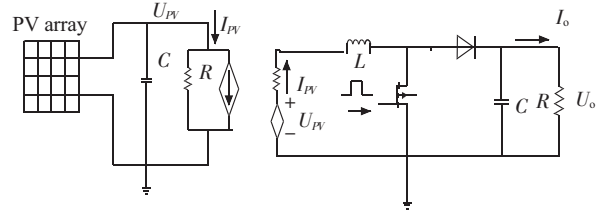


图3 RSCAD中搭建的PV-boost仿真模型

该仿真是在标准测试条件下进行的。仿真步长为 $12 \mu s$ ,Boost电路参数为: $L=0.1$  H; $C=0.01$  F; $R=100 \Omega$ 。PWM发生器载波信号为锯齿波,频率为3 kHz。调制波信号由PI调节器控制,PI调节器参数分别为: $K_p=0.1$ ; $T_i=0.07$ 。

在RTDS中进行仿真,启动仿真器时刻起,仿真波形如下图4、图5与图6所示。

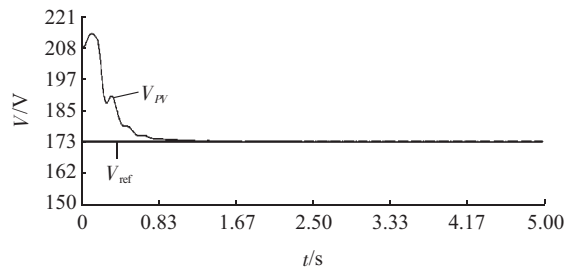


图4 太阳能电池阵列实时电压及参考电压波形

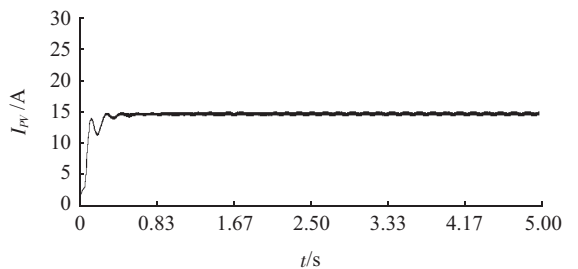


图5 太阳能电池阵列实时电流输出波形

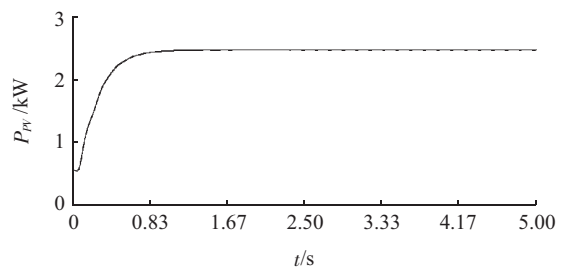


图6 太阳能电池输出功率波形

太阳能电池从MPP初切换到另一个功率点处的仿真波形如图7所示,可以看出,动态响应速率快,波形波动小。

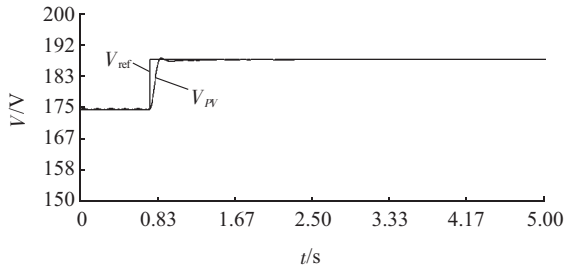


图7 太阳能电池端电压切换波形

由图4可知,仿真开始,太阳能电池的输出电压经历一个下降过程,然后很快稳定在设定值 $V_{ref}$ 附近,达到了MPPT控制的目标。从图4还可以得出: $U_{PV}=174\text{ V}$ ;  $I_{PV}=15.3\text{ A}$ ;  $P_{PV}=U_{PV}\cdot I_{PV}=2.66\text{ kW}$ ; 调制信号幅值显示为0.4998,即占空比 $D=0.4998$ ,  $U_o=435.2\text{ V}$ 。

可以看出,该仿真成功实现了太阳能电池阵列在STC下MPPT控制。

#### 4 结束语

恒定电压跟踪法最大的优点是设计简单、跟踪速度快,功率跟踪准确。最大的缺点是由于电压参考值是通过估算得出的,难免会产生误差。在精度要求很高的场合,该方法还有待改进。由于MPP的跟踪控制过程实际上是寻找外接电路等效电阻的最优值

过程。从推算出的(11)式还可以看出, $R_{eq}$ 值与 $t_{on}$ 及 $f_s$ 有关。本文是通过控制 $D$ 来实现等效电阻自寻优实现的,即保持 $f_s$ 不变,调节 $t_{on}$ ;若保持 $t_{on}$ 不变,理论上还可以通过控制锯齿波的频率 $f_s$ 来实现MPPT的控制。

#### 参考文献:

- [1] 张财志,刘永浩,贾俊波,等.基于LabVIEW太阳能电池最大功率点跟踪研究[J].电力电子技术,2009,43(12):8-70.
- [2] 邵翠,丁宝,宋镇江,等.光伏系统最大功率点跟踪控制算法的研究[J].建筑电气,2010(6):34-38.
- [3] 范晓聪,方建安.基于模糊PID控制的光伏并网发电系统设计[J].机电工程,2010,27(9):104-107.
- [4] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [5] 任立平,董兴绿,于跃海,等.基于RTDS太阳能电池建模及最大功率点跟踪控制[J].江苏电机工程,2011,30(5):17-19.

#### 作者简介:

任立平(1985),男,湖南岳阳人,硕士研究生,从事微网的稳定运行研究工作;

朱祁(1986),男,山东潍坊人,硕士研究生,从事电能质量方面的研究工作;

于跃海(1972),男,江苏泰州人,研究员,从事数字仿真研究工作;

胡云(1983),男,广西马山人,助理工程师,从事电力系统建模与数字仿真工作。

## Simulation Analysis of MPPT Control in Solar Array with External Boost Circuit

REN Li-ping, ZHU Qi, YU Yue-hai, HU Yun

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** For the solar array model in RTDS/RSCAD, the  $I$ - $V$  and  $P$ - $V$  characteristics are tested and the model is connected to the external Boost transform circuit for real-time simulation. The constant voltage tracking method is applied. In the method, the deviation the real-time voltage value and the given value input to PI adjustment and then the duty cycle of the boost chopper circuit is controlled. In addition, the automatic optimization of the equivalent resistance of the external circuit of solar array can be realized. While the resistance reaches the external equivalent resistance value of maximum power point (MPP), the maximum power point tracking (MPPT) control of solar array is realized and this can greatly improve the efficiency of solar energy.

**Key words:** solar array; RTDS; maximum power point tracking (MPPT); Boost transform circuit

## 国外研制出效率 20.2% 的背接触硅基太阳能电池

弗劳恩霍夫太阳能系统研究所(Fraunhofer ISE)日前在背接触太阳能电池的生产工艺中使用了Rasire公司的蒸汽发生器,电池的 efficiency 一举突破 20.2%。弗劳恩霍夫已先后在金属卷绕太阳能电池(MWT)及发射极和背面钝化太阳能电池(PERC)的制作工艺中采用了该公司的高纯度水蒸汽发生系统。

Rasire公司的蒸汽发生器据称可以使用去离子水生产出不含挥发性物质、离子杂质或其他污染物的高纯蒸汽,并应用到太阳能电池生产的关键步骤中。此外,公司还表示通过使用非多孔膜可以有效去除金属、碳氢化合物和其他杂质,使蒸汽纯度提高到 $10^{-12}$ (万亿分之一)级别,并提高蒸汽产量。