

基于工程模型的光伏建模与输出特性仿真

郭立 晁勤 袁铁江 吐尔逊·伊不拉音 袁建党
(新疆大学电气工程学院 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要:基于光伏电池的工程模型,在 Matlab/Simulink 仿真环境下,搭建了光伏阵列仿真模型,可模拟仿真给定光伏模块参数、光伏阵列串并联方式、外界环境变化下的光伏阵列特性曲线,并具有最大功率跟踪功能,其中采用考虑外界环境因素变化的恒电压控制方法,方法简单易行。该模型有较好的通用性,为光伏发电系统的研究提供了仿真模型和平台。

关键词:光伏模型; MPPT; Simulink 建模; 输出特性

Abstract: Based on the engineering model of photovoltaic battery, the simulation model of photovoltaic array is established on Matlab/Simulink environment. The model can simulate the given parameters of photovoltaic module, the series and parallel connection mode of photovoltaic array, and the characteristic curves of photovoltaic array during the variation of external environment, and has the tracing function of maximum power in which it uses the constant voltage control method considering the variation of external environment factor, and is simple and practicable. The model has a better commonality, and it provides the simulation model and platform for the research of photovoltaic power generation system.

Key words: photovoltaic model; MPPT; Simulink modeling; output characteristics

中图分类号:TK511 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)05-0089-03

光伏发电系统是运用太阳能电池半导体材料的光伏效应,将光照辐射的能量直接转换为电能的一种新型能源发电系统。由于光伏电池成本较高,实际实验困难,所以计算机模拟仿真成为研究这类领域的主要方式^[1]。在实际情况中,光照强度不稳定,同时太阳能电池易受外界温度等因素影响,因此需要对光伏阵列特性进行建模,实现光伏发电系统的动态仿真。

搭建光伏阵列数学模型总体上有3种思路:(1)是将光伏阵列直接看成直流电压源,该方法虽然简单,却不能反映光照强度、外界温度变化及光伏阵列参数的变化,即不能反映光伏阵列随外界条件变化的特性;(2)是使用光伏阵列 I-V 外特性,对相应的参数修正拟合,从而使得该模型特性近似接近于实际光伏阵列,但对于光照强度、环境温度等参数的设定较为复杂;(3)是根据光伏电池本身的物理特性提出光伏阵列数学模型,即环境条件的变化与光伏阵列其内部特性的关系式,该模型的建立需要大量的实验和时间,且十分复杂和困难。因国内外所研究的光伏模型具有针对性和局限性,所以不具备一定的通用性。

基于 Matlab/Simulink 仿真软件,根据光伏工程数学模型,搭建光伏阵列仿真模型,采用厂家所提供的光伏电池参数,并能模拟外界环境的变化模拟其特性的影响。

1 光伏工程数学模型

任意太阳光照强度 $G(W \cdot m^{-2})$ 和环境温度 T_a ($^{\circ}C$) 条件下,太阳能电池温度 T_c ($^{\circ}C$) 为

$$T_c = T_a + t_c \cdot G \quad (1)$$

式中 t_c 由试验测得大量数据取为 $0.03 \text{ }^{\circ}C \cdot m^2 / W$ 。

设在参考条件下 I_{sc} 为短路电流, V_{oc} 为开路电压, I_m 、 V_m 为最大功率点电流和电压,则当光伏阵列电压为 V 其对应点电流 I 为

$$C_2 = \left(\frac{V_m}{V_{oc}} - 1 \right) / \ln \left\{ \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right\} \quad (2)$$

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) e^{-\frac{V_m}{C_2 V_{oc}}} \quad (3)$$

$$I = I_{sc} \left(1 - C_1 \left(e^{\frac{V}{C_2 V_{oc}}} - 1 \right) \right) \quad (4)$$

考虑太阳辐射变化和温度影响时,

$$DT = T_c - T_{ref} \quad (5)$$

$$DV = -\beta \cdot DT - R_s \cdot DI \quad (6)$$

$$DI = \alpha \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) DT + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1 \right) \cdot I_{sc} \quad (7)$$

$$I = I_{sc} \left(1 - C_1 \left(e^{\frac{V-DV}{C_2 V_{oc}}} - 1 \right) \right) + DI \quad (8)$$

式中 G_{ref} 、 T_{ref} 分别为太阳辐射和电池温度参考值,一般分别取 $1 \text{ kW}/m^2$ 和 $25 \text{ }^{\circ}C$; α 为在参考日照下的电

流变化温度系数, β 参考日照下的电压变化温度系数, R_s 为光伏阵列的串联电阻。

2 光伏阵列最大功率跟踪控制

在一定的环境温度和光照强度下, 光伏电池有唯一的最大功率点, 当太阳电池工作在该点时, 能输出当前温度和日照条件下的最大功率。恒定电压控制 (CVT) 由于在日照强度较高时, 大多数太阳能电池板的最大功率点位于其开路电压的 $(78 \pm 2)\%$ 处^[5], 从而简化了 MPPT 的控制设计, 且考虑外界温度和光照强度对开路电压及短路电流的影响。

当日照强度和电池温度均有变化时, 重新计算 V_{oc-new} 为

$$DG = \frac{G}{G_{ref}} - 1 \quad (9)$$

$$V_{oc-new} = V_{oc} (1 - cDT) (1 + bDG) \quad (10)$$

$$V_{ref} = (0.76 \sim 0.80) \% V_{oc-new} \quad (11)$$

式(10)中, 系数 α, β 采用典型值: $\alpha = 0.0025 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $c = 0.00288 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $k = 0.76 \sim 0.80$; 系数 b 使用优化后的参数值: $b = -0.1949 + 7.056 \times 10^{-4} \times G$; V_{ref} 为工作在最大功率点时输入给定电压; k 为 MPPT 恒压控制调节系数。

3 光伏阵列仿真模型

依据光伏电池工程数学模型, 在 Matlab/Simulink 环境下, 搭建了光伏阵列的仿真模型, 如图1所示。

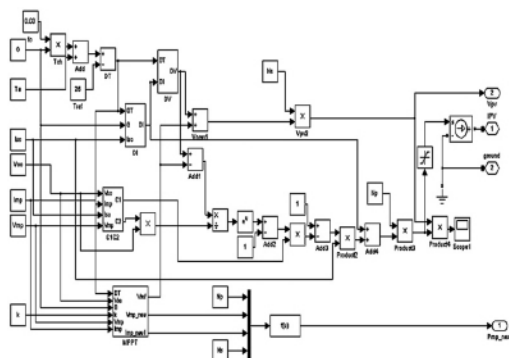


图1 光伏阵列的仿真模型图

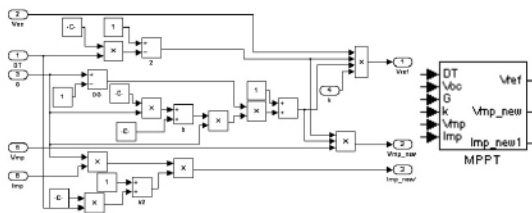


图2 最大功率点控制封装模型

最大功率点控制模型如图2示, 采用恒电压控

制, 考虑了外界条件变化对开路电压和短路电流的影响, 从而使得模型更加精确。

运用 Simulink 封装技术将模型进行封装处理^[3], 如图3示。

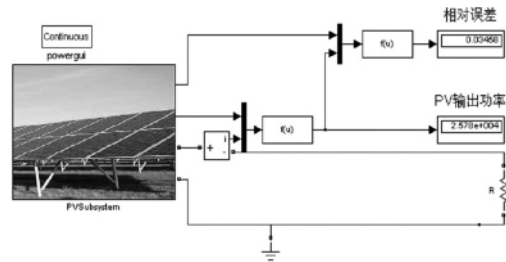


图3 光伏阵列的封装仿真模型

由厂家 Kyocera Corporation 提供型号为 KC40T-1 (多晶) 的参数如表1所示, 将厂家参数设置于模型用户参数设置界面中, 如图4所示。同时还可设定外界温度、光照强度、串并联方式等参数来模拟仿真光伏 $I-V$ 、 $P-V$ 特性曲线。

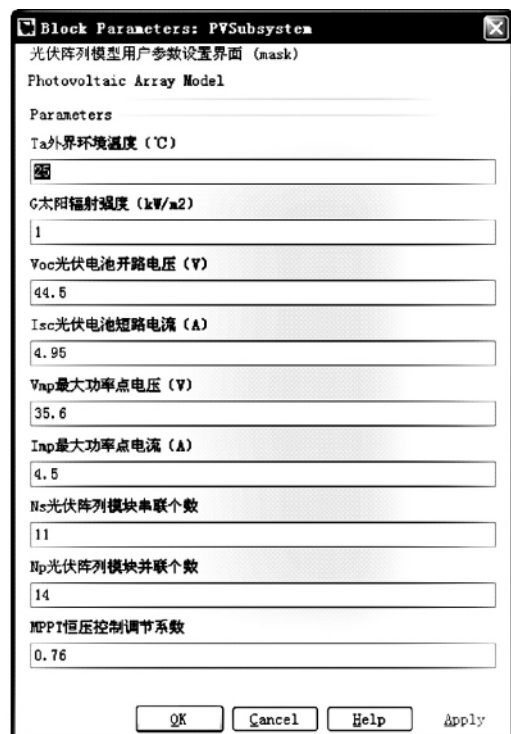


图4 光伏阵列模型用户参数设置界面

表1 KC40T-1 (多晶) 的参数表

型号: KC40T-1 (多晶)	参数
额定功率/W	43
开路电压/V	21.7
短路电流/A	2.65
最大功率点电压/V	17.4
最大功率点电流/A	2.48
尺寸大小/(mm × mm × mm)	52.6 × 65.2 × 5.4

使用该模型模拟外界条件的变化下的光伏 $I-V$ 、 $P-V$ 特性曲线, 由曲线图5可知当环境温度一定

时,光照强度降低,光伏阵列的短路电流和功率也随之下降,而对光伏阵列的开路电压影响较小;由曲线图6可知当光照强度一定时,随着环境温度的降低,光伏阵列的开路电压和功率升高,但对光伏阵列的短路电流几乎没有影响。

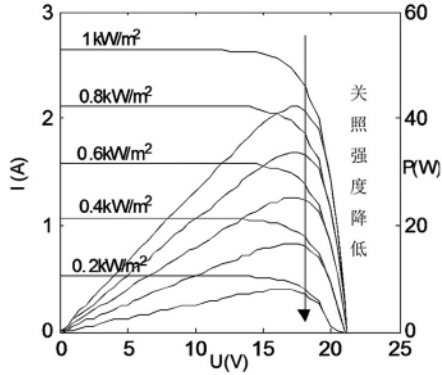


图5 25 °C,不同光照强度下的 I—V 和 P—V 特性曲线

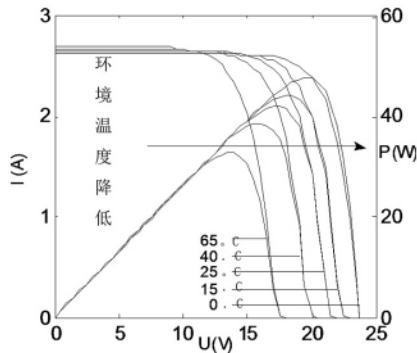


图6 1 kW/m² 不同环境温度下的 I—V 和 P—V 特性曲线

在环境温度一定时,曲线图7表示,不同的光照强度下光伏阵列功率输出,在 $t = 12\text{ s}$ 时刻,光照强度由 0.8 kW/m^2 变化为 1 kW/m^2 ,输出功率上升为 45 W ;在 $t = 16\text{ s}$ 时刻,光照强度变化为 0.9 kW/m^2 ,光伏阵列输出功率下降。图8则表示,在光照强度一定时,由不同的环境温度下光伏阵列功率输出曲线可知,分别在 $t = 12\text{ s}$ 和 $t = 16\text{ s}$ 时刻,外界温度变化为 30 °C 和 20 °C ,功率输出发生了相应的变化,同时该模型能够有效、快速地跟踪最大功率点。

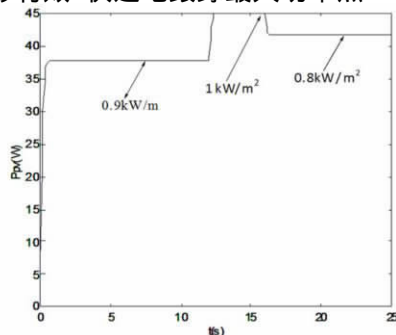


图7 不同光照强度下的光伏阵列功率输出曲线

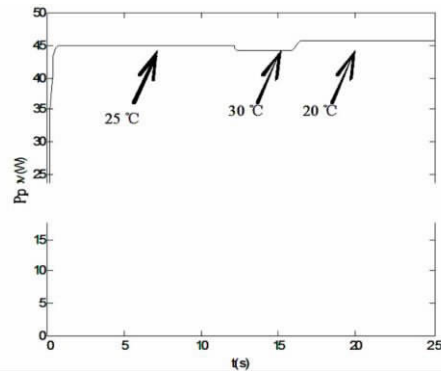


图8 不同环境温度下的光伏阵列功率输出曲线

4 结 论

依据光伏电池的工程数学模型,并结合最大功率跟踪数学模型,搭建了光伏阵列 Matlab 通用仿真模型。由厂家提供给定型号和参数,该模型就能够模拟各种外界条件组合下的 I—V 及 P—V 特性曲线,从而也验证了光伏阵列是一个与许多参量相关的高度非线性电源。MPPT 恒压控制简单易行,仿真时间较短,能够迅速、准确地动态跟踪。仿真计算表明,该光伏阵列模型可以动态跟踪外界温度、光照强度等参数地变化,从而为光伏发电系统研究提供了光伏阵列工程数学模型依据和动态仿真平台。

参考文献

- [1] 冯焱生. 太阳能发电原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [2] 孙自勇, 宇航, 严干贵, 等. 基于 PSCAD 的光伏阵列和 MPPT 控制器的仿真模型[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 61-64.
- [3] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248-1251.
- [5] 王长江. 基于 MATLAB 的光伏电池通用数学模型[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(4): 11-14.
- [6] YUSHAIZAD Y, SITIHS, MUHAMMAD A L. Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System [C]. National Power & Energy Conference 2004, (29-30): 88-03.

作者简介:

郭立(1984),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。

(收稿日期:2011-08-10)