

文章编号: 0254-0096(2020)02-0268-07

局部阴影条件下光伏阵列的动态建模

裴婷婷, 郝晓弘

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院; 甘肃省工业过程先进控制重点实验室;
兰州理工大学电气与控制工程国家级实验教学示范中心, 兰州 730050)

摘要: 针对静态阴影下光伏阵列模型输出特性与实际运行输出特性偏差较大的问题, 建立基于动态阴影的光伏阵列模型。首先对由带旁路二极管光伏组件组成的光伏阵列进行配置结构优化; 然后根据局部阴影下光伏阵列的光照强度及温度随时间正态分布的特性, 利用变步长 Gauss-Legendre 积分算法, 得到光照强度及温度动态分布的值, 通过此动态值实时调节光伏阵列优化模型的输出状态, 解决静态阴影下光伏阵列模型难以满足实时输出要求的问题。仿真结果表明: 该模型适用于不同阴影条件、不同功率等级要求的应用场合。与静态阴影下光伏阵列的输出特性相比, 光伏阵列动态模型的输出特性更加接近于无阴影条件下光伏阵列的输出。

关键词: 动态模型; 光伏阵列; 光伏组件; 局部阴影; 配置结构优化

中图分类号: TK513.4

文献标志码: A

0 引言

研究光伏发电系统中最大功率点跟踪、逆变器动态特性及电能质量^[1-3]等问题时, 建立合理而准确的光伏阵列电气特性模型是关键。当光伏阵列被云层、建筑物及树木等完全或部分遮蔽时, 接收到的是非均匀光照, 导致其输出功率下降。因此光照均匀条件下由光伏组件构成的光伏阵列模型已无法适用^[4-5]。对于非均匀光照条件下光伏阵列输出功率下降的问题, 国内外学者已提出很多解决方法^[6-7], 这些研究主要是针对静态阴影下光伏阵列的建模, 对动态阴影下阵列建模方法的研究还较少。李乃永等^[8]和 Dash 等^[9]立了可用于电力系统稳定性分析的并网光伏电站的动态数学模型, 但是在光伏阵列静态模型基础上建立的光伏电站模型。秦岭等^[10]给出了太阳能电池的动态模型等效电路, 但未涉及光伏组件、光伏阵列的动态模型。Reinoso 等^[11]基于动态阴影建立了光伏电站的数学模型, 对光伏阵列建模时, 考虑光照强度在一天内的变化是一组离散的数据点, 因此不具备实时性特点。杨浩远等^[12]根据阴影出现位置、移动速度及移动路径, 建立了光伏阵列的动态模型, 然而在建模过程中未考虑周围环境因素对阵列的影响。

本文在考虑光照强度和温度随时间变化的情况下,

建立光伏阵列的动态模型, 用于模拟光伏阵列的 $I-U$ 、 $P-U$ 输出特性。采用甘肃酒泉地区一年中最恶劣天气情况的相关数据, 与静态阴影下光伏阵列的输出特性进行对比分析, 验证该模型的有效性。

1 光伏组件模型

太阳能电池是光伏并网发电系统的重要组成部分, 其主要作用是将太阳能转化为电能。目前太阳能电池单体的输出功率比较低, 为了提高太阳能电池的输出功率, 太阳能电池制造商将太阳能电池单体按照一定的要求串并联后组成光伏组件。

1.1 太阳能电池模型

太阳能电池的理想电路模型可等效为一个二极管和一个电流源并联, 其等效电路如图 1 所示。根据图 1 中太阳能电池理想电路模型以及基尔霍夫电流定律, 可得太阳能电池的理想 $I_{id}-V_{id}$ 数学模型为^[13]:

$$I_{id} = I_{PH,cell} - I_{0,cell} \left[\exp\left(\frac{qV_{id}}{akT} - 1\right) \right] \quad (1)$$

式中, I_{id} —— 太阳能电池的输出电流; V_{id} —— 太阳能电池的输出电压; $I_{PH,cell}$ —— 太阳能电池的光生电流; $I_{0,cell}$ —— 二极管的反向饱和电流; a —— 二极管理想度参数,

收稿日期: 2017-07-24

基金项目: 国家自然科学基金(61540033)

通信作者: 郝晓弘(1960—), 男, 硕士、教授、博士生导师, 主要从事复杂系统建模与控制、分布式电网与微电网、大数据驱动与监控方面的研究。haoxlut@163.com

a 的取值范围为 1~5; q —— 电子电荷常数, $q = 1.602 \times 10^{-19}$ C; k —— 玻尔兹曼常数, $k = 1.381 \times 10^{-23}$ J/K; T —— 太阳电池温度。

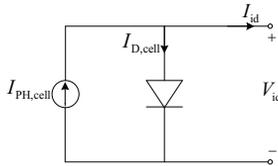


图1 太阳电池理想电路模型

Fig. 1 Ideal circuit model of solar cell

考虑到太阳电池材料的电阻特性以及损耗等因素, 将材料体电阻、p-n 结交界区载流子的复合和接触电阻等效为太阳电池的串联内阻, 将边缘处的漏电流等效为太阳电池的并联内阻, 可得太阳电池单二极管模型等效电路如图 2 所示。

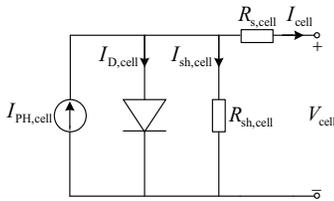


图2 太阳电池单二极管模型等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of single-diode model for solar cell

由图 2 可知, 太阳电池的 $I_{cell} - V_{cell}$ 数学模型为^[13]:

$$I_{cell} = I_{PH,cell} - I_{0,cell} \left[\exp \left(\frac{q(V_{cell} + R_{s,cell} I_{cell})}{akT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + R_{s,cell} I_{cell}}{R_{sh,cell}} \quad (2)$$

式中, $R_{s,cell}$ —— 串联内阻; $R_{sh,cell}$ —— 并联内阻。

1.2 光伏组件模型

假设有 N_s 个太阳电池串联构成一个光伏组件, 可得光伏组件的 $I - V$ 数学模型为^[14]:

$$I = I_{PH} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{aV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3)$$

式中, I —— 光伏组件的输出电流, $I = I_{cell}$; I_{PH} —— 光伏组件的光生电流, $I_{PH} = I_{PH,cell}$; I_0 —— 光伏组件的二极管反向饱和电流, $I_0 = I_{0,cell}$; V_t —— 光伏组件的温度电动势, $V_t = N_s k T / q$; V —— 光伏组件的输出电压, $V = N_s V_{cell}$; R_s —— 光伏组件的等效串联内阻, $R_s = N_s R_{s,cell}$; R_{sh} —— 光伏组件的等效并联内阻, $R_{sh} = N_s R_{sh,cell}$ 。

假设有 N_p 个太阳电池并联构成一个光伏组件, 其 $I - V$ 数学模型如式(3), 其中光伏组件的光生电流和二极管反向饱和电流分别为: $I_{PH} = N_p I_{PH,cell}$, $I_0 = N_p I_{0,cell}$;

光伏组件的输出电压、电流分别为: $V = V_{cell}$, $I = N_p I_{cell}$; 光伏组件的等效串并联内阻分别为: $R_s = R_{s,cell} / N_p$, $R_{sh} = R_{sh,cell} / N_p$; 光伏组件的温度电动势为 $V_t = k T / (q N_p)$ 。

现假设有 N_s 个太阳电池串联构成一个光伏组件, 其光伏组件模型参数: 光生电流 I_{PH} 、二极管反向饱和电流 I_0 、及串并联电阻 R_s 、 R_{sh} 可由式(4)~式(7)计算得出^[14]:

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_f \Delta T}{\exp[(V_{oc} + K_v \Delta T) / (aV_t)] - 1} \quad (4)$$

$$I_{PH,n} = \frac{R_s + R_{sh}}{R_{sh}} I_{sc} \quad (5)$$

$$I_{PH} = (I_{PH,n} + K_f \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (6)$$

式中, V_{oc} —— 光伏组件的开路电压; I_{sc} —— 光伏组件的短路电流; V_m —— 最大输出功率处电压; I_m —— 最大输出功率处电流; K_v —— 电压系数, $K_v = -0.123$ V/K; K_f —— 电流系数, $K_f = 0.003$ A/K; G —— 实际光照强度; G_n —— 额定光照强度; ΔT —— 温度差值, $\Delta T = T - T_n$ (其中 T 为实际温度, T_n 为额定温度)。仿真计算光伏组件串、并联电阻时, 采用文献[14]中提出的方法, 计算得 $R_s = 0.48 \Omega$, $R_{sh} = 205.68 \Omega$ 。

首先取 $R_{sh,min} = \frac{V_m}{I_{sc} - I_m} - \frac{V_{oc} - V_m}{I_m}$, $R_{s,min} = 0$, 然后根据试凑法, 给 R_s 任意取值, 最终使 $I - V$ 曲线穿过 (V_m, I_m) 点, 则仅存在一组 $\{R_s, R_{sh}\}$ 值与之对应。此时 R_{sh} 由式(7)计算得到:

$$R_{sh} = V_m (V_m + I_m R_s) / \{ [V_m I_{PH} - V_m I_0 \exp[(V_m + I_m R_s) / (aV_t)] + V_m I_0 - P_m] \} \quad (7)$$

式中, P_m —— 实际最大输出功率; P_n —— 额定输出功率。

2 局部阴影下光伏阵列动态模型

在实际光伏发电系统中, 光伏组件的输出功率很低, 因此大多数光伏并网发电系统是将光伏组件按照一定的要求串并联后组成光伏阵列, 将光伏阵列的输出至光伏并网逆变器。

2.1 光伏阵列的配置

受非均匀光照影响时, 为了有效防止热斑效应的产生, 光伏组件由太阳电池组和旁路二极管并联构成^[15]。本文将改进的光伏组件按照一定要求串联组成光伏组件组 G_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), 再将所有光伏组件组并联构成光伏阵列, 其配置结构如图 3 所示。

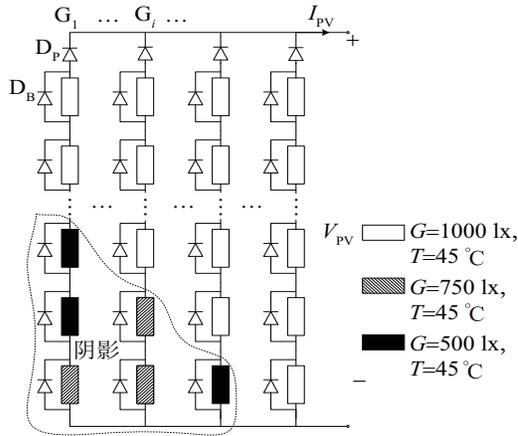


图3 光伏阵列配置结构图

Fig. 3 Configuration diagram of PV array

2.1.1 改进的光伏组件结构

图3中在每一个光伏组件组中串联的二极管 D_p 为阻塞二极管以防止光伏组件组中流过反向电流。光伏组件两端反向并联的二极管 D_b 为旁路二极管,以避免阴影条件下出现的热斑效应。当流过组件的电流大于组件的短路电流时,组件两端电压为负,当其电压的绝对值大于旁路二极管正向导通电压 V_D 时,旁路二极管正向导通,此时组件处于短路状态,其电流为短路电流,多余电流流入旁路二极管,从而避免热斑效应的产生。在非均匀光照条件下,光伏组件的内部结构如图4所示。

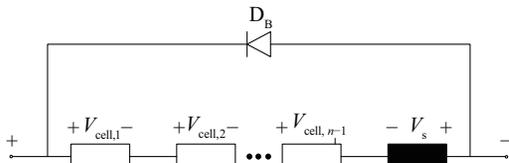


图4 光伏组件的内部结构

Fig. 4 Internal structure of PV module

由图4可知,一个光伏组件由 n 个太阳能电池串联,再与一个旁路二极管并联构成,其中受阴影影响的太阳能电池为 V_s 。在阴影条件下,为避免热斑效应发生,迫使旁路二极管 D_b 进入导通状态,其受阴影影响的太阳能电池输出电压必须满足^[16-17]:

$$V_s \geq V_D + \sum_{i=1}^{n-1} V_{cell,i} \quad (8)$$

式中, $V_{cell,i}$ ——第 i 个未受阴影影响的太阳能电池输出电压; V_D ——旁路二极管正向导通电压。

若每个太阳能电池的最大输出电压等于其开路电压 $V_{oc,cell}$,则式(8)可改写为:

$$V_s \geq V_D + (n-1)V_{oc,cell} \quad (9)$$

考虑到太阳能电池工作的安全裕度,受阴影影响的太阳能电池可接受的最大反向电压值为 $0.8V_b$ (V_b 为受阴影影响电池能承受的最大反向电压),如图4所示,在一个光伏组件中,旁路二极管可覆盖进行保护的太阳能电池数目为:

$$n \leq 1 + \frac{0.8|V_b| - V_D}{V_{oc,cell}} \quad (10)$$

根据文献[16-17]取 $V_{oc,cell} = 0.6V$, $V_D = 0.3V$, $30V$,代入式(10)得 $n_{max} = 39$,选择 $n = 36$ 。

2.1.2 光伏阵列配置结构优化

根据文献[6]可知,在光照强度和温度一定的情况下,同等数目光伏组件组成的光伏阵列,组件串联数目越少并联数目越多,其输出功率越大。现已知由300个如图4所示光伏组件,按不同串并联方式组成的光伏阵列,其结构配置信息如表1所示。

表1 不同光伏阵列的结构配置

Table 1 Configuration of different PV array

阵列	未受阴影影响	受阴影影响	结构配置
1	2	8	10s, 30p
2	4	16	20s, 15p
3	6	24	30s, 10p

注: s 代表串联; p 代表并联。

选取未受阴影影响组件的光照强度和温度分别为 $1000W/m^2$ 和 $45^\circ C$;受阴影影响组件的光照强度和温度分别为 $500W/m^2$ 和 $35^\circ C$ 。不同光伏阵列的 $P-U$ 输出特性曲线如图5所示。可以看出,由图4所示的光伏组件组成的光伏阵列,在光照强度和温度一定的情况下,配置结构为10s, 30p阵列的输出功率最大。因此,文中由改进光伏组件组成的光伏阵列,为了获取更高输出功率,也应尽可能减少光伏组件组中光伏组件的数量,同时增加光伏阵列中光伏组件组的数量。

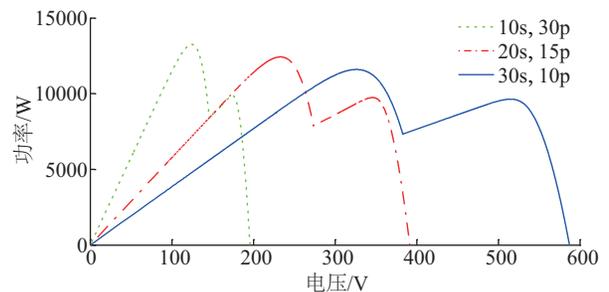


图5 不同光伏阵列的 $P-U$ 曲线

Fig. 5 $P-U$ curves of different PV array

2.2 动态阴影模型

选取 2016 年夏季甘肃酒泉地区, 天气情况最恶劣 2 d 的光照强度作为统计依据, 得到如图 6 所示光照强度随时间变化分布, 其中全年光照的平均值为 670.53 W/m^2 。

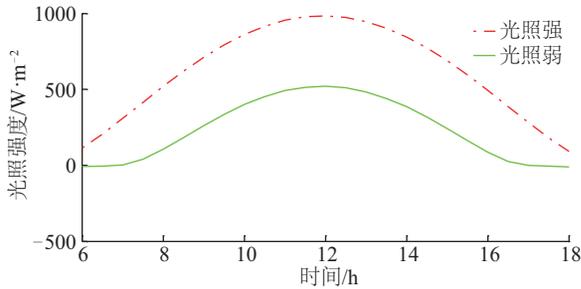


图6 光照强度随时间变化的分布图

Fig. 6 Distribution of insolation with time

由图 6 可知, 光照强度随时间变化的分布成中间高两边低的对称山峰状, 符合正态分布的基本特点。因此对图 6 所示光照强度的曲线可描述为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

式中, μ —— 期望; σ —— 标准差; $f(x)$ —— 光照强度分布的概率密度函数。

根据光照强度为正态分布的特征, 其分布函数为:

$$\Phi(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt \quad (12)$$

考虑到一般正态分布可“标准化”的原则, 将光照强度的正态分布函数变换成标准正态分布函数为:

$$\begin{aligned} \Phi(x) &= P(\xi < x) = P\left(\frac{\xi - \mu}{\sigma} < \frac{x - \mu}{\sigma}\right) \\ &= P(\eta < \frac{x - \mu}{\sigma}) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

已知标准正态分布函数为:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (14)$$

又因为 $\Phi(x) = 1 - \Phi(-x)$, 因此光照强度的正态分布函数为:

$$\begin{aligned} \Phi(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^0 e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) \\ &= 0.5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \end{aligned} \quad (15)$$

式(15)可归结为定积分的计算, 利用变步长 Gauss-Legendre 求积公式^[18], 得出标准正态分布计算结果。

如图 6 所示, 在 $[t, t + \Delta t]$ 内对式(15)利用变步长

Gauss-Legendre 公式求积分。根据积分中值定理, 如果 Δt 取值很小时, $\Phi(x)$ 约等于 $[t, t + \Delta t]$ 内任意一点对应的光照强度, 因此通过该方法可得任意时刻光照强度值。

3 仿真验证与结果分析

3.1 实验数据

以甘肃酒泉某 20 MW 光伏电站中额定功率 300 kW 的光伏阵列进行仿真分析。该光伏阵列由 20 个额定功率为 60 W 的光伏组件串联组成光伏组件组, 然后将 250 个光伏组件组并联组成, 其大小为 20×250 。本文选用文献[19]中标准测试条件下光伏组件的参数, 如表 2 所示。其中, V_m 、 I_m 分别为最大功率处的电压、电流; V_{oc} 、 I_{sc} 分别为开路电压、短路电流; P_n 为额定输出功率。

表 2 标准测试条件下光伏组件参数

Table 2 Parameters of PV module under standard

test conditions				
V_m/V	I_m/A	V_{oc}/V	I_{sc}/A	P_n/W
17.1	3.5	21.0	3.74	59.9

3.2 仿真结果

借助 Matlab 仿真平台, 对所建立的光伏阵列动态等效模型进行仿真验证。选取图 6 中 13:00~13:05 时间段作为仿真时间。图 7 给出了该时间段光伏阵列的光照强度和温度的变化曲线, 可看出两者具有强关联性^[20]。将本文所建立的光伏阵列模型分别运行在无阴影 ($T_n = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, $G_n = 1000 \text{ W/m}^2$)、静态阴影^[21](给定光照强度和温度)及动态阴影(光照强度和温度的变化如图 7 所示)的情况下, 得到如图 8 所示电压-电流、电压-功率的输出特性。

从图 8 可看出, 无阴影条件下 $I-U$ 、 $P-U$ 的输出都存在最大值。静态和动态阴影下 $I-U$ 输出特性呈“多阶梯”特性, $P-U$ 输出特性呈“多峰值”特性。阶梯和峰值的数目与光伏阵列的温度、光照强度及结构配置等因素有关。静态阴影下, 将 1 个光伏阵列分为 3 个区域, 区域内接收的光照强度一致, 区域间接收的光照强度不一致。根据光伏阵列的实际输出特性, 人为定义光照强度分布, 这种建模方式不能实时反映光伏阵列的输出。然而本文所建立的光伏阵列动态模型可根据光照强度和温度随时间的变化, 实时模拟出 $I-U$ 、 $P-U$ 的输出特性, 并且该模型的输出特性更加

接近于无阴影条件下光伏阵列的输出,从而验证了该模型的有效性。

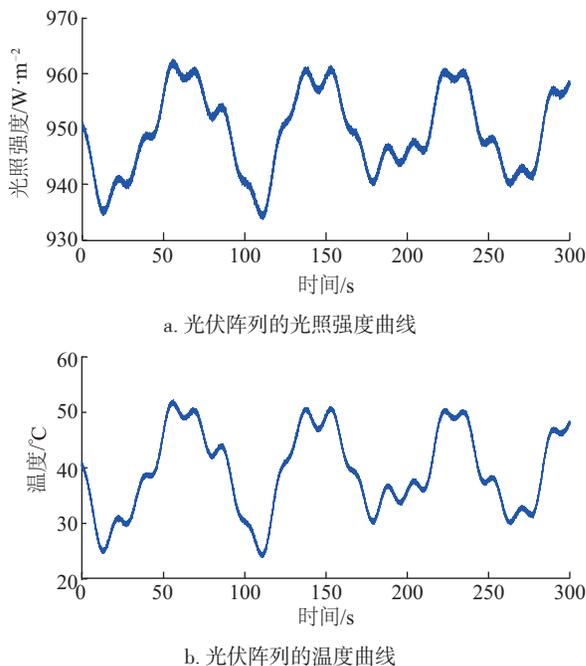


图7 光伏阵列的光照强度和温度曲线

Fig. 7 Insolation and temperature curve of PV array

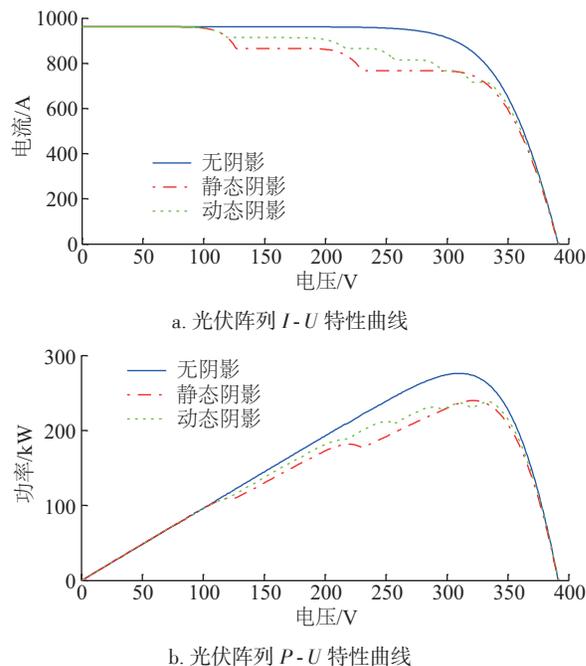


图8 光伏阵列的输出特性曲线

Fig. 8 Output characteristic curves of PV array

4 结 论

1)在光伏阵列优化模型基础上,考虑光照强度和

温度随时间的变化,为实时调节光伏阵列的输出状态,建立基于动态阴影的光伏阵列模型。研究发现:与静态阴影下光伏阵列的输出特性相比,动态阴影下该模型的输出特性更加接近于无阴影条件下光伏阵列的输出。

2)所建立的模型适用于不同阴影条件、不同功率等级需求的应用场合,并能根据光照强度和温度的变化实时模拟光伏阵列的输出特性。在该模型基础上,研究光伏并网发电系统的最大功率点跟踪问题将作为本课题组下一阶段的研究重点。

[参考文献]

- [1] MEI Q, SHAN M W, LIU L Y, et al. A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems[J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2011, 58(6): 2427-2434.
- [2] XIAO B L, HANG L J, MEI J, et al. Modular cascaded H-bridge multilevel PV inverter with distributed MPPT for grid-connected applications[J]. IEEE transactions on industry applications, 2015, 51(2): 1722-1731.
- [3] 和贝, 张建成, 钟云. 基于双并联 Boost-Buck 电路的光伏发电系统电压稳定控制[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(7): 100-103.
HE B, ZHANG J C, ZHONG Y. Voltage stability control of PV power generation system based on double parallel Boost-Buck circuit[J]. Electric power automation equipment, 2010, 30(7): 100-103.
- [4] 苏建徽, 余世杰, 赵为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 409-412.
SU J H, YU S J, ZHAO W, et al. Investigation on engineering analytical model of silicon solar cells[J]. Acta energiae solaris sinica, 2001, 22(4): 409-412.
- [5] ISHAQUE K, SALAM Z. An improved modeling method to determine the model parameters of photovoltaic (PV) modules using differential evolution (DE)[J]. Solar energy, 2011, 85(9): 2349-2359.
- [6] PATEL H, AGARWAL V. MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics[J]. IEEE transactions on energy conversion, 2008, 23(1): 302-310.
- [7] DESHKAR S N, DHALE S B, MUKHERJEE J S, et al. Solar PV array reconfiguration under partial shading conditions for maximum power extraction using genetic algorithm[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2015, 43: 102-110.
- [8] 李乃永, 梁军, 赵义术. 并网光伏电站的动态建模与

- 稳定性研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10): 12-18.
- LI N Y, LIANG J, ZHAO Y. Dynamic modeling and stability study of grid connected PV power station [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(10): 12-18.
- [9] DASH P P, KAZERANI M. Dynamic modeling and performance analysis of a grid-connected current-source inverter-based photovoltaic system [J]. IEEE transactions on sustainable energy, 2011, 2(4): 443-450.
- [10] 秦岭, 谢少军, 杨晨, 等. 太阳能电池的动态模型和动态特性[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 19-26.
- QIN L, XIE S J, YANG C, et al. Dynamic models and dynamic characteristics of solar cells [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(7): 19-26.
- [11] REINOSO C R S, MILONE D H, BUITRAGO R H. Simulation of photovoltaic centrals with dynamic shading [J]. Applied energy, 2013, 103(1): 278-289.
- [12] YANG H Y, YAN S, TAN S- C, et al. Dynamic modeling of partial shading on photovoltaic arrays [C]// 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE, 2015: 6616-6621.
- [13] RAUSCHENBACH H S. Solar cell array design handbook [M]. America: Van Nostrand Reinhold Co, 1980, 1075.
- [14] VILLALVA M G, GAZOLI J R, RUPPERT F E. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays [J]. IEEE transactions on power electronics, 2009, 24(5): 1198-1208.
- [15] 吴春华, 周笛青, 李智华, 等. 光伏组件热斑诊断及模糊优化控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 50-61.
- WU C H, ZHOU D Q, LI Z H, et al. Hot spot detection and fuzzy optimization control method of PV module [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 50-61.
- [16] SILVESTRE S, BORONAT A, CHOUDER A. Study of bypass diodes configuration on PV modules [J]. Applied Energy, 2009, 86(9): 1632-1640.
- [17] 但扬清, 刘文颖, 朱艳伟. 局部阴影条件下光伏阵列 Matlab 仿真及输出效率分析[J]. 太阳能学报, 2013, 34(6): 997-1001.
- DAN Y Q, LIU W Y, ZHU Y W. Matlab simulation of PV array and analysis of output efficiency under partial shading [J]. Acta energiae solaris sinica, 2013, 34(6): 997-1001.
- [18] 张冠茂. 多重化高斯-勒让德积分公式及其应用 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(5): 30-34.
- ZHANG G M. Multiplex-Gauss-Legendre integral formulae and application [J]. Journal of Lanzhou University (natural science edition), 2000, 36(5): 30-34.
- [19] WALKER G. Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model [J]. Journal of electrical & electronics engineering, Australia, 2001, 21(1): 49-54.
- [20] VALENCIAGA F, PULESTON P F. Supervisor control for a stand-alone hybrid generation system using wind and photovoltaic energy [J]. IEEE transactions on energy conversion, 2005, 20(2): 398-405.
- [21] 孙英云, 侯建兰, 李润, 等. 基于隐互补问题的光伏阵列模型及其求解算法 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6066-6073.
- SUN Y Y, HOU J L, LI R, et al. A PV array model based on implicit complementarity problem and its algorithm [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(34): 6066-6073.

DYNAMIC MODELING OF PV ARRAY UNDER PARTIAL SHADING CONDITION

Pei Tingting, Hao Xiaohong

*(College of Electrical and Information Engineering; Key Laboratory of Gansu Advanced Control for Industrial Processes;
National Demonstration Center for Experimental Electrical and Control Engineering Education, Lanzhou University of Technology,
Lanzhou 730050, China)*

Abstract: In view of the problem of large deviation between the output characteristics of the photovoltaic array model and the actual operation under static shading, a photovoltaic array model is established based on dynamic shading. Firstly, the configuration of the photovoltaic array composed of photovoltaic modules with bypass diodes is optimized. Then according to the characteristics of normal distribution with time of the photovoltaic array's insolation and temperature under partial shading, the values of dynamic distribution of the insolation and temperature are obtained which relies on utilizing the quadrature algorithm of variable-step Gauss-Legendre. Through the dynamic values, the output state of the photovoltaic array optimization model is adjusted with real time, which solves the problem that the photovoltaic array model can not fulfil the requirement of real-time output under static shading. The simulation results show that the model is suitable for the application situations with different shading conditions and different power levels. Compared with the output characteristics of photovoltaic array under static shading, the output characteristics of dynamic model of photovoltaic array are closer to the output characteristics of photovoltaic array without shading.

Keywords: dynamic model; photovoltaic array; photovoltaic modules; partial shading; configuration optimization