

不同 MPPT 架构光伏系统发电效率的比较研究

宁 勇¹,戴瑜兴^{2,1},王镇道³,彭子舜²,王 洪⁴

(1. 湖南大学电气与信息工程学院,湖南长沙 410082;2. 温州大学物理与电子信息工程学院,浙江温州 325035;
3. 湖南大学物理与微电子科学学院,湖南长沙 410082;4. 湖南师范大学工程与设计学院,湖南长沙 410081)

摘 要: 光伏系统的 MPPT 架构有集中式、组串式和分布式三种类型. 不同 MPPT 架构光伏系统组件串并联结构不同,对局部阴影和组件参数失配产生的输出功率损失表现出的抑制能力不一样,发电效率有明显差别. 本文对不同 MPPT 架构光伏系统的发电效率进行比较研究,结果表明因局部阴影与组件参数失配影响,分布式 MPPT 光伏系统年均发电量比集中式 MPPT 光伏系统提高约 4.65% ~ 19.62%,比组串式 MPPT 光伏系统提高约 2.64% ~ 12.86%,具体数值随发生阴影时间比例、参数失配幅度增大而变大,且与具体阴影情形有关.

关键词: MPPT 架构; 光伏系统; 发电效率; 局部阴影; 组件参数失配

中图分类号: TM615 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2016)09-2134-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.09.017

A Comparative Study of Central and Grouped and Distributed MPPT Architectures for Power Generation Efficiency of Photovoltaic System

NING Yong¹, DAI Yu-xing^{2,1}, WANG Zhen-dao³, PENG Zi-shun², WANG Hong⁴

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;
2. College of Physics and Electronic Information Engineering, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325035, China;
3. School of Physics and Electronics, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;
4. College of Engineering and Design, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China)

Abstract: There are three different MPPT architectures in photovoltaic system; central, grouped and distributed architecture, and their power generation efficiencies are researched respectively. The simulation results show that the annual generation capacity of photovoltaic system with distributed MPPT architecture can be increased up to 4.65% ~ 19.62% compared to system with central MPPT, and 2.64% ~ 12.86% compared to system with grouped MPPT. The actual efficiency increase varies with the proportion of time partial shading and the degree of module parameter mismatch, and is independent of specific shadow mode respectively

Key words: MPPT architectures; photovoltaic system; power generation efficiency; partial shading; module parameter mismatch

1 引言

光伏系统的 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 架构有集中式、组串式和分布式三种类型. 早期的光伏系统主要是中大型并网光伏电站, 大多采用集中式 MPPT 方式; 随着欧洲各国政府加大对光伏发电的补贴力度, 安装在居民屋顶的光伏系统大量出现, 屋顶所能安装的组件数量有限, 此类系统大多是采用组串式 MPPT 方式; 近几年, 为提高系统的发电效率和维护便

利性, 采用微逆变器和电源优化器实现的分布式 MPPT 光伏系统装机容量增长迅猛.

集中式 MPPT (Central MPPT, 简称 CMPPT)^[1-3] 光伏系统结构简单、造价低, 中大规模 CMPPT 光伏系统功率范围一般在几十千瓦到几百千瓦, 大量的光伏组件串并联构成光伏阵列, 通过 2-3 级汇流箱, 集中到一个大型逆变器处, 由逆变器实现整个光伏阵列的 MPPT 控制和逆变并网控制; 中小规模 CMPPT 光伏系统功率范围一般在十几千瓦到几十千瓦, 只通过一级汇流箱实现.

组串式 MPPT (Grouped MPPT, 简称 SMPPT)^[4] 光伏系统的特点是单列组件串对应一个逆变器实现 MPPT 及逆变并网控制, 或是单列组件串对应一个 DC-DC 变换器实现 MPPT 控制, 多列组件串共用一个逆变器. SMPPT 光伏系统的单机容量一般在几个千瓦, 造价相对于 CMPPT 光伏系统提高. 分布式 MPPT (Distributed MPPT, 简称 DMPPT) 光伏系统分为交流形式和直流形式, 显著特征是单块光伏组件对应一个逆变器或者 MPPT 控制器实现最大功率跟踪, 造价相对于前两者明显提高. 交流分布式 MPPT (简称 AC DMPPT) 光伏系统采用微逆变器实现, 由于单个光伏组件电压一般较低, 直接逆变升压至 240VAC 需要变压器实现, 且每个组件需要一个专门逆变电路和滤波器, 所以 AC DMPPT 光伏系统成本较高、效率低且在交流母线上的谐波干扰比较严重. AC DMPPT 光伏系统的优势是安装简单且无直流高压, 由于本身采用变压器结构, 并网电流无直流分量, 安全性好. 直流分布式 MPPT (简称 DC DMPPT) 光伏系统一般采用电源优化器实现, 其主要优点有: 一是组网灵活, 可以根据系统规模灵活确定电源优化器的串并联数量^[3]; 二是兼容 CMPPT、SMPPT 光伏系统的布局、布线方式, 很容易实现对现有系统进行局部或者整体改造^[5]; 三是电源优化器的效率高^[6], 在提高组件输出功率的同时而本身损耗很小. 电源优化器的输入输出电压低, 可以使用低阻抗的 MOSFETs 降低开关损耗、使用较高开关频率减小电感电容体积, 在保证低成本的前提下实现较高转换效率, 现有的商业化产品中, 加权效率已达到 98.8%.

提高光伏系统发电效率, 对提高资源利用效率、减小环境污染和提高光伏发电的经济性有重要意义. 除气候条件和发电设备的能量转换效率外, 光伏系统发电效率主要会受到局部阴影和组件参数失配的影响, 且无法避免. 当发生局部阴影时, 阴影组件由于有效辐照度变小使最大功率点电压电流值变小, 进一步导致与其串联或并联的正常组件工作点偏离其最大功率点而使正常组件产生功率损失; 由于生产工艺原因或老化速度的不一致, 组件参数总会存在一定程度的不一致, 组件参数失配也会因为串联或并联组件的最大功率点不一致产生功率损失, 不同的是组件参数失配最大功率点差别程度没局部阴影时大, 但其影响伴随光伏系统工作的始终. 不同架构 MPPT 光伏系统由于自身特点不同, 对由于最大功率点不一致产生输出功率损失表现出的抑制能力不同, 从而在发电效率上有明显差别. 针对光伏系统发电效率的研究, 近年来已有一系列的相关研究成果发表: Ahmed Elasser 等^[1] 针对兆瓦级光伏电站, 分析环境因素 (温度和光照) 及直流母线电压对年发电量的影响; A Chouder 等^[2] 分析组件参数

失配造成的功率损失; Perry Tsao 等^[3] 研究电源优化器实现分布式 MPPT 架构的特性, 给出了计算串联串的最大电压、最大电流的通用方法, 研究结果表明电源优化器实现分布式 MPPT 有很好的组网灵活性; Shahab Poshtkouhi 等^[7] 针对两种参数的光伏组件, 分析了理想 DC-DC (效率 100%) 和实际 DC-DC 的分布式 MPPT 相对于集中式 MPPT 效率的提高情况. 本文将从 MPPT 架构出发, 在外部条件一致的情况下, 比较研究不同 MPPT 架构光伏系统发电效率, 特别是受局部阴影和组件参数失配影响的差别程度, 为工程应用采用何种 MPPT 架构提供依据.

2 影响光伏系统发电效率的因素分析

2.1 光伏系统发电效率构成因素

光伏系统的发电效率受到一系列因素影响^[1,2], 详细情况见图 1 所示.

(1) 辐照度: 辐照度是决定光伏系统发电效率的最核心指标, 某个地区一年内总的辐照度决定了光伏系统最大可能的发电量.

(2) 系统安装方式: 系统是否采用太阳光跟踪器, 对光伏组件接收到的有效辐照度影响显著. 采用太阳光跟踪器的光伏系统接收到的有效辐照度明显高于固定安装方式, 而固定安装时组件与水平面的角度以及朝向都将影响有效辐照度.

(3) 环境温度、风速: 光伏组件的最大输出功率具有明显的负温度系数, 对于多晶硅、单晶硅组件, 这个值约为 $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$, 而薄膜组件的这一值约为 $-0.2\%/^{\circ}\text{C}$. 环境温度和风速, 影响着光伏组件的工作温度, 进而影响光伏系统发电量.

(4) 光伏组件类型: 光伏组件的材料在决定光伏系统发电效率方面扮演着重要角色. 单晶硅和多晶硅材料的组件转换效率较高, 只需要更小的面积就可以达到与薄膜组件相同的输出功率; 薄膜组件则对散热光有更好的吸收能力以及更小的温度系数.

(5) 光伏组件阵列结构: 阵列中串并联的光伏组件工作点会互相影响: 组件串联会迫使工作电流一致, 组

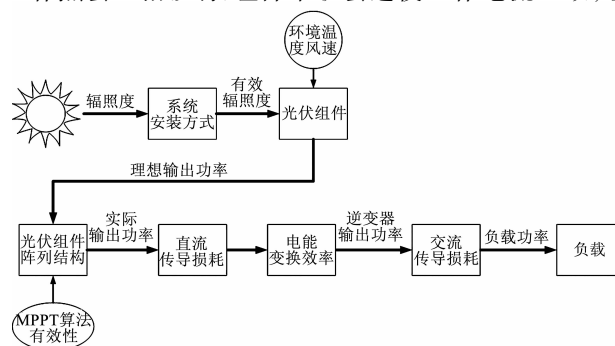


图1 光伏系统发电效率构成因素

件并联会迫使端电压一致. 当串并联各组件的最大功率点不一致时, 系统会使得部分或全部组件的工作点偏离最大功率点, 导致系统实际输出功率小于各组件最大功率之和. 这种相差程度会随着光伏组件串并联规模变大而增大, 也与串并联各组件最大功率点相差的程度有关. 所以, 光伏阵列中是否存在组件串并联以及串并联的规模, 对光伏系统发电效率影响明显.

(6) MPPT 算法有效性: MPPT 算法有效性主要指最大功率点的跟踪速度与跟踪精度. 跟踪速度对应系统偏离稳定工作点的时间, 跟踪精度对应系统稳定工作点与最大功率点的偏离程度. 跟踪速度变快会使 MPPT 过程中的动态功率损失减小, 跟踪精度提高会使静态功率损失减小.

(7) 传导损耗: 传导损耗是指传输线上产生的功率损失, 包括直流传导损耗和交流传导损耗. 大部分 CMPPT 光伏系统使用二极管作并联组件串的隔离以防止电流倒灌, 直流传导损耗包括此二极管上产生的损耗.

(8) 电能变换效率: 电能变换效率主要包括 DC-DC 变换和 DC-AC 变换这两部分的效率, DC-DC 变换实现 MPPT 控制, DC-AC 变换实现逆变和并网控制, 一般情况下这两个功能都是由逆变器完成.

上述因素中, 辐照度和环境温度、风速直接决定于光伏系统安装所在地的自然气候条件; 采用太阳光跟踪器的其实质是提高有辐照度, 受到系统安装场地大小、机械装置的使用寿命及运行维护成本限制, 当前绝大多数的光伏系统都采用固定安装方式; 由于薄膜组件对散热光有更好的吸收能力, 主要应用于光伏建筑, 地面、屋顶光伏系统受面积限制一般采用转换效率更高的晶体硅材料组件; 光伏组件阵列结构、MPPT 算法有效性、传导损耗、电能变换效率等因素都与系统采用何种 MPPT 架构有关, 接下来将重点研究光伏系统因 MPPT 架构不同引起的发电效率差别.

2.2 因 MPPT 架构不同影响发电效率因素分析

在影响光伏系统发电效率的因素中, 与 MPPT 架构相关的因素包括: 光伏组件阵列结构、MPPT 算法有效性、传导损耗和电能变换效率, 下面将逐个分析这些因素在不同 MPPT 架构光伏系统中, 对发电效率的影响^[1,2,4]:

(1) 组件阵列结构: 不同 MPPT 架构光伏系统, 光伏阵列结构不同. 在 DMPPT 光伏系统中, 组件之间没有直接的串并联; 在 SMPPT 光伏系统中, 有组件串联而无组件并联, 功率等级一般只有几个千瓦; 在 CMPPT 光伏系统中, 同时存在组件的串联和并联, 且规模远大于 SMPPT 光伏系统, 功率范围覆盖十几千瓦~几百千瓦. 当光伏阵列中各组件的最大功率点不一致时, 串并联

会迫使部分或全部组件的工作点偏离其最大功率点, 导致光伏系统发电效率下降. 引起最大功率点不一致的因素有很多, 从效果上来分大致可以归纳为两类: 一种如周围建筑物、树木或云层等对光伏阵列部分遮挡造成的局部阴影, 使阵列中各组件接收到的有效辐照度明显不一致, 各组件最大功率点相差显著, 此类情况一般持续时间不长; 另一种为光伏阵列的组件参数失配, 各组件最大功率点相差不大, 但其影响伴随光伏系统工作的始终.

(2) MPPT 算法有效性: 随着阵列中光伏组件串并联规模变大和系统容量增加, 输出特性曲线愈发复杂, 采用的传感器容量变大而分辨率降低, 最大功率点的跟踪速度与精度都将会降低, 由此引入的动态和静态功率损失都将增加. 研究表明^[1], 由于 MPPT 算法有效性的差别, 相对于 CMPPT 系统, SMPPT 系统可以增加约 1.2% 的电量输出, DMPPT 系统可以增加约 2% 的电量输出.

(3) 传导损耗: 对于 CMPPT、SMPPT、DC DMPPT 光伏系统, 其交流传导损耗相对于直流传导损耗可以忽略. 此三种系统直流传导损耗的大小, 在相同功率等级下, 主要受直流母线电压的影响. 对于 AC DMPPT, 基本无直流传导损耗, 交流母线电压相对于其他三种系统的直流母线电压要低很多, 所以 AC DMPPT 的传导损耗会明显大于其它三种系统, 差别程度与功率等级、交直流母线的导线线径以及直流母线电压有关.

(4) 电能变换效率: 通过查阅 Enphase、SMA、SolarEdge、山亿、阳光电源、英伟力等主流逆变设备生产商的产品数据手册发现, 现今市场逆变器主流产品的加权效率大致如下: 集中式逆变器为 97.7%, 组串式逆变器为 97%, 微逆变器为 96%, 电源优化器为 98.8%. 因此, 4 种不同 MPPT 架构光伏系统的能量变换效率如下: CMPPT 系统: 97.7%; SMPPT 系统: 97%; AC DMPPT 系统: 96%; DC DMPPT 系统: $98.8\% * 97.7\% = 96.5\%$, 或是 $98.8\% * 97\% = 95.8\%$.

综合上述分析, 不同 MPPT 架构光伏系统因 MPPT 算法有效性、传导损耗和能量变换效率三种因素导致的效率相差不明显, 约在 1% 以内, 下面将重点研究不同 MPPT 架构光伏系统因组件阵列结构不同而引起的发电效率差别.

3 光伏组件仿真模型建立与验证

单个太阳能电池输出电压约为 0.6V 左右, 机械性能比较脆弱, 通常把多个太阳能电池串联起来封装到一起形成光伏组件 (photovoltaic modules), 以提高输出电压和机械强度满足应用需求. 通常还会在组件接线盒处并联一定数量的旁路二极管, 发生局部阴影时二

极管可能会导通,以防止光照较弱的那部分太阳能电池作为其余部分的负载,产生局部过热点造成组件的永久损坏.

图 2 为某型号额定功率为 260W 的多晶硅光伏组件的结构图,其实验测试的 I-V 特性曲线随光照、温度变化情况见图 3,其主要参数见表 1.

表 1 某型号多晶硅光伏组件主要参数

V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	R_{sho} (Ω)	R_{so} (Ω)
37.5	9.12	30.4	8.56	358.7	0.439

根据图 2 所示组件的结构,将该组件主要参数转换为平均化的基于太阳能单体电池的参数,见表 2.

表 2 平均化的太阳能单体电池主要参数

V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	R_{sho} (Ω)	R_{so} (Ω)
0.625	9.12	0.507	8.56	5.978	0.00732

将表 2 参数代入式(1)^[8],求解方程组可得到基于太阳能单体电池模型的主要参数,见表 3.

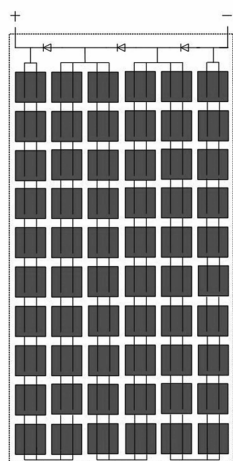


图 2 某型号光伏组件结构图

表 3 太阳能电池模型参数

I_{ph} (A)	I_0 (A)	n	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)
9.1267	4.30×10^{-10}	1.0226	4.4×10^{-3}	5.9739

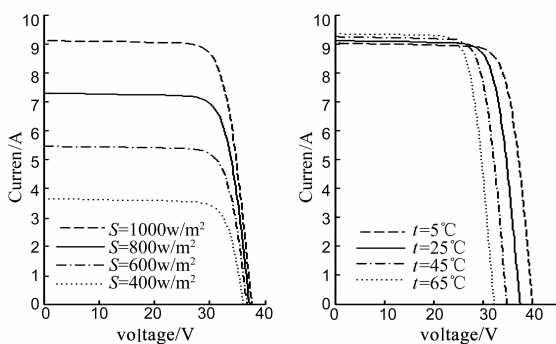


图 3 某型号光伏组件实验测试 I-V 特性曲线

$$\begin{cases} \frac{I_{ph}}{I_{sc}} = 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \\ R_{sh} = R_{sho} - R_s \\ R_{so} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + (R_{sh} + R_s)I_{sc} - V_{oc}} \\ \frac{V_m}{I_m} = R_s + \frac{nV_{th}R_{sh}}{nV_{th} + (R_{sh} + R_s)(I_{sc} - I_m) - V_m} \\ I_{ph} = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_{th}}\right) - 1 \right] + \frac{R_s}{R_{sh}} \end{cases} \quad (1)$$

以表 3 参数和图 2 的光伏组件结构为基础,建立基于太阳能单体电池的组件仿真模型,选取合适的温度参数进行仿真分析,可得到光伏组件模型仿真 I-V 曲线,与实验测试的 I-V 曲线的对比情况见图 4. 模型仿真数据与实验测试数据的电流误差分析见表 4、表 5. 从表 4、表 5 可以看出,该模型仿真数据与实验数据相差非常小,仿真模型能很好模拟该组件输出电压电流随辐照度、温度变化的情况. 后续将以该光伏组件仿真模型为基础,建立不同 MPPT 架构光伏系统的仿真模型,对局部阴影和组件参数失配对发电效率的影响进行分析.

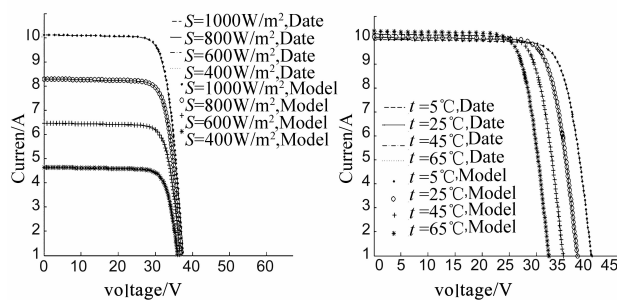


图 4 光伏组件的仿真与实验 I-V 曲线对比情况

表 4 仿真与实验数据的电流误差方均值统计分析 ($t = 25^\circ\text{C}$)

辐照度 (W/m^2)	1000	800	600	400
方均值	0.0034	0.0015	0.0018	0.0029

表 5 仿真与实验数据的电流误差方均值统计分析 ($S = 1000$)

温度 ($^\circ\text{C}$)	5	25	45	65
方均值	0.0202	0.0011	0.0147	0.0602

4 局部阴影和参数失配对光伏系统发电效率的影响

4.1 不同 MPPT 架构光伏系统的构建

选用 220 块额定功率为 260W 的多晶硅组件构建光伏系统,不同 MPPT 架构光伏系统的结构如图 5 所示:

(1) CMPPT 光伏系统: 每列 22 块组件串联,共 10 列通过汇流箱并联,由一个 50kW 级逆变器实现 MPPT 控制与并网控制.

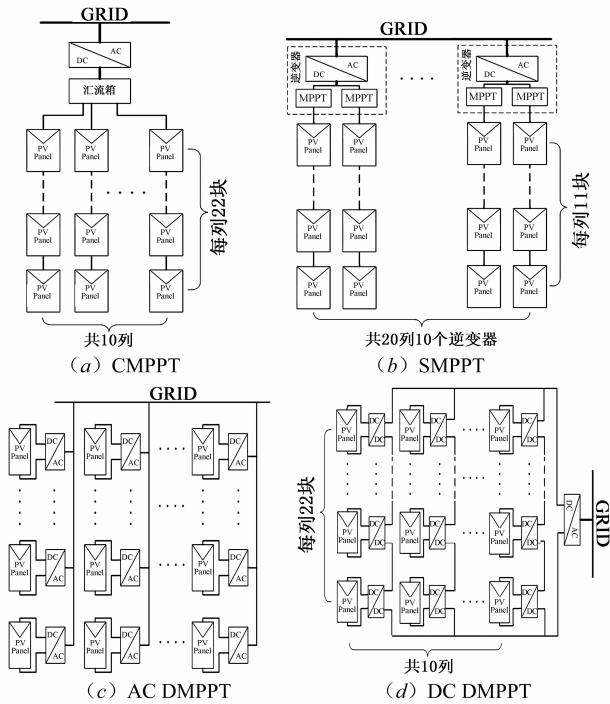


图5 不同MPPT架构光伏系统的结构图

(2) SMPPT 光伏系统: 每列 11 块组件串联对应一路 MPPT, 2 路共用一个 5kW 级逆变器, 共采用 10 个该型号逆变器。

(3) AC DMPPT 光伏系统: 每块组件对应一个微逆变器实现 MPPT 控制与并网控制, 共 220 个微逆变器。

(4) DC DMPPT 光伏系统: 每块组件对应一个电源优化器实现 MPPT 控制, 共 220 个电源优化器串并联后共用一个 50kW 级光伏逆变器实现并网控制。

4.2 局部阴影对光伏系统发电效率的影响

光伏系统由竖直 10 列每列 22 块组件的光伏阵列组成, 所研究的阴影情形见图 6, 其中图 6(a)、图 6(b) 为单排组件阴影情形, 图 6(c)、图 6(d) 和图 6(e) 为连片阴影情形。

假设阴影部分光照强度为正常光照的 20%, DMPPT 光伏系统相对于 CMPPT 光伏系统、SMPPT 光伏系统输出功率提高比例情况分别见图 7、图 8。

对比单排阴影情形分析结果可知: 在单竖排阴影时, DMPPT-CMPPT 输出功率提高比例与温度、辐照度无关, 且明显大于 DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例, 但 DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例随辐照度增大而增大; 在单横排阴影时, DMPPT-CMPPT 输出功率提高比例与 DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例大小无明显差别, 且趋势一致, 均随辐照度增大而增大。

对比连片阴影情形分析结果可知: DMPPT-CMPPT 输出功率提高比例随阴影显著变化, 而 DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例随阴影变化小; DMPPT-CMPPT、

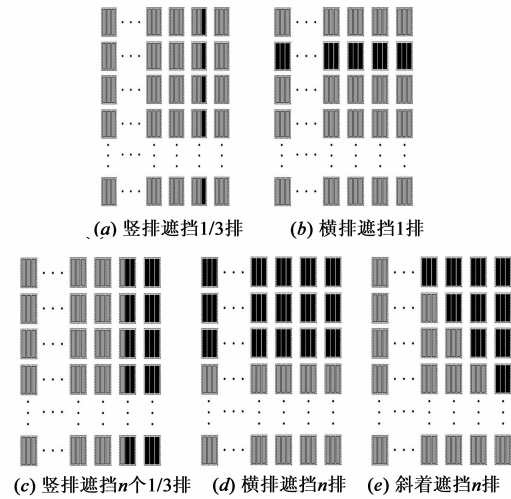


图6 研究的阴影情形

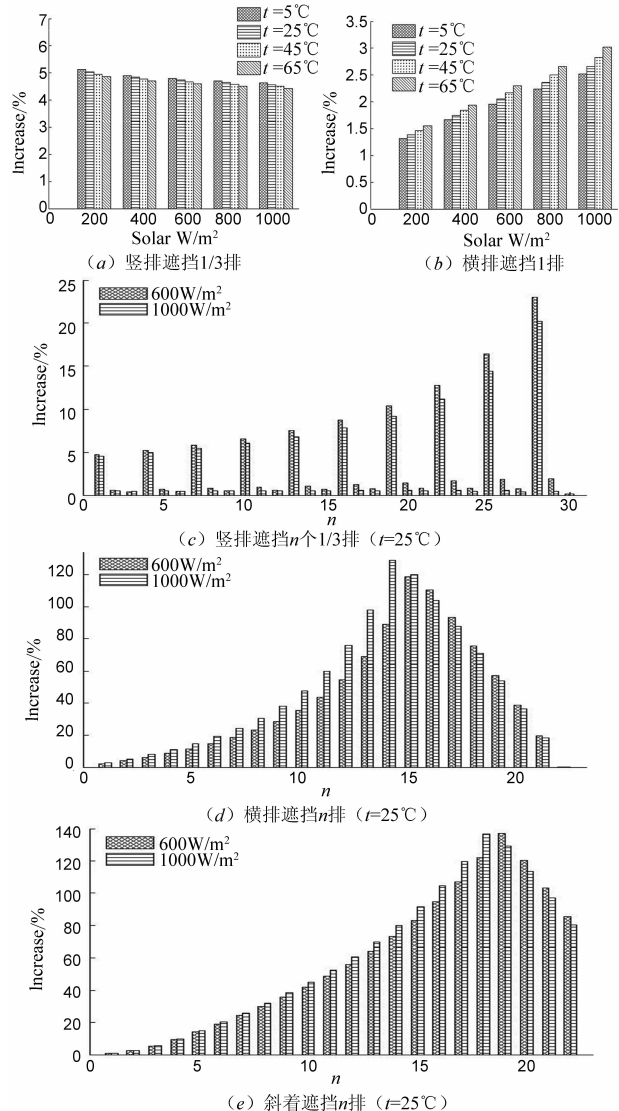


图7 DMPPT相对于CMPPT输出功率的提高情况

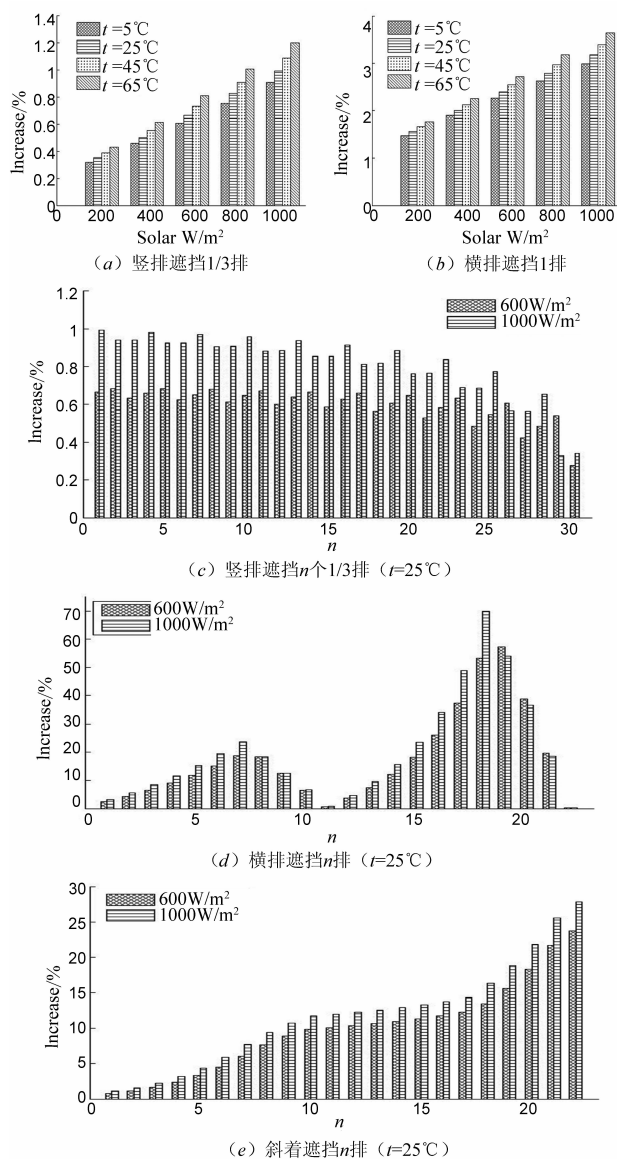


图 8 DMPPT 相对于 SMPPT 输出功率的提高情况

DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例受横排阴影影响程度变化规律相似,开始随阴影增大而慢慢增大,在阴影规模超过 1/2 串联组件数量时慢慢减小。

表 6 局部阴影时 DMPPT 光伏系统输出功率平均增加量 (%)

	图 6(a)	图 6(b)	图 6(c)	图 6(d)	图 6(e)	平均
DMPPT-CMPPT	4.9	2.9	3.2	29.1	37.4	17.7
DMPPT-SMPPT	0.8	2.7	0.7	13.3	8.4	5.9

假设图 7、图 8 所分析的各种阴影情形和温度、辐照度情形出现概率相等,结合实际输出功率,相应的输出功率平均提高比例见表 6。从表 6 中可以看出, DMPPT-CMPPT 输出功率提高比例要高于 DMPPT-SMPPT 输出功率提高比例,平均值是后者的 3 倍。

局部阴影只在系统工作的部分时间发生,当年均发生阴影时间与工作时间比值范围为 0.2 ~ 0.5 时,将输出

功率提高比例平均值换算成年输出电量提高情况,则 DMPPT 光伏系统年发电量因局部阴影原因相对于 CMPPT 光伏系统可以提高约 3.54% ~ 8.85%,相对于 SMPPT 光伏系统可以提高约 1.18% ~ 2.95%,具体值随发生阴影时间比例增加而增加,且与阴影模式有关。

4.3 参数失配对光伏系统发电效率的影响

考虑组件内各串联太阳能电池参数一致而整体在标准值基础上随机浮动模拟实际组件参数失配情况,设定参数失配幅度分别限制在 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 以内,单次随机产生失配参数,相应的不同 MPPT 架构光伏系统输出功率对比情况见图 9。从图 9 中可以看出,在参数失配幅度相同的前提下, DMPPT 光伏系统输出功率相对于 CMPPT 系统、SMPPT 系统提高比例基本相同,且受温度、辐照度影响不大,而随失配幅度变大而增长迅速。

假设图 9 所分析的各温度、辐照度情况出现概率相等,以相同方式产生 30 次随机失配参数, DMPPT 光伏系统输出功率平均提高情况统计结果见表 7。统计结果表明,在组件参数失配幅度相同的情况下, DMPPT 光伏系统相对于 CMPPT、SMPPT 系统的输出功率提高比例无明显区别,而随参数失配幅度变大而迅速增长,当参

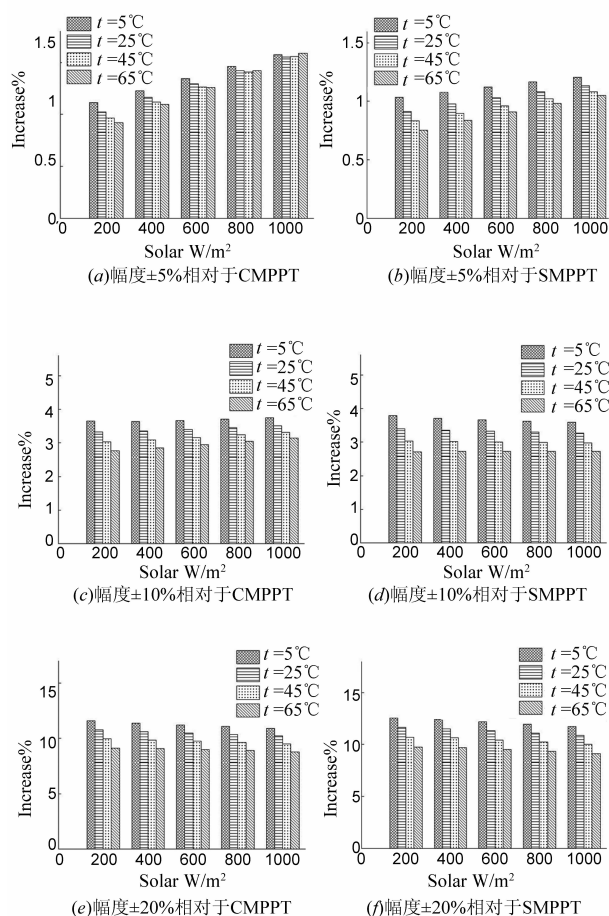


图 9 单次随机参数失配时 DMPPT 光伏系统输出功率提高情况

数失配幅度范围为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ 时,相应的输出功率提高比例范围分别为 $1.11\% \sim 10.77\%$ 、 $1.46\% \sim 9.91\%$ 。由于参数失配对光伏系统输出功率的影响伴随系统工作的始终,年发电量提高比例等于输出功率提高比例,故当组件参数失配幅度范围为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ 时,DMPPT 光伏系统年发电量因组件参数失配的原因,相对于 CMPPT 提高约 $1.11\% \sim 10.77\%$,相对于 SMPPT 系统提高约 $1.46\% \sim 9.91\%$,具体值与参数失配幅度有关。

表 7 参数失配时 DMPPT 光伏系统输出功率增加量 (%)

	随机 30 次 $\pm 5\%$			随机 30 次 $\pm 10\%$			随机 30 次 $\pm 20\%$		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
DMPPT-CMPPT	1.04	1.21	1.11	2.99	3.61	3.26	9.85	12.11	10.77
DMPPT-SMPPT	1.39	1.55	1.46	3.20	3.72	3.42	9.10	10.94	9.91

对比局部阴影和参数失配对光伏系统发电效率的影响的分析结果可知:对于 CMPPT 光伏系统,局部阴影对发电效率的影响大于组件参数失配对其的影响,除非组件参数失配达到比较严重的程度(如超过 $\pm 10\%$);对于 SMPPT 光伏系统,组件参数失配的影响趋向于大于局部阴影的影响,且差别会随参数失配程度增加而迅速扩大。

5 结论

通过上述分析可知,不同 MPPT 架构光伏系统的发电效率受 MPPT 算法有效性、传导损耗、能量变换效率等因素影响较小,由此引起的发电效率差别在 1% 以内;局部阴影和组件参数失配不同 MPPT 架构光伏系统的发电效率影响则较为明显。当发生阴影时间与工作时间比为 $0.2 \sim 0.5$ 时,因局部阴影原因 DMPPT 光伏系统年发电量相对于 CMPPT、SMPPT 光伏系统提高范围分别为 $3.54\% \sim 8.85\%$ 和 $1.18\% \sim 2.95\%$,具体值随发生阴影时间比例增加而增加,且与阴影模式有关;当参数失配幅度范围为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ 时,因参数失配原因 DMPPT 光伏系统年发电量相对于 CMPPT、SMPPT 系统提高范围分别为 $1.11\% \sim 10.77\%$ 和 $1.46\% \sim 9.91\%$ 。综合上述两项,因局部阴影与组件参数失配的影响,在额定功率、组件排列及外部环境一致条件下,DMPPT 光伏系统相对于 CMPPT 光伏系统年均发电量约可提高 $4.65\% \sim 19.62\%$,相对于 SMPPT 光伏系统约可提高 $2.64\% \sim 12.86\%$,具体数值随发生局部阴影时间比例、参数失配程度增大而变大,且与阴影模式有关。

参考文献

[1] Ahmed Elasser, Mohammed Agamy, Juan Sabate, et al. A comparative study of central and distributed MPPT architectures for megawatt utility and large scale commercial photovoltaic plants [A]. IECON 2010 - 36th Annual Con-

ference on IEEE Industrial Electronics Society [C]. Glendale, AZ: IEEE Press, 2010. 2753 - 2758.

- [2] A Chouder, S Silvestre. Analysis model of mismatch power losses in PV systems [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 2009, 131(5): 1130 - 1139. 02504 - 1 - 02504 - 5.
- [3] Perry Tsao, Sameh Sarhan, Ismail Jorio. Distributed maximum power point tracking for photovoltaic arrays [A]. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE [C]. Philadelphia, PA: IEEE Press, 2009. 2293 - 2298.
- [4] Damoun Ahmadi, Seyed Akbar Mansouri, Jin Wang. Circuit topology study for distributed MPPT in very large scale PV power plants [A]. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE [C]. Fort Worth, TX: IEEE Press, 2011. 786 - 791.
- [5] R Alonso, P Ibáñez, V Martinez, E Roman, A Sanz. Analysis of performance of new distributed MPPT architectures [A]. Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on [C]. Bari: IEEE Press, 2010. 3450 - 3455.
- [6] Geoffrey R Walker, Paul C Sernia. Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules [J]. Power Electronics, IEEE Transactions on, 2004, 19(4): 1130 - 1139.
- [7] Shahab Poshtkouhi, Jordan Varley, Rahul Popuri, Olivier Trescases. Analysis of distributed peak power tracking in photovoltaic systems [A]. Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International [C]. Sapporo: IEEE Press, 2010. 942 - 947.
- [8] 翟载腾, 任意条件下光伏阵列的输出性能预测 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008. 16 - 31.

作者简介



宁 勇 男, 1980 年 1 月出生于湖南省邵东县, 湖南大学电气与信息工程学院博士研究生。主要研究领域为: 光伏 MPPT 技术、微电网建模与控制技术、电力电子系统设计及工程应用等。

E-mail: ningyong@126.com

戴瑜兴 男, 1956 年 1 月出生于湖南省浏阳市, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主持完成科研课题 30 余项, 出版著作 6 部, 发表论文 100 余篇, 获省部级科技进步奖 9 项, 中国电子学会高级会员, 中国电子学会本科教育委员会委员等。目前主要研究领域为: 数字化系统设计理论与应用、现代网络与通信技术。

E-mail: daiyx@hnu.cn