

# 基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器

赵犇<sup>1</sup>, 马瑞<sup>1</sup>, 皇甫宜耿<sup>1</sup>, 魏江<sup>2</sup>

(1.西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072; 2.大唐西北电力实验研究院, 陕西 西安 710018)

**摘要:**组件串联型光伏系统(包括集中式、组串式、多串式等)由于局部阴影遮蔽常导致组件失配,从而造成较大的发电量损失。光伏均衡器能够在不改变现有光伏系统架构的前提下,通过并联电力电子变换器处理失配条件下的差分功率,从而实现所有组件工作在其最大功率点附近,因而可以大大提升光伏系统在失配条件下的发电量。提出了一种基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器,该拓扑具有结构简单、开关器件少等优点。首先对光伏组件的遮蔽问题进行了介绍,并对光伏均衡器的原理进行了阐述;继而对所提出的光伏均衡器系统的拓扑结构及工作原理进行详细的分析说明;最后对所设计的光伏均衡器进行仿真验证。仿真结果表明,所提出的光伏均衡器能够大幅提升光伏系统在失配条件下的发电量,最大提升量可达41.4%。

**关键词:**光伏发电;光伏均衡器;局部阴影;单输入多输出;推挽变换器

中图分类号:TM914.4

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2020)03-0533-07

随着传统化石能源日趋枯竭及环境污染问题日益严峻,加快新能源的研究与应用已经成为了全社会的广泛共识。光伏发电作为新能源的重要代表已经得到了快速发展和广泛应用。然而,由于组件失配造成的光伏系统发电量损失已经成为一个不可忽视的问题。

无论是集中式光伏系统为主的大型光伏电站,还是组串式结构为主的分布式发电系统,光伏组件均要通过多个串联达到一定的电压等级。当串联光伏组串中某一块组件由于云朵、树木、粉尘等原因发生局部遮蔽时,组串电流由于串联结构会被拉低至遮蔽组件的电流,同时也会导致最大功率曲线的多峰值问题,造成发电量的严重损失。目前,工业上使用的方案是通过在组件两端反并联若干旁路二极管,将发生遮蔽的组件短路从而不拉低整体组串电流。然而,这种方案虽保证了未遮蔽组件不受影响而工作于其最大功率点,但被遮蔽组件由于被旁路造成了发电量不可忽视的损失,同时该组件还会因消耗功率产生热量从而造成“热斑”效应。为解决这一问题,有学者提出了分布式最大功率追踪(distributed maximum power point tracking, DMPPT)。

tributed maximum power point tracking, DMPPT)。DMPPT是指在每一块光伏组件两端并联一个DC-DC变换器,实现每一块电池板的最大功率追踪。这样即使在遮蔽情况下,每块电池板都可以工作在对应该光照强度下的最大功率点<sup>[1]</sup>。该方案的主要缺点是要给每一块组件均并联一个DC-DC变换器并处理光伏组件发出的全部功率,使得系统成本大大增加,同时系统效率也会有所降低。

近年来提出的光伏均衡器(又称差分功率处理器,differential power-processing, DPP)通过并联DC-DC变换器为遮蔽的光伏组件提供补偿电流,从而通过将未被遮蔽组件的部分功率转移到遮蔽组件中,实现被遮蔽组件的最大功率输出。最基本的光伏均衡器拓扑与传统的电池均衡器原理相似,这些均衡器多是基于buck-boost电路、开关电容电路、正反激电路等<sup>[2-5]</sup>。文献[6]提出了一种基于双向buck-boost电路的光伏均衡器,采用板间均衡结构来实现均衡功能,文献[7-8]则分别使用开关电容电路和开关电感电路来进行板间均衡。这些拓扑由于采用板间均衡方式,其功率传输仅限于2个相邻的

收稿日期:2019-07-06

基金项目:国家自然科学基金(51807164)、陕西省重点研发计划(2018GY-073)与西安市科协2018年青年人才托举计划资助

作者简介:赵犇(1987—),西北工业大学助理研究员、博士,主要从事新能源电力电子变换器研究。

模块,这样未遮蔽组件的部分功率可能会经过多个变换器和模块到达被遮蔽组件,从而降低了整个系统的效率。同时,变换器数量也会根据组件数量成比例增长,从而大大增加系统复杂程度和成本。文献[9]提出了发电控制电路(generation control circuit, GCC)的概念,采用多级 buck-boost 电路,其各级占空比与各个光伏子串的 MPP 电压之比相等,这种结构需要对每个光伏子串进行输出扰动,控制维度过多,控制算法过于复杂。文献[10]提出了多绕组正激变换器实现了对开关管的简化,但其仅适用于中小功率。文献[11-12]分别提出了一种准 Z 源逆变器与倍压电路相结合的电压均衡器,实现了一体化拓扑设计。

本文提出一种基于多绕组的单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器,该结构只需要一个开关变换器即可实现对多个光伏组件的均衡且仅有 2 个开关管使得电路结构简单、成本低廉。该拓扑结构将组串输出母线电压作为均衡器的输入,多绕组输出分别接各个光伏组件。当某块光伏组件发生遮蔽时,相应的变换器输出绕组提供均衡电流将其两端电压调节至与未发生遮蔽光伏板两端电压相等,由于光照条件改变时光伏组件的最大功率点电压变化较小,因此可以认为该组件近似工作在最大工作点,从而实现了系统的自均衡,将被遮蔽组件的发电潜力释放,从而提升系统整体发电量。

## 1 光伏均衡器原理分析

### 1.1 光伏系统在局部遮蔽下的多峰值现象

在理想状况下,串联的光伏组件均无遮蔽且光照强度相等,因此在后级 MPPT 算法的控制下每块组件均工作在最大功率点。

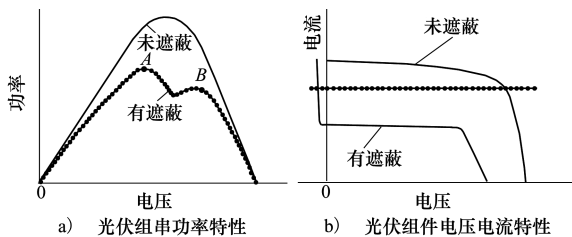


图 1 局部阴影下的光伏组串、组件特性

但当某块或几块光伏组件发生遮蔽时,被遮蔽组件的电流输出能力便会降低,造成组串功率特性的多峰值问题,导致系统最大功率点难以跟踪。如

图 1a) 所示,当出现遮蔽时,系统出现了 A, B 2 个峰值点且均小于未遮蔽的峰值点。这时会出现 2 种不同工况:一种由于组串电流被拉低至遮蔽组件电流,会大大降低光伏组串整体发电量;另一种组串电流工作于未遮蔽组件的最大功率点,被遮蔽组件不能提供该电流而造成旁路二极管导通,从而将遮蔽组件电压钳位于负值,如图 1b) 所示,造成该组件由发电转化为耗电从而造成“热斑”。

下面以 3 块光伏组件中的 PV3 组件发生遮蔽为例详细分析光伏组串的工作状态。

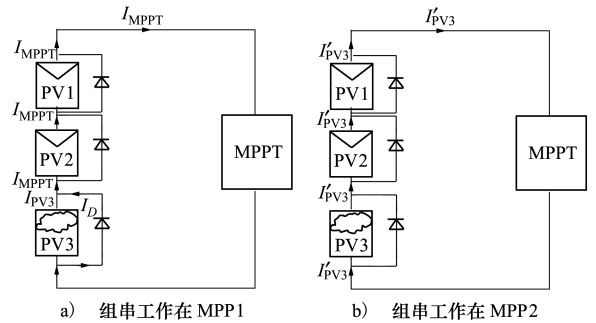


图 2 光伏组串发生遮蔽时的工作状态

工况 1:如图 2a) 所示,此时 2 块未遮蔽组件的输出电流仍是后级 MPPT 追踪到的最大点电流  $I_{MPPT}$ 。PV3 由于发生遮蔽导致其电流输出能力降低,假设该电流为  $I_{PV3}$ 。此时, PV3 将不能提供电流,因此部分电流将会流过其旁路二极管,定义该电流为  $I_D$  则有

$$I_{MPPT} = I_{PV3} + I_D \quad (1)$$

由于旁路二极管被导通,因此 PV3 板两端的电压将会被钳位在  $-0.7\text{ V}$ , PV3 将会工作在第二象限。其将不发出功率而是吸收功率并造成“热斑”效应。此时,其他光伏组件仍然工作在最大功率点。这种情况即系统工作于 MPP1 点,其功率损失为

$$\Delta P = I_{MPPT} U_{MPPT} + I_{PV3} U_D \quad (2)$$

即组件 PV3 本应发出的功率和其损失的功率之和。

工况 2:如图 2b) 所示,后级 MPPT 算法追踪不到光照强度未发生改变时的最大功率点,而追踪到被遮蔽组件 PV3 最大功率点时,整个组串电流将会被拉低至 PV3 在遮蔽下的 MPP 点电流,假设为  $I'_{PV3}$ ,则有

$$I_{PV1} = I_{PV2} = I'_{PV3} \quad (3)$$

假设此时 3 块电池板的电压分别为  $U_{PV1}, U_{PV2}, U_{PV3}$  (其中  $U_{PV1} = U_{PV2}$ )。则功率损失为

$$3I_{MPPT}U_{MPPT} - I'_{PV3}(U_{PV1} + U_{PV2} + U_{PV3}) \quad (4)$$

### 1.2 光伏均衡器原理

光伏均衡器采用一个能量变换传输装置将未被遮蔽组件的部分功率转移到被遮蔽组件使其工作点发生改变从而提升系统发电量。这种能量传输装置可以是开关电容、开关电感、倍压单元以及 DC-DC 变换器等。除此之外,光伏均衡器的拓扑结构有板间均衡方式,母线到光伏组件等均衡方式。

如图 3 所示,光伏均衡器采用一个 DC-DC 变换器来代替反并联二极管,让本应流过二极管的电流流经均衡器。有如下关系

$$I_{MPPT} = I_{DPP} + I_{PV3} \quad (5)$$

式中:  $I_{MPPT}$  为正常光照强度下的最大功率点电流;  $I_{DPP}$  为流过均衡器的电流;  $I_{PV3}$  为流过被遮蔽光伏板的电流。

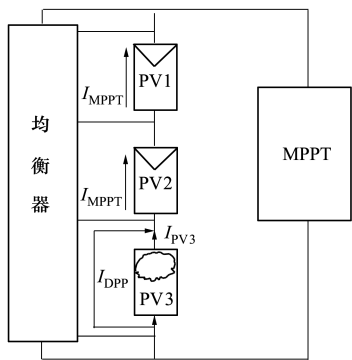


图 3 光伏均衡器原理图

加入均衡器后,由于均衡器为一个 DC-DC 变换器,可以将光伏组件两端的电压控制在其最大功率点附近而非被旁路二极管钳位于负值。此时,被遮蔽的光伏组件将不再消耗功率而是输出功率,从而大幅提升光伏系统在遮蔽情况下的发电量。

## 2 基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器拓扑结构及工作原理

本文采用的是一种单输入多输出的推挽变换器拓扑,具有结构简单、采用的开关器件少、适用的功率场合大等优点。所提出的基于推挽变换器的单输入多输出光伏均衡器系统如图 4 所示。共包含 3 个部分,光伏组串、光伏均衡器、MPPT 模块。

当光伏组串工作在正常光照强度下且未发生遮蔽,均衡器不工作,后级 MPPT 模块正常工作,整个

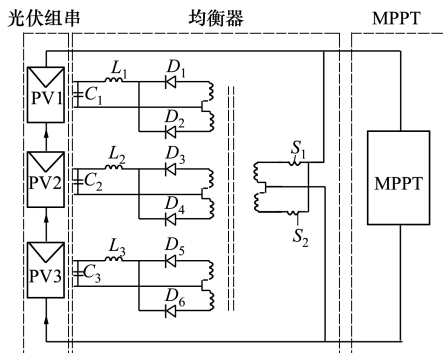


图 4 基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器原理图

系统工作在最大功率,此时组串的电流为  $I_{MPPT}$ ,如图 5a) 所示,当 PV3 的光照强度发生突变,光伏均衡器开始工作分为 4 种模式。

1) 模式 1:  $t_0-t_1$ 。开关管  $S_1$  导通,  $S_2$  关断,变压器副边上正下负,二极管  $D_5$  正向偏置,  $i_{D5}$  上升。二极管  $D_6$  反向偏置而截止。均衡器从母线电压吸收能量,通过变压器为 PV3 及电感提供能量,电感电流  $i_L$  上升。

2) 模式 2:  $t_1-t_2$ 。开关管  $S_1$  和  $S_2$  均关断,二极管  $D_5, D_6$  均正向偏置导通,起到续流作用,二极管电流  $i_{D5}, i_{D6}$  下降。输出电感  $L_3$  放电为 PV3 提供能量,电感电流  $i_L$  下降。

3) 模式 3:  $t_2-t_3$ 。开关管  $S_2$  导通,  $S_1$  关断,变压器副边上正下负,二极管  $D_6$  正向偏置,  $i_{D6}$  上升。二极管  $D_5$  反向偏置而截止。均衡器从母线电压吸收能量,通过变压器为 PV3 及电感提供能量,电感电流  $i_L$  上升。

4) 模式 4:  $t_3-t_4$ 。开关管  $S_1$  和  $S_2$  均关断,上下 2 个二极管  $D_5, D_6$  均正向偏置导通,起到续流作用,二极管电流  $i_{D5}, i_{D6}$  下降。输出电感  $L_3$  放电为 PV3 提供能量,电感电流  $i_L$  下降。

其中,模式 1 和 2 分别如图 5b) 及 5c) 所示,波形图如图 6 所示。模式 3 和 4 与之类似,在此不再赘述。

通过将光伏均衡器代替被遮蔽组件 PV3 两端的旁路二极管,让本应流过二极管的电流流过均衡器,二极管将不会被导通,且遮蔽组件两端电压将会被控制在 MPPT 电压附近,使得光伏组件 PV3 近似工作在其最大功率点,其余未遮蔽组件均工作在其最大功率点,因而可以大幅提升光伏组串在遮蔽工况下的发电量。

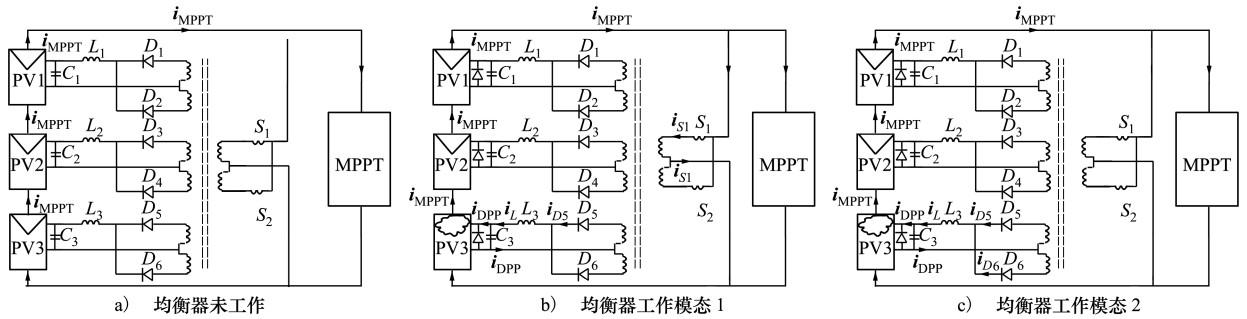


图 5 光伏均衡器工作模式图

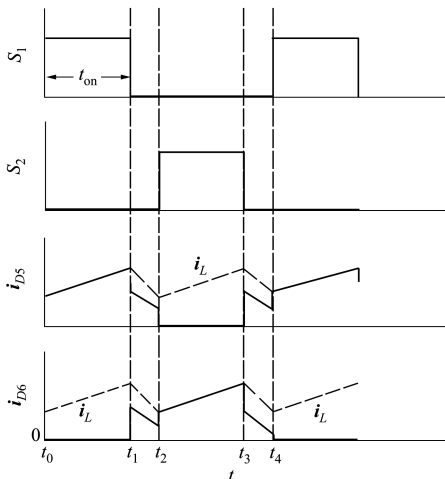


图 6 均衡器工作波形图

7 为仿真系统整体框图。其中,光伏组件采用 simulink 中自带的光伏组件模型,型号为 1Soltec-h1STH-215-P,光伏组件的正常光照强度为  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ 。当光照强度为  $1\ 000\ \text{h}$ ,其最大功率点为  $U=29\ \text{V}, I=7.35\ \text{A}$ 。

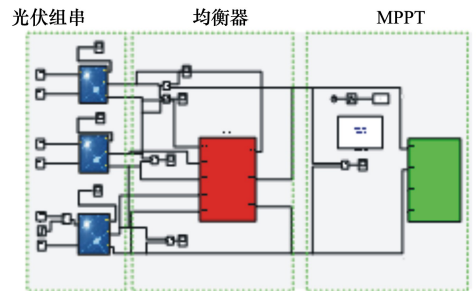


图 7 仿真系统整体框图

相较于传统反激、正激变换器通常工作于几十至几百瓦功率等级,本文选用设计的单输入多输出的推挽变换器可适合于上千瓦的功率等级,特别适用于 3~5 块光伏组件构成的小型光伏系统,且开关数量少、电路构成简单、成本低廉。

### 3 仿真结果及分析

为验证所提出均衡器理论分析的正确性及可行性,在 MATLAB/Simulink 中对所设计的基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器进行仿真验证。图

分别进行如下 3 种情况下的仿真分析:系统工作在 MPP1 点处、系统工作在 MPP2 点处、系统加入均衡器后的工作情况。

系统工作在 MPP1 点处仿真结果如图 8 所示。PV1 和 PV2 工作在正常光照强度即光照强度为  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ ,PV3 工作在  $800\ \text{W}/\text{m}^2$ 。图 8a)~8c) 分别为各光伏板的工作电压、电流、功率。由仿真可见,PV1 和 PV2 两端电压电流分别为  $29\ \text{V}, 7.35\ \text{A}$ ,功率为  $213.15\ \text{W}$ ,工作在该光照强度的最大功率点;PV3 两端的电压电流分别为  $-0.8\ \text{V}, 6.2\ \text{A}$ ,功率为  $-4.96\ \text{W}$ 。P 为 3 块电池板总功率为  $421.34\ \text{W}$ 。

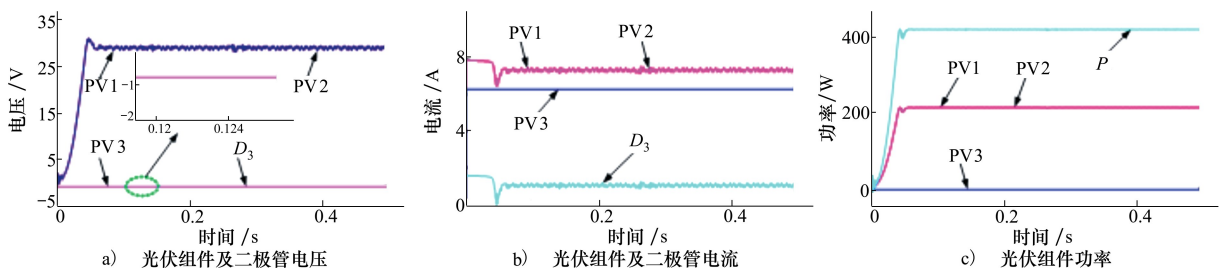


图 8 MPP1 点处光伏组件电压、电流、功率

说明此时 PV3 两端的电压被二极管钳位为负值,有部分电流流过二极管,流过 PV3 的电流不再为最大功率点电流而被拉低为遮蔽后光照强度的电流, PV3 开始消耗功率,从而验证了前文系统工作在 MPP1 点的理论分析。

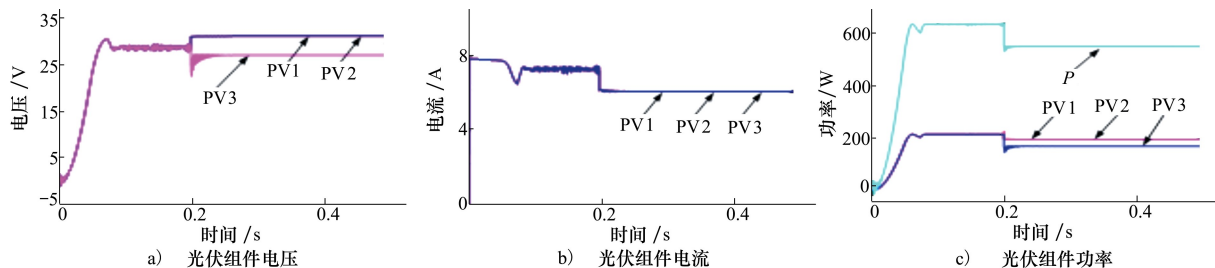


图9 MPP2点处光伏组件电压、电流、功率

在 0~0.2 s 过程中,3 块光伏板电压、电流及功率分别为 29 V, 7.35 A, 213.15 W, 均在后级 MPPT 算法控制下工作在最大功率点; 0.2 s 时刻开始, 光伏板 PV1, PV2 光照条件不变而 PV3 光照强度突变为  $800 \text{ W/m}^2$ , 3 块光伏组件的电流均变为 6.1 A。这是由于 PV3 光照突变后电流减小, 从而将整个光伏组串的电流拉低。由于电流条件发生了改变, 因此 PV1 和 PV2 将偏离最大功率点, 电压变为 32 V, PV3 两端的电压为 26 V。此时 3 块组件的功率分

系统工作在 MPP2 点的仿真结果如图 9 所示。PV1 和 PV2 工作在正常光照强度即  $1000 \text{ W/m}^2$ , PV3 在 0~0.2 s 工作在  $1000 \text{ W/m}^2$ , 0.2 s 时刻光照强度从  $1000$  突变为  $800 \text{ W/m}^2$ 。图 9a)~9c) 分别为 3 块光伏组件的电压、电流、功率。

别突变为 195.2, 195.2, 158.6 W, 总功率  $P$  为 549 W。这说明整体组串电流被拉低为发生遮蔽的 PV3 电流, 这样未遮蔽光伏组件两端的电压也将发生偏移, 不再是最大功率点电压。因此, 验证了前文系统工作在 MPP2 点的理论分析。

系统加入均衡器后的工作过程如下: 0~0.1 s 过程中, 3 块光伏组件均工作在正常光照条件下, 0.1~0.3 s 过程 PV3 光照强度突变为  $800 \text{ W/m}^2$ , 0.3 s 时将均衡器投入运行。

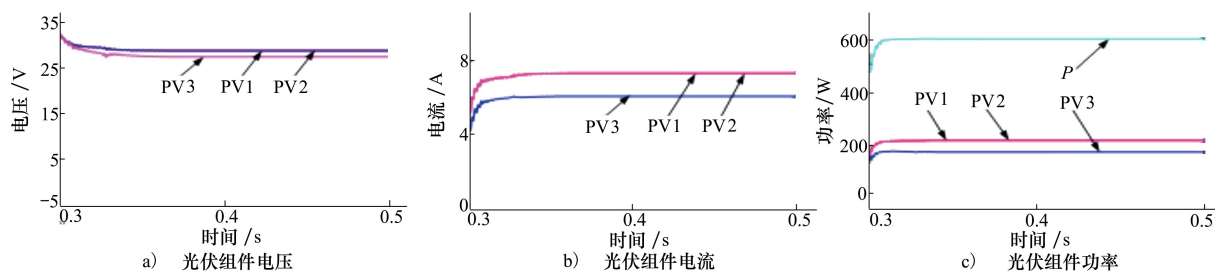


图10 均衡器工作后的光伏组件电压、电流、功率

如图 10 所示, 0.3 s 投入均衡器后, PV1 和 PV2 电压和电流分别为 29 V, 7.35 A, 功率为 213.15 W, 这说明 PV1 和 PV2 在投入均衡器以后均工作在最大功率点。PV3 两端电压和电流为 27.8 V, 6.1 A, 功率为 169.58 W。3 块电池板总功率为 595.88 W。

在投入均衡器后, 相较于 MPP1 点, 发生遮蔽的光伏板释放功率将近似工作在最大功率点而非吸收功率; 相较于 MPP2 点, 未发生遮蔽组件均工作在正常光照条件下的最大功率点, 而非工作在电流被拉低至与遮蔽后的电流值。这说明均衡器工作后, 失配光伏系统的多峰现象将会消失, 均衡器将会为被

遮蔽组串提供均衡电流, 使整个组串近似工作在最大功率点。

图 11 为 3 种工况总功率的对比图,  $P_{\text{MPP1}}$ ,  $P_{\text{MPP2}}$ ,  $P_{\text{DPP}}$  分别表示系统工作在 MPP1 点、MPP2 点及投入均衡器后的总功率, 分别为 421.34, 549, 595.88 W。与系统工作在 MPP1 点相比, 加入均衡器后, 系统功率增长 174.54 W, 增长率为 41.4%; 与系统工作在 MPP2 点相比, 当加入均衡器后, 系统功率增长为 46.88 W, 增长率为 8.5%。

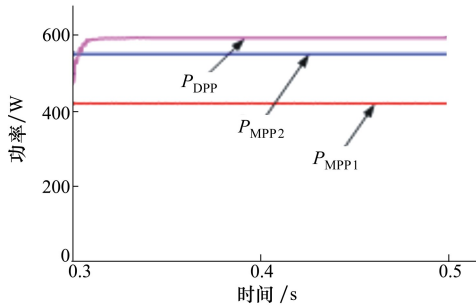


图 11 3 种情况下系统总功率对比

## 4 结 论

针对光伏组件遮蔽现象引起的光伏系统的功率损失,本文提出了一种基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器,该均衡器具有拓扑结构简单、所用开关数量少、可用于中大功率场合等优点。对光伏系统发生遮蔽后的 2 种工作状态进行了分析;介绍了光伏均衡器的工作原理;对于所提光伏差分均衡器的拓扑结构及工作原理进行了详细的分析和说明;最后在 MATLAB/simulink 中进行仿真分析,得出了如下结论:

1) 当光伏组件发生遮蔽现象后将出现多峰值现象,导致最大功率点难以追踪。系统将会出现被遮蔽组件因反并联二极管导通消耗功率或整个组串电流被拉低至与被遮蔽组件电流相同 2 种工作状态,从而造成系统的功率损失。

2) 当系统发生遮蔽后,投入均衡器进行电流补偿,可以为遮蔽组件提供均衡电流,从而使其他未遮蔽板组件工作在最大功率点,且使遮蔽组件近似工作在最大功率点。

3) 组件失配光伏系统投入本文设计的基于单输入多输出推挽变换器的光伏均衡器后,系统总功率比其工作在 MPP1 点处提高了 41.4%,比工作在 MPP2 处总功率提高了 8.5%。

4) 本文设计的均衡器所处理的功率最大仅约 30 W,均衡器自身的损耗仅数瓦,相较于 600 W 的系统总发电功率,均衡器损耗占比很小,因此本文未对均衡器自身的损耗进行详细分析,而重点关注了均衡器对系统发电量的提升作用。均衡器自身的损耗分析以及对系统的影响将在下一步研究工作中深入开展。

## 参考文献:

- [1] JEON Y, PARK J. Unit-Minimum Least Power Point Tracking for the Optimization of Photovoltaic Differential Power Processing Systems[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2019, 34(1): 311-324
- [2] UNO M, KUKITA A. Single-Switch Voltage Equalizer Using Multistacked Buck-Boost Converters for Partially Shaded Photovoltaic Modules[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2015, 30(6): 3091-3105
- [3] VILLA L F L, RAISON B, CREBIER J C. Toward the Design of Control Algorithms for a Photovoltaic Equalizer: Detecting Shadows through Direct Current Sampling[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, 2(4): 893-906
- [4] 杜进,王睿驰,王志鹏,等. 并联型单开关管光伏组件优化器的研究与设计[J]. 电工技术学报,2017,32(24): 184-192  
DU Jin, WANG Ruichi, WANG Zhikun, et al. Design and Analysis of a Parallel Single-Switch Panel-Integrated PV Optimizer [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(24): 184-192 (in Chinese)
- [5] ZHANG W, LI J, MAO P. A Novel Isolated-Port Voltage Equalizer for Photovoltaic Systems under Mismatch Conditions[C]// 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing, 2017: 639-644
- [6] SHIMIZU T, HASHIMOTO O, KIMURA G. A Novel High-Performance Utility-Interactive Photovoltaic Inverter System[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2003, 18(2): 704-711
- [7] 祝祥亮,王越,蔡慧,等. 基于开关电容的光伏组件能量优化方法研究[J]. 中国计量大学学报,2019,30(3): 299-307  
ZHU Xiangliang, WANG Yue, CAI Hui, et al. Research on Energy Optimization Method of Photovoltaic Modules Based on Switched Capacitor[J]. Journal of China Jiliang University, 2019, 30(3): 299-307 (in Chinese)
- [8] SHENOY P S, KIM K A, JOHNSON B B, et al. Differential Power Processing for Increased Energy Production and Reliability of Photovoltaic Systems[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2013, 28(6): 2968-2979
- [9] SHIMIZU T, HIRAKATA M, KAMEZAWA T, et al. Generation Control Circuit for Photovoltaic Modules[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2001, 16(3): 293-300

- [10] 张卫平,潘玥,张晓强,等. 用于PV组串的单输入-多输出电流均衡器的建模与仿真[J]. 电源学报,2017,15(6): 19-25  
ZHANG Weiping, PAN Yue, ZHANG Xiaoqiang, et al. Modeling and Simulation of Single Input-Multi Output Current Equalizer for PV Modules[J]. Journal of Power Supply, 2017, 15(6): 19-25 (in Chinese)
- [11] UNO M, SHINOHARA T. Module-Integrated Converter Based on Cascaded Quasi-Z-Source Inverter with Differential Power Processing Capability for Photovoltaic Panels under Partial Shading[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2019, 34(12): 11553-11565
- [12] SHINOHARA T, UNO M. Micro-Inverter Based on Quasi-Z-Source Inverter Integrating Switchless Voltage Equalizer for Photovoltaic Panels under Partial Shading[C] // 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia, Kaohsiung, 2017: 2013-2018

## Photovoltaic Equalizer Based on Single-Input Multi-Output Push-Pull Converter

ZHAO Ben<sup>1</sup>, MA Rui<sup>1</sup>, HUANGFU Yigeng<sup>1</sup>, WEI Jiang<sup>2</sup>

(1.School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;  
2.Datang Northwest Electric Power Test & Research Institute, Xi'an 710018, China)

**Abstract:** Component mismatch often happens in the module-series photovoltaic system (including centralized, string, multi-strings PV system) due to partial shadowing, which causes a large loss of power generation. Photovoltaic equalizer can process the differential power under the condition of mismatching through parallel power electronic converter without changing the existing photovoltaic system architecture, so that all the modules can work near their maximum power points, which can greatly improve the power generation of the system under the condition of mismatching. This paper proposes a photovoltaic equalizer based on single-input multi-output push-pull converter. The topology has the advantages of simple structure and less switching devices. Firstly, the paper introduces the partial shadowing problem of photovoltaic modules and the principle of photovoltaic equalizer. Then, the topological structure and working principle of the proposed photovoltaic equalizer system are analyzed in detail. Finally, the simulation and verification of the designed photovoltaic equalizer are carried out. The simulated results show that the proposed equalizer can greatly improve the generation capacity of photovoltaic system under mismatching conditions, and the maximum increment can be up to 41%.

**Keywords:** photovoltaic power generation; photovoltaic equalizer; partial shadowing; single-input multi-output structure; push-pull converter