

# 集中式逆变器直流侧并联协调控制策略

郝鹏杰, 李云鹏, 李 聪, 韩雁明

(石家庄铁道大学 电气与电子工程学院, 河北 石家庄 050043)

**摘要:**针对集中式光伏电站逆变器低功率运行下输出波形质量差且故障率高的问题,在光伏发电单元汇流箱与逆变器之间加入控制器,提出一种改善系统运行性能的控制策略。分析了集中式光伏电站直流侧并联结构,以光伏系统输出功率最大和输出电流谐波畸变率最小为优化目标,建立目标函数。控制器控制逆变器协调运行使目标函数最小,改善系统运行性能。分析了光伏单元传统连接方式下故障期间的损失以及本策略在此基础上可提高的效益。最后通过算例验证本策略的可行性。

**关键词:**集中式逆变器;逆变器故障;控制器;光伏发电;谐波

**中图分类号:**TM464 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2020)03-0065-07

## 0 引言

目前,我国光伏产业发展迅猛,装机容量逐年上升且已位于世界首位,光伏发电的大规模集成对电网的电能质量和稳定性提出了挑战<sup>[1-2]</sup>。光伏系统中逆变器低功率运行效率低,产生谐波含量高,对电力系统造成严重影响,分析光伏系统效率问题以及输出的电能质量参数对电网可靠性运行具有重要意义<sup>[3-6]</sup>。另外,集中式逆变器年故障率较高,每次故障发生引起系统长时间停运,造成经济损失非常严重<sup>[7]</sup>。若在低照度情况下将光伏发电单元内逆变器直流侧进行并联,一方面可以直接提高单台逆变器输入功率,提高工作效率,提高电能质量;另一方面使逆变器之间协调运行,可以降低其自身故障引起的停运损失。

文献<sup>[8-9]</sup>根据光伏逆变器效率特性,提出逆变器并联运行提高系统输出功率的优化配置方法。但该文献只是从逆变器运行结果理论分析,未考虑逆变器的实时运行数据,也并未给出具体的控制方法。文献<sup>[10]</sup>提出分散式 MPPT 和集中式逆变方式使光伏系统高效率运行的控制策略。但该文献仅考虑 20% 和 90% 功率点进行切换,控制策略比较单一,未考虑不同逆变器的差异性。另外,上述文献均是以系统输出功率最大为目标,未考虑系统的谐波输出。

逆变器转换效率随着负载率不断增大呈现出先增大后变小的趋势,而谐波电流畸变率随着负载率不断增大呈现出逐渐减小的趋势。在逆变器最大效率的功率点附近,逆变器效率随功率上升变化平缓,系统输出谐波还可以进一步得到优化。利用这些特点,以系统并网功率最大和系统输出谐波最小为目标,建立多目标函数提高系统运行性能。另外,根据光伏电站新增开关控制器作用,评估了系统因故障造成的停机损失。

## 1 光伏发电单元结构

集中式光伏电站典型结构主要是由 2 台 500 kW 集中式逆变器组成 1 MW 发电单元,再由多个发电单元升压至 35 kV 交流母线汇流后升压到 110 kV 母线<sup>[11]</sup>。在发电单元中汇流箱与逆变器之间加入控制器,实现逆变器之间协调控制,提高系统输出功率以及改善系统波形质量。

系统结构如图 1 所示。将 1 台逆变器控制的所有光伏电池板组成的阵列定义为 1 个光伏阵列;忽略

收稿日期:2019-02-25 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20190028

作者简介:郝鹏杰(1991—),男,硕士研究生,研究方向为基于光伏发电的应用研究。E-mail:362637552@qq.com

郝鹏杰,李云鹏,李聪,等.集中式逆变器直流侧并联协调控制策略[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2020,33(3):65-71.

光伏电池板之间输出功率的微小差异,将光伏电池板经汇流箱汇流后形成的 2 个同功率输出阵列定为 2 个光伏子阵,其中,1 个光伏阵列由 2 个光伏子阵组成。光伏发电单元中光伏子阵通过控制器连接 2 台逆变器。在低光照下,控制器控制全部光伏子阵连接 1 台逆变器运行,另一台逆变器停运;随着光照增强,控制器控制光伏子阵并分配数量连接 2 台逆变器运行。光伏发电单元中通常将光伏阵列分为 4 个光伏子阵连接 2 台逆变器较为合理,既可减少开关数量又能灵活调度光伏阵列功率,可使系统控制在最优配置运行。

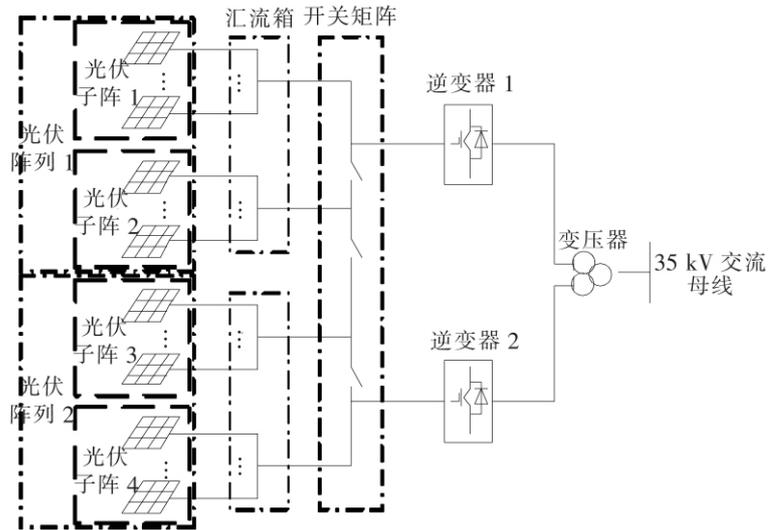


图 1 集中式光伏电站发电单元系统结构

## 2 系统优化目标及控制分析

控制器利用汇流箱输出电压和电流数据,计算目标函数,判断函数大小,确定直流侧光伏子阵和逆变器之间新的连接结构,从而使逆变器之间协调运行。下面对系统功率和系统并网谐波电流进行分析。

### 2.1 系统功率分析

系统输出功率与逆变器转换效率有直接关系。其中转换效率为逆变器交流侧功率与直流侧功率比值,可根据厂家所给数据或逆变器历史数据得到。定义函数  $\eta(P)$  为逆变器输入功率为  $P$  时,逆变器的转换效率。则系统输出总功率为

$$P_{az} = \sum_{i=1}^2 U_{dc,i} I_{dc,i} \cdot \eta(U_{dc,i}, I_{dc,i}) \quad (1)$$

式中,  $U_{dc,i}$  为逆变器  $i$  的直流侧电压;  $I_{dc,i}$  为逆变器  $i$  的直流侧电流。

根据光伏输出特性曲线可知,在光伏板输出最大功率时,电流相对电压变化幅度很小。故以总电流不变的方式近似计算线路并联后输出电流如式(2)、式(3)所示,其中输出电压和电流关系如式(4)、式(5)所示。

$$I_{dc,1} \approx \sum_{k=0}^K I_{d,k} \quad (2)$$

$$I_{dc,2} \approx \sum_{k=K+1}^5 I_{d,k} \quad (3)$$

$$I_{dc,1} U_{dc,1} \approx \sum_{k=0}^K U_{d,k} I_{d,k} \quad (4)$$

$$I_{dc,2} U_{dc,2} \approx \sum_{k=K+1}^5 U_{d,k} I_{d,k} \quad (5)$$

式中,  $U_{dc,1}$ 、 $U_{dc,2}$  分别为逆变器 1、2 的直流侧电压;  $I_{dc,1}$ 、 $I_{dc,2}$  分别为逆变器 1、2 的直流侧电流;  $K$  为连接 1 台逆变器的最大光伏子阵数,  $K=0,1,2,3,4$ ;  $U_{d,k}$ 、 $I_{d,k}$  分别为光伏子阵  $k$  输出电压、电流,其中为了方便表示开关连接状态,添加虚拟光伏子阵 0 和子阵 5,但由于无光伏子阵 0 和子阵 5,故当  $k=0,5$  时,  $U_{d,k}$  和  $I_{d,k}$  均为 0。

### 2.2 系统谐波分析

在忽略电网背景谐波情况下,逆变器输出谐波主要由两方面构成:一方面由死区时间引起的谐波;另

一方面是由调制过程产生的开关频率附近的谐波<sup>[12]</sup>。

以逆变器  $a$  相为例,通常采用双极性 SPWM 调制的三相逆变器  $i$  的调制比为<sup>[12]</sup>

$$M_i = \frac{2\sqrt{2}U_{\text{inv},a,i}}{U_{\text{dc},i}} \quad (6)$$

式中, $U_{\text{dc},i}$ 为逆变器  $i$  的  $a$  相输出电压有效值; $U_{\text{dc},i}$ 为逆变器  $i$  的输入电压。

逆变器输出谐波为  $h = (n\omega_c \pm k_r\omega)/\omega$  的高次谐波电压有效值为<sup>[13]</sup>

$$U_{\text{inv},aH,i,h} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{dc},i}}{n\pi} J_{k_r} \left( \frac{n\pi M_i}{2} \right) \quad (7)$$

式中, $n=1,3,5\cdots$ 时, $k_r$ 为除了 3 的整数倍的偶数; $n=2,4,6\cdots$ 时, $k_r$ 为除了 3 的整数倍的奇数; $\omega_c$ 为载波角频率; $J_{k_r}$ 为第一类贝塞尔函数,其中  $n\pi M/2$  为变量, $k_r$ 为阶数; $\omega$ 为基波角频率, $\omega = 2\pi f$ , $f$ 为基波频率。

对死区时间形成的误差电压进行傅里叶分解可得到谐波电压,当  $h=3,5,7\cdots$ 时,逆变器  $i$  的  $a$  相输出低次谐波电压为<sup>[14]</sup>

$$U_{\text{inv},aL,i,h} = \frac{2\sqrt{2}}{h\pi} f_c T_d U_{\text{dc},i} \quad (8)$$

式中, $f_c$ 为载波频率; $T_d$ 为死区时间; $h$ 为谐波次数, $h=5,7,9\cdots$ 。

根据逆变器输出谐波电压,可利用系统等值模型求出逆变器谐波电压与并网谐波电流之间的关系,再求出谐波电流。

由于光伏发电单元一般采用双分裂变压器,两台变压器交流侧之间仅有较弱的耦合关系,无直接的电气联系,因此,考虑单台逆变器的系统等值模型如图 2 所示。

以  $a$  相为例,对图 2 进行分析<sup>[15]</sup>,其中  $L_1, L_2$  均为滤波器电感, $C$ 为滤波器电容;假设并网电压不变,则令  $\dot{U}_a$

为逆变器  $a$  相并网电压; $U_{\text{inv},a,i}$ 和  $\dot{I}_{\text{inv},a,i}$ 分别为第  $i$  台逆变器输出的  $a$  相电压和电流; $\dot{U}_{C,a,i}$ 和  $\dot{I}_{C,a,i}$ 分别为第  $i$  台逆变器  $a$  相上滤波电容两端电压和电容支路电流; $\omega$ 为基波角频率。由于并网电流和电压同相位,所以令初相位为 0。根据图 2 等值电路可建立关系式如式(9)所示,整理得到式(10)。

$$\begin{cases} \dot{U}_{C,a,i} = \dot{U}_a + j\omega L_2 \dot{I}_{a,i} \\ \dot{U}_{C,a,i} = U_{\text{inv},a,i} - j\omega L_1 \dot{I}_{\text{inv},a,i} \\ \dot{I}_{\text{inv},a,i} = \dot{I}_{C,a,i} + \dot{I}_{a,i} \\ \dot{I}_{C,a,i} = j\omega C \cdot \dot{U}_{C,a,i} \end{cases} \quad (9)$$

$$U_{\text{inv},a,i}^2 = (1 - \omega^2 L_1 C)^2 U_a^2 + \omega^2 I_{a,i}^2 [(1 - \omega^2 L_1 C)L_2 + L_1]^2 \quad (10)$$

式中, $I_{a,i}$ 为逆变器  $i$  的  $a$  相并网电流,其中  $I_{a,i} = U_{\text{dc},i} I_{\text{dc},i} \cdot \eta(U_{\text{dc},i} I_{\text{dc},i}) / (3U_a)$ 。

式(10)中引入各次谐波进行计算,忽略背景谐波,即  $U_{a,h} = 0$ ,得到各次谐波电压与电流的关系为

$$U_{\text{inv},a,i,h} = |\omega_h [(1 - \omega_h^2 L_1 C)L_2 + L_1]| I_{a,i,h} \quad (11)$$

式中, $\omega_h$ 为  $h$  次谐波的角频率,其中  $\omega_h = h\omega$ ; $U_{\text{inv},a,i,h}$ 为各次谐波电压,包含低次和高次谐波,其中  $U_{\text{inv},a,i,h}$ 为

$$U_{\text{inv},a,i,h} = \sum_{h=5}^{\infty} (U_{\text{inv},aL,i,h} + U_{\text{inv},aH,i,h}) \quad (12)$$

式中,对于高次谐波, $h$ 取不到的值或为 3 的整数倍的值,谐波电压取为 0。

电流基波有效值为

$$I_{a,i,1} = \sqrt{I_{a,i}^2 - \sum_{h=2}^{\infty} (I_{a,i,h}^2)} \quad (13)$$

两台逆变器  $a$  相并网总电流谐波畸变率为

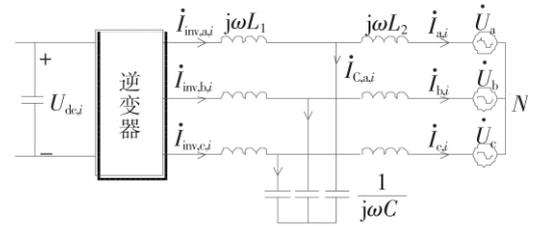


图 2 系统等值电路图

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left( \sum_{i=1}^2 I_{a,i,h} \right)^2}}{\sum_{i=1}^2 I_{a,i,1}} \quad (14)$$

### 2.3 多目标函数

以系统输出功率最大和谐波含量最小建立目标函数,如式(15)所示。

$$\max f(x) = \lambda_1 \frac{P_{az}}{2P_N} + \lambda_2 (1 - THD_I) \quad (15)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum I_{d,k} \leq I_{d\max} \\ U_{dc,i} \leq U_{d\max} \\ P_{dc,i} \leq P_{d\max} \\ P_{az} > 0 \end{cases} \quad (16)$$

式中,  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  均为权重系数;  $I_{d\max}$ 、 $U_{d\max}$  分别为逆变器单条线路最大输入电流、电压;  $P_{\max}$  为逆变器最大输入功率。

式(16)中权重系数参考成本售电价和谐波电价<sup>[13-14]</sup>取值为

$$\begin{cases} \lambda_1 = \frac{C_{ft}}{C_{ft} + (k_1 + 1.05k_2)C_{ep}} \\ \lambda_2 = \frac{(k_1 + 1.05k_2)C_{ep}}{C_{ft} + (k_1 + 1.05k_2)C_{ep}} \end{cases} \quad (17)$$

式中,  $C_{ft}$  为上网电价;  $C_{ep}$  为市场电价;  $k_1$  为惩罚系数;  $k_2$  为谐波对电能表计量影响的估算误差。

### 2.4 控制策略

控制器利用开关状态控制逆变器直流侧接入方式,从而使多目标函数最大,达到输出功率最大化,谐波最小化的目的。

若逆变器 1 为主逆变器,则开关可行的连接方式有 4 种,如表 1 所示。其中“0”表示开关断开或逆变器停运,“1”表示开关连接或逆变器运行。其中开关符号  $S_{1,2}$ 、 $S_{2,3}$  和  $S_{3,4}$  分别表示光伏子阵 1 和 2 连接开关、子阵 2 和 3 连接开关以及子阵 3 和 4 连接开关。

表 1 开关投切方式及逆变器运行状况

连接方式	$S_{1,2}$	$S_{2,3}$	$S_{3,4}$	逆变器 1	逆变器 2
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1
4	1	1	1	1	0

控制器采用穷举法对 4 种可行的连接方式进行拟连接,并对各拟连接方式进行数据计算并对比得出最大目标函数,从而获得最佳连接方式。为方便逆变器运行与维护,选择逆变器 2 作为主逆变器,依次轮换运行,连接方式同理也为 4 种。为防止误判等情况,控制器在开关变换前后分别采集逆变器输出功率数据进行对比处理,若变换后输出功率大幅度减少,改回原来连接方式,否则连接状态不变。系统切换流程如图 3 所示。图中控制器在几分钟内读取一次数据比较合适。

另外,因天气等复杂原因可使电流频繁大幅度变化,因此控制器需要对比上次采集数据判断是否超出阈值,防止开关频繁切换。

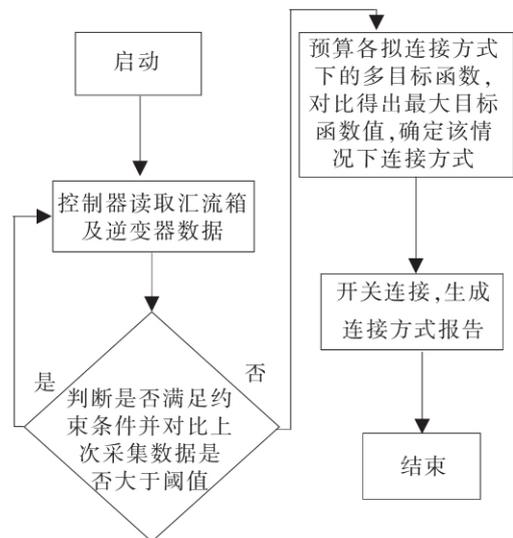


图 3 系统切换流程图

### 3 系统故障损失

集中式光伏电站故障率很高,其中 1 台 500 kW 逆变器年平均故障率可达 3.16 次/a<sup>[5]</sup>,而逆变器发生故障时停机修复时间很长,严重影响了发电收益。光伏电站其他故障相对逆变器故障损失较小,因此仅考虑逆变器故障情况下,分析系统故障损失。

#### 3.1 常规系统故障损失分析

常规连接方式下,1 台集中式逆变器发生故障,则故障期间损失效益为

$$C_{LT} = h_a P_N T_s C_{ft} \quad (18)$$

式中, $h_a$  为逆变器每日光照有效小时数; $P_N$  为逆变器额定输出功率; $T_s$  为逆变器故障天数。

#### 3.2 本策略系统故障损失分析

在考虑加入控制器之后,逆变器发生故障时,控制器可通过调节线路连接方式使汇流箱集中到单元内另一台逆变器发电,利用逆变器的剩余容量,降低故障损失。

根据中国效率<sup>[15]</sup>可计算出逆变器在不同功率点处光照小时数比例分布。为方便计算,忽略故障期间控制器改变线路引起逆变器转换效率的变化情况以及季节性差异,则本策略相比传统连接方式故障期间的损失近似为

$$C_{CL} \approx (a_{75\%} + a_{100\%}) h_a P_N T_s C_{ft} \quad (19)$$

式中, $a_{75\%}$ 、 $a_{100\%}$  分别为逆变器在 75%、100% 功率点下权重系数。

由式(18)、式(19)可知,本策略可在 1 台逆变器故障期间提高的效益为

$$C_L \approx (1 - a_{75\%} - a_{100\%}) h_a P_N T_s C_{ft} \quad (20)$$

## 4 算例分析

#### 4.1 算例 1

利用 Matlab 仿真软件,结合图 1 光伏单元系统图对系统输出功率和输出波形质量进行算例分析,其中 500 kW 逆变器转换效率如表 2 所示<sup>[16]</sup>,利用插值法可求出逆变器在其他负载点处的转换效率。其他参数取值如表 3 所示。

表 2 逆变器不同负载率的转换效率

负载率 %	转换效率 %	负载率 %	转换效率 %
5	89.6	50	97.2
10	94.3	75	96.8
20	96.5	100	96.3
30	97.1	—	—

表 3 系统参数

参数	数值	参数	数值
电感 $L_1$	0.24 mH	载波频率 $f_c$	1 050 Hz
电感 $L_2$	0.07 mH	基波频率 $f$	50 Hz
电容 $C$	1 800 $\mu$ F	死区时间 $T_d$	4 $\mu$ s
市场电价 $C_{ep}$	0.61 元/(kW·h)	每日光照有效小时数 $h_a$	4~8 h
上网电价 $C_{ft}$	0.94 元/(kW·h)	逆变器额定相电压 $U_a$	90 $\sqrt{3}$ V
惩罚系数 $k_1$	0.3	逆变器额定输出功率 $P_N$	500 kW
估算误差 $k_2$	1%	逆变器故障天数 $T_s$	7~20 d
谐波次数 $h$	3,5,7,...,25	权重系数 $a_{75\%}$	0.37
权重系数 $a_{100\%}$	0.15	—	—

为便于计算,取直流电压  $U_{d,k}$  为 600 V,直流电流  $I_{d,k}$  不断增大直到逆变器直流侧功率达到额定功率为止。根据系统参数得出光伏单元在传统模式下和本策略模式下运行曲线如图 4 所示。

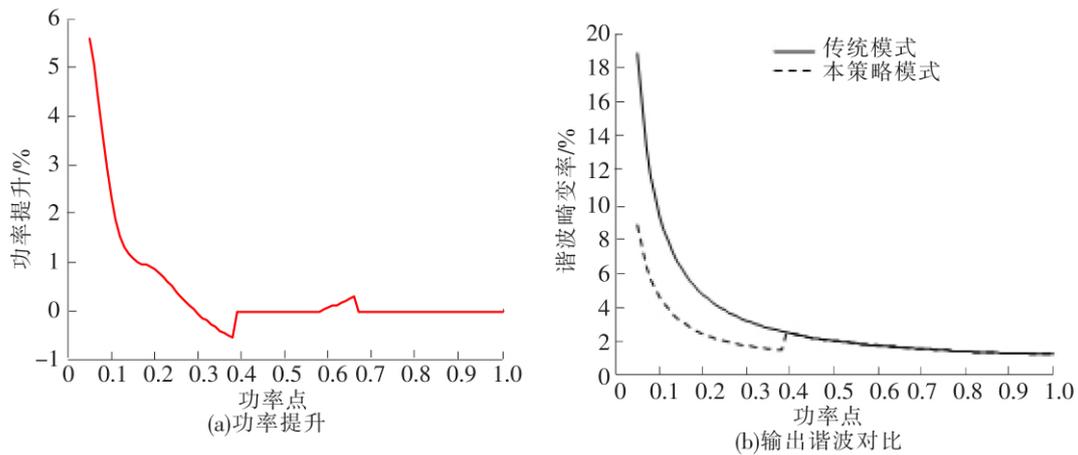


图 4 数据对比图

从图 4 中可看出,使用本策略后,低功率情况下最高可提升 5.6%,而谐波控制也有很好的改善,并网电流谐波畸变率最大可提升 10%左右。若集中式逆变器带有启动功率,该策略模式还可使逆变器提前工作,延长光伏发电时间。

#### 4.2 算例 2

逆变器故障期间,传统方式下不能有效利用停滞的光伏阵列,本策略控制器可切换开关使 4 个子阵在一台逆变器运行,利用与算例 1 相同数据仿真,可得到功率提升百分比曲线如图 5 所示。

从图 5 中可看出,逆变器故障期间,随着功率点变化,子阵从 4 个到 2 个依次连接到 1 台逆变器工作,有效利用了可用的光伏子阵,使系统整体功率提升明显。

利用日光照小时数以及故障天数粗略计算逆变器故障期间对比传统连接方式节省的效益<sup>[17]</sup>如图 6 所示。从图 6 中可看出,日照时长和故障时间越长,本策略模式收益越大。以日照 6 h、故障天数 15 d 为例,本策略模式可在故障期间提高收益 2.03 万元。

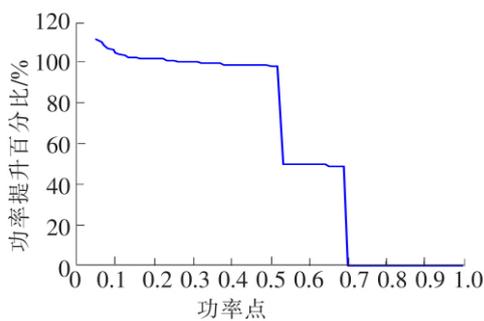


图 5 故障期间功率提升百分比

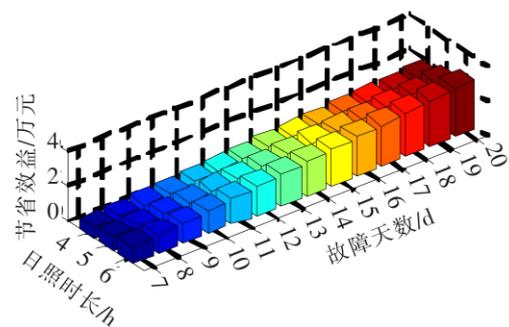


图 6 故障期间本策略效益

## 5 结论

采用控制器控制光伏子阵连接方式使 2 台集中式逆变器之间协调运行,得出以下结论:

(1) 对于 1 MW 的光伏发电单元,控制器控制直流侧开关使逆变器在 1 台到 2 台之间协调运行,提高了系统功率<sup>[18]</sup>,降低了谐波输出。

(2) 集中式逆变器出现故障不易修复,等待维修时间很长,在故障期间本策略模式<sup>[19]</sup>会最大效率利用发电单元所有光伏子阵,使另一台逆变器发电,减少发电损失。

## 参 考 文 献

[1]陈国平,李明节,许涛,等.关于新能源发展的技术瓶颈研究[J].中国电机工程学报,2017,37(1):20-26.

[2]徐成,赵金城,郑洪有,等.屋顶安装光伏太阳能板风荷载试验研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28

- (2):62-67.
- [3]Jafarian H, Kim N, Parkhideh B. Decentralized control strategy for AC-stacked PV inverter architecture under grid background Harmonics[J]. IEEE Journal of Emerging & Selected Topics in Power Electronics, 2018, 6(1): 84-93.
- [4]Xu X, Collin A J, Djokic S, et al. Analysis and modelling of power-dependent harmonic characteristics of modern PE devices in LV networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, 32(2): 1014-1023.
- [5]Grycan W, Brusilowicz B, Kupaj M. Photovoltaic farm impact on parameters of power quality and the current legislation [J]. Solar Energy, 2018, 165: 189-198.
- [6]王娜, 马月辉, 冯晓琳, 等. 基于改进滑模控制的光伏系统最大功率跟踪[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2018, 31(2):88-93.
- [7]王秀丽, 武泽辰, 曲翀. 光伏发电系统可靠性分析及其置信容量计算[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 15-21.
- [8]He F, Zhao Z, Yuan L. Impact of inverter configuration on energy cost of grid-connected photovoltaic systems[J]. Renewable Energy, 2012, 41: 328-335.
- [9]贺凡波, 赵争鸣, 袁立强. 共直流母线并联光伏逆变器的效率特性[J]. 电力电子技术, 2013, 47(3): 24-26.
- [10]黄军军, 汪海宁. 模块化并联光伏并网逆变器的群控技术研究[J]. 电气工程学报, 2016, 11(4): 35-40.
- [11]姚美齐, 蔡旭. 大型光伏电站内网拓扑结构比较分析[J]. 电网技术, 2017, 41(5): 1406-1411.
- [12]谢宁, 罗安, 陈燕东, 等. 大型光伏电站动态建模及谐波特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 10-17.
- [13]沈阳武, 刘佳润, 张斌, 等. 光伏逆变器动态谐波等效建模及其影响因素研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019 (8):126-132.
- [14]王少杰, 罗安. 谐波域死区效应分析及补偿方法的研究[J]. 电工技术学报, 2009, 24(8): 111-119.
- [15]薛世伟, 贾清泉, 苏亚超, 等. 组串式光伏发电系统直流侧可变拓扑及多目标控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39 (7):1968-1975.
- [16]孟金岭, 林国营, 党三磊, 等. 电力需求侧非线性电力用户节能奖惩方法及系统[J]. 节能技术, 2017(6): 556-560.
- [17]赵伟, 彭宏亮, 孙卫明, 等. 谐波条件下基于计量误差量化分析的电能计量方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39 (12):121-125.
- [18]王婷, 王宗, 范士林, 等. 光伏并网逆变器中国效率评价方式[J]. 大功率变流技术, 2014(3): 56-59.
- [19]Rampinelli G A, Krenzinger A, Romero F C. Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 34: 578-587.

## Centralized Inverter Parallel Coordinated Control Strategy

Hao Pengjie, Li Yunpeng, Li Cong, Han Yanming

(School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** To solve the problem of poor output waveform quality and high failure rate under low-power operation of centralized photovoltaic power station inverter, a control strategy was proposed to improve system performance by adding a controller between the photovoltaic power generation unit bus box and the inverter. The parallel structure of the DC side of the centralized photovoltaic power station was analyzed, and the objective function was established with the maximum output power of the photovoltaic system and the minimum harmonic distortion rate of the output current as the optimization objectives. The controller controls the inverter coordinated operation to minimize the objective function and improve the system performance. The loss during the failure of photovoltaic cell under the traditional connection mode and the benefit that can be improved based on this strategy are analyzed. Finally, examples were given to verify the feasibility of this strategy.

**Key words:** centralized inverter; inverter failure; the controller; photovoltaic power generation; harmonic