

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.03.023

分布式光伏阵列重构拓扑及控制方法*

蒋建东, 花京华, 李鲁霞

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对光伏系统在实际运行时,阵列受局部阴影遮挡输出功率出现多峰值导致常规最大功率跟踪(MPPT)算法失效,以及低光照度时逆变器额定功率与接入光伏阵列功率不匹配导致运行效率降低这两个问题,将光伏逆变器组群控制和阵列组态优化思想应用到光伏阵列拓扑重构上,提出了一种新的逆变器出力方案和光伏阵列,可任意自由重构开关拓扑,分析了光伏阵列重构开关拓扑的数学模型及约束条件,利用动态聚类控制将光伏阵列进行了自由串并联并接入相应功率等级逆变器中。在Matlab上建立了光伏阵列及逆变器数学模型,并仿真运行了光伏阵列在局部阴影遮挡和低光照度运行条件下的拓扑重构,得到了串并联开关最优矩阵和光伏阵列输出总功率。研究表明,分布式光伏阵列重构拓扑极大地提高了光伏系统的输出功率。

关键词: 光伏; 局部阴影; 低光照度; 能量优化; 重构拓扑; 最大功率跟踪

中图分类号: TM615 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)03-0343-06

Reconfigure topology and control strategy of distribute photovoltaic array

JIANG Jian-dong, HUA Jing-hua, LI Lu-xia

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at one problem that the ideal P-V characteristic of partial-shaded photovoltaic array are modified and multi-peaks power output happened, so that common maximum power point tracking(MPPT) algorithms are failed, and the other problem that rated power of inverters are not match the output of photovoltaic array on actual low light intensity working condition, a new inverter output scheme and a free reconfigurable switching topology were presented, mathematical model of photovoltaic array connection and constrains were analyzed. Dynamic clustering was used to control the topology to optimize the connection of photovoltaic array. The mathematical model of photovoltaic array and inverters were developed in Matlab, reconfiguration process was simulated and series-parallel switch matrix was given under partial-shaded and low light intensity condition. The results indicate that reconfigure topology can improve the efficiency of distribute photovoltaic array greatly.

Key words: photovoltaic; partial shading; low light intensity; energy optimization; reconfigure topology; maximum power point tracking (MPPT)

0 引 言

近年来,随着能源需求的扩大,分布式光伏发电在电力系统应用中逐渐增加,光伏阵列的功率最大化输出成为光伏发电发展的关键因素^[1-2]。由于光伏电池发电功率受光强、温度影响,输出P-V特性具有非

线性,必须使用最大功率跟踪技术(MPPT)使其输出功率达到最大,常用的MPPT算法包括:恒定电压法、扰动观察法、电导增量法等^[3-5];局部阴影遮挡下的微粒子群算法(PSO),或阵列组态优化^[6-7]。分布式光伏阵列拓扑固定,MPPT算法搜索到的最大功率并非阵列实际整体可输出最大值;另外,逆变器工作效率通

收稿日期: 2012-09-07

基金项目: 教育部实验室基金资助项目(2011EM001)

作者简介: 蒋建东(1974-),男,四川广安人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事电力系统发电及微网技术方面的研究。E-mail:jiangjd@zjut.edu.cn

常受输入功率、逆变拓扑、滤波器影响;现有分布式光伏阵列接入逆变器时采用固定拓扑,当阵列在低光照度下的早晨,黄昏和阴雨天气时无法保证输入功率大小,导致逆变效率低下,降低光伏系统整体效率^[8]。

为了解决光伏阵列在局部阴影遮挡和逆变器运行效率低的问题,本研究提出一种分布式光伏系统输出功率优化方案,通过设计一种光伏阵列重构开关拓扑及控制方法,将不同光照度下的阵列按一定方法接入不同功率等级、输入电压的逆变器,以同时解决阴影遮挡和低光照度时光伏系统输出效率低的两个问题。并通过 Matlab 仿真以上两种情形下光伏阵列的运行,验证该方案在光伏系统输出功率优化中的效果。

1 光伏阵列运行问题

光伏电池单元容量小、电压低,为达到一定功率,通常将 N 串光伏组件进行串联,再将 K 组串联后的组件进行并联以提升整体功率,大量光伏组件串、并联可能由于组件不匹配、部分阴影遮挡或单元损坏现象的存在,被遮挡组件 P-V 特性对其他组件输出产生影响,导致阵列整体输出功率往往比各独立输出的功率小很多。另外,光伏逆变器额定功率 P_n 一定,当接入的光伏阵列在早晨、傍晚、阴雨天时光照度低,输出功率下降,若接入的光伏阵列功率下降至逆变器额定功率 20% P_n 时,逆变器转换效率开始大幅度下降^[9]。

本研究根据 Solarex-MSX60 中给出的数据进行建模^[10]。采用 Matlab 仿真 24 组不同光照度、温度并存的光伏阵列,阵列平均接入 6 台额定功率为 40 Hz 的光伏逆变器并同时发电,仿真给定的各阵列光照度和温度如表 1 所示。

根据以上输入条件可得到 6 台逆变器所接入的 P-V 特性曲线,如图 1 所示。各逆变器输出功率为:

$P_{out1_origin}=[18\ 564\ 20\ 581\ 19\ 331\ 19\ 122\ 20\ 367\ 20\ 692]\text{ W};$

总输出 $Sum1_{origin}=11\ 866\text{ W}$ 。

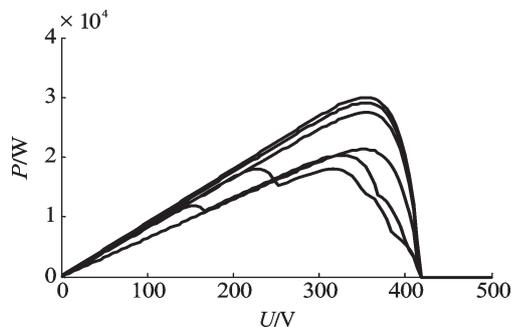


图1 各光伏阵列输出P-V特性曲线

由仿真可见,6台逆变器中有多台逆变器P-V特性为多峰曲线,某些复杂峰值情况可能导致具有全局

表1 光伏阵列局部阴影遮挡输入参数表

参数 序号	温度/°C	日照度/(kW·m ⁻²)	串联数	并联数
1	30.1	1 210	25	3
2	23	300	25	3
3	30.3	1 230	24	3
4	30.4	1 240	25	2
5	30.5	1 250	25	3
6	30.6	1 260	23	3
7	30.7	1 270	25	3
8	26	800	25	3
9	30.9	1 290	22	3
10	31	1 300	25	3
11	31.1	1 310	25	3
12	31.2	1 320	21	2
13	31.3	1 330	25	3
14	31.4	1 340	25	3
15	28	900	10	3
16	31.6	1 360	25	3
17	31.7	1 370	25	3
18	31.8	1 380	15	3
19	31.9	1 390	25	3
20	32	1 400	25	3
21	32.1	1 410	25	3
22	32.2	1 420	25	3
23	32.3	1 430	25	3
24	32.4	1 440	25	3

搜索能力的 PSO 算法亦可能存在搜索震荡无法收敛和搜索时间长等缺陷。

本研究加入 SC500HE 效率拟合曲线,模拟光伏阵列在低光照度下工作,其输入参数如表 2 所示,仿真得到各逆变器输出功率为:

$P_{out2_origin}=[5\ 514\ 8\ 148\ 8\ 241\ 6\ 335\ 8\ 105\ 8\ 503]\text{ W};$

$Sum2_{origin}=44\ 846\text{ W}。$

目前国内外太阳能光伏并网电站组群控制技术的研究还比较少,只有德国 SMA 公司开发的 Sunny-team 控制器用于集中逆变器的联组控制。文献 [11] 提出加入组群控制解决光伏系统低光照度条件运行问题,然而针对局部阴影产生的部分输出功率下降以及多峰值问题,该方法失效。

2 光伏阵列重构拓扑

2.1 可任意自由重构开关拓扑

对于光伏系统实际运行中产生的两个问题,本研究结合组群控制与组态优化思想,提出了一种新的光伏阵列重构拓扑,该拓扑可实现任意光伏阵列之间的串并联,任意光伏阵列与逆变器之间的串、并联,拓扑结构如图 2 所示。

串联实现:如串联 A_2 与 A_{m-1} ,将 VS_2 中从上至下

表2 光伏阵列低光照度输入参数表

序号	参数	温度/℃	日照度/(kW·m ⁻²)	串联数	并联数
1		18.05	410	25	3
2		18.1	420	25	3
3		18.15	430	24	3
4		18.2	440	25	2
5		18.25	450	25	3
6		18.3	460	23	3
7		18.35	470	25	3
8		18.4	480	25	3
9		18.45	490	22	3
10		18.5	500	25	3
11		18.55	510	25	3
12		18.6	520	21	2
13		18.65	530	25	3
14		18.7	540	25	3
15		18.75	550	20	3
16		18.8	560	25	3
17		18.85	570	25	3
18		18.9	580	15	3
19		18.95	590	25	3
20		19	600	25	3
21		19.05	610	25	3
22		19.1	620	25	3
23		19.15	630	25	3
24		19.2	640	25	3

的第2个开关合上,并断开 VPS_2 的负极和 VPS_{M-1} 的正极即可。

并联实现:若将 A_2 与 A_{M-1} 串联后再并联至第2个

逆变器 INV_2 ,按照上面已经完成的串联结构,继续将 VP_2 的从左至右第2个开关和 VP_{M-1} 的从左至右第2个开关一起闭合,即可实现并连接至逆变器 INV_2 。

2.2 逆变器出力方案及动态聚类控制方法

常规光伏发电系统,总发电功率为 P 的阵列设计了 N 台额定功率等级为 P/N 的逆变器进行平均出力。本研究提出的重构光伏系统,采用不同功率等级逆变器,按功率等级将逆变器分为 N 类 Inv_i ,其额定功率分别为 Pn_i ,输入电压范围 $[a_i, b_i]$,最大输入电流 In_i ,逆变器按输入功率不同其效率函数分别为 $E_i (i=1 \cdots n)$;光伏阵列 A_1, A_2, \dots, A_M 经串联和并联开关拓扑按照一定方法接入不同类逆变器,以同时解决光伏阵列局部阴影遮挡和低光照度问题。

根据以上重构拓扑和逆变器参数可得阵列重构光伏系统数学模型:

$$\begin{cases} \max(\sum_{i=1}^N E_i \cdot P_i) = \max(\sum_{i=1}^N E_i \cdot \sum_{j=1}^{n_i} P_i n_{ij}) = \\ \max(A_{1 \times M} \cdot GS_{M \times M} \cdot GP_{M \times N} \cdot E_{N \times 1}) \\ \forall i \in [1, N], \max_{j=1}^{n_i} V_{ij} = \max(VA_{1 \times M} \cdot GS_{M \times M}) \subset [a_i, b_i] \\ \forall i \in [1, N], \sum_{j=1}^{n_i} I_{ij} < In_i \\ \forall i \in [1, N], \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} \leq Pn_i \end{cases} \quad (1)$$

式中: E_i —各逆变器随接入功率变化的输出效率, P_i —额定功率等级为 i 的所有逆变器总输出功率,

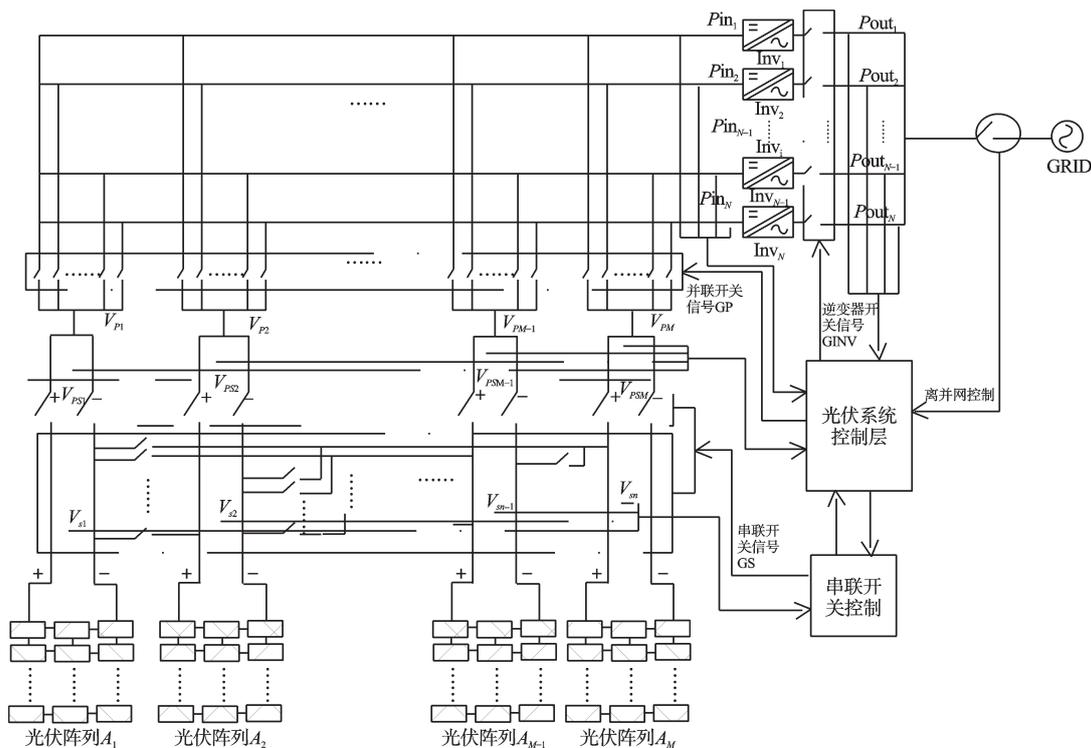


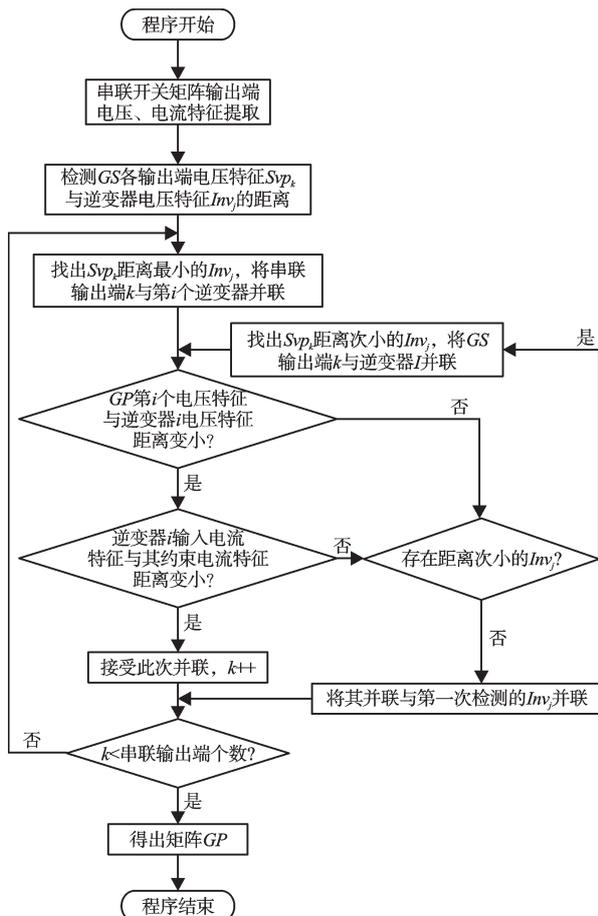
图2 可自由重构光伏阵列连接拓扑

P_{ij} —与额定功率等级为 i 的逆变器所连接的光伏阵列 j 最大输出功率, E — $N \times 1$ 的逆变器随接入功率等级不同而组成的效率向量, V_{ij} —接入第 i 类功率等级逆变器的光伏阵列 j 的最大功率点处的电压, P_{ij} —接入第 i 类功率等级逆变器的光伏阵列 j 最大输出功率。

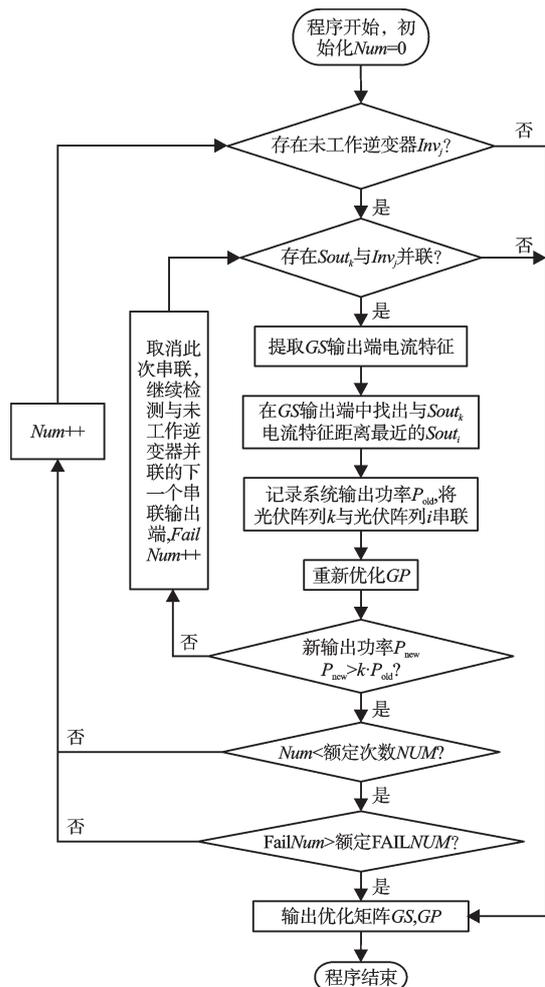
串联开关信号 GS 由光伏电池与逆变器连接开关向量 GS_1 (图中 $VPS_1 \cdots VPS_m$ 开关) 和光伏电池之间连接开关 GS_2 (图中 $VS_1 \cdots VS_m$ 开关) 组成, 即 $GS = \begin{bmatrix} GS_1 \\ GS_2 \end{bmatrix}_{M \times M}$, 光伏阵列随天气情况不断变化的最大功率向量为 A ; GP 为 $M \times N$ 的并联开关矩阵 GP (图中 $VP_1 \cdots VP_n$ 开关), 矩阵中以列向量代表不同功率等级逆变器上挂载的光伏阵列, 行向量代表光伏阵列与不同类逆变器的连接状态, 1 表示连接, 0 表示断开, 可使用继电器作为开关。

式(1)中 GP , GS 开关信号由光伏系统控制层给出控制继电器实现, 对于并联开关矩阵 GP 控制, 由于并联支路具有相同电压, 因此应将光伏阵列电压特征距离较小者互相并联, 然而互相并联的光伏阵列又必须接入逆变器才能工作, 必须同时考虑并联后的光伏阵列输出端电压、电流均需与逆变器额定工作时的电

压和电流特征进行匹配。 GP , GS 矩阵组合控制方法和主要程序流程图如图 3(a) 和图 3(b) 所示。为同时满足以上两个条件进行并联聚类, 本研究提出的 GP 开关矩阵并联原则为: 首先满足逆变器与光伏阵列的电压特征匹配, 对于光伏阵列 $A_1 \cdots A_m$, 从逆变器 $INV_1 \cdots INV_n$ 中找出与光伏阵列 A_m 电压特征距离最小的逆变器 INV_n , 将 A_m 并联接入逆变器 INV_n , 由于并联后其输出电压电流特征发生变化, 检测 A_m 并联接入 INV_n 后输出的电压或电流特征与逆变器电压或电流特征距离是否变小, 若变小, 则说明光伏阵列 A_m 并联接入逆变器 INV_n 是正确的(光伏阵列 A_m 属于逆变器 INV_n), 否则光伏阵列 A_m 不能接入该逆变器, 则继续选择与光伏阵列 A_m 电压特征距离次小的逆变器 INV_n' , 同样进行电压电流特征匹配, 若所有逆变器均不满足条件, 则将其并联接入与其电压特征距离最小且其电压小于该逆变器额定电压的逆变器 INV_n'' 上, 循环以上步骤直至所有阵列并联结束。对于串联开关矩阵 GS 控制, 应避免光伏阵列所接入的逆变器未达到最低工作电压而导致发电效率低。由于互相串



(a) 串联开关矩阵 GS 控制流程图



(b) 并联开关矩阵 GP 控制流程图

图 3 串并联开关控制流程图

联光伏阵列输出电流为两者之间的较小者,电压为两者之和,两者不同的I-V特性将影响两者输出功率;两光伏阵列可以工作在不同电压,因此对光伏阵列的串联控制应考虑其电流特征。故首先检测是否有光伏阵列 A_m 接在未工作逆变器 INV_n 上(可通过直接检测逆变器接入端是否存在一定的开路电压)若存在,记录当前光伏系统输出功率 P_{old} ,提取所有光伏阵列输出端电流特征,找出与光伏阵列 A_m 电流特征距离最近的光伏阵列 A_m' 并将两者串联,对并联开关矩阵 GP 进行重新组合,检测新输出功率 P_{new} 判断其是否比串联控制前的 P_{old} 大,若成立,则接受此次串联,否则取消此次串联,循环以上过程使 P_{new} 达到最大,得到最终优化后的输出矩阵 GP 和 GS 。

3 光伏阵列拓扑重构的仿真分析

使用 Matlab 仿真上文提出的两种天气情况下的光伏阵列运行,将逆变器按功率等级分为 100 kHz, 60 kHz, 40 kHz, 20 kHz, 10 kHz, 5 kHz 功率的逆变器,其主要参数如表 3 所示。

表 3 各逆变器主要特征参数

最小输入电压 /V	最大输入电压 /V	最大输入电流 /A	额定功率 /W
500	900	200	10 000
400	700	150	60 000
300	600	120	40 000
150	500	90	20 000
100	400	60	10 000
100	250	30	5 000

本研究采用光伏阵列重构拓扑分别对局部阴影条件和低光照度进行仿真。

局部阴影遮挡条件下,仿真的6台逆变器输出结果为: $P_{out1}=[94\ 097\ 58\ 186\ 37\ 698\ 0\ 6\ 975\ 0]$ W,总输出 $Sum1=196\ 956$ W,各逆变器 P-V 特性曲线如图 4 所示。

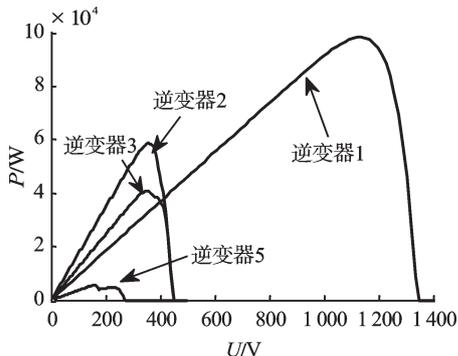
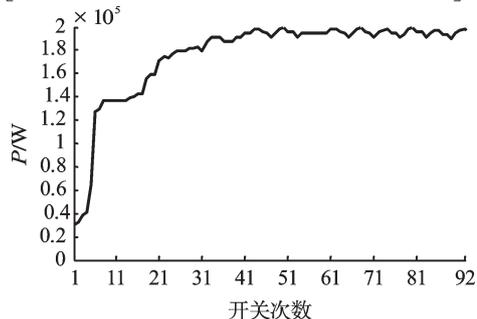


图 4 光伏阵列拓扑重构输出 P-V 特性

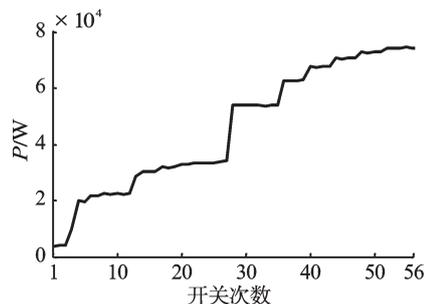
由图 4 逆变器 P-V 特性曲线可看出,对比图 1 光伏阵列的局部阴影遮挡对光伏系统的影响达到很小,

可改善一般全局 MPPT 算法的运行条件。在该条件下的串并联开关矩阵分别如表 4、表 6 所示,光伏阵列串并联拓扑改变时最大功率优化过程如图 5(a)所示。

低光照度条件下,仿真的六台逆变器输出结果为 $P_{out2}=[0\ 40\ 861\ 0\ 21\ 279\ 8\ 274\ 4\ 137]$ W;总输



(a) 局部阴影条件系统功率优化过程



(b) 低光照度条件系统功率优化过程

图 5 两种天气条件下的系统功率优化过程

表 4 仿真输出并联开关矩阵 GP_1

行 \ 列	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0
16	0	1	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0
18	0	0	0	0	1	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	1	0	0	0
22	0	0	1	0	0	0
23	0	0	1	0	0	0
24	0	0	1	0	0	0

表5 仿真输出并联开关矩阵 GP_2

行 列	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	1	0	0
11	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0	0
19	0	1	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0
23	0	1	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

表6 串联开关矩阵 GS_1

行 列	1	2	3	4	5	6	7	8	...	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	0	1	...	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
...
22	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0

出 $Sum2=74\ 551\ W$, 该条件下开关矩阵 GS_2 、 GP_2 如表5和表7所示, 光伏阵列串并联拓扑改变时最大功率优化过程如图5(b)所示。

本研究给出的重构方案在局部阴影条件下, 对第7和第5个光伏阵列进行了串联, 且与其他光伏阵列接入并联至第1个逆变器中(元素 $GS_{1,7}$), 该情况下所有逆变器均进行工作, 相对 $6 \times 40\ kHz$ 光伏逆变器输出增加: $Sum1 - Sum1_{origin} = 67\ 300\ W$, 效率提升 51.02% 。对于低光照度情况, 如开关 GS_2 显示, 光伏阵列16与阵列17、13与14, 4与12、9与15, 32与24分别进行了

表7 串联开关矩阵 GS_2

行 列	1	2	3	4	5	...	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	...	23	24
1	1	1	1	1	1	...	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	...	1	0
2	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
...
12	0	0	0	1	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
13	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
14	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	...	0	0
15	0	0	0	0	0	...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
16	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	...	0	0
17	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0
...
24	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	1	0

串联并与其他阵列并联接入相应逆变器, 光伏逆变器5($10\ kHz$)和6($5\ kHz$)未工作, 相对 $6 \times 40\ kHz$ 光伏逆变器输出增加: $Sum2 - Sum2_{origin} = 29\ 705\ W$; 效率提升 66.24% 。对比两种方法在不同情况下逆变器输入端 P-V 特性可知, 当采用 $6 \times 40\ kHz$ 逆变器时, 其 P-V 特性表现为较复杂的曲线, 不仅使逆变器输入端功率降低, 且影响 MPPT 追踪速度; 本研究提出的阵列重构后逆变器输入端 P-V 特性更类似于理想 P-V 曲线, 阵列输出功率更大, 更易追踪到最大功率点, 提高逆变器运行效率。

4 结束语

本研究提出的光伏系统能量优化方法, 通过对逆变器出力方案、光伏阵列连接拓扑的重新设计, 使接入逆变器的光伏阵列 P-V 曲线更接近理想曲线, 简化了逆变器多峰值最大功率点搜索的难题; 同时, 该方法增大了光伏阵列整体实际输出功率, 有效避免了局部阴影带来的热斑效应使光伏组件损坏, 并使逆变器在日照度低的早晨、黄昏或者阴雨天气均能工作, 延长了平均发电时间, 极大地优化了光伏系统功率输出。

参考文献(References):

[1] 赵宏伟, 吴涛涛. 基于分布式电源的微网技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 121-128.

[2] 毛伙南, 陈峰, 崔传芹, 等. 小型光伏并网发电系统设计与应用[J]. 机电工程技术, 2011, 40(11): 46-48.

[3] JIME'NEZ H, CALLEJA H, CA'RDENAS V. Grid connected PV system with power factor correction capability [C]// Guadalajara, Jalisco. IEEE International Power Electronics Congress CIEP2002 Technical Proceedings, 2002: 247-252.

[4] CALAIS M, HINZH H. A ripple-based maximum power point tracking algorithm for a single-phase grid connected photovoltaic system [J]. Solar Energy, 1998, 63 (5) : 277-282.

微增功率一直保持最大,组合8方式则最小。

由图3、图4可看出,采用费用收益与功率收益的寻优结果较为接近,只有当标准煤价与上网电价发生较大变化时,曲线才会发生一些整体偏移。当标准煤价上涨幅度较大时,应考虑通过增加循环水流量、降低汽轮机背压来增加机组发电量;而当上网电价上调幅度较大时,应考虑通过减少循泵耗功来降低厂用电。

3.2.2 时间递推优化指导结果

该电厂进行时间递推优化后的排序结果如表3所示,本研究将前一天8种循环水泵组合方式下的机组功率收益、费用收益进行累加排序,预测后一天循环水泵最优组合运行方式。由计算结果可得,组合6的综合机组功率收益为1 699.39 kW,运行费用收益为658.26元/h,为最优循环水泵运行方式。

4 结束语

本研究对双速循环水泵模拟工况冷端系统优化模型进行了分析,介绍了判断指标,并采用费用收益作为冷端系统优化模型的目标函数,考虑了煤和电不同能量价值后的综合价值后的综合煤耗成本,与功率收益相比更加科学。

为了避免循环水泵频繁起停和切换,本研究提出了时间递推优化指导模型,得出一天内的综合功率收益以及费用收益,能够更好地指导管理人员选择最优循泵组合。最后,本研究针对某电厂600 MW机组进行计算,给出8种循环水泵运行方式下的机组功率收益和运行收益的排列,以方便运行人员选择最优的循环水泵运行方式,同时也可以根据前一天的气温条件

和负荷运行情况预测当天的循环水泵最优组合,更符合实际应用情况。

参考文献(References):

- [1] 夏东伟,张承慧,石庆升. 电厂循环水系统优化控制及其遗传算法求解[J]. 山东大学学报,2005,35(2):50-54.
- [2] 楼可炜,孙永平,秦攀,等. 600MW机组循环水泵最佳运行方式的确定方法[J]. 浙江电力,2011,30(9):47-50.
- [3] 李秀云,严俊杰,林万超. 火电厂冷端系统评价指标及诊断方法的研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(9):94-98.
- [4] 石涛,孙永平,朱朝阳,等. 母管制双速循环水泵冷端系统的运行优化[J]. 动力工程学报,2011,31(4):285-289,311.
- [5] 张志刚,王玮,曾德良,等. 冷却塔出塔水温的迭代计算方法[J]. 动力工程学报,2010,30(5):372-377.
- [6] 李勇,曹丽华,赵金峰,等. 考虑更多因素的凝汽器最佳真空确定方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(4):71-75.
- [7] 王玮,曾德良,杨婷婷,等. 基于凝汽器压力估计算法的循环水泵最优运行[J]. 中国电机工程学报,2010,30(14):7-12.
- [8] 刘吉臻,王玮,曾德良,等. 火电机组定速循环水泵的全工况运行优化[J]. 动力工程学报,2011,31(9):682-688.
- [9] 焦玉香,冯永和. 循环水泵节能改造[J]. 机械,2012,39(4):86-88.
- [10] 肖增弘,董立羽,王雷. 广义经济调度模型下火电厂循环水系统的优化运行及可视化实现[J]. 电力技术经济,2008,20(6):43-46.
- [11] 曾德良,王玮,刘吉臻,等. 双压凝汽器闭式循环水系统的最优运行方式[J]. 热能动力工程,2011,26(2):171-175,252.
- [12] 葛晓霞,缪国钧,钟澎,等. 双压凝汽器循环水系统的优化运行[J]. 动力工程,2009,29(4):389-393.

[编辑:李辉]

(上接第348页)

- [5] SALAS V, ALONSO-ABELLA M, CHENLO F, et al. Analysis of the maximum power point tracking in the photovoltaic grid inverters of 5 kW[J]. *Renewable Energy*, 2009, 34(11):2366-2372.
- [6] KONDO P V, KAMEJIMA Y, MASAFUMI T M. Verification of Efficacy of the Improved PSO-based MPPT Controlling Multiple Photovoltaic Arrays, Power Electronics and Drive Systems (PEDS) [C]//2011 IEEE Ninth International Conference on, 2011:1015-1019.
- [7] 岑长岸,张森,王丽琼. 光伏阵列的组态优化控制[J]. 控制理论与应用,2008,25(4):364-366.
- [8] TADA O S I. Grid-connected photovoltaic power systems: survey of inverter and related protection equipments [J]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2006, 90(15):2501-2508.
- [9] 耿爱玲,孙佩石. 光伏并网群控系统设计与效率分析研究[J]. 低压电器,2011(13):20-23.
- [10] 刘翼. 基于Simulink的光伏电池组件建模和MPPT仿真研究[J]. 节能减排,2010,28(18):94-97.
- [11] 方廷,韩郁,张岚. 一种多逆变器太阳能光伏并网发电系统的组群控制方法[J]. 电网与清洁能源,2009,25(7):57-60.

[编辑:罗向阳]