

# 基于MPPT运行模式的光伏发电系统 低电压穿越无功控制策略

解吉蔷<sup>1</sup>, 杨 秀<sup>1</sup>, 王巨波<sup>2</sup>

(1. 上海电力学院电气工程学院, 上海 200090; 2. 国网上海市电力公司市区供电公司, 上海 200080)

**摘 要:** 针对光伏发电系统通常以单位功率因数运行,造成故障时光伏并网逆变器一定视在功率浪费的现状,提出一种低电压穿越无功控制策略。分析光伏并网逆变器的有功、无功功率解耦控制及其无功功率输出极限,建立光伏逆变器无功功率输出与并网点电压跌落的关系,通过比较故障前光伏阵列发出有功功率与光伏逆变器允许输出最大有功功率,确定光伏发电系统在低电压穿越过程以最大功率模式运行或者以非最大功率模式运行。利用RTDS软件搭建仿真算例,验证该低电压穿越无功控制策略的可行性。

**关键词:** 光伏逆变器; 低电压穿越; 无功控制; 最大功率跟踪; 实时数字仿真

**中图分类号:** TM464

**文献标识码:** A

## 0 引 言

光伏发电作为绿色能源开发利用的重要方式得到了全世界各国的重视,光伏装机比例越来越大。大量光伏发电系统接入电网,因电网故障而快速将光伏发电系统切出电网的传统方法已不能满足要求,且突然将大容量光伏切出系统会对电网系统造成严重冲击,影响系统的稳定性<sup>[1]</sup>。为保证电力系统的稳定性,光伏发电系统应具有一定的低电压穿越(low voltage ride through, LVRT)能力,国家电网公司的企业标准《光伏电站接入电网技术规定》(Q/GDW 617—2011)<sup>[2]</sup>中规定大中型光伏电站在电网故障时对低电压穿越能力的具体要求,并且要求在低电压穿越过程中光伏电站应提供无功支持。低电压穿越能力是指电网故障期间保持光伏发电系统不间断并网运行。常规电压外环、电流内环双环并网控制策略在电网电压跌落时不能实现低电压穿越。当电网电压跌落,由于光伏阵列输出有功功率与光伏逆变器输出功率不平衡,光伏逆变器交流侧电流急剧增加,直流侧电压升高,

将烧毁逆变器元件<sup>[3]</sup>。此外,当电网故障时,通常接入电容器、SVC等无功补偿装置补充无功需求,忽视了光伏发电系统自身的无功输出能力,造成了资源的浪费<sup>[4]</sup>。

本文提出一种光伏发电系统低电压穿越无功控制策略,在实现低电压穿越的同时,从光伏发电系统故障前运行状态为切入点,重点分析了光伏逆变器的无功输出能力,根据故障前光伏发电系统的不同运行状态,确定光伏逆变器的有功、无功功率输出。

## 1 光伏逆变器数学模型及控制

### 1.1 光伏逆变器有功、无功功率解耦

光伏发电系统的拓扑结构主要由光伏阵列、光伏逆变器、L型滤波器和并网控制系统构成<sup>[5]</sup>,如图1所示。图中, $L$ 为电网侧电感值; $R$ 为电网侧回路等效电阻; $U_{pv}$ 、 $I_{pv}$ 分别为光伏阵列的输出电压和电流; $C$ 为光伏阵列出口直流母线电容; $u$ 、 $i$ 分别为三相逆变器网侧电压和电流; $e_a$ 、 $e_b$ 、 $e_c$ ,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 分别为电网侧三相电压和电流。

收稿日期: 2017-05-02

基金项目: 国家自然科学基金(51407114)

通信作者: 解吉蔷(1992—),女,硕士研究生,主要从事光伏发电系统低电压穿越控制策略方面的研究。1575567532@qq.com



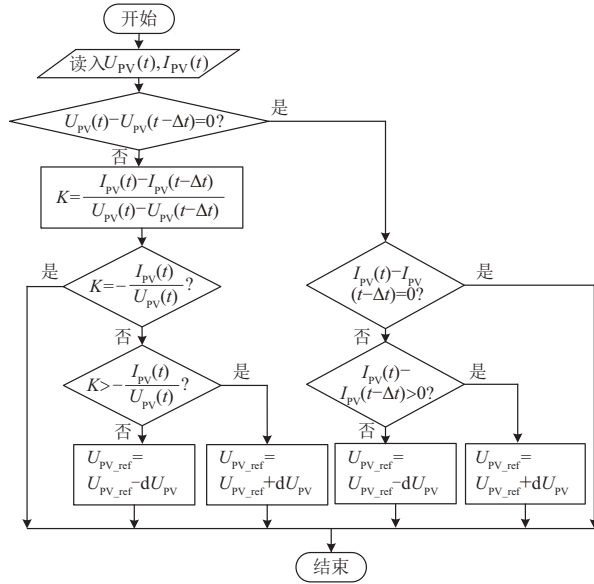


图3 MPPT模块流程图

Fig. 3 Flow chart of MPPT block

### 1.3 光伏并网逆变器输出无功功率极限

光伏发电系统的无功支持能力取决于其通过光伏逆变器向电网的无功输出能力,而逆变器是通过控制光伏发电系统并入电网的功率因数来控制其无功输出。因此光伏发电系统的无功输出能力是有限的,受到其自身视在功率的限制,若输入有功功率增大则相应的输出无功功率必然减小。光伏并网逆变器等值电路如图4所示。图中 $U$ 表示光伏并网逆变器网侧电压; $E_N$ 表示光伏发电系统并网点电压; $\alpha$ 表示光伏并网逆变器交流侧电压与并网点电压相角差; $x$ 表示逆变器交流侧等值电感; $P$ 、 $Q$ 分别为光伏并网逆变器输出的有功功率和无功功率。

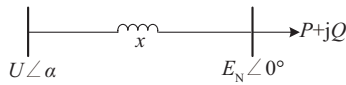


图4 光伏并网逆变器等值电路

Fig. 4 PV grid-connected inverter equivalent circuit

由光伏并网逆变器等值电路有功功率 $P$ 和无功功率 $Q$ <sup>[12,16]</sup>分别可表示为:

$$\begin{cases} P = \frac{E_N U}{x} \sin \alpha \\ Q = \frac{E_N U}{x} \cos \alpha - \frac{E_N^2}{x} \end{cases} \quad (3)$$

则有:

$$P^2 + (Q + E_N^2/x)^2 = (E_N U/x)^2 \quad (4)$$

光伏逆变器输出有功功率 $P$ 即为光伏阵列发出的有功功率,与光照强度、温度等环境条件和光伏阵列的容量有关系,在零与最大功率 $P_{\max}$ 之间变化,逆变器输出有功、无功可工作在图5阴影区域,图中 $r$ 为半径。

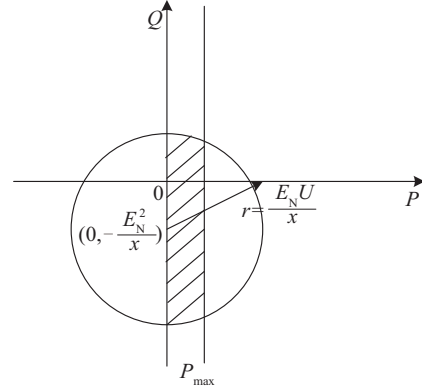


图5 光伏逆变器输出有功、无功功率极限

Fig. 5 Limits of PV inverter output's active and reactive power

则有:

$$\begin{cases} -\sqrt{\left(\frac{E_N U}{x}\right)^2 - P^2} - \frac{E_N^2}{x} \leq Q \leq \sqrt{\left(\frac{E_N U}{x}\right)^2 - P^2} - \frac{E_N^2}{x} \\ 0 \leq P \leq P_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中以发出无功功率为正,吸收无功功率为负。本文考虑电网故障时光伏发电系统的无功功率发出能力,则仅分析其正值。

光伏发电系统受到光并网逆变器视在功率 $S$ 的限制,若要增加无功功率输出,则必须要减小有功功率的输出。由于在电网故障期间,首先要保证整个电网的稳定,故障的尽快恢复,所以在光伏发电系统低电压穿越期间,系统首先考虑无功输出支持电网电压恢复,其次考虑系统的最大有功功率输出。一般来说,逆变器允许短时工作在1.1S,此时逆变器输出无功功率极限如式(6)所示,当 $P=0$ 时, $Q_{\max} \leq 1.1S$ 。

$$Q_{\max} \leq \sqrt{(1.1S)^2 - P^2} \quad (6)$$

## 2 低电压穿越无功控制策略

### 2.1 低电压穿越的要求

根据国家电网公司企业标准《光伏电站接入电

网技术规定》<sup>[2]</sup>, 大中型光伏电站应当电源看待, 需具备一定耐受电网电压和频率异常的能力, 并能为保持电网稳定提供支撑。具体规定了电网电压跌落与保护动作时间的关系, 如图 6 所示, 其中  $U_{L0}$  为 0.9 倍并网点额定电压,  $U_{L1}$  为 0.2 倍并网点额定电压。当并网点电压在电压轮廓线以上区域时, 光伏电站要保持不间断运行。此外, 低电压穿越过程中应提供无功支持。

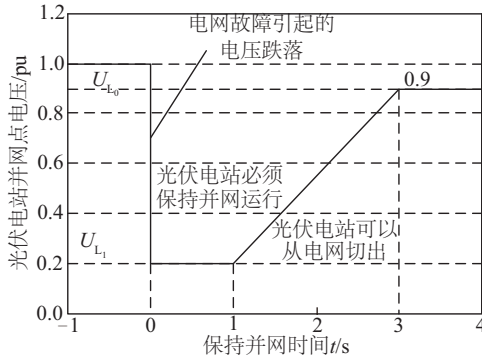


图 6 光伏电站的低电压耐受能力要求

Fig. 6 Requirements of PV plant's LVRT ability

根据德国对低电压穿越能力的要求<sup>[13, 14]</sup>, 电网电压跌落与光伏发电系统无功输出的关系如图 7 所示。图中,  $E_N$  为并网点额定电压;  $I_N$  为 a 相额定电流;  $E$  为电网当前电压;  $E_0$  为电网故障前电压;  $I_Q$  为输出无功电流;  $I_{Q0}$  为故障前输出无功电流;  $k$  为输出无功电流与电网电压跌落深度之间的关系系数, 定义为  $k = (\Delta I_Q / I_N) / (\Delta E / E_N)$ ;  $\Delta I_Q = I_Q - I_{Q0}$ ;  $\Delta E = E - E_0$ ;  $I_{\max}$  为无功电流最大值。

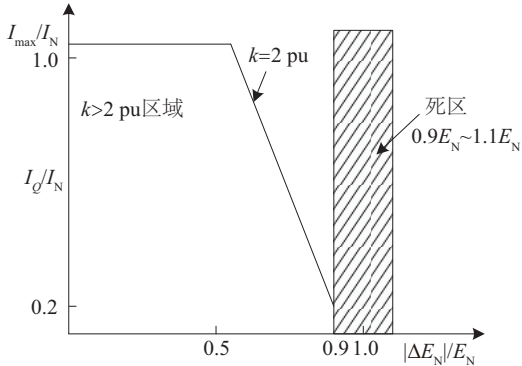


图 7 德国对 LVRT 能力的要求

Fig. 7 LVRT requirements in Germany

当  $k > 2$  pu 时, 如图 7 中轮廓线以下区域, 光伏逆变器采用低电压穿越无功控制策略。当电网电

压大于  $0.9 E_N$  时, 光伏发电系统以恒功率因数为 1 并网运行, 如图 7 中死区, 则故障前输出无功功率  $Q_0 = 0$ , 即故障前无功电流  $I_{Q0} = 0$ 。由图 7, 则故障后无功电流  $I_Q$  应为:

$$I_Q = k I_N \frac{\Delta E}{E_N}, \quad k \geq 2 \quad (7)$$

则结合国家电网公司和德国对光伏发电系统 LVRT 能力的要求, 在低电压穿越过程中, 光伏发电系统输出无功功率  $Q$  为:

$$Q = k S \frac{\Delta E}{E_N}, \quad k \geq 2 \quad (8)$$

假设故障前并网点电压为额定电压, 取  $k = 2$ , 则光伏并网逆变器输出的最小无功功率  $Q_{\min}$  与电网故障后并网点电压  $E$  的关系为:

$$\begin{cases} Q_{\min} = -2S \frac{E}{E_N} + 2S, & 0.45E_N \leq E \leq 0.9E_N \\ Q_{\min} = S, & 0.2E_N \leq E \leq 0.45E_N \end{cases} \quad (9)$$

为保证保护不动作, 通常限制光伏并网逆变器网侧电流在 1.1 倍额定电流以内, 则光伏发电系统在 LVRT 过程中最大视在功率<sup>[10, 15]</sup>为:

$$S_{\max} = 3E \cdot 1.1I_N \quad (10)$$

则光伏发电系统在 LVRT 过程中允许输出最大有功功率  $P_{\max}$  为:

$$P_{\max} = \sqrt{S_{\max}^2 - Q_{\min}^2} \quad (11)$$

## 2.2 低电压穿越过程运行模式

### 2.2.1 MPPT 运行模式

电网电压跌落故障前光伏发电系统运行在并网控制策略, 以功率因数为 1 并网运行, 输出光伏阵列可发出的最大功率。若故障前光伏并网逆变器输出有功功率为  $P_{\text{pre}}$  小于 LVRT 过程中允许输出最大有功功率  $P_{\max}$ , 则 LVRT 过程中光伏发电系统输出实际有功、无功功率  $P_{\text{real}}$ 、 $Q_{\text{real}}$  为:

$$\begin{cases} P_{\text{real}} = P_{\text{pre}} \\ Q_{\text{real}} = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\text{pre}}^2} \end{cases} \quad (12)$$

由式(12)可知, LVRT 过程光伏发电系统运行在保持故障前的有功功率输出的同时输出最大的无功功率, 提供无功支撑, 充分利用了光伏并网逆变器的容量。

### 2.2.2 非 MPPT 运行模式

若故障前光伏并网逆变器输出有功功率为  $P_{\text{pre}}$  大于 LVRT 过程中允许输出最大有功功率  $P_{\max}$ , 如

果继续保持故障前有功功率运行,由于光伏逆变器允许输出有功功率与光伏阵列发出有功功率不平衡,则光伏并网逆变器直流侧电压升高。因此前级 DC-DC 变换器需断开 MPPT 控制, LVRT 过程中光伏发电系统输出实际有功、无功功率  $P_{\text{real}}$ 、 $Q_{\text{real}}$  为:

$$\begin{cases} P_{\text{real}} = P_{\text{max}} \\ Q_{\text{real}} = \sqrt{S_{\text{max}}^2 - P_{\text{max}}^2} \end{cases} \quad (13)$$

### 2.3 低电压穿越无功控制策略流程图

根据上述光伏发电系统 LVRT 的要求和 LVRT 过程中运行模式的选择,本文设计低电压穿越无功控制策略流程图如图 8 所示。

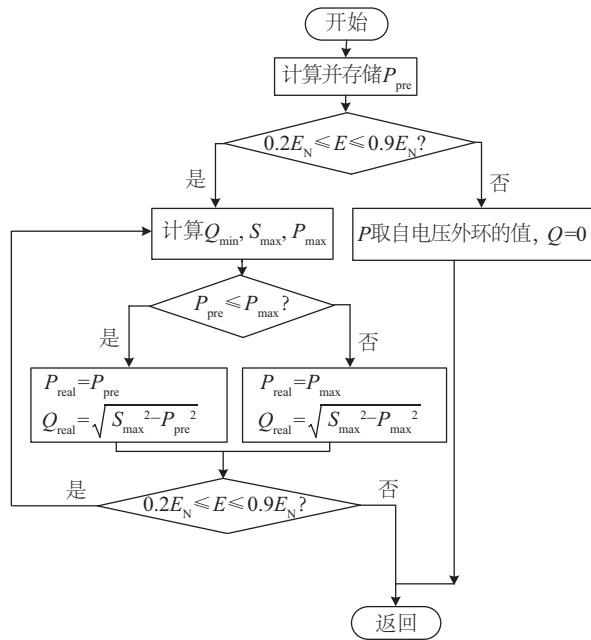


图 8 LVRT 无功控制策略流程图

Fig. 8 Flow chart of strategy for reactive control in low voltage ride-through

当控制器检测到并网点电压跌落且在 0.2 倍额

定电压至 0.9 倍额定电压之间时,光伏并网逆变器切换至低电压穿越无功控制策略,根据式(9)~式(11)分别计算光伏逆变器输出最小无功功率  $Q_{\text{min}}$ ,允许输出最大视在功率  $S_{\text{max}}$  和允许输出最大有功功率  $P_{\text{max}}$ 。然后通过比较故障前输出有功功率  $P_{\text{pre}}$  和允许输出最大有功功率  $P_{\text{max}}$  判断光伏发电系统 LVRT 过程运行模式。最后当控制器检测到并网点电压恢复,光伏逆变器切换至并网控制策略运行。

## 3 仿真算例

### 3.1 算例说明

本文利用实时数字仿真器 RTDS 搭建光伏发电系统以验证所提出低电压穿越无功控制策略的可行性、有效性。

现对一个容量为 50 kW 的光伏发电系统并入电网低电压穿越能力进行仿真测试。搭建如图 9 所示的光伏发电系统,主要由光伏阵列、光伏逆变器、L 型滤波器,电压跌落发生器(VSG)构成,其中光伏逆变器由实现光伏阵列 MPPT 功能的前级 DC-DC 变换器和实现并网功能的后级 DC-AC 变换器两部分构成; $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  为受控正弦信号,由 VSG 控制;如 N22, NS2 的空心结点为信号采样点。算例光伏发电系统中并网逆变器直流侧参考电压  $U_{\text{DC-ref}}$  设为 690 V,网侧出口电压设为 400 V,接入额定电压为 380 V 无穷大配网系统,电网频率  $f=50$  Hz。设光伏阵列的最大功率  $P_m=50$  kW,光伏逆变器容量  $S=50$  kW。主电路参数为:光伏阵列出口直流母线电容  $C_1=10000$   $\mu\text{F}$ ;光伏逆变器直流侧电容  $C_2=80000$   $\mu\text{F}$ ,电阻  $R_2=0.01$   $\Omega$ ;光伏逆变器出口电感  $L_1=0.0003$  H;滤波电感  $L_2=0.0002$  H。控制器参数为:光伏逆变器直流母线电压 PI 调节器的比例系数

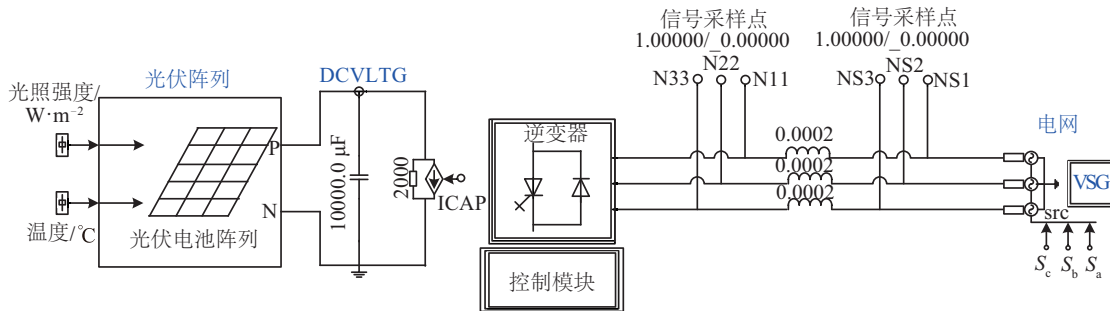


图 9 算例系统图

Fig. 9 System diagram of case

和积分系数分别为 0.1 和 0.02;最大功率跟踪 PI 调节器的比例系数和积分系数分别为 0.8 和 0.02;正负序电流内环 PI 调节器的比例系数和积分系数均为 0.8 和 0.02;逆变器开关频率  $k=5$  kHz。

### 3.2 传统电压、电流双环控制策略

电网电压正常时实验波形见图 10。若环境温度光照条件良好,光伏发电系统的实际输出有功功率接近系统容量。在传统的电压、电流双环控制策略下,当电网电压正常时,光伏逆变器使光伏阵列工作在环境条件下的最大功率点,如图 10a 所示,其中,  $V_{ref}$  为 MPPT 模块计算光伏阵列最大功率点电压,  $V_{DCVLTG}$  为光伏阵列时间工作电压。同时控制光伏逆变器网侧电流与电网电压同相,以功率因数为 1 并入电网,如图 10b 所示。

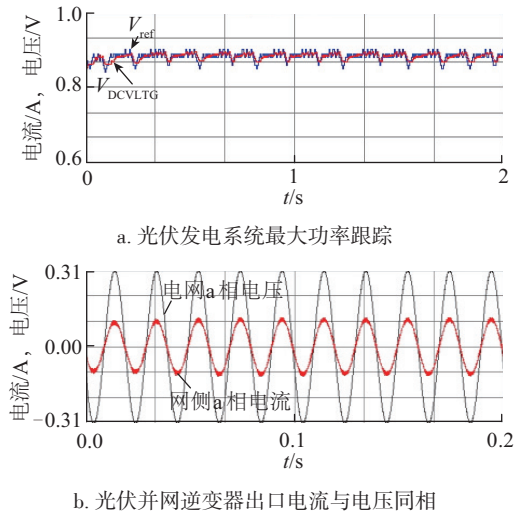


图 10 电网电压正常时实验波形

Fig. 10 Experimental waveform under normal grid voltage

传统控制策略下电网电压跌落实验波形见图 11。设定仿真条件:1 s 时电网电压跌落至 0.7 倍额定电压,0.2 s 后故障清除,电网电压恢复,并网点电压波形如图 11a 所示。故障期间,DC-DC 变换器保持对光伏阵列的 MPPT 控制,光伏阵列保持最大功率输出,如图 11b 所示。由图 11c 光伏逆变器有功、无功功率仿真波形可以看出,故障期间光伏逆变器有功功率保持不变,不输出无功功率。由于在此控制策略下光伏逆变器输出有功功率保持不变,而并网点电压跌落,则并网三相电流急剧增大,如图 11d 所示,远远超过保护动作电流,故障期间,

光伏发电系统切出电网,甚至会烧毁光伏逆变器的元件。

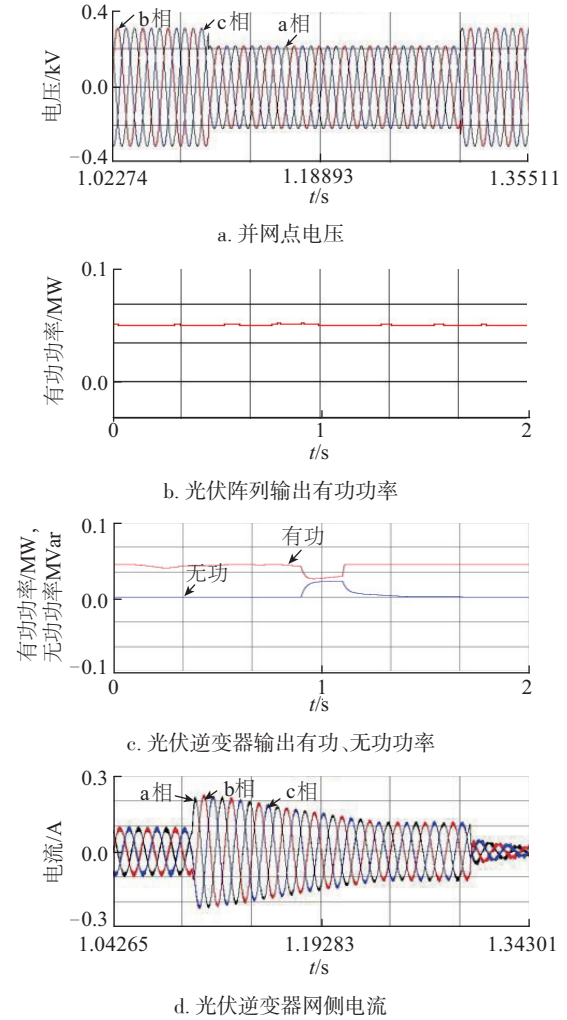


图 11 传统控制策略下电网电压跌落实验波形

Fig. 11 Experimental waveform when grid voltage sags under normal control

### 3.3 低电压穿越无功控制策略

LVRT 控制策略下电网电压跌落实验波形见图 12。为与传统控制策略在电网电压跌落时响应波形对比,设定相同的光照条件和环境温度条件,保证光伏阵列输出的最大功率相同,设定同样的仿真条件,即 1 s 时电网电压跌落至 0.7 倍额定电压,0.2 s 后故障清除,电网电压恢复,并网点电压波形如图 12a 所示。当  $E=0.7E_N$ ,由式(9)~式(11)可知:

$$\begin{cases} Q_{\min} = -2S \frac{E}{E_N} + 2S = 0.6S \\ S_{\max} = 3E \cdot 1.1I_N = 0.77S \\ P_{\max} = \sqrt{S_{\max}^2 - Q_{\min}^2} = 0.2329S \end{cases} \quad (14)$$

而故障前光伏逆变器输出有功功率  $P_{\text{pre}}$  接近光伏逆变器容量  $S=50 \text{ kW}$ , 即  $P_{\text{pre}} > P_{\text{max}}$ , 则光伏发电系统 LVRT 期间运行在非 MPPT 模式。

光伏逆变器前级 DC-DC 变换器断开光伏阵列 MPPT 控制, 光伏逆变器根据式(13)输出有功功率、无功功率, 如图 12c 所示。根据光伏发电系统实际输出有功功率, 则光伏阵列输出有功功率如图 12b 所示。由于在 LVRT 过程中, LVRT 无功控制策略限制光伏逆变器网侧电流为 1.1 倍额定电流。1.2 s 时电网电压恢复, 光伏逆变器恢复并网控制策略, 则故障前后网侧电流如图 12d 所示。

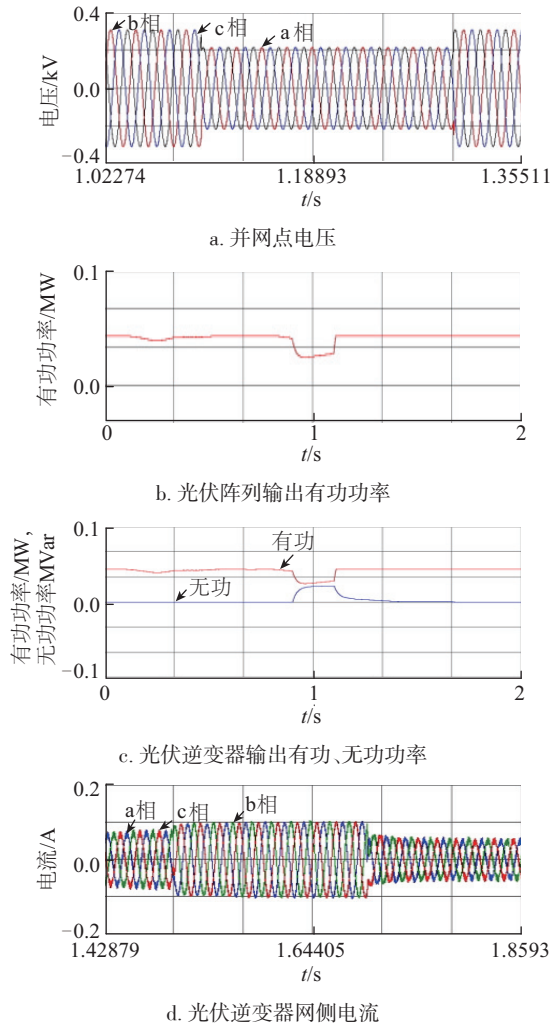


图 12 LVRT 控制策略下电网电压跌落实验波形

Fig. 12 Experimental waveform when grid voltage sags under LVRT control

若改变环境条件, 环境温度为  $T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 光照条件  $R_{\text{ref}} = 500 \text{ W/m}^2$ 。设定同样的仿真条件, 1 s 时

电网电压跌落至 0.7 倍额定电压, 0.2 s 后故障清除, 电网电压恢复, 并网点三相电压波形如图 13a 所示。故障前光伏阵列工作在最大功率点, 由于故障前光伏逆变器输出有功功率  $P_{\text{pre}}$  小于  $P_{\text{max}}$ , 则 LVRT 期间光伏发电系统运行在 MPPT 模式, 光伏逆变器前级 DC-DC 保持对光伏阵列的 MPPT 控制, 则光伏阵列始终工作在最大功率点, 如图 13b 所示。光伏逆变器根据式(12)输出有功功率、无功功率, 如图 13c 所示。同样在 LVRT 期间, 限制光伏逆变器网侧三相电流为 1.1 倍额定电流, 如图 13d 所示。

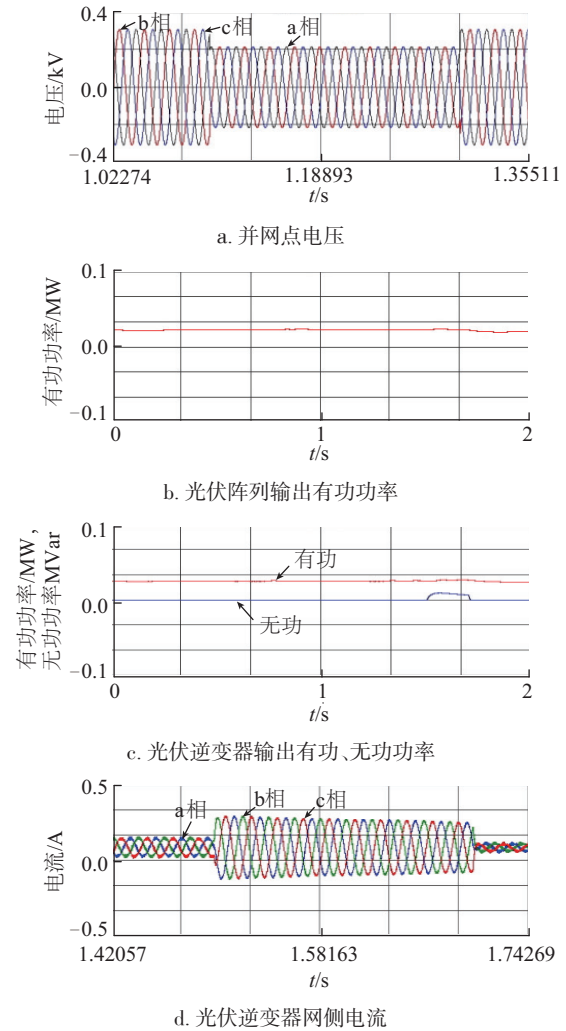


图 13 LVRT 无功控制策略下电网电压跌落实验波形

Fig. 13 Experimental waveform when grid voltage sags under LVRT reactive power control

光伏发电系统在 LVRT 过程中, 通过 MPPT 运行模式和非 MPPT 运行模式的选择, 充分利用了光

伏逆变器的容量,在实现 LVRT 的同时,最大限度地向电网注入无功,提供无功支撑,节省了无功补偿设备的投入。

## 4 结 论

本文提出一种光伏逆变器低电压穿越无功控制策略,在实现低电压穿越的同时,输出无功功率,提供无功支撑。在电网电压跌落故障期间,光伏发电系统根据故障前光伏阵列输出功率和光伏逆变器最大允许视在功率和有功功率,确定低电压穿越过程中运行模式,向电网输出有功功率、无功功率,提供无功支撑。最后通过算例仿真验证了该控制策略的可行性,具有一定的实际意义。

在研究中考考虑不同环境下光伏阵列实时的有功功率输出能力,以光伏逆变器的容量和光伏阵列的最大输出功率作为约束,对通常只考虑光伏发电系统的有功功率输出进行改进,充分利用逆变器的容量,节约了资源。下一步希望将控制策略在硬件设备中实现,使此低电压穿越无功控制策略更加具有实用价值。

### [参考文献]

- [1] 丁 明,王伟胜,王秀丽,等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1—14.
- [1] Ding Ming, Wang Weisheng, Wang Xiuli, et al. A review on the effect of large-scale PV generation on power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1): 1—14.
- [2] 国家电网公司. Q/GDW 617—2011 光伏电站接入电网技术规定[S]. 北京: 国家电网公司, 2011.
- [2] State Grid Corporation of China. Q/GDW 617—2011 Technical rule for connecting photovoltaic power station to power grid[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2011.
- [3] 张雅静,郑琼林,马 亮,等. 采用双环控制的光伏并网逆变器低电压穿越[J]. 电工技术学报, 2013, 28(12): 136—141.
- [3] Zhang Yajing, Zheng Qionglin, Ma Liang, et al. LVRT of photovoltaic grid-connected inverter adopting dual-loop control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(12): 136—141.
- [4] 陈 波,朱晓东,朱凌志,等. 光伏电站低电压穿越时的无功控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(17): 6—12.
- [4] Chen Bo, Zhu Xiaodong, Zhu Lingzhi, et al. Strategy for reactive control in low voltage ride through of photovoltaic station[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(17): 6—12.
- [5] 马亚辉,李欣然,徐振华,等. 一种逆变并网型分布式电源统一模型[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 145—154.
- [5] Ma Yahui, Li Xinran, Xu Zhenhua, et al. A unified model of grid-connected distributed generation through inverters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 145—154.
- [6] 张 兴,曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变器控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [6] Zhang Xing, Cao Renxian. Solar photovoltaic grid-connected power generation and its inverter control[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [7] 张雅静,郑琼林,卢远宏,等. 光伏并网逆变器低电压穿越优化设计研究[J]. 太阳能学报, 2013, 34(6): 984—990.
- [7] Zhang Yang, Zheng Qionglin, Lu Yuanhong, et al. Optimization and design of LVRT strategy of grid-connected PV system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2013, 34(6): 984—990.
- [8] 周京华,刘劲东,陈亚爱,等. 大功率光伏逆变器的低电压穿越控制[J]. 电网技术, 2013, 37(7): 1800—1806.
- [8] Zhou Jinghua, Liu Jindong, Chen Yaai, et al. Low voltage ride-through control of high power inverter for grid-connection of photovoltaic generation[J]. Power System Technology, 2013, 37(7): 1800—1806.
- [9] 李 晶. 分布式发电系统并网逆变器的无功控制策略[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(1): 155—159.
- [9] Li Jing. Reactive power control of grid-connected converter in distributed generation system[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2011, 23(1): 155—159.
- [10] Yang Yongheng, Wang Huai, Blaabjerg F. Reactive power injection strategies for single-phase photovoltaic systems considering grid requirements[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(6): 4065—4076.
- [11] 苏丽萍,陈 侃,李国杰,等. 基于RTDS的光伏并网系统实时仿真平台研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(15): 110—115.

- [11] Su Liping, Chen Kan, Li Guojie, et al. Real-time simulation study of photovoltaic grid-connected system by RTDS[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(15): 110—115.
- [12] 龙 源, 李国杰, 程 林, 等. 利用光伏发电系统抑制电网功率振荡的研究[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 44—49.
- [12] Long Yuan, Li Guojie, Cheng Lin, et al. A study on damping power system oscillations based on photovoltaic system[J]. Power System Technology, 2006, 30(24): 44—49.
- [13] VDN. Transmission code 2007 network and system rules of the German transmission system operators[S]. Berlin: VDN, 2007.
- [14] EON Netz GmbH. Grid code-high and extra high voltage-2006-06-12 [EB/OL]. [http://www.nerc.com/docs/pc/ivgtf/German\\_EON\\_Grid\\_Code.pdf](http://www.nerc.com/docs/pc/ivgtf/German_EON_Grid_Code.pdf).
- [15] Wu Yong-Sih, Chang Chia-His, Chen Yaow-Ming, et al. A current control strategy for three-phase PV power system with low-voltage ride-through[A]. 9th IEL International Conference on Power System Control, Operation and Management (APSCOM)[C], Hong Kong, China: IEEE, 2012.
- [16] 周玉斐, 黄文新, 赵 萍. 三相耦合电感单级升压逆变器非隔离光伏并网发电系统[J]. 电工技术学报, 2015, 30(6): 190—199.
- [16] Zhou Yufei, Huang Wenxin, Zhao Ping. Grid-connected system of three-phase single-stage boost inverter with coupled inductor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(6): 190—199.

## A REACTIVE POWER CONTROL STRATEGY IN LOW-VOLTAGE RIDE-THROUGH OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM BASED ON MPPT MODE

Xie Jiqiang<sup>1</sup>, Yang Xiu<sup>1</sup>, Wang Jubo<sup>2</sup>

(1. School of Power Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. State Grid Shanghai Electric Power Company Urban Power Supply Company, Shanghai 200080, China)

**Abstract:** Aiming to the present condition that the photovoltaic (PV) generation system operating in general under condition of unity power factor which leads to the waste of a certain quantity of apparent power waste in the grid-connection inverters of the PV generation system, a reactive power control strategy during the low-voltage ride-through (LVRT) of PV generation system is proposed. The decoupling of active and reactive power in grid-connection inverter of PV generation system and its output limit of reactive power are analyzed and the relation between the reactive power output of the inverter of PV generation system and the voltage droop at the grid-connection point is established. And then through comparing the active power generated by PV array before the fault with the allowed maximum active power output of the PV inverter to determine whether the PV generation system operates by the maximum power point tracking (MPPT) mode or by the non-MPPT mode during the LVRT can be determined. A simulation platform is constructed by RTDS software to validate the proposed reactive power control strategy in the LVRT, and simulation results show that the proposed control strategy is feasible.

**Keywords:** photovoltaic inverter; low voltage ride through; reactive power control; maximum power point tracking; real time digital simulation