

光伏电站防孤岛测试方法

根据孤岛检测的原理和分布式电源进行分类,详细阐述了各种检测方法的性能和优缺点。在此基础上,提出了采用由高压转换为低压方式实现光伏并网发电系统的防孤岛测试方法。设计了移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统,并解决了10/35 kV光伏电站防孤岛测试问题,可以实现三相不平衡状态带载,最小调整步幅10 W等要求。

胡文平 王 磊 段晓波 雷胜华/国网河北省电力公司电力科学研究院

所谓孤岛效应是指分布式能源并网发电系统中,市电因人为切断或出现故障而停止向负载供电时,分布式能源继续并网工作,从而使电网局部负载仍处于供电状态。由于光伏发电系统与电网并联工作时,电网会因为故障、设备检修或者操作失误等原因停止工作,也就是说孤岛效应是光伏并网发电系统中普遍存在的一个问题。因此准确、及时地检测出孤岛效应是光伏并网发电系统设计中的一个关键性问题^[1]。

孤岛效应的分析

1. 孤岛效应概述

图1为光伏发电系统与电网并联工作的示意图,如图所示,电网正常工作情况下,相当于开关 S_1 、 S_2 均闭合,电网和光伏发电系统同时向图中逆变器负载和电网负载供电;电网突然停止工作时,相当于开关 S_1 闭合, S_2 打开,此时光伏发电系统继续向逆变器负载和局部电网负载供电,那么将会导致下列情况发生:光伏发电系统功率较小,如果电网停止工作会失去对光伏发电系统输出电能的平衡控制能力,系统输出电能质量下降;危害到电力维护人员或用户的人身

安全;当市电突然恢复时,光伏发电系统与电网相位不同步造成的冲击电流会损坏发电装置和设备;影响电网保护开关的动作,造成不必要的损失;因单相光伏并网发电系统继续供电,造成系统三相负载欠相工作。

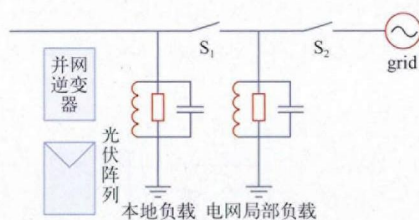


图1 光伏发电系统与电网链接示意图

2. 孤岛效应特性分析

逆变器与电网连接时功率流动情况如图2所示, L_r 、 C_r 和 R 是逆变器的等效负载。

图2中: P 为逆变器输出有功功率; ΔP 为电网正常时逆变器输送到电网的有功功率; Q 为逆变器输出无功功率; ΔQ 为电网正常时逆变器输送到电网的无功功率; U_g 为电网电压; U_i 为逆变器输出端电压。

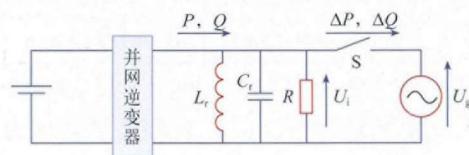


图2 逆变器输出功率流动示意图

(1) 电网正常工作

如图2所示,电网正常工作状态下,相当于开关 S 闭合。光伏并网发电系统输出的有功功率 P 、无功功率 Q 的一部分提供给等效负载,另外一部分有功功率

关键词/Keywords

孤岛效应·
分布式电源·
防孤岛测试·
移动式光伏并网逆变器防孤岛
检测系统·

ΔP 、无功功率 ΔQ 传递给电网。根据逆变器输出功率与负载功率平衡的关系,可得

$$\frac{U_g^2}{R} = P - \Delta P \quad (1)$$

$$\left[\frac{1}{\omega_g L_r} - \omega_g C_r \right] U_g^2 = Q - \Delta Q \quad (2)$$

式中, ω_g 为电网电压的角频率。

(2) 电网停止工作

如图2所示,电网突然断电时,相当于开关S断开。由于S关断前后逆变器输出的有功功率 P 、无功功率 Q 近似保持不变,根据功率平衡的关系可得

$$\frac{U_i^2}{R} = P \quad (3)$$

$$\left[\frac{1}{\omega_i L_r} - \omega_i C_r \right] U_i^2 = Q \quad (4)$$

式中, ω_i 为逆变器输出电压的角频率。

根据逆变器输出有功功率的平衡关系,结合式(1)、式(3)可得

$$\frac{\Delta P}{P} = 1 - \frac{U_g^2}{U_i^2} \quad (5)$$

根据逆变器输出无功功率平衡的原理,结合式(2)、式(4)可以推导出

$$\frac{\omega_i U_g^2}{\omega_g U_i^2} = \frac{Q - \Delta Q + Q_c}{Q + Q_c} \frac{\omega_i U_i^2}{\omega_g U_g^2} \quad (6)$$

式中, Q_c 为谐振电路中谐振电容 C_r 的无功功率,其大小为 $Q_c = \omega_g C_r U_g^2$ 。

结合式(5)、式(6)可以得

$$\frac{\omega_i \Delta P}{\omega_g P} - \frac{\Delta Q}{Q} = \left[\frac{\omega_i^2}{\omega_g^2} - 1 \right] \frac{Q_c}{Q} + \frac{\omega_i}{\omega_g} - 1 \quad (7)$$

式(5)、式(7)表明孤岛效应发生时,逆变器的输出电压频率及幅值与逆变器输出的有功功率、无功功率有关。

(3) 特性分析

如图2所示,当逆变器并网工作时,如果逆变器输出的有功功率全部落在局部负载 R 上,此时 ΔP 等于零。当孤岛效应发生时,从式(5)可以看出 $U_g = U_i$,逆变器输出电压保持不变。如果 ΔP 、 ΔQ

均为零,那么式(7)可转换为

$$\left[\frac{\omega_i}{\omega_g} - 1 \right] \left(\frac{Q_c}{Q} \left[\frac{\omega_i}{\omega_g} + 1 \right] + 1 \right) = 0 \quad (8)$$

由式(8)可得 $\omega_g = \omega_i$ 。

上述分析表明:电网停止工作时,如果逆变器并网运行时全部能量均提供给了局部负载,逆变器输出电压、频率均没有变化;反之,逆变器输出电压或频率在电网断电前后会发生变化。根据电压、频率的改变即可判断出是否发生孤岛效应。这也是被动式孤岛效应检测法的工作原理。

孤岛效应常用的检测方法

孤岛效应检测方法主要分为被动式和主动式两种。被动式孤岛检测方法通过检测逆变器的输出是否偏离并网标准规定的范围(如电压、频率或相位),判断孤岛效应是否发生。其工作原理简单,实现容易,但在逆变器输出功率与局部负载功率平衡时无法检测出孤岛效应的发生。主动式孤岛检测方法是指通过控制逆变器,使其输出功率、频率或相位存在一定的扰动。电网正常工作时,由于电网的平衡作用,这些扰动检测不到。一旦电网出现故障,逆变器输出的扰动将快速累积并超出并网标准允许的范围,从而触发孤岛效应的保护电路。该方法检测准确度高,检测盲区小,但是控制较复杂且降低了逆变器输出电能的质量。

1. 被动式检测方法

被动式孤岛效应检测方法的工作原理上述已经进行了分析。当电网发生故障时,除逆变器的输出电压、输出频率外,其输出电压的相位、谐波均会发生变化。因此,被动式孤岛效应检测法可以对逆变器上述输出的变化进行检测以判断电网是否发生故障。

(1) 电压和频率检测

光伏并网发电系统并网运行过程中,除了要防止孤岛效应的发生,还要保证逆变器输出电压与电网同步,因此对电网电压幅值、频率要不断进行检测,以防止出现过电压、欠电压、过频率和欠频率等故障,所以对电压、频率进行检测的

被动式孤岛检测方法只需利用已有的检测参数进行判断,无需增加检测电路。该方法最大的缺点在于逆变器输出功率与负载功率平衡时,电网断电后逆变器输出端电压和频率均保持不变,从而出现孤岛检测的漏判^[2]。

(2) 相位检测

逆变器输出电压相位检测方法原理与电压、频率检测方法相似:电网出现故障时,光伏发电系统逆变器所带的负载阻抗会发生变化,导致电网故障前后逆变器输出电压和输出电流相位发生变化,系统根据相位的变化情况即可判断电网是否出现故障。

由于电网中感性负载较普遍,因此该方法在孤岛效应检测中的效果优于电压、频率检测方法,但是当负载为阻性负载或电网断电前后负载阻抗特性保持不变时,该方法就失去了孤岛检测能力^[3]。

(3) 谐波检测

谐波检测方法是指当电网出现故障停止工作时,由于失去电网的平衡作用,光伏发电系统输出电流在经过变压器等非线性设备时,将会产生大量的谐波,根据谐波的变化情况便可判断电网是否处于故障状态。实验研究及实际应用表明:该方法具有良好的检测效果,但是由于目前电网中存在大量的非线性设备,谐波变化复杂,因此很难确定一个统一的用于孤岛效应检测的谐波标准^[4]。

2. 主动式检测方法

主动式检测方式是通过控制变流器输出或外加阻抗等方式主动扰动系统。当发生孤岛情况时,主动扰动将造成系统的不稳定,即使是在发电输出功率与负载功率平衡的状态下,也会通过扰动破坏功率平衡状态,造成系统的电压、频率有明显变动,再通过控制单元检测出来而将太阳能发电系统与市电隔离,防止孤岛现象的发生。主动方法主要有以下几种方式。

(1) 输出电能变动方式

通过控制变流器的输出,施以系统周期性的有功电能或无功电能扰动,当市电中断时,由于系统失去稳定的参考电源,扰动将造成系统电压

或频率明显的变动,而检测出孤岛现象。

(2) 加入电感或电容器

此方法是在电力系统输配线路上加装电感或电容器,当市电中断或故障时,即将电感或电容器并入,通过无功功率破坏系统平衡状态,达到对电压、频率的扰动,使太阳能发电系统能被检测到并与市电解除并联。其中插入的并联阻抗容量小,且短时间插入为宜,以免对系统造成过大影响而发生误动作^[5]。

(3) 自动频率偏移方式

此方式通过偏移市电电压采样信号的频率来做为变流器的输出电流频率,造成对系统频率的扰动,即而由频率保护电路来检出孤岛现象,但此法会造成系统供电的不稳定以及输出功率因数降低的缺点^[6]。

1.5 MW移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统框架

装置采用6 m标准集装箱为载体,根据设备的体积,分为1.5 MW RLC孤岛负载箱、变压器和集控室集成箱,装置通过1.6 MW10/35 kV三相三线输入的变压器和逆变器并网点的10/35 kV接口相连,在变压器箱安装PT\CT进行参数采集,1.5 MW RLC孤岛负载箱和变压器的400 V 输出口相连。从拓扑机构来看应包括以下部分:RLC功率模块、变压器、散热系统、绝缘设计、保护系统、控制系统、现地显示、存储设备和上位机等,并含有与装置接口配套的软件分析系统。图3为移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统框架。



图3 移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统框架

移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统功能设计

本项目试制的移动式光伏并网逆变器防孤

岛检测系统应用于接入河北电网的并网光伏电站测试。根据光伏电站的接入特性,移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统功能设计如下:

1) 结构设计。采用400 V的阻性负载阵列、感性负载阵列和容性负载阵列组合实现RLC功率0~1 593.3 kW连续可调,后端加400 V变10/35 kV的变压器实现10/35 kV的接入。

2) 外观采用两个标准集装箱,分别为箱体1安装400 V 1.5 MW RLC 负载,箱体2安装1.6 MW 400 V变10/35 kV的变压器和集控系统,集控室内层做保温,并加装空调。

3) 接线方式。400 V输入端采用星形接法,三相四线制、10/35 kV输入端采用角形接法,三相三线制,400 V采用侧面开窗铜牌连接,10/35 kV采用集装门开口,配置高压电缆绝缘圈,进入集装箱,连接到CT的接口铜排上。

4) 功率设计。满足1 500 kW光伏电站的防孤岛检测,设计阻性1 593.3 kW、感性1 593.3 kV·A、容性1 593.3 kV·A,10/35 kV变压器的功率为1 600 kV·A。

5) 参数测量。包括400 V端电压、电流、有功功率、无功功率和功率因数等,10/35 kV端电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素和加载参数可以在远程计算机显示。

6) 控制方式。远程计算机控制(计算机控制分为手动加载和预置曲线加载)。

7) 设备的控制和运行电源采用220 V/50 Hz。

引用标准包括:①GB 19964—2012《光伏发电站接入电力系统技术规定》;②Q—GDW 617—2011《光伏电站接入电网技术规定》;③Q—GDW 618—201《光伏电站接入电网测试规程》;④金太阳认证标准CNCA/CTS 0004—2009A;⑤IEC 62116—2008《并网连接式光伏逆变器孤岛防护措施测试方法》;⑥Q/GDW 618—2011《光伏电站接入电网测试规程—防孤岛保护特性测试》。

设计思路

根据实际电网的特性,电网配电过程都是

经过高—中—低配电的转换过程,最终转换成市电。本测试系统的设计也采用由高压转换为低压方式实现光伏电站的防孤岛测试。本次的方案采用负载按低压400 V电压等级设计。光伏电站10/35 kV高压先由经过一个1 600 kV·A的变压器转变成400 V低压,然后连接到400 V电压等级负载箱。该设计方式完全解决了10/35 kV光伏电站防孤岛测试问题,而整个设备尺寸可完全控制在6 m集装箱内,且可以实现三相不平衡状态带载,最小调整步幅10 W等要求。同时带有400 V和10/35 kV的输入端口,3个电压都可以直接接入。低压负载技术相对也比较成熟,为以后扩容及其他性能测试奠定了基础,整个设备的后期维护成本也大大降低。

参考文献

- [1] 伍文城,吴安平,黎岚.特高压直流换流站接入系统设计[J].继电器,2008,36(10):65-73.
- [2] Ye Zhihong, Kolwalkar A, Zhang Yu, et al. Evaluation of anti-islanding schemes based on nondetection zone concept[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19(5): 1171-1176.
- [3] Francesco D M, Marco L, Alberto P. Overview of anti-islanding algorithms for PV systems. part I: passive methods[C]. //Proceedings of 12th International Conference on Power Electronics and Motion Control Portoroz, Slovenia, 2007: 1878-1883.
- [4] Ropp M E, Begovic M, Rohatgi A. Prevention of islanding in grid-connected photovoltaic systems[J]. Progress in Photovoltaics, 1999, 7(1): 39-59.
- [5] Grebe T E. Application of distribution system capacitor banks and their impact on power quality[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 32(3): 714-719.
- [6] 袁玲,郑建勇,张先飞.光伏发电并网系统孤岛检测方法的分析与改进[J].电力系统自动化,2007,31(21):72-75.

(收稿日期:2015-02-05) **EA**