

一种新颖的孤岛检测方法研究

高金辉, 李迎迎, 苏军英

(河南师范大学物理与信息工程学院, 河南 新乡 453007)

摘要: 为了解决分布式发电系统中存在的孤岛检测问题, 在总结已有孤岛检测方法不足之处的基础上, 通过分析孤岛效应发生前后相关电量变化之比, 提出了一种新型孤岛检测方法。该方法以频率变化和负荷功率变化之比 $\Delta f / \Delta P_L$ 为检测指标, 通过将其计算值与所给的阈值相比较来判定是否发生孤岛现象。为了验证所提方法的有效性, 在考虑负荷突变对孤岛检测影响的基础上进行了仿真实验验证, 仿真结果显示该方法既能快速、准确地检测出孤岛现象, 又不影响电能质量。

关键词: 分布式发电; 并网; 逆变器; 孤岛检测; 仿真

The research on a novel islanding detection method

GAO Jin-hui, LI Ying-ying, SU Jun-ying

(College of Physics and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: In order to solve the islanding detection problem in distributed generation systems, by analyzing the ratio of some related power quantity before and after the islanding, a new islanding detection algorithm is proposed based on summarizing the shortcoming of traditional islanding detection methods. The value of $\Delta f / \Delta P_L$ is regarded as detection index, and the islanding identification is realized by comparing the evaluated value with the given threshold value. Taking the impacts of local load change of grid on islanding detection into account, simulation study is made to validate the proposed method. The experimental results show that the proposed method is simple and feasible, can detect the islanding fast and accurately and does not affect power quality.

Key words: distributed generation; grid-connected; inverter; islanding detection; simulation

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0122-03

0 引言

近年来, 随着科技进步和经济发展, 人们对环境的要求日益提高, 光伏发电、风力发电、燃料电池发电等新能源的开发利用得到不断发展。将可再生能源组成的分布式发电系统并联在电网上使用, 可以实现分布式发电系统与电网间的功率互补^[1]。然而孤岛效应是分布式发电并网中存在的一个重要问题, 所谓孤岛效应是指当电力公司因供电故障或停电维修而跳脱时, 各个用户端的并网发电系统和周围的负载形成一个电力公司无法掌控的自给供电孤岛。这种自给的孤岛现象会对维修人员和用电设备甚至电网产生严重的后果, 因此分布式发电系统要能及时地检测到孤岛效应的发生^[2-3]。

通过逆变器并网运行是分布式发电系统最常见的方式。逆变器侧的孤岛检测方法一般可分为两类: 主动式检测方法和被动式检测方法。主动式孤岛检

测方法是指通过控制并网逆变器, 使输出功率、频率或相位存在一定的扰动, 从而在电网断电时检测到孤岛发生。主动式检测方法无检测盲区, 但输出谐波较大, 致使输出电能质量下降。并且其控制算法较复杂, 实际应用中难以实现。被动式检测方法不加入扰动, 利用电网断电时逆变器输出端电压、频率、相位或谐波变化进行孤岛检测^[4-5], 被动式孤岛检测方法容易实现, 但检测盲区较大。

1 新方法推导

分布式发电系统与电网并网运行时, 由于大电网的均衡作用, 一般情况下, 频率和电压等相关电量的值基本保持不变。只有在系统出现扰动(如产生孤岛, 本地负荷突变等)时, 频率或电压才会发生变化。传统的被动式孤岛检测方法正是根据电量变化判断孤岛的发生。但是当分布式发电系统输出功率与负载功率匹配时, 即电网提供的功率为零, 即使发生孤岛效应, 输出电压或频率的变化很小, 保护电路会因电压和频率未超出正常范围而检测不

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(102102310041)

到孤岛的发生^[6]。此时传统的被动式检测方法失效。

孤岛效应发生时, 系统变得不稳定, 功率、频率等电量都比较敏感, 其变化率将增大, 考虑到相关电量变化之比有可能会更大, 本文提出了一种新型孤岛检测方法, 该方法通过监测 $\Delta f/\Delta P_L$ 的变化来判断孤岛效应的发生。图1给出了分布式发电系统并网运行结构图。

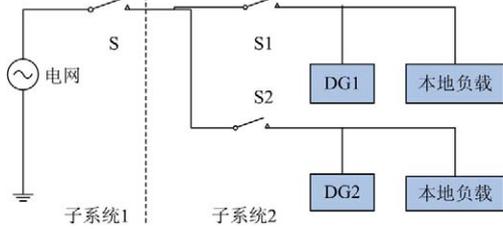


图1 分布式发电系统并网运行结构

Fig.1 Structure of distributed generation system

由图1可以看出, 将分布式并网发电系统划分为子系统1和2, 子系统1只包含电网, 子系统2包含分布式发电系统及其本地负载。其中 ΔP_1 , ΔP_2 分别为系统1和2功率的变化; Δf_1 , Δf_2 分别为系统1和2的频率变化。若子系统2中负载突然变化, 假设此时负载上功率的变化 ΔP_L , 此时系统1到系统2的功率变化为 ΔP 。可以认为 ΔP_L 引起的分布式发电系统功率变化可忽略不计^[7], 由此可推出:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta f_1} = \frac{\Delta P}{\Delta f_1} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta f_2} = \frac{\Delta P + \Delta P_L}{\Delta f_2} = \frac{\Delta P}{\Delta f_2} + \frac{\Delta P_L}{\Delta f_2} \quad (2)$$

首先考虑分布式发电系统和电网正常并网工作的情况。由于系统1和2是并联工作的, 因此系统1的频率变化和系统2的频率变化是相同的, 即:

$$\Delta f_1 = \Delta f_2 = \Delta f \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)可以推导出:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta f_2} = \frac{\Delta P_1}{\Delta f_1} + \frac{\Delta P_L}{\Delta f_2} \quad (4)$$

式(4)可以转化为:

$$\frac{\Delta f_2}{\Delta P_L} = \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta f_2} - \frac{\Delta P_1}{\Delta f_1} \right)^{-1} \quad (5)$$

其中 $\Delta P/\Delta f$ 正比于其子发电系统容量, 由于子系统1包含电网, 所以 $\Delta P_1/\Delta f_1$ 远远大于 $\Delta P_2/\Delta f_2$, 则式(5)可以转化为:

$$\frac{\Delta f_2}{\Delta P_L} \approx \left(-\frac{\Delta P_1}{\Delta f_1} \right)^{-1} = -\frac{\Delta f_1}{\Delta P_1} \quad (6)$$

孤岛效应发生后, 系统1和2断开, 系统1、2各自独立, 若在系统2中负载上的功率有 ΔP_L 变化, 负载上功率变化就是系统2中功率变化, 即:

$$\Delta P_2 = \Delta P_L \quad (7)$$

因此, 孤岛效应发生后, 有式(8)成立:

$$\frac{\Delta f_2}{\Delta P_L} = \frac{\Delta f_2}{\Delta P_2} \quad (8)$$

由于 $\Delta f_1/\Delta P_1$ 远远小于 $\Delta f_2/\Delta P_2$, 比较式(6)、式(8)可以很明显地看出来, 尽管系统2中的 ΔP_L 变化很小时, 但 $\Delta f/\Delta P_L$ 在孤岛效应发生前后的变化却很大, 因此可以利用它来判断孤岛是否发生。

2 算法流程

为了表示方便, 将 $\Delta f/\Delta P_L$ 用检测指标 D 表示。 D_{th} 为预先设定的检测指标的阈值, 用于判定是孤岛发生还是其他扰动, 若 $D > D_{th}$ 则认为可能是孤岛效应发生, 继续向下执行。设定 N_{th} 为试验中次数的阈值。同时设定 D_{th} 和 N_{th} 两个阈值是为了保证孤岛检测的准确性。 D_{th} 和 N_{th} 的大小与具体的实验条件有关, 其值设定的越大则误报的概率越小, 但检测时间会很长。为了快速准确地检测出孤岛效应, 通过多次实验验证, D_{th} 的最佳取值为 0.98, N_{th} 的最佳取值为 4。

图2为孤岛检测流程图。

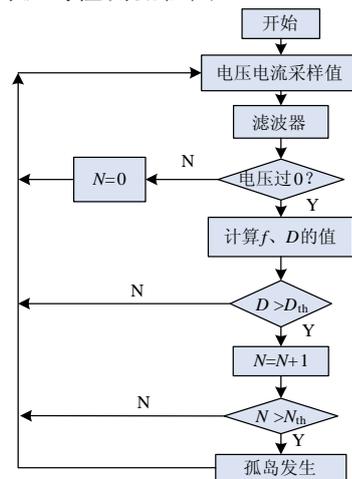


图2 孤岛检测流程图

Fig.2 Flow chart of islanding detection

从图 2 中可以看出，首先采样电压和电流值经过带通滤波器，带通滤波器的作用是排除外界干扰引起的突变，从而可以防止孤岛误判的发生。然后通过检测电压过零点计算得出 f 的值。由 f 的值可以计算出 D ，并与预先设定的阈值 D_{th} 做比较。最后如果 $N > N_{th}$ ，则判定孤岛发生。

3 仿真分析

在 Matlab6.5.1 中有专门用于电气控制系统的 Power System Blockset 工具箱，为了验证本文所提出方法的可行性，使用 Power System Blockset 建立系统主电路进行仿真实验。仿真模型如图 3 所示。

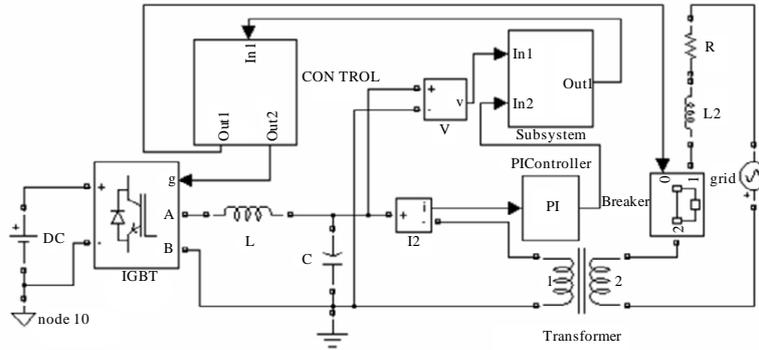


图 3 系统仿真模型

Fig.3 Simulation model of the system

选取参考正弦波频率为 50 Hz，分布式电源采用光伏系统，可以用直流电源表示，大小为 25 kV，仿真时间为 2 s。针对电压和频率变化都较小的情况对检测指标 D 的变化进行研究。 $t=0.9$ s 时电网断开发生孤岛效应，检测指标 D 的变化如图 4 所示。

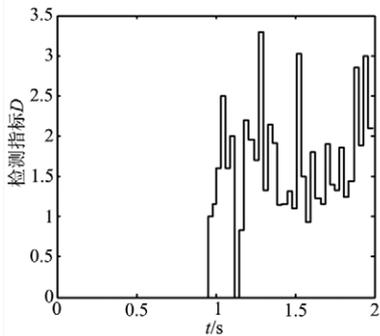


图 4 电网断电时 D 的变化曲线

Fig.4 Variation curve of D following the loss of grid

从仿真结果可以看出，孤岛效应发生后尽管频率和电压变化很小，但检测指标 $\Delta f / \Delta P_L$ 的值有很大变化。能够快速准确地检测到孤岛。

为了研究正常并网时负荷突变的影响，对本地负荷突然减少一半时做了仿真研究，图 5 给出了 $t=0.9$ s 时本地负荷突然减少 50% 时的仿真结果。

从仿真结果可以明显看出此时 D 的变化最大为 0.04，远远小于孤岛效应发生时的阈值，因此只要是阈值选择恰当，就可以排除负载突变或其他因素引起的孤岛误判。

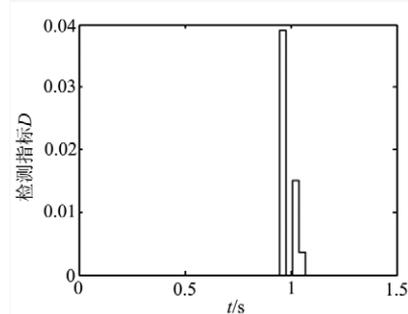


图 5 负荷突变时 D 的变化曲线

Fig.5 Variation curve of D following the change of local load

4 结语

本文提出了一种以 $\Delta f / \Delta P_L$ 为检测指标来判断孤岛发生的新型孤岛检测方法，并给出了详细的推导过程。为了验证方案的可行性，采用 Matlab6.5.1 仿真软件进行了仿真分析。实验结果表明，即使在电压或频率变化较小情况下，该方法也能快速地检测出孤岛。检测时间远远小于 2 s，并且对电能质量没有影响，证明了该方法的正确性、快速性和有效性。

参考文献

[1] Funabashi T, Koyanagi K, Yokoyama R. A review of islanding detection methods for distributed resources[C]. //Power Tech Conference Proceedings 2003 IEEE Bologna. 2003: 6.

(下转第 129 页 continued on page 129)

- 数据处理[J]. 电网技术, 2009, 33 (1): 87-91.
- WANG Yong, CAO Bao-ding, JIANG Tao. Fast data processing for merging unit of electronic transformer[J]. Power System Technology, 2009, 33 (1): 87-91.
- [7] IEC61850-9-2/LE-2004 implementation guideline for digital interface to instrument transformers using IEC61850-9-2[S]. 2004.
- [8] 徐光福, 陆于平, 吴崇昊, 等. 多采样率信号处理在数字化变电站差动保护中的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (21): 44-47.
- XU Guang-fu, LU Yu-ping, WU Chong-hao, et al. Application of multi-rate signal processing in differential protections of digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (21): 44-47.
- [9] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- CHENG Pei-qing. A tutorial of digital signal processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [10] 王晓芳, 周有庆, 李付亮. Rogowski线圈电流互感器的相差分析与校正[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (5): 56-60.
- WANG Xiao-fang, ZHOU You-qing, LI Fu-liang. Phase error analysis and correction of electronic current transformer based on Rogowski coils[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (5): 56-60.
- [11] 邹晓玉, 王浩, 吴晓博. IEC61850标准中SCL语言的几个实践应用问题探讨[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (15): 77-80.
- ZOU Xiao-yu, WANG Hao, WU Xiao-bo. Discussion on practical issues of substation configuration language in IEC61850 standards[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (15): 77-80.
- [12] 兰森林, 张沛超. 基于SCL模型的智能电子装置配置器的设计与实现[J]. 继电器, 2005, 33 (12): 48-51.
- LAN Sen-lin, ZHANG Pei-chao. Design and implementation of IED configurator based on SCL model [J]. Relay, 2005, 33 (12): 48-51.

收稿日期: 2009-10-15; 修回日期: 2009-12-27

作者简介:

周巍(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护仿真技术; E-mail: yigu@sjtu.edu.cn

李学太(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护仿真技术;

张沛超(1970-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统保护、专家系统在电力系统中的应用、电网调度自动化技术。E-mail: pczhangc@online.sh.cn

(上接第 124 页 continued from page 124)

- [2] 郭小强, 赵清林, 邬扬扬. 光伏并网发电系统孤岛检测技术[J]. 电工技术学报, 2007, 22 (4): 157-162.
- GUO Xiao-qiang, ZHAO Qing-lin, WU Wei-yang. A novel method for mapping nono-detection zone[J]. Transactions of China Electro-technical Society, 2007, 22 (4): 157-162.
- [3] 程明, 张建忠, 赵俊杰. 分布式发电系统逆变器侧孤岛检测方法 & 非检测区描述[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23 (4): 44-52.
- CHENG Ming, ZHANG Jian-zhong, ZHAO Jun-jie. Anti-islanding detection of power converter based distributed generation systems and mapping method of non-detection zones[J]. Journal of Electric Power and Technology, 2008, 23 (4): 44-52.
- [4] Jones R A, Thomas R S, Imece A F. Inverter in potential islanding of a self-commutated static power converter in photovoltaic systems[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1990, 5 (3): 1035-1041.
- [5] Doumbia M L, Agbossou K. Islanding protection evaluation of inverter-based grid connected hybrid renewable energy systems[C]. //Canadian Conference on Elec-trical and Computer Engineering. Canadian: 2004: 1081-1084.
- [6] Redfern M A, Usta O. Protection against loss of utility grid supply for a dispersed storage and generation unit[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 8 (3): 948-954.
- [7] Singh N, Kliokys E, Feldmann H, et al. Power system modeling and analysis in a mixed energy management and distribution management system[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13 (3): 1143-1149.

收稿日期: 2010-05-19; 修回日期: 2010-07-19

作者简介:

高金辉(1962-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事光伏并网相关技术的研究; E-mail: gjh@henannu.edu.cn

李迎迎(1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事光伏并网研究;

苏军英(1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事光伏并网方面的研究。