

# 基于组合决策的孤岛检测技术在微电网中的应用

蒋燕<sup>1</sup>,张艳<sup>2</sup>,张祖丽<sup>2</sup>,张继红<sup>3</sup>,张玉琼<sup>4</sup>

(1.重庆电力高等专科学校,重庆 400053;2.青海海西供电公司,青海 格尔木 816000;

3.重庆电力调控中心,重庆 400053;4.南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102)

**摘要:**分析了电压相位突变、频率变化率和主动投切电容回路3种微电网孤岛检测方法的原理及特性,在此基础上给出了一种以被动检测为主,主动检测为辅的组合决策孤岛检测法,仿真结果表明,该方法可消除单一孤岛检测法存在的检测盲区,在不同的微网运行状态和不同负荷构成情况下均可实现孤岛检测。

**关键词:**微电网;孤岛检测;相位突变;频率变化率;主动投切电容;组合决策

中图分类号:TM71

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)03-0024-03

孤岛检测是微电网由并网向孤岛平稳过渡过程中一个必要的检测环节。根据检测原理不同,可分为主动检测法和被动检测法。主动检测法<sup>[1]</sup>是通过人为向系统引入微小电压、电流或频率扰动信号进行检测判定,优点是盲区较小、灵敏度较高,缺点是如引入系统的扰动控制不当,会导致微电网进入孤岛状态后无法稳定运行。被动检测法<sup>[2]</sup>是通过采集本地信号,在不外加任何扰动的情况下进行孤岛检测,其优点是原理简单,设备投入少,易于实现,适用于微电网需求,缺点是检测盲区较大,不适合单独使用。为保障微电网运行状态转换的平稳性,同时考虑检测精度、灵敏度及扰动对系统稳定运行的影响,文中提出了适用于微电网特点,以被动检测为主,主动检测为辅的组合决策孤岛检测技术。

## 1 常用被动孤岛检测法及原理

### 1.1 相位突变检测法

相位突变法是利用逆变电源输出电流与公共连接点(PCC)电压间相位差变化来检测孤岛的发生。并网状态下,PCC电压受主网钳制,微电源输出电流与PCC电压同相位<sup>[3]</sup>。当孤岛产生时,由于负载阻抗角的存在,使得PCC处电压相位发生跳变,与电流的相位差转变为负载的阻抗角。因此,通过逆变器输出电流与PCC电压的相位差变化即可判定孤岛的产生。相位突变检测法简单、易于实现,不会对逆变器输出的电能质量和系统的暂态稳定产生影响。但当负载阻抗角接近0时,即负载近似呈阻性时,该方法失效,需采用其他孤岛检测手段进行辅助判断。

### 1.2 频率变化率法

频率变化率法的理论基础是假设在孤岛形成瞬间,分布式电源发出的电力和孤岛负荷间存在功

率差额,即不平衡功率。这种不平衡功率致使孤岛产生瞬间频率变化,因此采用频率变化率 $df/dt$ 作为判据,可以检测孤岛的产生<sup>[4]</sup>。

$$\frac{df}{dt} = -\frac{(P_L - P_{MG})f_N}{2HP_{GN}} \quad (1)$$

式中: $P_L$ 为负荷功率; $P_{MG}$ 为微电源输出功率; $f_N$ 为系统额定频率; $H$ 为分布式发电机惯性系数; $P_{GN}$ 为分布式发电机额定容量。频率变化率法的检测灵敏度受功率不平衡度影响较大。功率不平衡度较大时能可靠检测;功率不平衡度较小时,检测灵敏度差。因此,频率变化率法一般需与其他检测手段配合使用。

## 2 选择性投切并联电容回路的主动检测法

选择性投切并联电容回路孤岛检测法<sup>[5]</sup>是通过向微电网与主网联络线微电网侧投入并联电容回路,引入无功电流扰动信号来进行孤岛检测,是一种典型的主动检测法。该方法通过检测PCC处的无功流量控制并联电容回路的投入,消除了微电网与主网间联络线上微潮流或零潮流时被动检测法失效的弊端。如图1所示电路,当检测回路检测到连接点PCC处无功流量为0时,将并联电容回路投入,再检测PCC处无功流量,如仍为0,则判定孤岛发生。基于选择性投切并联电容回路的主动孤岛检测逻辑如图2所示。

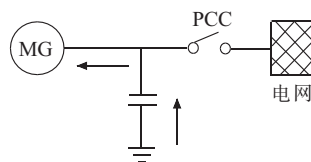


图1 PCC点断开时投入电容后无功流向

投切并联电容回路的主动检测法可快速准确的检测出孤岛状态,灵敏度较高。由于投切电容并联回路会向系统引入扰动,需要合理控制扰动大小,在确保微电网孤岛运行稳定的情况下实现孤岛检测。



数:感性负载, $R=40\ \Omega$ , $L=0.6\ \text{H}$ , $C=16.9\ \mu\text{F}$ ;容性负载: $R=40\ \Omega$ , $L=0.06\ \text{H}$ , $C=169\ \mu\text{F}$ ;阻性负载, $R=40\ \Omega$ , $L=0.06\ \text{H}$ , $C=16.9\ \mu\text{F}$ ;纯电阻负载, $R=200\ \Omega$ 。微电网功率基本自平衡,各种负载参数:感性负载, $R=28\ \Omega$ , $L=0.5\ \text{H}$ , $C=12.7\ \mu\text{F}$ ;容性负载, $R=28\ \Omega$ , $L=0.05\ \text{H}$ , $C=127\ \mu\text{F}$ ;阻性负载, $R=28\ \Omega$ , $L=0.05\ \text{H}$ , $C=12.7\ \mu\text{F}$ ;纯电阻负载, $R=28\ \Omega$ 。

对微电网不同运行方式、不同负荷特性下微电网与主网联络线三相跳闸,形成孤岛。采用相位突变检测法、频率变化率检测法、并联电容回路投切检测法及组合决策法进行孤岛检测。其检测判据如下:

(1) 相位突变检测判据设定为 $5^\circ$ ,即相位差大于 $5^\circ$ 即判定为孤岛;

(2) 频率变化率检测的时间常数取滤波时间常数(0.10 s),门槛值为0.1 Hz/s,即频率变化率大于0.1 Hz/s、持续时间超过0.10 s即判定为孤岛;

(3) 并联电容回路的投切采用理想开关,即联络线电流过零瞬间投入电容(0.1  $\mu\text{F}$ /相)。电容投入后实时检测并联电容回路上的电气量,以电压有效值作为判定量,判定是否为孤岛。

### 3.2.2 几种孤岛检测法检测效果对比

对图5仿真算例采用上述几种孤岛检测法对各种负载情况进行仿真计算,检测时间及效果如表1所示。

表1 几种检测方法的检测时间及效果对比 s

负载		电压相位突变	频率变化率法	主动投切电容	组合决策法
微网从主网受电	感性	0.013	0.15	/	0.013
	容性	0.009	0.16	/	0.009
	阻性	—	0.12	/	0.12
	纯电阻	—	0.11	/	0.11
微网功率自平衡	感性	0.011	—	/	0.011
	容性	0.009	—	/	0.009
	阻性	—	—	0.016	0.016
	纯电阻	—	—	0.018	0.018

注:—为检测失败;/为检测方法不投入使用。

(1) 当微电网为非阻性负载(容性和感性)时,电压相位突变法可以快速检测出孤岛;当微电网为阻性或纯电阻负载时,电压相位突变法失效;

(2) 当微电网从主网受电时,频率变化率法可以成功检测孤岛,其中阻性和电阻负载能够快速进行孤岛检测,而容性和感性负载由于进入孤岛后导致微电网电压下降进而造成有功功率不平衡程度减弱,导致检测时间延长,检测速度较慢,整体而言,频

率变化法检测速度较电压相位突变法慢;当微电网功率自平衡时,频率变化率法失效;

(3) 当微电网功率自平衡且为阻性或纯电阻负载时,电压相位法和频率变化率法均失效,主动投切电容回路法可以快速检测出孤岛;

(4) 组合决策法以组合被动检测方法(电压相位突变为判据、频率变化率为辅助判据)为主要检测手段,以主动投切电容回路法作为辅助检测手段,是现有检测方法的综合应用,即在几种方法均有效的情况下,采取检测时间最短的方法,从而提高了微电网孤岛检测的成功率、检测速度和灵敏度。

## 4 结束语

在分析电压相位突变检测、频率变化率检测和主动投切电容回路3种孤岛检测方法的原理及检测特性基础上,提出了被动为主、主动为辅的组合决策孤岛检测法,使用Matlab/Simulink工具搭建微电网仿真模型,对微电网的不同运行方式、不同负荷特性下联络线跳闸,孤岛形成过程及采用各种孤岛检测法进行孤岛检测的过程进行仿真计算和对比分析,结果表明组合决策孤岛检测法消除了单一孤岛检测法存在的检测盲区,提高了检测速度和灵敏度,是一种适用于微电网的孤岛检测方法。

### 参考文献:

- [1] YE Z H, KOLWALKAR A, ZHANG Y, et al. Evaluation of Anti-islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept [J]. IEEE Transactions Power Electronics, 2004, 19 (5): 1171-1176.
- [2] De MANGO F, LISERRE M, Dell AQUILA A, et al. Overview of Anti-Islanding Algorithms for PV Systems. Part I: Passive Methods [C]. EPE-PEMC2006, Portoroz (Slovenia), 2006.
- [3] 陈为民, 陈国呈, 吴春华, 等. 基于分布式并网发电的新型孤岛检测研究 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(8): 114-118.
- [4] FREITAS W, XU W, AFFONSO C M, et al. Comparative Analysis Between ROCOF and Vector Surge Relays for Distributed Generation Applications [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(2): 1315-1324.
- [5] 朱铭炼, 于正友, 龚春英. 一种新颖的主动移频式孤岛检测方法 [J]. 电力电子技术, 2009, 43(11): 31-32.

### 作者简介:

蒋 燕(1965),女,四川资阳人,副教授,从事电力系统及自动化研究工作;

张 艳(1973),女,山东乳山人,工程师,从事电网调度管理工作;

张祖丽(1977),女,河南南阳人,工程师,从事电网调度管理工作;

张继红(1964),男,重庆巴南人,高级工程师,从事电网调度管理工作;

CT 上进行了一系列实验, 实验中 CT 的变比为 5 A/10 mA, 额定负载为 100  $\Omega$ , 使用丹迪克公司的 DK-51B1 便携式三相交直流标准功率源作为电流信号源, 信号的采样率为 12 800 Hz。

120%, 100%, 20%, 5% 额定电流时的补偿结果如表 2 所示, 可以看出, 比差改善了一个数量级以上, 角差也从补偿前的超过 90' 下降到 1' 左右。结果表明, 提出的数字补偿算法在真实的环境下能有效提高测量用 CT 的测量精度。

表 2 补偿算法实验结果

额定 电流 / %	补偿前		补偿后	
	比差 / %	角差 / '	比差 / %	角差 / '
120	-1.47	90.63	0.0236	0.12
100	-1.50	94.44	0.0265	0.93
20	-2.08	129.81	-0.0315	-1.54
5	-3.82	210.92	-0.0771	-2.73

## 5 结束语

文中提出的数字补偿算法根据测量得到的副边电流计算出铁心中磁通, 再结合铁心磁化特性确定励磁电流并数字补偿到副边电流测量值中, 以更准

确地再现原边电流值。该数字补偿算法的有效性在基于 MTALB 平台的仿真和实验测试中都得到了验证, 结果表明该算法能够改善测量用 CT 的比差和角差。使用文中提出的数字补偿算法可以提高测量用 CT 的精度。

### 参考文献:

- [1] 冯煜理. 电子式电流互感器的特点和存在的问题[J]. 上海电力, 2011, 1(1): 87-90.
- [2] SUZUKI Y, HIRABAYASHI A, YAMASAWA K. Analysis of a Zero-flux Type Current Sensor[J]. IEEE Transaction on Magnetics, 1993, 29(11): 3183-3185.
- [3] 李春来, 汤晓宇, 黄业安. 高精度微磁通电流互感器的研究[J]. 电测与仪表, 2010, 47(11) 51-54.
- [4] 李培艳. 基于零磁通的无源单匝穿心式小电流互感器的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [5] KANG Y, PARK J, KANG S. An Algorithm for Compensating Secondary Currents of Current Transformers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(1): 116-124.

### 作者简介:

- 吕建虎(1987), 男, 江苏盐城人, 研究生, 从事电力系统自动控制研究工作;  
胡忠林(1981), 男, 湖北武汉人, 工程师, 从事电力系统自动化设备研发工作。

## Digital Compensation Algorithm for Measuring Current Transformer

LV Jian-hu, HU Zhong-lin

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In order to improve the measurement accuracy of current transformer (CT), the magnetic material with high permeability and core with large cross-sectional area are usually used to minimize the exciter current. However, the practice will increase CT manufacturing cost. In the paper, a digital compensation algorithm to improve the CT measurement accuracy is proposed. And the exciter current can be calculated and compensated according to the secondary measured current value and the magnetization characteristic of iron core. The effective of the algorithm is verified through simulation and experiment results.

**Key words:** measure; current transformer; exciter current; digital compensation

(上接第 26 页)

张玉琼(1979), 女, 黑龙江密山人, 工程师, 从事电力系统安全

稳定控制系统的研究和工程应用工作。

## Applications of Islanding Detection Based on Combined Decision in Microgrid

JIANG Yan<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>2</sup>, ZHANG Zu-li<sup>2</sup>, ZHANG Ji-hong<sup>3</sup>, ZHANG Yu-qiong<sup>4</sup>

(1. Chongqing Power College, Chongqing 410053, China; 2. Haixi Electric Power Supply Company, Geermu 816000, China;

3. Chongqing Electric Power Dispatching and Communication Center, Chongqing 400053, China;

4. Nanjing NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The principles and properties of the three islanding detection methods, including abrupt voltage phase change, frequency change rate and capacitor initiative switch are analyzed. Then a combined decision islanding detection method is presented with passive detection as the main part and active detection as the auxiliary part. Simulation results show that the comprehensive method can eliminate the dead detection zone of single islanding detection method and realize islanding detection in different microgrid running state and load cases.

**Key words:** microgrid; islanding detection; abrupt phase change; frequency change rate; capacitor initiative switch; combined decision