

光伏并网系统孤岛检测与防止

原慧军, 王效华, 徐进

(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 分析了光伏并网发电系统的孤岛效应现象。按照孤岛效应的国际通行标准, 结合逆变器并网的等效电路给出了相位超前的反孤岛检测方法及其基本原理和实现过程。在孤岛效应下对光伏并网发电系统进行的试验分析表明, 超前相位的检测方法能有效地检测出孤岛效应, 并且固定的超前相位能有助于缩短阻性和感性负载时的检测时间, 达到反孤岛效应的目的。

关键词: 孤岛检测; 相位超前; 并网逆变器; 光伏发电

中图分类号: TM615; TM711 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5292(2007)02-0082-03

Study on phase lead based islanding detection of grid-connected system

YUAN Hui-jun, WANG Xiao-hua, XU Jin

(Engineering college, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: Islanding conditions and damages of PV grid-connected power system were analyzed; and then proposed basic principle and implementation procedure of phase lead anti-islanding detection method with inverter grid equivalent circuit according to islanding IEEE Std. 2000-929 and UL1741. Finally the experiment was researched under the condition of islanding, the results prove: phase lead detection method can effectively detect islanding and invariable leading phase and can conduce to increasing resistance and inductance load detection time, the purpose of anti-islanding is achieved.

Key words: islanding detection; phase lead; grid-connected inverter; PV power electricity

0 引言

光伏并网发电系统通过并网逆变器直接把电能送入电网, 故需要各种完善的保护措施, 除了应具有基本的保护功能(如短路、过压、过流、欠频、过频、过热等)以外, 还应具有预防孤岛效应的特殊功能^[1]。孤岛效应是指当电网因故障事故或停电维修等原因而跳脱时, 各个用户端的太阳能并网发电系统未能及时检测出停电状态而将自身切离市电, 形成由太阳能并网发电系统和周围负载形成的一个电力公司无法掌握的自给供电孤岛。孤岛效应是并网发电系统特有的现象, 具有相当大的危害性, 不仅会危害到整个配电系统及用户端的设备, 更严重的是会造成输电线路维修人员的生命安全。图1示出光伏并网发电系统框图。

电系统框图。

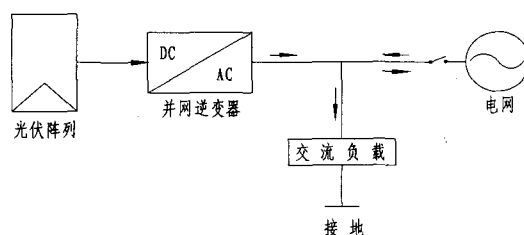


图1 光伏并网发电系统框图

Fig.1 Diagram of grid-connected power electricity system

1 孤岛效应国际通行标准

对光伏并网发电系统来说, 具有反孤岛效应的功能是至关重要的。反孤岛效应的关键是电网断电的检测, 且检测时间越短效果越好。根据反孤

收稿日期: 2006-08-08。

作者简介: 原慧军(1980-), 山西长治人, 硕士研究生, 主要从事光伏技术研究。E-mail: top1785@163.com

岛效应的相关标准,表1给出了并网逆变器在电网断电后检测到孤岛现象并将逆变器与电网断开的最大时间限制^{[2],[3]}。

表1 反孤岛效应的相关标准

Table1 Related standard of anti-islanding

状态	断电后电压幅值	断电后电压频率	允许的最大检测时间
A	0.5 Unom	1 fnom	6 cycles
B	0.5 Unom < U < 0.88 Unom	1 fnom	2 cycles
C	0.88 Unom ≤ U ≤ 1.1 Unom	1 fnom	2 cycles
D	1.10 Unom < U < 1.37 Unom	1 fnom	2 cycles
E	U ≥ 1.37 Unom	1 fnom	2 cycles
F	1 Unom	f < fnom - 0.7Hz	6 cycles
G	1 Unom	f > fnom + 0.5Hz	6 cycles

注:1.Unom 指电网电压幅值的额定值,对于中国的单相市电为交流有效值 220 V;

2.fnom 指电网电压频率的额定值,对于中国单相市电为 50 Hz。

2 孤岛效应的分析模型

逆变器并网的等效电路如图2所示^[4]。其中光伏系统为并网型逆变系统,输出电压为交流 220V/50Hz,负载采用 RLC 并联方式表示。

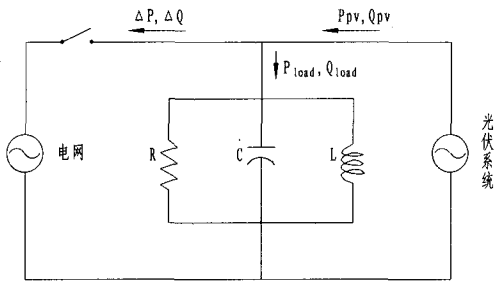


图2 孤岛现象等效电路

Fig.2 Islanding equivalent circuit

并网系统正常工作时

$$P_{load} = P_{pv} - \Delta P = U^2/R \quad (1)$$

$$Q_{load} = Q_{pv} - \Delta Q = U^2 \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \quad (2)$$

式中:U,ω——负载电压和频率;

P_{pv}, Q_{pv} ——光伏系统输出的有功功率和无功功率;

P_{load}, Q_{load} ——负载的有功功率和无功功率;

$\Delta P, \Delta Q$ ——输送至电网的有功功率和无功功率。

电网断电后,即系统孤岛运行时

$$P'_{oad} = P_{pv} = U'^2/R \quad (3)$$

$$Q'_{oad} = Q_{pv} = U'^2 \left(\frac{1}{\omega' L} - \omega' C \right) \quad (4)$$

联立式(1)和式(3)

$$U'^2 - U^2 = R \Delta P \quad (5)$$

联立式(2)和式(4)

$$(\omega - \omega') (1 + \omega \omega' LC) = \omega \omega' L \Delta Q / U^2 \quad (6)$$

若 $\Delta P = 0$, 即光伏系统输出有功功率等于负载所需的有功功率时,输出电压的幅值不变。若 $\Delta Q = 0$, 即光伏系统输出的无功功率等于负载所需的无功功率时,输出电压的频率没有变化。

3 孤岛检测

反孤岛效应的关键就是对电网断电的检测。常见并网逆变器侧的主动式检测是指系统主动、定时地对电网施加一些干扰信号,然后通过检测电网的各项指标来判断是否发生了孤岛效应。这些主动检测方法有时能有效地防止孤岛效应,但由于对电网施加了扰动,对电网造成了一定的谐波污染^{[5],[6]}。

光伏并网系统在电网停电后,并网装置和负载构成了一个独立供电的系统,在分析时,负载一般可以用并联的 RLC 表示。电网断电后,光伏系统输出电压和输出电流之间的相位角完全由负载决定,并且和频率有关。带有动态超前相位的孤岛效应检测,其超前相位由固定的超前相位 Φ_0 、与实际电流和电压的频率差有关的 Φ_1 和电网电压的频率变化有关的 Φ_2 3 部分组成,即每一个电网电压周期,并网电流超前电网电压的相位为

$$\Phi(k) = \Phi_0 + \Phi_1(k) + \Phi_2(k) \quad (7)$$

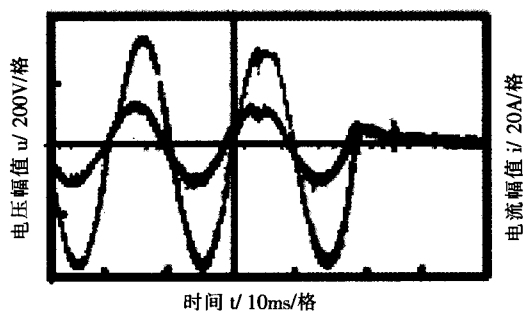
固定的超前相位角大大缩短了孤岛效应的检测判断时间,实际上,它对系统的功率因数影响可以不计, $\Phi_1(k)$ 是由电网电压频率和并网电流频率之间差异引起的相位变动。当电网电压正常,系统稳定工作时,系统输出电流的频率和电网电压频率一致。当孤岛效应发生时,系统直接向负载供电。

4 试验结果与分析

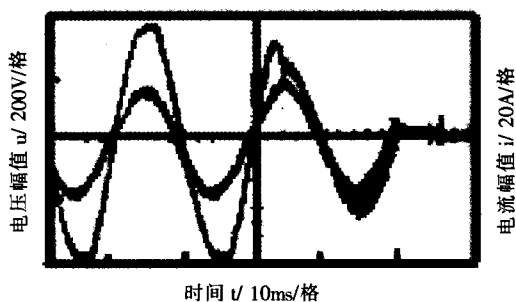
孤岛效应检测是研究光伏并网系统必须考虑的重要内容之一。并网逆变器的负载可能会呈阻性、感性和容性,因此要合理地采用一种或多种检

测手段,以达到反孤岛效应的目的。带有动态超前相位的检测方法能有效地检测出孤岛效应,并且固定的超前相位能有助于缩短阻性和感性负载时的检测时间。

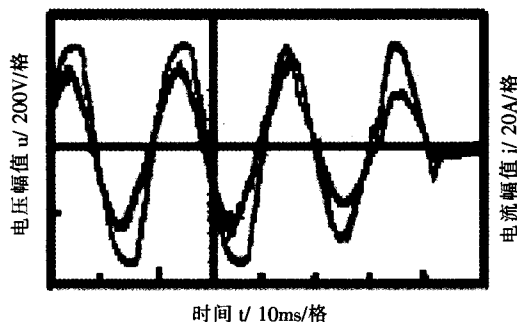
对光伏并网系统孤岛效应时的阻性负载、感性负载和容性负载3种情况进行了试验。图3给出了孤岛效应的波形图。



(a)阻性负载电压和电流波形



(b)感性负载电压和电流波形



(c)容性负载电压和电流波形

图3 孤岛效应时的波形图

Fig.3 Waveform in islanding operation

图3(a)是负载电阻与电压匹配时的负载电压和电流波形,即电网断电后系统输出电压的幅值没有大的变化,系统不能根据输出电压的幅值来判断是否发生了孤岛效应,而只能根据输出电压的频率来检测孤岛效应状态,使系统停止运

行。图3(b)是感性负载时的孤岛效应试验波形,当电网断电后,系统输出电压的频率会增大,就可以通过检测电压的频率来判断是否发生孤岛效应。图3(c)是容性负载时的孤岛效应试验波形,当电网断电后,系统输出电流的相位会超前输出电压,输出电压的频率会减小,可以通过检测电压的频率来判断孤岛效应的发生。

参考文献:

- [1] HUNG GUOK IANG, CHANG CH IHANG, CHEN CHEMLIN. Automatic phase-shift method for islanding detection of grid-connected photovoltaic inverters [J]. *IEEE Trans on Energy Conversion*, 2003, 18(1): 169-173.
- [2] IEEE Std 929-2000. IEEE recommended practice for utility interface of photovoltaic systems [S]. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY.
- [3] UL 1741, Std 1741, static inverter and charge controllers for use in photovoltaic systems [S]. Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, IL.
- [4] ZHIHONG YE. Evaluation of anti-islanding schemes based on nondetection zone concept [C]. *IEEE Trans on power electronics*, 2004, 19(5): 1171-1176.
- [5] JUN YIN. Recent developments in islanding detection for distributed power generation [J]. *Power Engineering*, 2004, (7): 124-128.
- [6] MORINA C S. Interconnection protection of IPP generators at commercial industrial facilities [C]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 2001, 37(3): 681-687.

生物柴油设备研制成功

日前,我国第一台热解液化成套设备在安徽合肥研发成功,它标志着我国生物柴油技术产业化取得实质性进展。

据该装置的总设计师介绍,薪炭林、经济林、用材林、农作物秸秆和各类有机垃圾等都可作为生物柴油的生产原料。这套装置每小时可生产生物柴油550 kg,转化率高达55%以上。

这套将生物质资源转化为油品的设备研发成功,是我国在寻找替代能源的道路上迈出的坚实一步。这套装置的试运行,标志着我国可再生能源利用迈上了新的台阶。

(摘自 石油石化物质网)