

# 光伏并网逆变器孤岛检测技术研究

张 东<sup>1</sup>, 吴俊娟<sup>2</sup>, 潘 蕾<sup>2</sup>

(1.秦皇岛港务集团有限公司,河北 秦皇岛 066004;2.燕山大学,河北 秦皇岛 066004)

**摘 要:**国内的光伏发电技术中,孤岛检测及孤岛保护常常被忽视,而孤岛的发生可能会带来巨大危害,因此,研究孤岛检测及其保护具有重要的现实意义。针对传统过压/欠压、高频/低频孤岛检测方法的不足,结合相位突变检测方法,提出一种组合式孤岛检测方法,并对其进行理论分析和建模。最后,仿真结果验证了提出的孤岛检测方法的快速性和有效性。

**关键词:**光伏发电;并网逆变器;孤岛检测;孤岛建模;相位突变检测

中图分类号:TM615

文献标识码:A

文章编号:1672-4984(2007)04-0067-04

## Research on islanding detection for photovoltaic grid-connected inverters

ZHANG Dong<sup>1</sup>, WU Jun-juan<sup>2</sup>, PAN Lei<sup>2</sup>

(1.Qinhuangdao Port Group Ltd., Qinhuangdao 066004, China;

2.Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** The islanding detection and protection are generally ignored in their applications. For islanding may result in calamities, it is necessary to study and analyze the islanding detection and protection methods. Considering the disadvantages of the traditional over/under voltage and over/under frequency detection, a novel hybrid islanding detection method was proposed by integrating the phase jump detection. The theoretical analysis and model for the proposed detection method was carried out. Finally, the simulation results show that the proposed islanding detection method is effective and practical.

**Key words:** Photovoltaic power; Grid-connected inverter; Islanding detection; Islanding model; Phase jump detection

## 1 引言

能源紧缺,环境恶化是日趋严重的全球性问题。人类为追求可持续发展,正积极发展可再生能源技术。太阳能作为可再生能源之一,在近近年来引起了世界各国政府和能源专家的日益重视。在国内,电能紧缺已经是一个非常严峻的问题,光伏并网发电有望在未来缓解这一紧张的局面。

当越来越多的光伏发电系统并接到电网上时,就带来了电网保护的新现象——孤岛现象。所谓孤岛现象<sup>[1]</sup>,是指当电力公司因故障或停电维修而停止供电时,用户端的并网逆变器仍处于工作状态,使得并网逆变器和周围的负载形成的一个电力公司无法控制的自供电网络。光伏并网发电系统处于孤岛运行状态时会产生严重的后果<sup>[2]</sup>:

(1)电网无法控制孤岛中的电压和频率,若电

压和频率超出允许的范围,可能会对用户的设备造成损坏;

(2)若负载容量大于光伏发电系统容量,光伏发电系统过载运行,易被烧毁;

(3)与光伏发电系统相连的线路仍然带电,对检修人员造成危险,降低电网的安全性;

(4)对孤岛进行重合闸操作会导致该线路再次跳闸,还有可能损坏光伏发电系统和其它设备。

可见,研究孤岛检测方法及保护措施,将孤岛产生的危害降至最低具有十分重要的现实意义。文献[3]介绍了孤岛检测及其应用。文献[4-6]介绍了主动式孤岛检测,但由于引入了扰动量,使得系统输出电能质量下降。为了保证电能质量,本文提出了一种组合式孤岛检测方法,具有快速有效的孤岛检测和对电能质量无影响等特点。

## 2 光伏发电系统孤岛检测原理分析与建模

### 2.1 光伏发电系统孤岛检测原理分析

图 1 为光伏发电系统并网运行原理图,断路器

收稿日期:2007-01-07;收到修改稿日期:2007-03-11

作者简介:张 东(1978-),男,助理工程师,研究方向为电气工程。

合闸时,光伏发电系统向 a 点提供功率  $P+jQ$ ; 负载得到功率  $P_{Load}+jQ_{Load}$ , 则电网提供功率为<sup>[7]</sup>:

$$\Delta P = P_{Load} - P \quad (1)$$

$$\Delta Q = Q_{Load} - Q \quad (2)$$

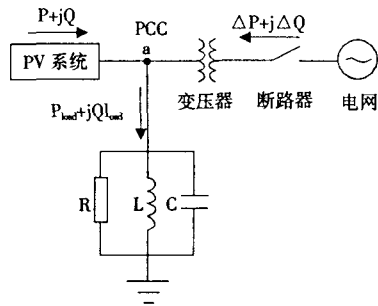


图1 光伏发电系统并网运行

一般情况下,光伏发电系统只向电网发送有功功率,则有  $Q=0, \Delta Q=Q_{Load}$ 。如图1所示,孤岛形成前瞬间,若  $\Delta P \neq 0$ , 则孤岛发生后,公共耦合点 a 点电压将发生变化。因此,可利用过压/欠压检测功能检测 a 点电压幅值变化来检测孤岛。但是,当光伏发电系统输出功率和负载功率相匹配,即  $\Delta P = \Delta Q = 0$  时,即使电网断电, a 点电压也不会发生变化,因此无法检测到孤岛的发生。此时,可采用相位突变检测方法来检测孤岛的发生<sup>[8]</sup>。

如图1所示,光伏发电系统并网工作时,其可视为一电流源,因此,公共耦合点 a 点电压取决于电网电压。一旦电网断电,即孤岛发生, a 点电压将取决于光伏发电系统输出电流和负载的乘积。由于光伏发电系统输出电流的频率和相位由锁相环控制,使得电流和电压只在电压过零点处同步,而在过零点外,电流频率和相位由系统内部正弦表决定,电流波形为正弦波。如图2所示,若电网未断电,则电压过零点处电流和电压的相位差为零。若电网断电,孤岛发生,由于电流为频率相位不变的正弦波,若负载呈感性,则电压将超前于电流,由此导致电压相位突变。所以,通过检测电压和电流之间的相位差的大

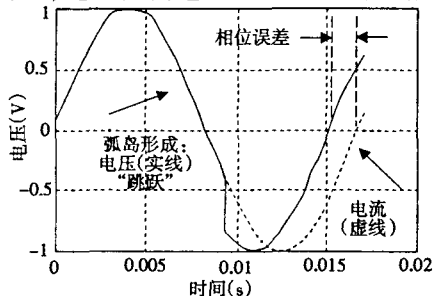


图2 感性负载情况的相位突变检测

小,可以判断孤岛的发生。同理,容性负载情况下,该检测方法同样有效。

## 2.2 光伏发电系统孤岛检测建模

本文针对提出的孤岛检测方法建立孤岛检测仿真模型。仿真模型主要包括以下几部分:负载模型、频率检测模型、电压控制模型、光伏发电系统模型、相位突变检测模型。

图3为孤岛检测模型总体框图。光伏发电系统并网工作时, Switch2 处于电网侧, 当孤岛发生后, Switch2 切换到开关另一侧, 光伏发电系统独立工作。电压控制模型用来实现过/低压孤岛检测功能, 相位突变检测模型用来实现相位突变孤岛检测功能。当检测到孤岛发生后, 孤岛检测模块发出控制信号, 使光伏发电系统停止工作。各模块模型及功能由 MATLAB 中的 Simulink 来实现。

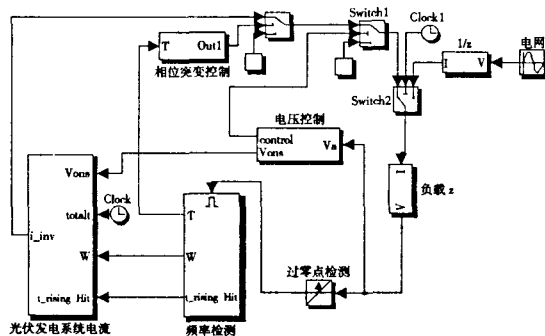


图3 孤岛保护模型

本文采用并联 RLC 负载, 其阻抗传递函数为:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Ls} + Cs} = \frac{RLs}{RLCs^2 + Ls + R} \quad (3)$$

由于标准传递函数要求分母的阶次不小于分子的阶数。因此,  $\frac{1}{Z}$  可由式(4)实现, 模型如图4。

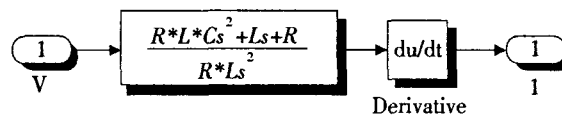


图4 1/Z子系统模型

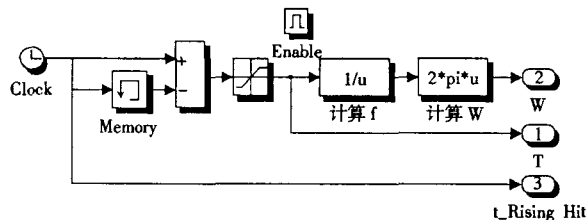


图5 频率检测子系统模型

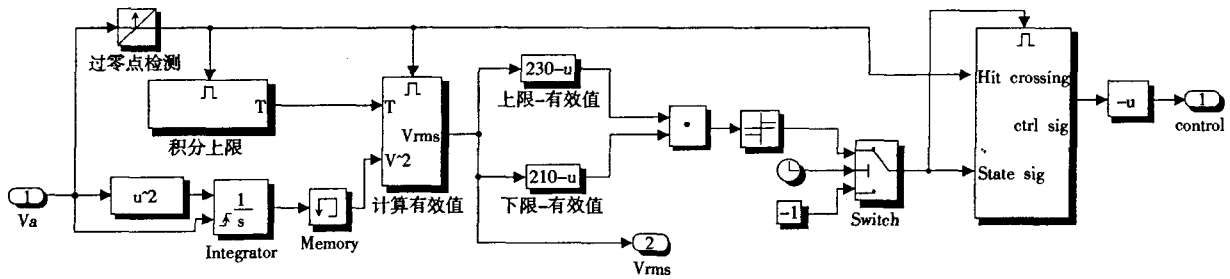


图 6 电压控制子系统模型

$$\frac{1}{Z} + \frac{1}{R} + \frac{1}{Ls} + Cs = \frac{RLCs^2 + Ls + R}{RLs^2} s = G(s) \frac{du}{dt} \quad (4)$$

图 5 为频率检测子系统模型。在每个电压正向过零点使能该子系统,进行检测并计算一次,两个正向过零点之间的时间间隔即为检测到的周期,取其倒数可以得到频率。

图 6 为电压控制子系统模型。如图所示,首先计算出检测点电压的有效值,计算公式如下:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{t_0}^t [V_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} \quad (5)$$

其中,  $V_{rms}$  为电压有效值,  $V_m$  为电压峰值。

得到电压有效值后,再和设定的故障电压阈值比较。孤岛发生后,若电压有效值超出故障电压阈值,该模块检测到孤岛并输出控制信号,使光伏发电系统停止工作。

图 7 为光伏发电系统子系统模型。系统可等效为一电流源,其参数计算公式为:

$$i_{pv} = I_m \sin(\omega(t-t_0)) \quad (6)$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2} P}{V \cos\theta} \quad (7)$$

$$\theta = \text{atan}\left[\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)R\right] \quad (8)$$

其中,  $i_{pv}$  为孤岛发生后光伏发电系统的输出电流,  $I_m$  为输出电流峰值,  $V$  为负载电压的有效值,  $P$  为光伏发电系统的输出功率,  $\theta$  为负载功率因数角。

图 8 为相位突变检测子系统模型。在每次电压过零点处检测电压和电流的相位差,然后和设定的故障相位阈值比较。孤岛发生后,相位差超出阈值,该模块检测到孤岛并输出控制信号,使光伏发电系统停止工作。该模块中设置了一个触发子模块 Avoid Reset,当检测到孤岛发生后,该模块输出信

表 1 系统参数

系统参数	数值
输出电压(RMS)	220V/50Hz
电阻	50ohm
电容	90.2uF
电感	80.3mH
欠压阈值(RMS)	210
过压阈值(RMS)	230
相角差绝对值	<3°

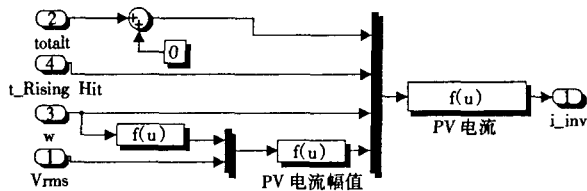


图 7 光伏发电系统电流子系统模型

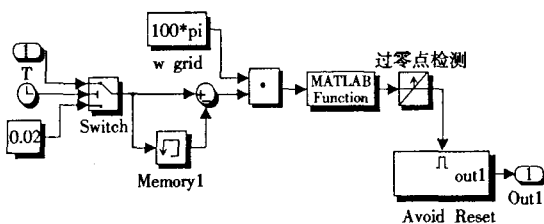


图 8 相位突变检测子系统模型

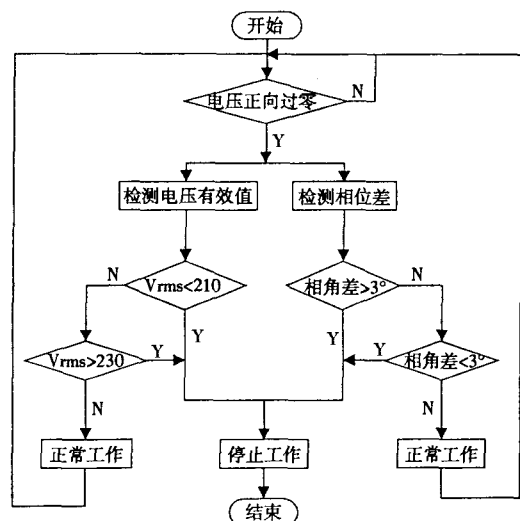


图 9 孤岛检测流程图

号,将光伏发电系统锁定在停止工作状态,防止其在孤岛情况下再次投入工作。

### 3 仿真结果

本文针对提出的组合式孤岛检测方法建立了孤岛仿真模型,并利用仿真软件 MATLAB 对仿真模型进行仿真研究。仿真参数设置如表 1 所示。根据上述分析可知,如图 1 所示,在每次公共耦合点 a 点电压正向过零点处,检测一次电压和电流的相位差。孤岛检测的流程图如图 9 所示。

设定在 0.8s 处发生孤岛现象,从图 10 可以看出,0.8s 后电网电流为 0,即电网断开,此时负载由光伏发电系统单独供电。由于光伏发电系统输出功率和负载功率不可能绝对匹配,与上文理论分析一致,仿真中负载电压会出现波动。当相位差或负载电压有效值超出预定阈值时,孤岛检测系统发出控制

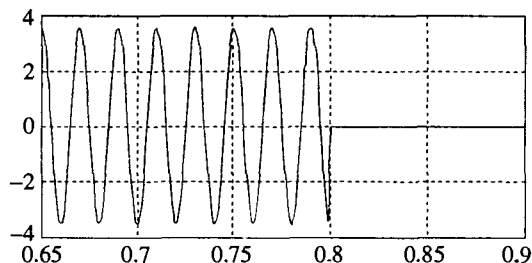


图 10 电网电流

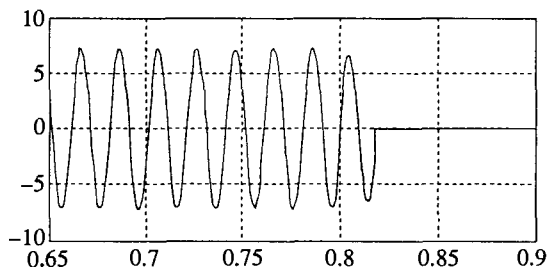


图 11 负载电流

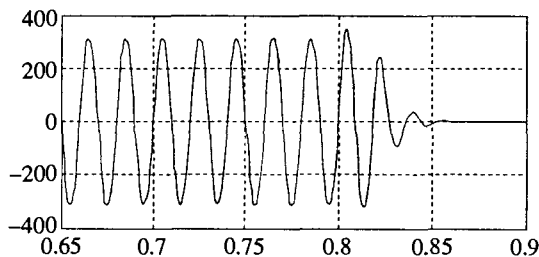


图 12 负载电压

信号,光伏发电系统停止工作。如图 11 所示,0.8185s 时系统检测孤岛现象,光伏发电系统停止工作,光伏发电系统提供的负载电流衰减至 0。此时,由于负载为 RLC 并联式负载,因此,如图 12 所示,当光伏发电系统停止供电时,其自身会发生衰减振荡,最后逐渐衰减至 0。

从仿真结果可以看出,从孤岛发生到孤岛检测并保护只需  $(0.8185-0.8000)s=0.0185s$ ,从而实现了光伏发电系统在短时间内有效的孤岛保护。

### 4 结论

光伏发电系统并网工作时可能发生孤岛现象,孤岛的发生会带来巨大危害。本文提出一种组合式孤岛检测方法,在理论分析的基础上,建立了孤岛检测仿真模型,并进行仿真研究。仿真结果表明,提出的组合式孤岛检测方法可以快速有效的检测到孤岛的发生并采取相应的保护措施,而且,该检测方法对电能质量无影响。因此,该检测方法具有较强的工程应用价值。

#### 参考文献

- [1] IEEE recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems[S].IEEE Std,2000:929-2000.
- [2] Kitamura,M. Okamoto, F. Yamamoto, et al. Islanding phenomenon elimination study at Rokko Test Center[C]. IEEE Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii, 1994:759-762.
- [3] 温祥杰. 从某体育中心的设计浅析太阳能光伏联网发电系统原理及技术[J].电气应用,2006,25(11):48-50.
- [4] 杨海柱,金新民,刘 洁.500W 光伏并网逆变器设计[J].国外电子元器件,2006,3:50-52.
- [5] 廖 华,许洪华,王 环.双支路光伏最大功率跟踪的并网逆变器的研制[J].太阳能学报,2006,27(8):824-827.
- [6] 陈厚岩,许洪华.3kW 光伏并网逆变器[J].可再生能源,2005,3:8-10.
- [7] 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.
- [8] Ropp M. Design issues for grid-connected photovoltaic systems [D]. Atlanta:Georgia Institute of Technology, 1998.