

光伏并网逆变器反孤岛检测方法研究

姚道如

(安徽职业技术学院,安徽 合肥 230011)

摘要:反孤岛效应检测是光伏并网发电系统必须具备的功能,要求既能快速检测孤岛现象,又要尽可能减少对电能质量产生不良影响。文章分析了一般被动和主动孤岛检测技术的基本原理,并指出了各自的优缺点及适应范围,提出了一种电流正反馈扰动孤岛检测方法,该方法消除了传统检测方法的检测盲区,对电能质量影响小,检测快,最后通过仿真证明了其有效性。

关键词:光伏并网逆变器;电流正反馈扰动;孤岛检测

中图分类号:TN712 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-9536(2010)02-0020-04

Abstract: Anti-islanding protection is a mandatory feature for grid-connected inverters. A desired islanding detection method can not only detect islanding within acceptable duration, but also have less adverse impact on power quality. This paper analyzes basic principles to passive islanding detection and active islanding detection, and points out application based on advantages and disadvantages. The current positive feedback disturbance method is proposed to solve the problem in the non-detection zone. It is showed that there is little influence on power quality and fast avting. The simulation results verify its effectiveness.

Key words: photovoltaic grid-connected inverters; current positive feedback disturbance; islanding detection

孤岛效应最先由美国 Sandia 国家实验室 (Sandia National Laboratories) 提供的报告提出。所谓孤岛效应是指在有光伏并网发电的供电系统中,如图 1 所示,如因天气影响、电网故障、电网检修、误操作等原因造成电网停电时,而并网逆变器却对负载输出电能,使光伏并网发电系统与周围的负载形成电力公司无法控制的自给供电孤岛。

孤岛现象会带来一系列严重后果^[1]:(1)对检修人员造成伤害,降低电网的安全性;(2)若光伏发电系统容量小于负载容量,造成过载运行;(3)

在孤岛状态时,逆变器输出电压和频率不稳定,可能对用电设备产生伤害;(4)对孤岛进行再次合闸会造成线路跳闸,也有可能损坏光伏发电系统。

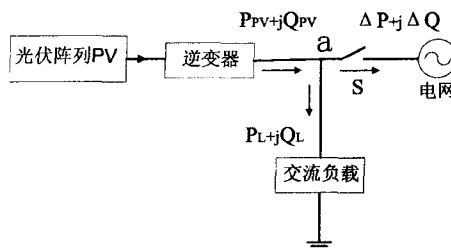


图1 光伏并网发电系统框图

收稿日期:2010-04-07

基金项目:安徽省高等学校省级自然科学基金项目(KJ2009B124)

作者简介:姚道如(1963—),男,安徽巢湖人,安徽职业技术学院副教授,硕士,研究方向:电气控制。

1 反孤岛要求

逆变器并网时,依据 IEEE2000—929 和 UL1741 标准,电网对逆变器的要求是所有并网逆变器必须具有反孤岛效应功能。并网逆变器必须具有自动检测孤岛状态的能力,在保证电能质量前提下,采用反孤岛技术,在孤岛现象出现时应快速准确地将光伏并网发电逆变器系统自动地从电网切除。

2 一般反孤岛检测方法

反孤岛效应的检测方法一般分为被动式和主动式两种。

2.1 被动式反孤岛检测方法

被动式检测是利用电网检测状态(如电压、频率、相位等)作为判断电网是否故障的依据,即在不改变输出特性的基础上对输出状态进行检测保护。主要方法有相位检测法、过电压/欠电压和高频/低频检测法、电压谐波检测法等。单纯的被动式检测技术都不同程度地存在一些局限性,不能很好地满足并网系统反孤岛效应的安全标准要求。

(1) 相位检测法

如图 1 所示,光伏系统并网运行时, a 点电压 U_a 等于电网电压 U_g [2]:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_g = U_m \angle \varphi_0 \quad (1)$$

式中: U_m —电网电压幅值; φ_0 —电网电压初始相位。

孤岛发生后, a 点电压 \dot{U}_a 由光伏系统输出电流 \dot{I}_{pv} 和负载阻抗 Z 决定:

$$\dot{U}_a = \dot{I}_{pv} Z = I_m |Z| \angle (\varphi_0 + \varphi) \quad (2)$$

式中: I_m —光伏系统额定输出电流幅值; φ —负载阻抗角。

比较式(1)、(2)可看出,孤岛发生后, a 点电压 U_a 相位由 φ_0 突变为 $\varphi_0 + \varphi$,可通过 a 点电压相位突变检测方法来判断孤岛现象的发生,从而断开或关闭光伏发电系统。

此方法只适合非纯阻性负载,而对于纯阻性负载,由于 φ 接近零,无法使用该方法检测孤岛现象,存在检测盲区。

(2) 过电压/欠电压和高频/低频检测法

在图 1 中, PV 系统并网运行时,有功及无功功率关系如下:

$$\Delta P + P_{pv} = P_L \quad (3)$$

$$\Delta Q + Q_{pv} = Q_L \quad (4)$$

式(3)、(4)中, ΔP 、 ΔQ 为电网向 a 点提供的有功功率和无功功率; P_{pv} 、 Q_{pv} 为 PV 系统向 a 点提供的有功功率和无功功率; P_L 、 Q_L 为负载得到的有功功率和无功功率。

孤岛现象发生后,如果 ΔP 或 ΔQ 很大,则 PV 系统输出电压或频率会发生很大变化,当电压或频率变化超出允许范围时,孤岛现象将被检测到;如果 ΔP 或 ΔQ 较小, PV 系统输出电压或频率变化没有超出允许范围,孤岛现象不会被检测到存在检测盲区。

(3) 电压谐波检测法

在图 1 中, PV 系统并网正常工作时,由于电网网络阻抗小, a 点电压总谐波畸变率很小;孤岛发生后, a 点电压由谐波电流和负载阻抗决定,由于负载阻抗大,产生很大谐波,则通过谐波检测的方法来判断孤岛的发生。但由于负载的非线性,谐波检测的动作阈值不易确定,使该方法受到限制。

2.2 主动式反孤岛检测方法

主动式反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,检测不到这些扰动;一旦电网出现故障,逆变器输出的扰动将很快累积并超出允许范围,实现快速检测。

主动式反孤岛检测技术无非通过扰动引起电流幅值、相位、频率、谐波及输出功率等响应来检测孤岛,目前常用方法有移频法、移相等。

(1) 移频法

移频法主要有主动移频法(active frequency

drift, AFD)等。

AFD是一种常用的主动检测方法,其原理是:通过将公共点处电压的频率值进行偏移后作为逆变器输出电流的参考频率来进行孤岛检测,逆变器输出在每周期和市电的上升沿过零锁相的同时,实时调整频率,逆变器输出频率 f 由电网电压的频率 f_0 加上一个小的偏置 Δf 得到。PV系统正常并网工作时,图1公共 a 点的电压波形由电网电压决定,所以逆变输出的频率基本不变,为 $f_0 + \Delta f$ (Δf 在并网标准允许内);但电网断开出现孤岛后,逆变器检测到的频率不再是稳定的值,而是以逆变器上个周期发出的电压频率为参考,再加上一个偏置,几个周期后,逆变器输出频率不断偏移,直至超出正常频率范围,孤岛被检测到^[3]。

AFD检测法的扰动信号是按单一方向对逆变器输出频率进行扰动的,当电网发生故障且负载特性不同时,逆变器的输出频率变化方向有可能与扰动信号方向相反,导致其输出频率误差累积较慢,使孤岛检测时间延长;当负载对逆变器输出频率的平衡作用抵消频率扰动的作用时,无法检测出孤岛。

(2) 移相法

移相法主要有滑模频率偏移法 (Slip-Mode Frequency Shift, SMS) 等。

滑模频率偏移法通过控制逆变器的输出电流,使其与公共点电压之间存在一定的相位差,断网时,公共点频率偏离正常范围,孤岛被检测。

引入相角偏移 θ_{SMS} , SMS下并网 PV系统输出电流 i_{PV} ^[4] 为:

$$i_{PV} = I_m \sin(2\pi f_a t + \theta_{SMS}) \quad (5)$$

其中

$$\theta_{SMS} = \theta_m \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_a - f_g}{f_m - f_g}\right) \quad (6)$$

式(5)、(6)中, f_a 为公共点频率; θ_m 为 SMS算法的最大相移; f_g 为电网频率; f_m 为产生最大相移

时对应的频率。

电流 i_{PV} 与公共点电压 v_a 的相位差受 SMS算法和 RLC 负载相位角 $\angle G(j\omega)$ 影响,当满足关系(7)、(8)时,公共点电压相位就会始终超前或滞后电流相位,使频率单向增大或降低,孤岛被检测。

$$\theta_{SMS} + \angle G(j\omega) > 0 \quad f_a \geq f_g \quad (7)$$

$$\theta_{SMS} + \angle G(j\omega) < 0 \quad f_a \leq f_g \quad (8)$$

该方法存在随着负载品质因数增加而产生的孤岛检测失败可能性变大的缺点。

3 电流正反馈扰动检测方法

对于 a 点电压 $U_a < 110\% U_m$ 或 $U_a > 110\% U_m$ 时,孤岛容易检测,这里不再赘述。而对于 a 点电压为 $88\% U_m < U_a < 110\% U_m$ 时,针对上述检测方法的不足,本文提出了一种电流正反馈扰动检测方法,引入电流反馈电流 I_d 到光伏逆变器输出电流 i_{PV} 中,见式(9)。

$$i_{PV} = (I_m + I_d) \sin \omega_0 t \quad (9)$$

式(9)中:

$$I_d = k(U_a - U_m)^2 \quad \text{当} \quad 88\% U_m < U_a < 110\% U_m \quad \text{且} \quad U_a \neq U_m \quad (10)$$

$$I_d = kU_d^2 \quad U_a = U_m \quad (11)$$

式(11)中, U_d 为周期扰动量。

孤岛检测流程图如图2所示。

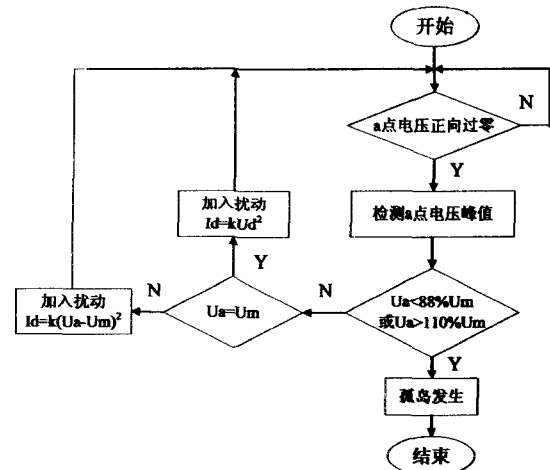


图2 孤岛检测流程图

4 仿真结果

根据上述所提方案进行仿真,取仿真参数:电网电压 220V/50Hz, PV 系统输出功率 1.5kW, 负载 $R=48\Omega$ 、 $L=65\text{mH}$ 、 $C=172\mu\text{F}$ 、 $K=0.007$ 、 $U_d=2$ 。设置 0.145s 孤岛发生,如图 3 所示,此时, PV 系统输出功率和负载功率平衡, a 点电压峰值不变,孤岛无法被检测,加入扰动后, a 点负载电压下降, 2 个工频周期后, a 点负载电压超过预设阈值,如图 4 所示,系统检测到孤岛, PV 停止工作,如图 5 所示。

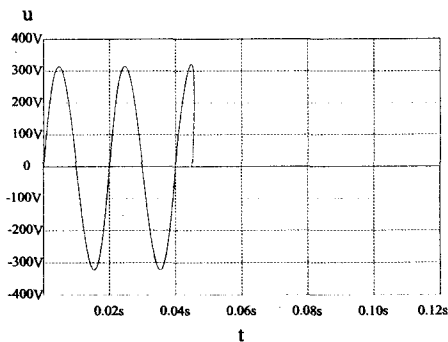


图3 电网电压

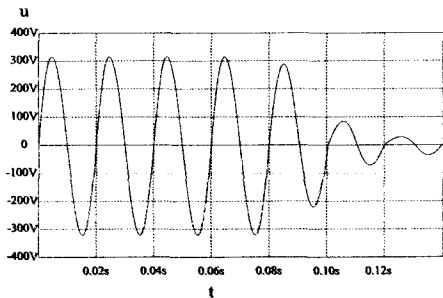


图4 a点负载电压

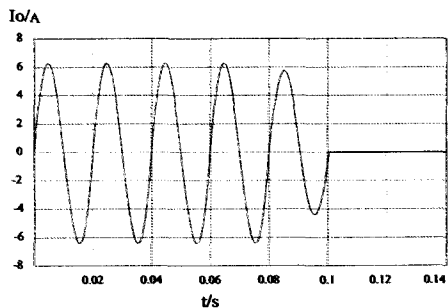


图5 PV系统输出电流

5 结束语

本文分析了一般被动和主动反孤岛检测方法的优缺点,并在此基础上提出了一种电流正反馈扰动的反孤岛检测方法,通过理论分析,该方法消除了传统检测方法的检测盲区,对电能影响小,检测快,最后通过仿真证明,该方法是有效的。

参考文献:

- [1] 张东,吴俊娟,潘蕾. 光伏并网逆变器孤岛检测技术研究[J]. 中国测试技术, 2007, 33(4): 67-70.
- [2] 赵清林,郭小强,邹伟扬. 光伏发电系统孤岛保护建模与仿真研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(7): 721-726.
- [3] WOYTE A, BELMANS R, NIJS J. Testing the islanding protection functions of photovoltaic inverter [C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting. Toronto, Canada, 2003: 157-162.
- [4] Sun H L, LOPES L, Luo Z X. Analysis and comparison of islanding detection methods using a new load parameter space[C]. 30th IEEE Industrial Electronics Society Conference, Korea, 2004: 1172-1177.

(责任编辑:张书诚)