

含源配电系统孤岛运行状态特征识别与诊断

伍 盛

(国网德阳供电公司 ,四川 德阳 618000)

摘 要: 孤岛效应是分布式发电中较为重要的问题。现有的孤岛检测方法通常分为三类: 即有源孤岛检测方法、无源孤岛检测方法和基于通信的孤岛检测方法。重点研究了 OVP/UVP 方法, 并通过修正分布式电源 DG 的 $P-V$ 特性斜率来改进了 OVP/UVP 方法, 修正其斜率为正能有效地减小不可检测区, 修正其斜率为负将增大其不可检测区。

关键词: 分布式发电; 逆变器; 孤岛; 不可检测区; 特征识别; 诊断

Abstract: Islanding is a relatively important problem in distributed generation. The existing islanding detection methods are usually divided into three kinds, namely active islanding detection method, passive islanding detection method and islanding detection method based on communication. The OVP/UVP method is mainly studied and it is improved through correcting the slope of $P-V$ characteristics in distributed generation (DG). It can effectively decrease the non-detection zones by amending the slope to be positive, and it can increase its non-detection zones by amending the slope to be negative.

Key words: distributed generation; inverter; island; non-detection zone; feature identification; diagnosis

中图分类号: TM763 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)06-0069-04

1 形成孤岛的原因和影响

1.1 孤岛形成的原因

(1) 频率或电压越限。当系统频率或者电压超过上下边界条件时, 将引起联网电气保护装置的动作。如果是线路和变压器的后备保护装置动作, 将使得电网与分布式电源断开连接, 形成孤岛。

(2) 并网设备故障。电力系统的设备均是通过线路与分布式电源连接于并网耦合点 (point of common coupling, PCC)。如果并网设备故障, 将引起线路保护装置动作, 跳开故障线路。如果连接于 PCC 所有电网线路均断开, 分布式电源与系统电网隔离开来, 形成孤岛。

(3) 失步保护动作。在配电网中, 分布式电源与主系统之间的联系很微弱, 如果包含分布式旋转电源的配电网与主电网失步时, 失步保护装置将动作, 断开并网线, 形成孤岛。

1.2 孤岛形成的影响

(1) 孤岛情况使得电压和频率失去控制, 如果分布式发电装置没有电压调节能力和频率调节能力, 并且也没有电压和频率保护继电器来限制电压和频率的偏移, 孤岛部分的电压和频率可能发生大

的波动, 这可能将对用户设备造成危害。

(2) 孤岛部分重新接入电网时, 可能由于失步问题对电网中的断路器等设备造成损坏, 并可能产生很大的冲击电流, 产生的冲击电流可能损坏孤岛部分的分布式发电设备, 甚至引起电网的再次跳闸。

(3) 孤岛情况可能导致不能清除接地故障或相间短路故障, 可能对电网设备造成损坏, 并且干扰电网的正常供电的自动和手动恢复。

(4) 孤岛情况使得一些被认为与电网断开连接的电路带点, 这使得运行检修人员误将孤岛带电部分作为断电部分, 如果此时不正规的操作, 可能危及检修人员的人身安全。

2 孤岛检测方法

目前对于孤岛研究的方法多种多样。基本可以分为 3 类: 有源孤岛检测方法、无源孤岛检测方法和基于通信的孤岛检测方法。

有源孤岛检测方法通常是对系统施加一定的扰动量, 这种扰动量可以是正序电流或负序电流幅值、电流相位、输出有功功率、输出无功功率等。然后观察这些扰动量对系统的影响。如果受扰后的系统能保持频率和电压幅值在规定范围内的稳定运行, 那

么可以判定系统处于分布式电源与电网并列运行的正常状态;如果受扰后负荷侧的频率或电压幅值超过其上下边界,可以判定分布式电源与电网已经断开连接。

无源检测方法就是通过监测系统的实际运行时的参数,并与规定的对应参数的上下边界相比较,来判定系统参数在监测的时候是否越界,进而通过比较分析来判定分布式电源是否与电网隔离开来。

基于通信的孤岛检测方法的不可检测区小到可以忽略,但是这种方法比前两种方法更昂贵,虽然可靠却不经济,也没能得到最广泛的应用。

3 OVP/UVP 孤岛检测法

采用大电网经过断路器与分布式电源和负荷接于并网耦合点 PCC。图 1 所示的系统由一个具有阻抗的大电源,用并联 RLC 支路表示的负荷和一个基于逆变器的输出有功功率为 100 kW 的分布式发电装置组成。

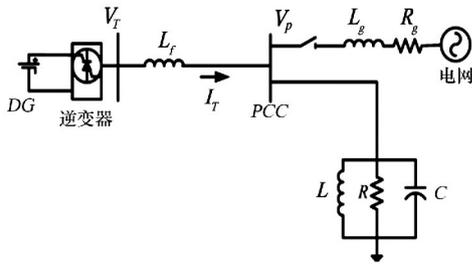


图 1 待研究的系统结构

3.1 孤岛检测方法

下面重点研究了 OVP/UVP 孤岛检测方法下的不可检测区问题。所以着重讨论负荷的 $P-V$ 特性曲线。负荷和分布式电源的 $P-V$ 曲线如图 2 所示。

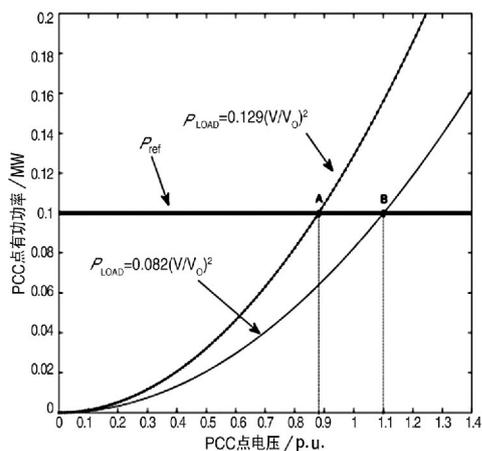


图 2 负荷和分布式电源的 $P-V$ 曲线

分布式电源输出恒定有功功率 100 kW,它与 129 kW 和 82 kW 的负荷分别交与点 A 和点 B。点 A 和点 B 称作孤岛运行点。从图 2 上可以看到,点 A 对应的电压为 $0.88 V_{p.u.}$,点 B 对应的电压为 $1.1 V_{p.u.}$,其中 $V_{p.u.}$ 为额定电压标么值 1。根据 IEEE Std 1547 的标准规定,电压为额定电压的 88% ~ 110% 均为正常范围。所以,如果 OVP/UVP 方法测量得到的电压在额定电压的 88% 到 110% 之间时,将无法检测出孤岛情况,也就是说如果负荷的 $P-V$ 曲线处于上述 129 kW 和 82 kW 的 $P-V$ 特性曲线之间时,那么该负荷处于不可检测区。

可以看到,造成不可检测区的原因之一就是恒功率输出曲线。不可检测区的大小与分布式发电的参考功率设置有关。下面分别讨论斜率正或为负的情况。

3.2 参考有功功率曲线斜率为正的情况

假设参考有功功率斜率为正,例如 $a = 0.05, b = 0.05$ 。参考有功功率 P_{ref} 的表达式为

$$P_{ref} = 0.05 V_{p.u.} + 0.05$$

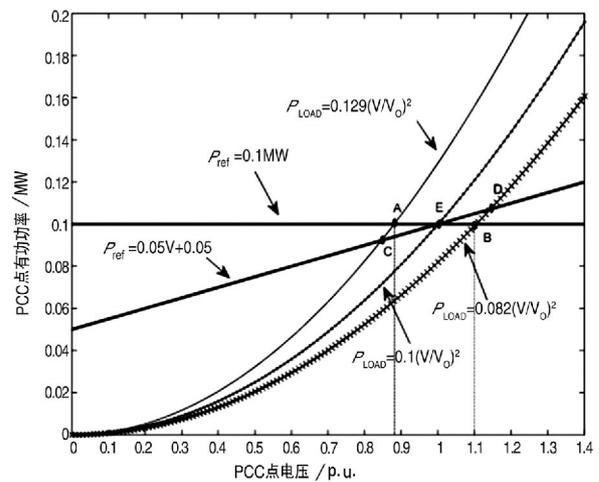


图 3 斜率为正时的 DG 和负荷 $P-V$ 特性曲线

如图 3 所示,100 kW 的负荷与 DG 的有功功率曲线交于点 E,此时输出有功功率 100 kW,电压的标么值为 1.82。129 kW 和 82 kW 的负荷分别与恒 DG 参考有功输出曲线 ($P_{ref} = 0.1$) 交于点 A 和点 B,与修正后的 DG 参考有功功率曲线 ($P_{ref} = 0.05 V_{p.u.} + 0.05$) 交于点 C 和点 D。从图上可以看出,点 A 和点 B 正好处于电压的边界条件下;点 C 的电压小于 0.88 p.u.,小于电压边界的下限;点 D 的电压大于 1.1 p.u.,大于电压边界的上限。此时,运用 OVP/UVP 方法将很容易地检测出电压越限,判断出孤岛

情况的发生。如果 DG 参考有功功率的曲线为恒定的直线 0.1 MW, 对于 82 kW 和 129 kW 负荷所对应的电压正好位于电压的边界条件上, 即点 A 和点 B, 将无法检测出孤岛情况。所以, 通过修正使 DG 参考有功功率曲线的斜率 a 为正, 在一定程度上减小了 OVP/UVP 方法的不可检测区。

3.3 参考有功功率曲线斜率为负的情况

下面讨论当 DG 的参考有功功率曲线斜率为负的情况。具体方法同上, 假设 $a = -0.06$ $b = 0.16$ 。参考有功功率 P_{ref} 的表达式为

$$P_{ref} = 0.06 V_{p.u.} + 0.16$$

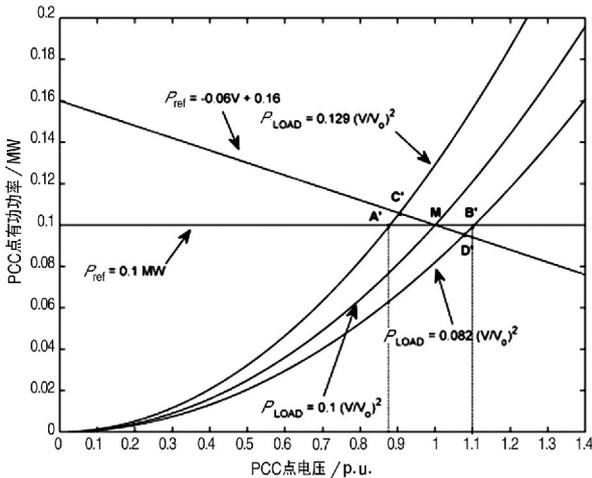


图 4 斜率为负时的 DG 和负荷 $P-V$ 特性曲线

图 4 表示了 3 种负荷状态和 DG 的 $P-V$ 特性曲线。类似的, 100 kW 负荷曲线与 DG 的修正后的参考有功功率曲线交于点 M, 点 M 的有功功率输出为 0.1 MW, 电压为 1 p.u.。82 kW 和 129 kW 的负荷曲线与修正后的 DG 输出功率曲线分别交与点 C' 和点 D'。点 C' 的电压在 0.9 p.u. 到 1 p.u. 之间, 点 D' 的电压在 1 p.u. 到 1.1 p.u. 之间, 均在电压的允许范围内。此时, 情况比恒有功功率输出时更加糟糕, 运用 OVP/UVP 方法将不能检测出孤岛情况。当斜率为负时, 使运行点的电压更加接近于 1 p.u., 这使得不可检测区不但没有减小, 反而扩大了。假如负荷是接近于边界负荷的某个值, 例如 130 kW 和 80 kW, 如果是恒定的有功输出曲线, 交点应该超过了电压的边界条件, 用 OVP/UVP 方法能测出孤岛状态。但是由于修正后的 DG 参考有功功率曲线使得交点电压将更加接近于额定值, 即原本运用 OVP/UVP 孤岛检测方法能测到的负荷情况变得不能检测到, 扩大了不可检测区。所以, 通过修正 DG 参考有功功率曲线为负斜率的方法不可行。

3.4 寻找减小不可检测区的最优斜率

比较图 3 和图 4, 可以看出用正斜率的 $P-V$ 特性曲线能减小不可检测区, 用负斜率的 $P-V$ 特性曲线反而会增大不可检测区。为了更好地减小不可检测区, 所选择的 $P-V$ 特性斜率必然为正, 不妨考虑斜率为正时的极限情况, 即将 DG 参考有功功率曲线的斜率设置为点 C 的切线。

$$P_{ref} = 0.2 V_{p.u.} - 0.1$$

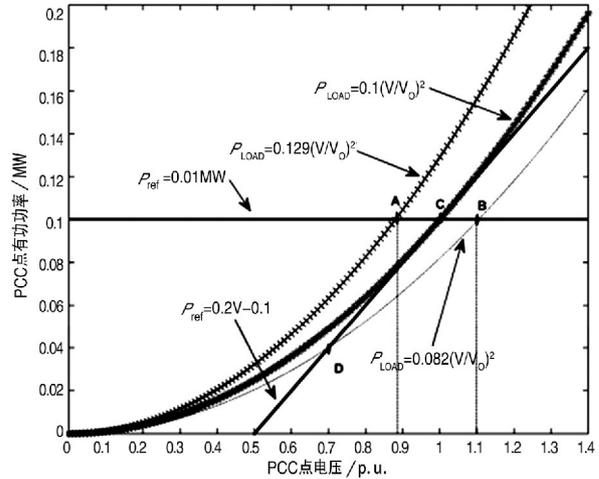


图 5 斜率为点 C 的切线时 DG 和负荷 $P-V$ 特性曲线

图 5 表示了 3 种负荷状态和上式中的 DG 的 $P-V$ 特性曲线。100 kW 负荷和 DG 的有功功率曲线相交于点 C, C 点的有功功率为 100 kW, 电压为 1 p.u.。对于大于 100 kW 的负荷, DG 的参考有功功率曲线与负荷曲线不相交, 即当负荷大于 100 kW 时, DG 和负荷没有交点, 也就是说 DG 不能带动大于 100 kW 的负荷稳定运行。对于 82 kW 负荷, DG 的参考有功功率曲线与负荷曲线交于点 D, 另外一点不在框图内。通过这样的修正, 最大程度地使孤岛运行电压偏离了额定值, 这使得用 OVP/UVP 方法能很好地检测出孤岛情况, 即最大程度地减小了不可检测区。

3.5 建模与仿真

在 PSCAD/EMTDC 环境下完成了对系统的建模和仿真。对于图 1 所示的待研究的系统结构, 选择一个恒定直流电压源代替 DG, 取 $dcV = 0.9$ kV, $L_f = 2.1$ mH, DG 的输出有功功率为 100 kW。负荷参数 $R = 2.304 \Omega$, $L = 3.395$ mH, $C = 2.075$ mF。电网参数频率 $f = 60$ Hz, 电抗 $L_g = 0.3056$ mH, 电阻 $R_g = 0.012 \Omega$ 。控制器参数 $K_i = 0.0008$, $K_p = 2.5$, $K_1' = 0.1$, $K_p' = 20$ 。直流电压源通过逆变电路逆变为三相交流电压, 然后经电抗 L_f 接于 PCC, 阻抗分别为

R_g 和 L_g 的大电网通过断路器 BRK 接于 PCC, 负荷也接于 PCC。断路器 BRK 在 $t = 3$ s 时断开, 在 $t = 7$ s 时重新合上。

仅从理论上分析应该得到的仿真波形。对于 82 kW 的负荷 P_{ref} 设为 100 kW 恒定值, 电压稳定在 1.1 p. u. 附近, 负荷的有功功率自动调节为 100 kW。当采用正斜率时, 电压和有功功率将跳变比为 1.1 p. u. 和 100 kW 更大的值, 对应的 D 点。当斜率为负时, 电压和有功功率将低于 1.1 p. u. 和 100 kW 相当于对应的 D' 点。所以, DG 的 $P - V$ 特性斜率为正时能减小不可检测区, 斜率为负时将增大不可检测区。

对于 100 kW 的负荷, 3 个 DG 的 $P - V$ 特性曲线的电压和有功功率稳定在 1.1 p. u. 和 100 kW 相当于点 E 和点 M。OVP/UVP 方法在这样的条件下将很难检测出孤岛情形。当采用正斜率时, 电压和有功功率将跳变比为 0.88 p. u. 和 100 kW 更小的值, 对应的 C 点。当斜率为负时, 电压和有功功率将略大于 0.88 p. u. 和 100 kW 相当于对应的 C' 点。同样的, DG 的 $P - V$ 特性斜率为正时能减小不可检测区, 斜率为负时将增大不可检测区。对于 129 kW 的负荷条件下也有同样的结论。

所以, 理想的仿真波形应该是能支持所提的改进后的 OVP/UVP 孤岛检测方法。调节 DG 的 $P - V$ 特性曲线斜率为正能减小 OVP/UVP 孤岛检测方法的不可检测区, 调节 DG 的 $P - V$ 特性曲线斜率为负将增大 OVP/UVP 孤岛检测方法的不可检测区。

4 结 论

孤岛情况可能会对电力系统和运行检修人员产生极大的危害, 因此, 必须重视并逐步完善孤岛检测

(上接第 60 页)

[19] Pucci M, Cirrincione M. Neural MPPT Control of Wind Generators with Induction Machines without Speed Sensors [J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2011, 58(1): 37-47.

[20] Welfonder E, Neifer R, Spanner M. Development and Experimental Identification of Dynamic Models for Wind Turbines [J]. Control Engineering Practice, 1997, 5(1): 63-73.

方法。首先分析了孤岛形成的原因, 目前孤岛检测方法分类以及各种方法的原理和优缺点。所研究的方法主要对 OVP/UVP 方法进行了改进。通过修正 DG 的 $P - V$ 特性曲线的斜率来减小 OVP/UVP 方法的不可检测区。当 DG 的 $P - V$ 特性曲线斜率为正时, 能有效减小 OVP/UVP 方法的不可检测区; 当 DG 的 $P - V$ 特性曲线斜率为负时, 反而会增大 OVP/UVP 方法的不可检测区。当斜率为额定运行点(电压为 1 p. u., 功率为额定功率 100 kW)的切线时, 不可检测区可以控制到最小。

参考文献

[1] 刘天琪, 邱晓燕. 电力系统分析理论 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[2] 丁磊. 多微网配电系统的分层孤岛运行及保护控制 [D]. 济南: 山东大学, 2007.

[3] 伞国成, 赵清林, 郭小强, 等. 光伏并网逆变器的间歇性频率扰动正反馈孤岛检测方法 [J]. 电网技术, 2009, 33(11): 83-86.

[4] 程明, 张建忠, 赵俊杰. 分布式发电系统逆变器侧孤岛检测及非检测区描述 [J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(4): 44-52.

[5] 姚丹. 分布式发电系统孤岛效应的研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.

[6] 殷桂梁, 孙美玲, 肖丽萍. 分布式发电系统孤岛检测方法研究 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(1): 1-6.

[7] 褚小莉. 光伏并网中的孤岛效应研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.

[8] 曾议. 分布式并网发电系统孤岛检测研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2009.

作者简介:

伍 盛(1981), 国网德阳供电公司, 工程师。

(收稿日期: 2014-07-21)

[21] Leonhard W. Control of Electrical Drives [M]. Springer, 2001.

作者简介:

田永贵(1988), 硕士研究生, 研究方向为风力发电、非线性变结构控制;

王 奔(1960), 博士, 教授, 研究方向为电力系统非线性变结构控制与电能质量控制。

(收稿日期: 2014-07-07)