

微电网孤岛运行时的负荷削减策略

纪欣颖, 荣园园, 鞠 勇, 居 荣

(南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对利用频率变化率和等效转动惯量求取功率缺额存在精确性较差的问题, 提出了一种改进的微电网功率缺额求取方法. 根据微电网频率变化率和近似等效转动惯量求出第一次负荷切除量, 再利用微电网的频率变化信息进行第二次切负荷, 通过两次切负荷以保证微电网的安全、稳定运行. 仿真结果表明, 改进后的方法在求取有功缺额时不依赖微电网等效转动惯量的准确参数, 具有更好的优越性、准确性和快速性.

[关键词] 分布式电源, 微电网, 孤岛, 负荷削减

[中图分类号] TM743 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2018)01-0037-04

The Load Shedding Strategy of Isolated Microgrid

Ji Xinying, Rong Yuanyuan, Ju Yong, Ju Rong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: Aiming at the inaccuracy caused by power shortage method using frequency change rate and equivalent moment of inertia, the paper proposes an improved algorithm to enhance accuracy of the power shortage of microgrid. To begin with, the load capacity to be curtailed for the first time is calculated according to the frequency change rate and the approximate equivalent moment of inertia of microgrid. And then, the second load curtailment is conducted in line with the frequency change information from the microgrid after the first time. As a result, safe and stable microgrid operation can be achieved by two times of load curtailment. Simulation results show that the improved algorithm can calculate the power shortage without depending on the accurate parameters of equivalent moment of inertia of microgrid, and that it is more superior, accurate and rapid.

Key words: distributed power, microgrid, islanding, load shedding

微电网是一种由分布式电源、负荷、储能装置、变流器以及监控保护装置组成的小型配电系统, 是一个能够实现自我控制和管理的自治系统^[1-3]. 微电网具有并网运行和独立运行两种运行模式. 在并网模式下, 微电网与中/低压配电网并网运行, 互为支撑, 实现能量的双向交换. 在配电网发生故障时, 微电网通过断开公共连接点形成一个独立的系统, 称为孤岛微电网. 孤岛微电网作为微电网的一种特殊形式, 完全利用自身的分布式电源满足系统内负荷的长期供电需求^[4-5]. 由于储能装置能量有限, 会出现微电网供电能力不足、能量不平衡的情况. 负荷削减是抑制微电网频率下降和维持频率稳定的方法. 当系统遭受大扰动, 出现大功率缺额时, 应及时切除部分负荷, 维持功率平衡, 防止系统频率崩溃.

由于微电网是一个小型独立的系统, 分布式电源分散接入、功率小、等效转动惯量差等因素, 孤岛微电网的负荷削减策略不能完全沿用传统电网中的方法, 因此需要进行相应的改进, 探求适合孤岛微电网的负荷削减方法. 文献[6]利用微电网中存在频率变化率和等效转动惯量之间的关系, 通过仿真验证求出孤岛微电网的等效转动惯量, 最后求取系统的功率缺额. 该方法得到的孤岛微电网等效转动惯量是估算值, 并不准确, 且仅依靠一次切负荷很难使微电网恢复稳定. 文献[7]利用 PID 控制器构成频率的闭环控制回路, 当系统出现功率缺额时, 及时调整 PID 算法, 采用粗调轮与细调轮相配合, 同时利用紧急启动轮的策略协调控制. 此方法所需时间较长, 不能及时切除负荷使微电网恢复稳定. 文献[8]考虑到系统出现功率不平衡, 频率下降时, 负荷吸收的功率也会下降, 利用该特点提出了一种计及负荷频率特性的低频减载方案, 优先切除频率调节系数小的线路. 此方法面向的是大电网, 不适合微电网. 文献[9]基于多代理系统的微电网框架结构, 孤岛模式下

收稿日期: 2017-08-22.

通讯联系人: 鞠勇, 硕士生导师, 高级实验师, 研究方向: 电力系统及其自动化. E-mail: juyong@njnu.edu.cn

总代理模式切换到紧急模式,通过各代理间的信息交互调节分布式电源的输出,并在功率不平衡时切除负荷保证微电网安全稳定运行,但负荷切除量也不准确。

本文提出一种改进的微电网功率缺额求取方法. 根据微电网的频率变化率和近似等效转动惯量求出第一次负荷切除量,再利用微电网的频率变化信息进行第二次切负荷,通过两次切负荷来保证微电网的安全、稳定运行。

1 孤岛微电网模型

在 PSCAD/EMTDC 中建立典型的微电网模型如图 1 所示. 微电网仿真模型主要包含光伏发电系统、微型燃气轮机发电系统、蓄电池储能装置及负载. 其中,光储联合功率为 240 kW,光伏模块采用最大功率跟踪控制,在光照强度和温度变化的情况下,通过控制环节始终保持光伏电池发出最大功率. 微型燃气轮机额定功率为 200 kW,其发出功率可根据微电网运行状态调整。

2 孤岛微电网负荷削减策略

当微电网孤岛出现功率不平衡时,存在如下关系:

$$\frac{2H_a}{f_n} \frac{df}{dt} = \Delta P. \quad (1)$$

式中, H_a 为惯性时间常数, f_n 为额定频率, ΔP 为系统的功率缺额。

由式(1)可知,需要根据微电网系统的等效转动惯量来求出系统的功率缺额. 由于微电网中分布式电源的出力与负荷功率总是在不停的变化,所以不论是采用估算或仿真实验的方法,等效转动惯量的值都难以准确确定. 针对利用频率变化率和等效转动惯量求取功率缺额的方法精确性较差,本文提出了一种改进的微电网功率缺额求取方法。

首先设定第一次切负荷的频率阈值为 f_{set1} ,若第一次切负荷量后系统频率未恢复到稳定值,则频率会继续下降,所以设定第二次切负荷的频率阈值为 f_{set2} . 且总功率缺额为 ΔP ,两次切负荷大小分别为 ΔP_1 和 ΔP_2 . 根据系统的等效转动惯量相同可得

$$\frac{2H_a}{f_n} \frac{df}{dt_{t=t_1}} = \Delta P, \quad (2)$$

$$\frac{2H_a}{f_n} \frac{df}{dt_{t=t_2}} = \Delta P - \Delta P_1. \quad (3)$$

由此可得第一次切负荷量为

$$\Delta P_1 = K \frac{2H_a}{f_n} \frac{df}{dt_{t=t_1}}. \quad (4)$$

其中, K 为首次切负荷例系数,取值为 0.5.

由式(2)变换可得

$$\frac{2H_a}{f_n} = \frac{\Delta P}{df/dt_{t=t_1}}. \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)可得

$$\Delta P = \frac{\frac{df}{dt_{t=t_1}}}{\frac{df}{dt_{t=t_1}} - \frac{df}{dt_{t=t_2}}} \Delta P_1. \quad (6)$$

由此得到第二次切负荷的量为

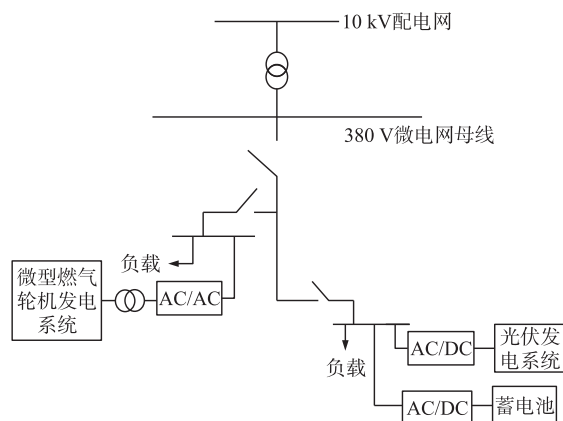


图 1 微电网结构图

Fig. 1 Structure of a microgrid

$$\Delta P_2 = \Delta P - \Delta P_1 = \frac{\frac{df}{dt_{t=t_2}}}{\frac{df}{dt_{t=t_1}} - \frac{df}{dt_{t=t_2}}} K \frac{2H_a}{f_N} \frac{df}{dt_{t=t_1}}. \quad (7)$$

改进后的低频减载策略不依赖于对微电网的等效转动惯量的准确计算,它是一种基于频率变化率及第一次切负荷后的反馈信息的微电网孤岛时紧急切负荷控制策略. 当频率下降时,首次切除负荷量由等效惯量的近似值确定,若第一次切负荷后频率未恢复到稳定值,则根据频率变化率的值和首次切负荷的量得到需要补充切负荷的量值. 经过两次负荷的切除,能够比较准确地消除微电网孤岛时产生的功率缺额,且比多轮次动作用时更短,能够较好地保证微电网安全稳定运行.

3 仿真验证分析

系统仿真时间为 3 s,当微电网稳定运行后,开始增加负荷,模拟过负荷的情况,由图 2 可知,当微电网中的分布式电压出力小于负荷需求时,系统的频率会下降. 设定两次切负荷动作的频率值分别为 $f_{\text{set1}} = 49.7 \text{ Hz}$ 和 $f_{\text{set2}} = 49.6 \text{ Hz}$. 在微电网母线频率第一次到达设定值 49.7 Hz 时,切负荷动作开始,根据图 3 微电网母线的频率变化率 df/dt 可以求出切负荷的量.

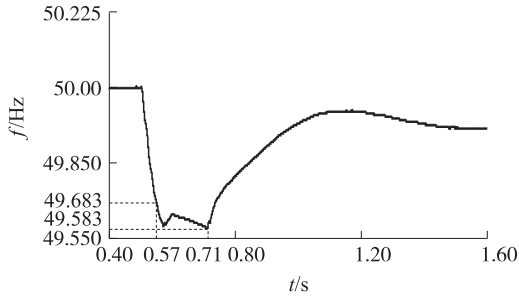


图 2 微电网母线的频率

Fig. 2 Microgrid bus frequency

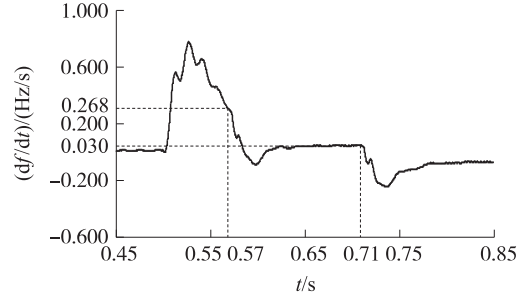


图 3 微电网母线的频率变化率

Fig. 3 Rate of frequency change of the microgrid bus

微电网的近似等效转动惯量可由实验得出,即 $H_a = 2.5 \text{ MW} \cdot \text{s}$. 第一次动作时频率变化率为 $df/dt = 0.268$,第二次动作时频率变化率为 $df/dt = 0.03$, K 取 0.5.

从图 2 中可以看出,在首次切除负荷后,系统的频率并未恢复,仍在下降,但下降速率变缓. 当微电网母线频率达到设定的第二次切负荷频率 49.6 Hz 时,开始第二轮切负荷动作. 图 4 为两次切负荷的动作信号图. 下面就传统策略和改进的策略进行验证比较.

(1) 基于频率变化率和等效转动惯量策略

$$\Delta P_1 = \sum_{i=1}^N \Delta P_i = K \frac{2H_i}{f_n} \frac{df_i}{dt} = 13.4 \text{ kW}, \quad (8)$$

$$\Delta P_2 = K \frac{2H_i}{f_n} \frac{df_i}{dt} = 1500 \text{ W}, \quad (9)$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 14.9 \text{ kW}. \quad (10)$$

其中,式(8)为采用传统策略的第一次切负荷量,式(9)为第二次切负荷量,式(10)为切除的总负荷量. 下面就传统策略和改进的策略进行验证比较.

(2) 基于频率变化率和等效转动惯量的改进策略

$$\Delta P_1 = K \frac{2H_a}{f_N} \frac{df}{dt_{t=t_1}} = 13.4 \text{ kW}, \quad (11)$$

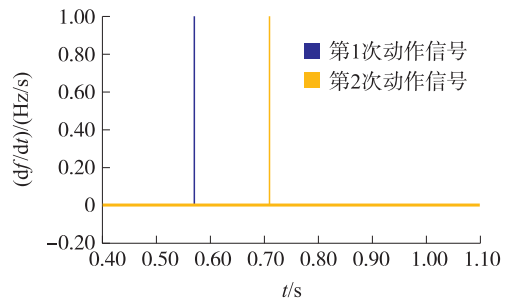


图 4 两次切负荷的动作信号

Fig. 4 Actuating signal of twice load shedding

$$\Delta P_2 = \Delta P - \Delta P_1 = \frac{\frac{df}{dt_{t=t_2}}}{\frac{df}{dt_{t=t_1}} - \frac{df}{dt_{t=t_2}}} K \frac{2H_a}{f_N} \frac{df}{dt_{t=t_1}} = 844 \text{ W}, \quad (12)$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 14.2 \text{ kW}. \quad (13)$$

其中,式(11)为采用改进策略的第一次切负荷量,式(12)为第二次切负荷量,式(13)为切除的总负荷量。

表 1 为两次切负荷量的对比,从表中可见两种策略的第一次负荷切除量相同,但在第二次切负荷中,改进后策略明显低于传统策略所切负荷量。

表 1 负荷切除量

Table 1 Load shedding power kW

	第一次切负荷量	第二次切负荷量
传统策略	13.4	1.50
改进后的策略	13.4	0.84

4 结语

本文主要研究了微电网孤岛情况下,出现供电不足、功率不平衡时的紧急切负荷策略,改进的负荷削减策略对孤岛微电网实行紧急切负荷有一定的参考价值。在 PSCAD/EMTDC 平台搭建的孤岛微电网仿真系统中,对改进的微电网负荷削减策略和传统策略进行仿真对比分析。仿真结果表明,当孤岛微电网供电不足时,改进后的策略能够及时切除部分负荷,且切除负荷量更精确,使微电网的频率快速恢复稳定,保障微电网安全稳定运行。

[参考文献](References)

- [1] MARNAY C, ROBIO F J, SIDDIQUI A S. Shape of the microgrid[C]// Power Engineering Society Winter Meeting. Columbus: IEEE, 2001: 150-153.
- [2] LASSETER B. Microgrids-distributed power generation[C]// Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting. IEEE, 2001: 146-149.
- [3] LASSETER R H. MicroGrids[C]// Power Engineering Society Winter Meeting. IEEE, 2002: 305-308.
- [4] 王成山, 武震, 李鹏. 微电网关键技术研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 1-12.
WANG C S, WU Z, LI P. Research on key technologies of microgrid[J]. Transactions of China electrotechnical society, 2014, 29(2): 1-12. (in Chinese)
- [5] 田素娟. 微电网的孤岛运行与计划内孤岛运行及 PSCAD/EMTDC 仿真[J]. 绿色科技, 2015, 8(8): 289-291.
TIAN S J. Islanding operation of microgrid and planned islanding operation and PSCAD/EMTDC simulation[J]. Journal of green science and technology, 2015, 8(8): 289-291. (in Chinese)
- [6] 沈臣, 顾伟, 吴志. 孤岛模式下的微电网低频减载策略分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(9): 47-52.
SHEN C, GU W, WU Z. An underfrequency load shedding strategy for islanded microgrid[J]. Automation of electric power systems, 2011, 35(9): 47-52. (in Chinese)
- [7] 林湘宁, 李正天, 薄志谦, 等. 适用于微网孤岛运行的低频减载方法[J]. 电网技术, 2010, 34(3): 16-20.
LIN X N, LI Z T, BO Z Q, et al. An under-frequency load shedding method adaptive to the islanding operation of micro-grids[J]. Power system technology, 2010, 34(3): 16-20. (in Chinese)
- [8] 熊小伏, 周永忠, 周家启. 计及负荷频率特性的低频减载方案研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(19): 48-51.
XIONG X F, ZHOU Y Z, ZHOU J Q. Study of underfrequency load shedding scheme based on load frequency characteristics[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(19): 48-51. (in Chinese)
- [9] 吴志, 顾伟. 孤岛方式下基于多代理系统的微电网有功-频率控制[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 57-61.
WU Z, GU W. Active power and frequency control of islanded microgrid based on multi-agent technology[J]. Electric power automation equipment, 2009, 29(11): 57-61. (in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]