Analysis of Low-Frequency Load Shedding Simulation for Microgrid PID Control

ZHANG Tao, CHEN Wenhong, LI Hong
Wuhan Ordnance N.C.O Academy of PLA, Wuhan, China

Abstract: This paper describes the microgrid system, during the process of the smooth transition fromgrid-connected mode to the islanded mode, under-frequency load shedding devices play an important role. Also, this paper carried out a detailed analysis on PID closed-loop under-frequency load shedding strategy. Finally, the effectiveness of the control strategy proposed has been verified by PSCAD simulation.

Keywords: microgrid; DG unit; under-frequency load shedding; PID closed-loop control; emergent step

微网 PID 控制低频减载仿真分析

张 涛, 陈文红, 李 纮
武汉军械士官学校，武汉，中国，430075

摘　要：本文简要介绍了微网系统，在微网由并网运行模式平稳过渡到孤岛运行模式过程中，低频减载装置发挥了重要作用。本文对 PID 闭环低频减载策略进行了较为详细的分析，最后通过 PSCAD 仿真验证了新方法的有效性。

关键词：微网；DG 单元；低频减载；PID 闭环控制；紧急轮

1 引言

经济的发展、科技的进步和对环境的要求正在逐渐改变传统意义上的电力生产和传输，分布式发电技术正快速渗透入电网配电系统。分布式发电(distributed generation, DG)技术包括内燃机、汽油涡轮机、微型涡轮机、风力发电机等旋转发电机械技术，还包括燃料电池、光伏发电等技术[1] 。

为了降低 DG 单元带来的不利影响，同时发挥 DG 单元积极的辅助作用，最好的方法是采用系统的方法，把 DG 单元和匹配的负载看作一个子系统或“微网”[1]。

微网技术是实现现代电力系统可靠、经济运行并能实现环保目标的可行途径之一。微网技术是指将一定区域内或某些企事业单位内拥有的分散的发电资源联结起来共同向各单位供电，并通过配电网与主干大型电力网并联运行，形成一个大型电网与小型发电设备联合运行的系统。微网发电机通常都是容量小于 100kV 的小型发电单元[2]。各单位可依赖大型电网的供电取得大量廉价电能，同时也可以在本单位的发电能力有富余时，向大型电网回馈电能。微网可以与主电网相连运行，即并网运行模式；或者独立自主运行，即孤岛运行模式。

2 PID 低频减载控制策略

微网的孤岛效应利用将是微网成为提高用户供电可靠性的最具有重要意义的任务之一。值得注意的是，当微网从并网运行模式平稳过渡到孤岛运行模式时，并不是其中所有的负载都能保证得到可靠的供电，可能需要断开次要负载以保证重要负载的安全工作。在微型电网的孤岛效应利用的技术中，最重要的是微型电网中的能量平衡问题[3]。微网由并网运行模式过渡到孤岛运行模式时，低频自动减负荷是提高微网运行的安全稳定性和可靠性的重要措施之一，作为确保电网安全稳定运行的第三道防线，低频减载装置在确保微网系统稳定运行中起到了十分重要的作用。传统低频减载(UFLS)方案采用逐次逼近的方式逐轮减负荷，整定思路是按最严重的功率缺额方式整定，按其它方式校核，只要过切量不是很大，通常即认为满足要求。这样的整定思路，在较小的功率缺额方式下造成的过切量往往较大。如系统的一、二轮控制的负荷分别为 10%，那么在系统功率缺额 11%时，最大过切功率可能达到 9%。如此程度的过切，对微网将产生十分严重的后果。另外，最严重的方式中，由于功率缺额较大，系统频率下降的速度快，采用固定延时的方法会使频率下降深度加大，甚至降到 47Hz 以下，并且装置从首轮启动到最后一轮动作的时间很短，因此必须提高首轮动作频率[4]。本文低频减载方案中引入比例-积分-微分（PID）控制，根据微网与主电网解列发生时的功率缺额，确定动作频率和动作时间整定

978-1-935068-04-4 © 2009 SciRes.

值，以及应断开的负荷容量。

2.1 PID 控制低频减载动作时间整定

$$\Delta t=\frac{1}{K_P\Delta f+\frac{K_I}{T_I}\int_{t_n-T_I}^{t_n}\Delta f dt+K_D\frac{\Delta f}{dt}}$$

由于公式中没有考虑到不同故障下不同功率缺额所带来的差别，在此将公式除于一个负载系数 $K_L=PF/PG$ ，同时考虑到断路器的断开本身就是一个积分过程，所以公式中的积分控制就可以略去，最后公式变为

$$\Delta t=\frac{1}{K_L\left[K_P\Delta f(t)+K_D\frac{d\Delta f(t)}{dt}\right]}$$

其中 $\Delta f(t)=50-f(t)$，$K_L=PF/PG$，K_P 为比例常数，K_D 为微分常数。

在装置中成功引入$d\Delta f/dt$这一隐含功率缺额信息参量和扩展应用，给微网系统的安全稳定运行带来了积极的作用。

2.2 PID 控制低频减载控制轮的整定

PID 闭环控制减负荷量用以下的思路进行整定：

1) 装置所控制的总负荷按照系统可能遇到的最大功率缺额确定；

2) 装置的末轮动作频率仍然按照传统方式确定；

3) 按常见的功率缺额方式确定装置的基本轮动作轮级 N、首轮动作频率 f_1；

4) 引入紧急轮概念，即将按照$d\Delta f/dt$大小加速切负荷构成的首轮定义为紧急轮；

5) 为防止在某些功率缺额方式下，系统频率长期悬浮在某一频率值附近，仍需要用后备轮恢复频率。

按照这样的整定思路，低频减载方案就形成了“紧急轮+基本轮+后备轮”的新模式。紧急轮+基本轮+后备轮的低频减载模式及整定思路，可以防止系统频率严重下降，首轮动作到最末一级动作之间的时间较长，可以在基本轮中增加按时限划分轮级，这样低频减载的动作轮级还可进一步增多，每一轮所控制的负荷量还可进一步减少，实际可能造成的过切量也可进一步减少。

2.3 PID 频率闭环控制 dΔf/dt 的整定

$d\Delta f/dt$反映当前频率下有功缺额的大小，越大则有功缺额越大，切负荷动作越快。

在频率下降的情况下，设置$d\Delta f/dt$阀值F_f作为启动基本轮与备用轮的标志。$d\Delta f/dt>F_f$ 时，系统有功缺额大，频率下降快，启动基本轮尽快切除负荷；$d\Delta f/dt<F_f$ 时，系统有功缺额较小，启动备用轮避免造成过切[5]。

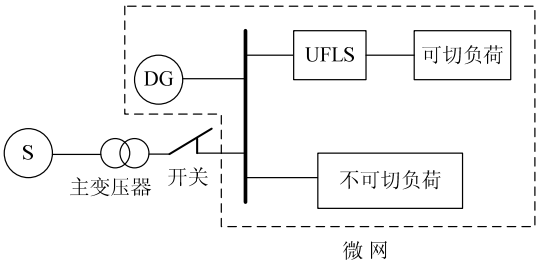

图1. 微网仿真模型

在频率上升的情况下，$d\Delta f/dt$设置阀值F_{rs}、F_{rf} 优化频率控制曲线。1) 当$d\Delta f/dt$稳定且$d\Delta f/dt<F_{rf}<0$时，频率上升过快，必须投入备用轮防止频率超调。此时Δt公式调整为：

$$\Delta t=\frac{1}{\left|K_L\left[K_P\Delta f(t)+K_D\frac{d\Delta f(t)}{dt}\right]\right|}$$

2) 当$d\Delta f/dt$稳定并且$F_{rf}<d\Delta f/dt<0$时，频率恢复过慢甚至在较低水平悬停，切除备用轮加快频率恢复速度。考虑到系统备用容量的释放需要一个过程，因此上式Δt乘以一个大于1的系数K，公式调整为：

$$\Delta t=\frac{K}{\left|K_L\left[K_P\Delta f(t)+K_D\frac{d\Delta f(t)}{dt}\right]\right|}$$

3 PID 闭环频率控制仿真验证

基于PID闭环频率控制的低频减载策略，本文利用PSCAD/EMTDC进行仿真，通过PID闭环频率控制与传统低频减载策略的比较，验证PID闭环频率控制性能。仿真原理方框图如图1所示。

传统低频减载方案仿真中，微网系统可切次要负荷占总负荷60%，设置基本轮5轮，备用轮3轮。每个基本轮负荷量为总负荷的10%，另10%均分给3个备用轮。减载启动频率、级差、延时按常用方案整定：启动频率49Hz，级差0.3Hz，延时Δt＝0.3s。

新方案的仿真中，基本轮和备用轮的设置和传统方法相同。减载系统频率f_1=49.2Hz，其它参数设置如下：K_P=0.5，K_D=2，K=6，F_f=1.8Hz/s，F_{sf}=－1Hz/s，F_{sr}=－0.15Hz/s。限于篇幅，本文只给出微网系统功率缺额较小和功率缺额较大两种情况下的仿真分析。

3.1 功率缺额较小

微网并网运行时，微网系统消耗有功为 3.0MW，t＝3s 时，微网与主电网解列，有功缺额 25%，即

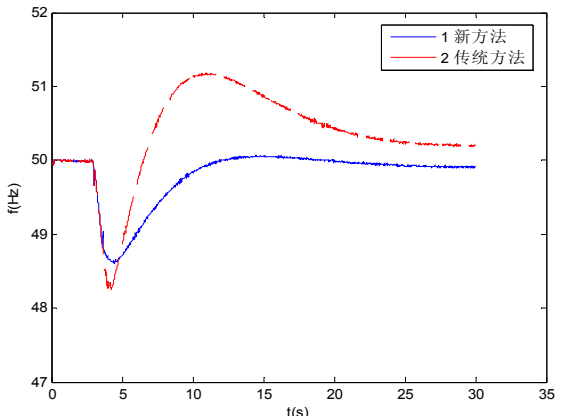

图2. 两种控制方式频率控制曲线比较

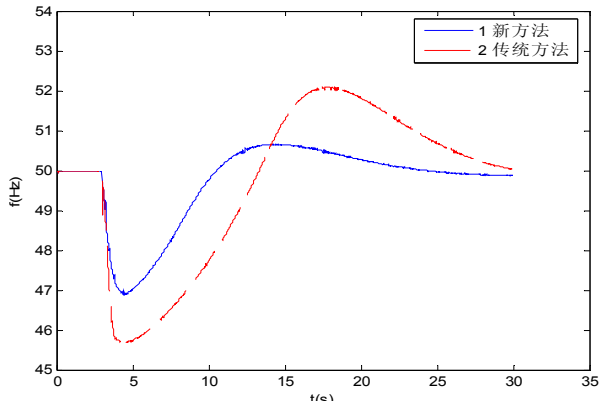

图3. 两种控制方式频率控制曲线比较

0.75MW。仿真结果显示，传统方法和 PID 控制方法首轮切负荷都可以减缓微网频率的降低，但由于 PID 控制方式首轮采用紧急轮，可以更有效抑制系统频率下降。传统控制方法存在过切，导致微网系统频率超调，仿真结果如图 2 所示。

3.2 功率缺额较大

微网并网运行时，微网系统消耗有功为 3.0MW，t＝3s 时，微网与主电网解列，有功缺额 55％，即 1.65MW。仿真结果显示，两种频率控制方法总的切负荷量一致，采用传统频率控制方式频率下降深度远大于 PID 控制方式，甚至下降到 46Hz 以下，而频率超调量也远大于PID控制方式，仿真结果如图3所示。

4 结论

低频减载装置在微网由并网运行模式平稳转换到孤岛运行模式过程中起到了十分重要的作用。引入 $d\Delta f/dt$这一隐含功率缺额信息参量和扩展应用，给微网系统的安全稳定运行带来了积极的作用。由仿真分析得知，由$d\Delta f/dt$的控制延时时间Δt，及采用“紧急轮＋基本轮＋备用轮”的PID闭环控制的微网低频减载控制策略优于传统低频减载控制策略，改善了低频减载方案的控制效果。

References (参考文献)

[1] Lasseter R.H, and Paigi P. Microgrid: a conceptual solution[C]. 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, 2004, 6: 4285-4290.

[2] Kariniotakis G.N, Soultanis N.L, Tsouchnikas A.I, Papathanasiou S.A, Hatziargyriou N.D, " Dynamic modeling of MicroGrids. " 2005 International Conference on Future Power Systems, vol.2005, pp.1-7, 16-18 Nov. 2005.

[3] Katiraei F, Iravani M.R, and Lehn P.W, " Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process. " IEEE Transactions on Power Delivery, 20(1), pp.248-57, Jan. 2005.

[4] Qin Mingliang, Yang Xiuchao. Measures to reduce overshedding caused by underfrequency load shedding project. Power System Technology. 2002,26(3): 83-86.
Zou Qing, Lin Xiangning, Weng Hanli. Close-loop Control Based Under-frequency Load Shedding Strategy Suitable for Isolated Power System. 2006,30(22): 34-37.

978-1-935068-04-4 © 2009 SciRes.