

基于灵敏度分析的电压越限处理方法

张士涛, 赵迪

(北京市电力公司房山供电公司, 北京 房山 102401)

摘要: 提出一种基于灵敏度分析的电压越限处理方法, 首先通过计算各负荷节点的注入无功功率对节点电压变化的灵敏度; 然后利用电压控制灵敏度确定补偿节点, 确定动作顺序, 与以往方法相比, 节省了计算时间, 并且较为理想地完成了网络节点的无功优化; 通过对 IEEE-30 节点系统的仿真计算结果表明了算法的有效性。

关键词: 灵敏度; 电压越限; 电压控制灵敏度

中图分类号: TM714.3

文献标志码: B

文章编号: 1003-0867(2012)10-0019-02

电压质量是反映电能质量^[1] 优劣的一个重要指标。电网的无功功率水平及其调节能力直接影响整个电网的电压水平^[2]。合理的无功补偿和有效的电压控制不仅能保证电压质量, 还能够提高电力系统运行的安全性和经济性。

电网中各节点的无功功率首先应该满足就地平衡的原则, 不能单纯依赖于系统提供的无功功率注入。如果大量的无功功率不能就地平衡, 那么远距离的无功功率传输不仅会增加网络损耗而且造成较大的电压降落, 最终导致系统低电压运行。所以, 对于各节点来说应该尽量减少对系统无功资源的依赖。但能否做到这一点与各个节点无功补偿装置的配备情况有很大关系。

对于无功/电压优化控制来说, 控制动作顺序的影响主要体现在控制动作的先后引起控制效果的变化, 因此本文考虑了控制动作顺序对控制效果的影响, 提出了改进的无功优化控制策略。该方法只需在现有的无功优化控制系统基础上新增对控制动作顺序的安排即可有效地协调控制之间的影响。对经典电力系统及某地区实际电网的仿真证明了该方案的有效性。

1 灵敏度分析

1.1 负荷点的无功功率对电压变化的灵敏度

灵敏度一般是指以状态向量表征的系统运行状况对控制向量和扰动向量变化的敏感程度。潮流计算的灵敏度方程^[7]可表示为

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_H & J_N \\ J_J & J_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 J_H 、 J_N 、 J_J 、 J_L 为潮流方程中的雅克比分块矩阵; $\Delta \theta$ 为节点电压相角偏差量, 这里定义 ΔU 为节点电压偏差量与该节点电压幅值之比; ΔP 、 ΔQ 分别为系统的有功和无功功率偏差。

经推导, 可得无功功率偏差对节点电压偏差存在以下关系

$$\Delta U_D = J_D^{-1} \Delta Q_D \quad (2)$$

式中 ΔU_D 为负荷节点电压偏差列向量; ΔQ_D 为对应的无功功率偏差列向量; J_D^{-1} 为负荷节点的无功功率对电压变化的灵敏度矩阵的逆矩阵。

由式(2)可以确定无功功率偏差对于节点电压偏差的作用效果。

1.2 节点相互间影响

同一电网中, 各部分之间紧密联系, 因此在对某节点进行补偿的时候, 应该考虑与其联系的其它节点对该节点不同程度的影响, 这样求得的无功功率偏差量才准确, 按照这个偏差量进行补偿才能将电压调整回规定范围内。在灵敏度分析中, 某一节点电压变化对其它节点注入无功功率的影响可以通过灵敏度矩阵中非主对角线上的灵敏度数值得到反映。假设某一区域中有 N 个节点, 则每个节点的无功功率偏差量 ΔQ_{Di} 为

$$\Delta Q_{Di} = J_{D1i} \Delta U_{D1} + J_{D2i} \Delta U_{D2} + \dots + J_{DNi} \Delta U_{DN} \quad (3)$$

式中 J_{Dij} 、 ΔU_{Dj} 分别为节点 i 注入的无功功率对节点 j 电压变化的灵敏度和节点 j 的电压变化量。

式(3)的计算并不复杂, 且其中的电压偏差量、灵敏度矩阵元素都容易求得, 因此完全可以保证计算的快速性。

2 优化控制方案

2.1 控制动作顺序

由于调整变压器有载调压分接头的调压措施本身不产生无功, 只能改变无功功率的分布, 在无功功率短缺而电压降低时, 变压器有载切换分接开关并不能补充提供无功功率, 而是将无功功率缺额转嫁到高压侧电网。因此如果在电网无功不足的情况下调整变压器有载分接头, 就可能使主电网电压严重下降而产生电压崩溃事故。所以, 事故时电压降低, 首先应投入无功功率电源, 变压器自动有载切换分接开关的响应则应当慢一些。

电压控制效力用于确定控制量的变化对节点电压大小的影响力, 主要受电压控制灵敏度大小以及控制改变量的影响。

其表达式如下：电压控制效力 = 电压控制灵敏度 × 控制改变量。

2.2 电压控制灵敏度

电压控制灵敏度的物理意义为：控制量每变动一个单位引起的节点电压的变化值。设定系统运行状态为0，即，其中 $F(X, U, P) = 0$ 为固定参量。将其在原运行状态附近进行泰勒展开，整理可推出负荷节点电压关于可调变压器变比的灵敏度

$$\left[\frac{\partial \Delta V_D}{\partial T} \right] = - \left[\frac{\partial \Delta Q_D}{\partial V_D} \right]^{-1} \left[\frac{\partial \Delta Q_D}{\partial T} \right] \quad (4)$$

式中 V_D 为负荷节点电压； T 为可调变压器变比。

负荷节点电压关于并联电容器无功补偿点灵敏度

$$\left[\frac{\partial \Delta V_D}{\partial Q_D} \right] = \left[\frac{\partial Q_D}{\partial V_D} \right]^{-1} \quad (5)$$

各节点网络灵敏度及电压灵敏度的计算只需要在每次潮流计算的基础上加上少量计算即可，具有计算速度快，准确性好的特点，程序流程图如图1所示。

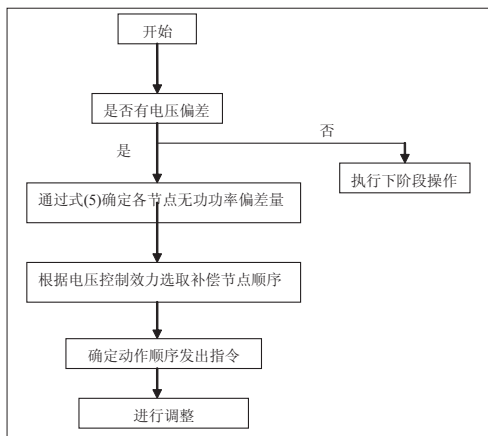


图1 程序流程图

从而通过电压控制灵敏度的大小来确定控制动作的顺序，在相近的节点间选择调整电压控制效力最大的控制量进行控制，以取得整个系统网损或电压水平的良好优化效果。

3 算例分析

本算例采用 IEEE-30 节点系统作为计算模型，主要参数选取如下：基准容量取为 100 MVA，节点电压的上下限为 1.10、0.95(标么值)，如表1所示。

算例中，根据电压控制灵敏度系数的大小，确定了要调整节点的先后顺序，经过无功补偿以及调整变压器分接头的措施，各被调整节点的电压均有所改善。调整后电压都恢复到了正常允许范围内。

4 结束语

本文通过对节点的灵敏度系数的计算，得出了各节点

表1 根据电压控制灵敏度大小排序控制补偿前5节点

节点号	控制节点	电压控制灵敏度	调整前电压	调整后电压
1	21	0.6427	0.8821	0.9633
2	17	0.5321	0.9036	0.9738
3	4	0.0341	0.9185	0.9785
4	9	0.0284	0.9216	0.9716
5	28	0.0196	0.9445	0.9849

的无功功率偏差量；然后利用电压控制灵敏度确定补偿节点，确定动作顺序，进行补偿。本方法可以有效提高电压质量，并提高了运行的经济性，具有一定的实际意义和应用价值。

参考文献

- [1] Taylor C W. Power system voltage stability[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002:107-117.
- [2] Prabha Kundur. Power system stability and control[M]. Bering: China Electric Power Press, 2002:69-74.
- [3] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995:120-125.
- [4] 黄春红, 陈进忠, 林桓. 基于灵敏度分析和费用评估的无功电压优化控制[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(14): 91-93.
- [5] 袁骏, 段献忠, 何仰赞, 等. 电力系统电压稳定灵敏度分析方法综述[J]. 电网技术, 1997, 21(9): 7-10.
- [6] 陈刚, 吴迎霞, 张继红, 等. 重庆电网无功优化研究[J]. 电力科学与工程. 2003, (2): 17-20.
- [7] 姜新凡, 严庆伟, 周帆, 等. 基于实时灵敏度分析的湖南电网无功优化控制系统[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 82-85.
- [8] 邱晓燕, 李兴源, 林伟. 在线电压稳定性评估中事故筛选和排序方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 50-55.

(责任编辑: 刘艳玲)

资讯

南方电网无人飞艇巡线科技项目完成验收

近日南方电网公司《无人飞艇输电线路巡线系统应用研究》科技项目顺利通过验收。该项目由南宁供电局负责实施。无人飞艇输电线路巡线系统依靠飞艇上的 GPS 自动导航装置，飞艇按照预设路线自动导航飞行，也可人工遥控飞艇巡航。飞艇上搭载紫外成像仪、红外热像仪、可见光相机做成一体的机载检测设备系统，同时，飞艇上搭载无线视频、数据传输装置，通过对回传的录像(照片)等数据进行分析，替代传统人工巡线方法难以及时完成的局部输电线路缺陷状态评价工作。

来源: 南方电网公司