

安徽 500 kV 电网低频振荡分析

王正风¹, 刘盛松²

(1. 东南大学, 江苏 南京 210096; 2. 上海交通大学, 上海 200240)

摘要:首先分析安徽 500 kV 电网在 2001 年 5 月 16 日发生低频振荡的原因及造成这种运行方式的原因。指出在提高发电机功率因数的同时, 建议华东调度中心加强统一调度, 并由原先的电压和功率因数控制改为电压和无功功率控制。这样可有效防止这些事故的发生。

关键词:低频振荡; 电压; 功率因数; 无功功率

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)10-0041-03

1 前言

安徽省电网近年来主网运行电压有所偏高, 从而给系统的正常运行和系统稳定性带来一定的影响。主网运行电压偏高究其原因主要有三: 其一是由于系统的平均功率因数普遍提高; 其二是主网又存在着大量的无功充电功率; 其三是发电机的无功功率控制还是按照以前的功率因数控制, 即控制在 0.85 及以上(发电机的运行功率因数不够高), 发出大量无功功率。这样系统的无功功率过多, 从而主网电压偏高, 于是发电机的进相运行提上了日程。发电机的进相运行作为电压控制手段可有效降低系统的运行电压, 但同时又将带来新的问题。发电机的进相运行将降低系统和发电机的静态稳定运行裕度, 使系统的静态稳定性受到破坏。

2001 年 5 月 16 日安徽 500 kV 电网肥(西)洛(河)平(圩)地区发生低频有功、无功振荡现象。振荡前平圩 #1 机发出有功功率 590 MW, 无功进相 67 Mvar; 洛河 3 # 机发出有功功率 294 MW, 无功功率 153 Mvar; 洛河 4 # 机发出有功功率 287 MW, 无功功率 84 Mvar; 类似情况已发生多次。

2 低频振荡机理分析

安徽 500 kV 电网肥(西)洛(河)平(圩)地区发生低频有功、无功振荡现象的接线图如图 1 所示。

任一发电机的电磁功率可用式(1)表达:

$$P_E = R_e (E_i I_i) = R_e (E_i \sum_{j=1}^n E_j Y_{ij}) = E_i \sum_{j=1}^n E_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = E_i^2 G_{ii} + E_i \sum_{j=1}^n E_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (1)$$

现今平圩电厂的注入电流为 I_1 , 洛河电厂的注

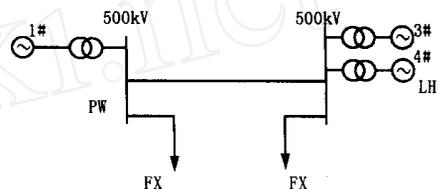


图 1 发生低频振荡时的安徽 500 kV 系统图

Fig. 1 Low frequency oscillation of Anhui 500 kV power system network

入电流为 I_2 , 平圩电厂的电机等值电势为 E_1, E_2 ; 洛河电厂母线电压为 U 。对洛河电厂的两台发电机进行等值, 这样平圩和洛河电厂功率表达式可用下式表达:

$$\begin{cases} P_{E1} = E_1^2 G_{11} + E_1 E_2 (B_{12} \sin \delta_{12} + G_{12} \cos \delta_{12}) \\ P_{E2} = E_2^2 G_{22} + E_1 E_2 (-B_{12} \sin \delta_{12} + G_{12} \cos \delta_{12}) \end{cases} \quad (2)$$

将功率偏移量表示为各发电机的参数:

$$\begin{cases} P_{E1} = \left(\frac{\partial P_{E1}}{\partial \delta_1} \right)_0 + \left(\frac{\partial P_{E1}}{\partial \delta_2} \right)_0 = K_{11} \delta_1 + K_{12} \delta_2 \\ P_{E2} = \left(\frac{\partial P_{E2}}{\partial \delta_1} \right)_0 + \left(\frac{\partial P_{E2}}{\partial \delta_2} \right)_0 = K_{21} \delta_1 + K_{22} \delta_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$\begin{cases} K_{11} = \left(\frac{\partial P_{E1}}{\partial \delta_1} \right)_0 = - \left(\frac{\partial P_{E1}}{\partial \delta_2} \right)_0 = \\ - K_{12} = E_1 E_2 (B_{12} \cos \delta_{120} - G_{12} \sin \delta_{120}) \\ K_{21} = \left(\frac{\partial P_{E2}}{\partial \delta_1} \right)_0 = - \left(\frac{\partial P_{E2}}{\partial \delta_2} \right)_0 = - K_{22} = \\ E_1 E_2 (-B_{12} \cos \delta_{120} - G_{12} \sin \delta_{120}) \end{cases} \quad (4)$$

将 P_{E1} 和 P_{E2} 代入转子运动方程, 则得到两台不计阻尼影响的发电机转子运动方程并写成矩阵

形式如下：

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_{11}}{T_{11}} & -\frac{K_{12}}{T_{12}} & 0 & 0 \\ -\frac{K_{21}}{T_{12}} & -\frac{K_{22}}{T_{12}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

对式(5)求特征值得：

$$1,2 = \pm \sqrt{-\left(\frac{K_{11}}{T_{11}} + \frac{K_{22}}{T_{12}}\right)} \quad (6)$$

系统静态稳定的判据为：

$$\frac{K_{11}}{T_{11}} + \frac{K_{22}}{T_{12}} > 0 \quad (7)$$

从上式的判据可看出，

$$\frac{B_{12} \cos \delta_{120} - G_{12} \sin \delta_{120}}{T_{11}} + \frac{B_{12} \cos \delta_{220} + G_{12} \sin \delta_{220}}{T_{12}} > 0$$

下面是对其向量分析图。

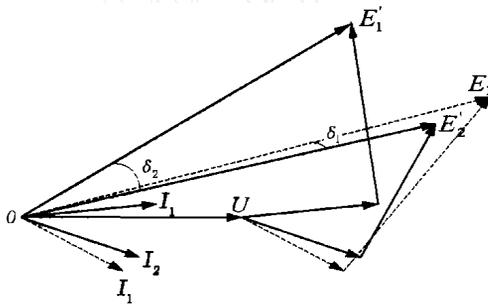


图2 平圩电厂滞相、进相运行功角差的变化向量图

Fig. 2 Vector figure of power angle changes for lagged operation and excelled operation in PingWei plant

由图2可见，随着一台发电机进相，两电厂的功角差将由 δ_1 增加到 δ_2 (图中的 δ_1 、 δ_2 分别表示 δ_{120} 在滞相运行和进相运行的功角差)。随着功角的增大，由上式可见 K_{11} 将由正值逐渐减小并至负值，当 K_{11} 的负值大于 K_{12} 值时，系统将发生低频振荡。

另外，当功角增大时，也将使发电机的励磁系统对系统产生负阻尼，从而引起系统的低频振荡。对励磁系统的影响主要是通过 K_s 系数来影响的^[5]，当功角增大， K_s 值将可能变为负值，从而使系统的阻尼转矩变为负，而具有负阻尼的系统将引起电力系统运行的不稳定。

3 平圩、洛河电厂运行方式对静态稳定的影响

由于洛河、平圩电厂相距很近，而洛河电厂大量发出无功功率、平圩电厂却在进相运行，这显然不太

合理。因此为了预防这种运行方式的出现，必须对其方式进行合理控制。安徽 500 kV 电网的电压范围由华东调度控制，但具体操作由各个电厂和变电所自行操作，即各电厂和变电所根据华东调度要求的电压控制范围，按实际运行情况决定发电机发出无功多少和电抗器的投切问题。而各电厂和变电所的操作缺乏统一的调度，从而造成了一些不合理的运行方式。此时究其原因是在高压电网中，电网的电压水平主要取决于无功的多少。为了降低平圩电厂母线的电压，采用进相来保证电压在控制范围之内。为了分析两电厂发出的无功对两电厂电压高低的影响，表1计算了一组结果。

表1 平圩、洛河发出不同无功时对应的两 500 kV 母线电压

Table 1. Comparison between effect of generator reactive power of Pingwei and Luohe on two busbar voltage

平圩电厂发 功率 - j15	洛河电厂发 功率 - j10	平圩 500 kV 电压	洛河 500 kV 电压
600 + j0	300 + j60 + j47.6	512.8	513.4
600 + j60	300 + j60 + j47.6	517.2	517.5
600 + j86	300 + j60 + j47.6	519.1	519.2
600 + j120	300 + j60 + j47.6	521.4	521.4
600 + j180	300 + j60 + j47.6	525.5	525.2

注：表中 - j15、- j10 表示平圩、洛河电厂的厂用电(无功)，表格第二列的前两项表示发电厂所发的有功和无功量，第三项为洛河联变向洛河 500 kV 侧注入的无功。

由表1可见：洛河电厂和平圩电厂母线电压的高低基本上属于哪一个电厂的无功多，哪一个电厂母线电压较高；且无功相差越大，500 kV 母线电压相差越大。这就要求华东电力调度中心在实际方式调度中，应该加强统一调度，尽量使两电厂的无功输出量控制在同一水平，特别是当无功相差较大时，可能造成电压将越上限，而造成某一电厂为了安全起见而迫使进相运行，造成该发电厂的进相运行(如 5.16)。其缘由解释如下。

图3为对两电厂的简化和等值，令平圩电厂的注入电流为 I_1 ，洛河电厂的注入电流为 I_2 ， $S_1 = S_{PW} - S_{LP}$ 、 $S_2 = S_{LH} - S_{LL}$ ，可得：

$$I_1 = Y_{11} U_1 + Y_{12} U_2 = \frac{S_1}{U_1} \quad (8)$$

$$I_2 = Y_{21} U_1 + Y_{22} U_2 = \frac{S_2}{U_2} \quad (9)$$

$$S_1 = U_1 Y_{11} U_1 + U_1 Y_{12} U_2 \quad (10)$$

$$S_2 = U_2 Y_{22} U_2 + U_2 Y_{21} U_1 \quad (11)$$

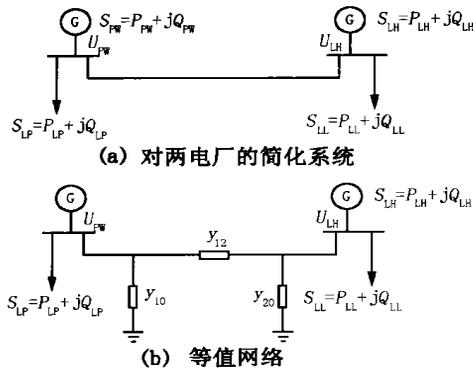


图3 两电厂的简化系统及等值网络

Fig. 3 Simplified system of two plants and equivalent network

$$\text{令: } Y_{11} = Y_{22} = y_{10} + y_{12} = y_2 + y_{21} = y_s e^{-j(90^\circ - a_s)}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12} = -y_{21} = y_m e^{-j(90^\circ - a_m)}$$

$$U_1 = U_1 e^{j\theta_1}; U_2 = U_2 e^{-j\theta_2}$$

将上述公式代入(4)和(5),并分解成有功和无功,其无功表达式可见下式:

$$Q_1 = Q_{G1} - Q_{L1} = y_s U_1^2 \cos a_s - y_m U_1 U_2 \cos [(1 - 2) - a_m] \quad (12)$$

$$Q_2 = Q_{G2} - Q_{L2} = y_s U_2^2 \cos a_s - y_m U_1 U_2 \cos [(2 - 1) - a_m] \quad (13)$$

由公式(12)、(13)可见,两式后一项的值相同,所以当 Q 越大时,其母线电压越高。因此,在实际运行调度中,也可以控制着两个电厂的无功,为了安全期间,建议对电压和无功同时控制,当两电厂在规定的运行范围之内应尽量控制使这两个电厂的无功接近或相等。

4 结束语

1) 华东电网应加强对 500 kV 系统的统一调度。

2001年5月16日安徽电网发生的低频振荡的情况,当时洛河电厂在大量发无功,而平圩电厂却在进相,这不仅使系统的稳定性容易受到破坏,而且也使系统运行的经济性大大下降。为了减小这种不正常局面的产生,华东中调应该加强统一调度。针对目前控制电压水平的情况,可改为电压和无功的同时控制,即在允许电压范围内,对两电厂的无功功率进行控制,使两电厂发出的无功接近相等或相差不大。

2) 为了提高 500 kV 系统的阻尼性能,应加投 PSS 装置,这样可以提高系统的静态稳定性能,防止低频振荡的发生。

参考文献:

- [1] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [2] 夏道止. 电力系统分析[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [4] 王正风. 平衡节点电压幅值影响电力系统经济运行的分析[J]. 华东电力,2000,28(9):18-19.
- [5] 郭培源. 电力系统自动控制新技术[M]. 北京:科学出版社,2001.

收稿日期: 2002-04-27

作者简介:

王正风(1976-),男,硕士研究生,研究方向为电网规划、无功优化、电力市场;

刘盛松(1974-),男,博士研究生,从事电力系统最优潮流及其在电力市场中的应用。

Analysis for low frequency oscillation of Anhui 500 kV network

WANG Zheng-feng¹, LIU Sheng-song²

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A low frequency oscillation happened in AnHui 500kV power network on May 16, 2001. This paper studies the reason for it, then proposes the cause of this operation model. For this reason, East China Electrical Power Dispatching Center shall unify dispatching and adopt the strategy to control voltage and the amount of reactive power of generator instead of voltage and power factor. So these accidents could be avoided.

Key words: low frequency oscillation; voltage; power factor; reactive power

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告