

# 500 kV 主网电压集中控制模式下的调压方法

蒋宇<sup>1</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 胡鹤轩<sup>2</sup>

(1.江苏电力调度控制中心,江苏南京 210024;2.河海大学能源电气学院,江苏南京 210098)

**摘要:**针对目前全国范围内正在推进的“大运行”模式下电网管理、控制方式的变革,从工程实际的角度出发,指出了高度集中式无功电压调节控制模式下出现的新问题,进而提出了以无功电压灵敏度为基础的目标优化辅助调压控制策略,以解决“大运行”模式下集中监控调压遇到的实际问题;算例仿真验证了基于无功电压灵敏度的辅助调压方法的正确性。

**关键词:**电压控制;无功电压;灵敏度

**中图分类号:** TM714.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2012)03-0017-03

随着2011年“大运行”体系建设的完成,江苏500 kV主网无功电压的调节模式在全国率先发生了根本性的变革。主网无功电压控制从原有的以500 kV枢纽变电站为独立控制单元的分散调压方式转变为更加集约化、扁平化、专业化的采用远方集中调压控制的运行管理模式,由省调直接对全省所有500 kV变电站的并联电容器、电抗器进行监控。在江苏500 kV电网电压管理控制结构发生历史性变革的背景下,针对江苏500 kV电网电压控制的流程、权限、现状特点,提出了实用性、适用性、专业性很强的无功电压控制新方法。该方法的应用可以为后续全网域(AVC)系统的建立提供技术和经验支持。

## 1 电网无功电压工程控制方法

随着电力系统的发展,电压控制方法日臻成熟。在诸多电压控制的算法中,常用的方法是以全局最优作为目标函数,采用最优解或线性规划的技术手段,可用于在线、离线分析下的多种工程场景。由于在电压的实际工程控制中,电压与有功功率、相角之间并不存在真正的完全解耦关系。因此,对于系统无功电压的调节会引起机组出力、系统电压稳定性、系统安全稳定性等多方面的相应变化。其次,目前对于电压调节的某些手段(如发电机进相运行)的研究还有待深入和完善。考虑上述原因,目前江苏500 kV电网主网的调压控制并没有采用AVC模式,而仍然采用传统的基于运行经验的调度模式。

### 1.1 国外无功电压控制工程技术

目前国际上得到成熟应用的无功电压控制技术包括以德国电力公司(RWE)为代表的两级电压控制系统和以法国电力公司(EDF)为代表的三级电

压控制系统。在德国RWE的电压控制系统中,将最优潮流(OPF)的优化计算结果直接发到各电厂,在调度控制中心,OPF基于状态估计和稳态测量实时运行在EMS的最高层次上,直接实现考虑运行约束以网损最小为目标的全局无功优化控制。在EDF的三级电压控制系统中一级电压控制为本地控制,控制时间常数一般为几秒钟;二级电压控制的时间常数为分钟级,控制的主要目的是保证中枢母线电压等于设定值;三级电压控制是其中的最高层,以全系统的经济运行作为优化目标,并考虑稳定性指标,最后给出中枢母线电压幅值的设定参考值,供二级电压控制使用<sup>[1,2]</sup>。

### 1.2 国内无功电压控制工程技术

国内无功电压自动控制技术的应用,主要集中在省级电网的220 kV网架,且采用的控制模式也分为二级和三级两种控制系统,如福建电力公司、河南电力公司、江苏电力公司、安徽电力公司的AVC系统。在已经运行的电压自动控制系统中,参与自动调压的设备主要是省、地两级调度管辖的无功补偿装置和统调发电机组构成<sup>[3]</sup>。

因此相对跨省的500 kV主网系统而言,现有的无功、电压自动控制系统不论是在容量上,还是在对大系统稳定性的影响上都相对较弱。

## 2 电压控制在新模式下的变化

### 2.1 江苏主网调压模式的变化

江苏电网原有的电压调整模式是按照网、省调设备管辖区域采用分层分区的平衡、调节模式。220 kV及以下的无功电压控制采用发电厂AVC系统、变电站VQC系统分别调整控制。而500 kV系统主网的电压控制管辖权属于网调,其电压控制流程如图1所示,是以单个500 kV变电站为调节单元的分散、低效、孤立的母线电压控制。

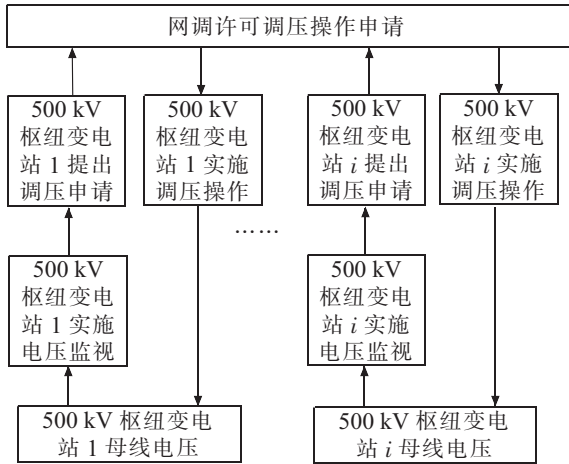


图1 江苏电网主网原调压模式

在国家电网公司大幅度提高管理水平和运营效率的要求下,江苏省电力调控中心的监控业务作为大运行业务试点,于2011年6月28日12时正式运转。至此江苏省电网的无功电压调整控制权,统一、集中到省调控中心管辖范围,改革后的电压控制流程如图2所示。从而实现了对500 kV 电网调压从分散控制到集中监视、协调控制的转变,也使得江苏境内全网域的无功电压集中、分层自动控制的实现成为可能。

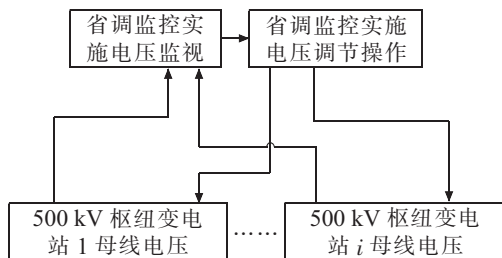


图2 江苏电网主网现调压模式

## 2.2 江苏电网集控模式下的新问题

江苏电网原有调压模式下,各个500 kV 枢纽变电站只是根据本站的母线电压进行无功补偿装置的操作,并不考虑对相邻变电站母线电压的影响,也不考虑无功补偿装置的最优控制。而在新的调压模式下,省调监控原则是从区域电网全局的角度来考虑电网电压的平衡。在某一地区无功补偿调节能力用尽的情况下,采用邻近电网区域协助调压的方法成为常用技术手段。因此采用先进的AVC技术替代值班员的人工调压操作,成为江苏电网调压控制的最优方案。

然而江苏500 kV 主网无功电压的调控职权在省调层面,而设备管辖权在网调层面;由于电网设备责任权的不一致,导致江苏500 kV 主网无功电压自动控制系统在未来很长一段时间内都无法建设,仍然依靠值班人员凭经验远方集中手动遥控调压。因此

在新的调压模式下江苏省500 kV 主网出现了如何在短期内实现计及无功补偿装置使用高效性、经济性、可靠性下进行无功、电压高效调节的技术问题。

目前由于华东电网内500 kV 全网域的基于发电厂的AVC系统还没有建立,且500 kV 变压器在常态下不考虑采用有载调压技术手段,因此江苏省调监控的调压手段只有远方遥控投切500 kV 变电站并联电抗器、电容器。

## 3 基于无功电压灵敏度的辅助调压方法

为解决上述问题,提出了基于无功电压灵敏度的辅助电压调节方法。当电网中500 kV 母线电压越限后,系统根据无功电压灵敏度自动生成无功电压操作的最优序列,监控人员可以据此进行电压调节的操作。

### 3.1 机理分析

系统在稳点运行点附近的线性化潮流方程可以描述为<sup>[4]</sup>:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{Pv} \\ J_{Q\theta} & J_{Qv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $\Delta P$ 为有功功率的增量; $\Delta Q$ 为无功功率的增量; $\Delta\theta$ 为节点电压相角的增量; $\Delta V$ 为节点电压幅值的增量。

从式(1)中可以看出系统电压的增幅受到 $P$ 和 $Q$ 的影响,因此在每个运行点,可以令 $P$ 为常数,从而得到 $Q$ 和 $V$ 之间的增量关系。虽然在公式中忽略了 $P$ 的增量,但在 $Q$ 和 $V$ 的增量关系中还是包含了系统负荷或功率传送水平变化的影响。因此在式(1)中令 $\Delta P=0$ ,得到:

$$\begin{cases} \Delta Q = J_R \Delta V \\ J_R = J_{Qv} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{Pv} \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta V = J_R^{-1} \Delta Q \quad (3)$$

$$k = \frac{\Delta V}{\Delta Q} = J_R^{-1} \quad (4)$$

式中: $J_R^{-1}$ 为收缩的 $V-Q$ 雅可比矩阵,它的第 $i$ 个对角元素是节点 $i$ 的 $V-Q$ 灵敏度。

根据式(2)、式(3)、式(4),就可以计算出描述系统无功电压灵敏度系数矩阵 $k$ ,以系数矩阵 $k$ 中各元素的大小为序。建立如式(5)所示目标函数:

$$F(x) = n + \left| \alpha \left( V_2 + \frac{V_1 - V_2}{2} - v \right) \right| \quad (5)$$

式中: $n$ 为达到电压调节目的至少需要投运的无功装置台数; $V_1, V_2$ 分别表示电压的上、下限值; $v$ 为预测的调压后母线电压值; $\alpha$ 为加权系数。

根据无功电压灵敏度系数矩阵 $k$ 的序列,通过

求解目标函数  $F(x)$  的最小值,就可以得出高效的电压调节的控制方法。

### 3.2 辅助调压系统的实现

当系统中有 500 kV 母线节点电压越限值,或者有多个变电站母线电压均逼近电压控制限额时,辅助调压系统启动:

(1) 从 EMS 系统中读取电网的拓扑结构及遥测、遥信实时数据;

(2) 根据电网实时数据,自动生成矩阵  $J_{P\theta}$ ,  $J_{PV}$ ,  $J_{Q\theta}$ ,  $J_{QV}$ ;

(3) 根据式(2)计算出矩阵  $J_R$ ;

(4) 根据式(4)计算出系数矩阵  $k$ ;

(5) 根据系数矩阵  $k$  中各元素的排序及求解目标函数  $F(x)$  的最小值,就可生成无功电压操作的优化序列表。

## 4 仿真验证

文中采用对江苏 500 kV 主网全系统建模并由南瑞集团研发的稳态仿真平台 (DTS) 进行计算分析。算例预想的电压越限事故为,500 kV 吴江变母线电压越控制下限,实时值为 500.4 kV(控制限:下限 500.5 kV,上限 515 kV),相邻协助调压站电气接线如图 3 所示。

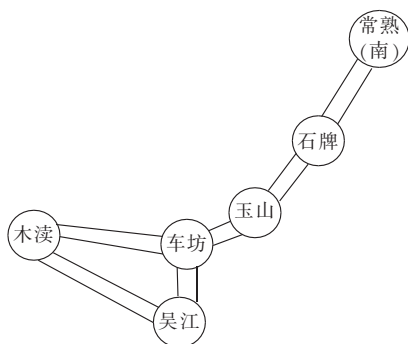


图 3 相邻调压变电站接线

经过文中设计的辅助调压系统计算,无功电压操作优化序列如表 1 所示。从表 1 中可以看出,应优先考虑投入吴江变本站的电容器,且以 331 或 332 电容器为最优选择。如果此时需要考虑相邻变电站协助调压,则以操作石牌变或玉山变电容器为优先选择。

从表 2 所示的操作不同电容器的仿真结果可以看出,投入表 1 中第一序位的吴江变 331 或 332 电容取得了最好的调压效果,而木渎变需要投入 2 组电容器,常熟(南)变需要投入 3 组电容器才能达到调压目的。

以上仿真结果验证了基于无功电压灵敏度辅助

表 1 电压操作最优序列

操作电容器	灵敏度顺序	操作电容器	灵敏度顺序
吴江变 312	2	石牌变	4
吴江变 322	2	玉山变	4
吴江变 331	1	车坊变	3
吴江变 332	1	木渎变	5
常熟(南)变	6		

表 2 投入不同无功补偿装置的仿真结果

变电站	操作电容器	控制后电压/kV
吴江变	331	500.9
吴江变	332	500.9
吴江变	312	500.8
吴江变	322	500.8
车坊变	311	500.7
石牌变	314	500.5
玉山变	315	500.5
木渎变	312,323	500.5
常熟(南)变	352,353,354	500.5

调压方法的正确性,也证明了在采用相邻变电站辅助调压手段时效率不同的多种调压方法同时存在。

## 5 结束语

江苏电网作为国家电网公司“三集五大”改革试点单位,在全国率先完成了以高效化、专业化方向的转变过程。电网管理方式的变革必然带来电网调节技术上的革新,文中针对电网转型期内超大型、综合化、智能化的自动调压系统无法建立的情况,提出了简单易行、投入少见效快、工程适用性强的基于无功电压灵敏度的辅助调压方法。该调压策略的实施,为今后覆盖全网的 AVC 系统的建立提供实践经验和工程技术支持。

### 参考文献:

- [1] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等.江苏电网 AVC 主站系统的研究和实现[J].电力系统自动化,2004,28(22):89-93.
- [2] 孙宏斌,张伯明,郭庆来,等.基于软分区的全局电压优化控制系统设计[J].电力系统自动化,2003,27(8):16-20.
- [3] 陆圣芝,胡伟,罗建裕.江苏电网分层分区研究[J].江苏电机工程,2000,19(3):11-13.
- [4] 王锡钊.现代电力系统分析[M].北京:科学出版社,2007.

### 作者简介:

蒋宇(1980),男,四川自贡人,工程师,从事电网运行管理工作;

张勇(1968),男,江苏南京人,高级工程师,从事电网运行管理工作;

胡鹤轩(1975),男,江苏南京人,副教授,从事电力系统自动化研究工作。

微机电动机保护装置已经配置了比较完备的热过载保护。为了更好地利用电动机的过载能力同时保护电动机免受热过载的危害,应按照电动机的实际特性进行继电保护整定,通过现场试验考察其精度,在运行过程中也要注意继电保护装置对热积累的记忆功能。

#### 参考文献:

- [1] IEC 60255-8—1990, Electrical relays - Part 8: Thermal electrical relays[S].
- [2] GB/T 14598.15—1998, 电气继电器 第 8 部分: 电热继电器[S].
- [3] DL/T 744—2001, 微机电动机综合保护装置通用技术条件[S].
- [4] 卢庆港, 解中秀. 异步电动机热模型保护应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 107-113.
- [5] AREVA MiCOM P241, P242 & P243 Rotating Machine Protection Relay Technical Manual[G]. 2008.
- [6] 陆海峰, 王石刚, 曹家勇. 变频器中电动机过载保护的算法及其实现[J]. 工矿自动化, 2008(4): 33-35.
- [7] IEEE Std 620—1996, IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Machines[S].

#### 作者简介:

- 陆征军(1973)男, 江苏张家港人, 工程师, 从事继电保护与变电站自动化系统的装置研发工作;
- 王红青(1969), 男, 上海青浦人, 高级工程师, 从事继电保护与变电站自动化系统的技术监督和管理工作;
- 赵华军(1967), 男, 安徽六安人, 工程师, 从事电力传动研究工作;
- 赵希才(1969), 男, 山东平阴人, 研究员级高级工程师, 从事继电保护与变电站自动化系统的技术管理工作。

## Research on the Motor Thermal Overload Protection

LU Zheng-jun<sup>1</sup>, WANG Hong-qing<sup>2</sup>, ZHAO Hua-jun<sup>3</sup>, ZHAO Xi-cai<sup>1</sup>

(1. Nanjing NARI-Relays Electric Power Co.Ltd., Nanjing 211102, China; 2. East China Electric Power Test & Institute Co.Ltd., Shanghai 200437, China; 3. Anhui Mining Development Co.Ltd., Liuan 237400, China)

**Abstract:** The IEC 60255-149 measuring relays and protection equipment - part 149: functional requirements for thermal protection and DL/T 744 general specification for microprocessor-based motor protection equipment, both relate to motor thermal overload protection. The physical process of motor thermal overload and the structure, setting, test and operation of thermal overload protection are expounded in the paper. Besides, the thermal overload protection based on motor thermal model and the common inverse-time over-current protection are compared and analyzed quantitatively. Thus, the motor thermal overload protection can use the motor overload ability rationally.

**Key words:** motor protection; thermal overload protection; thermal model; inverse time characteristics

(上接第 19 页)

## Voltage Control Strategy of 500 kV Power Grid in Voltage Centralized Control Mode

JIANG Yu<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, HU He-xuan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Dispatching and Communication Center, Nanjing 210024, China;  
2. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The management and control of power system are changing to the "big run" mode, which is promoted nationwide in power reform. From the engineering practice view, new problems appeared in such highly centralized reactive voltage control mode. In order to solve these problems, voltage optimization control strategy based on reactive voltage sensitivity is put forward. Simulation results show the validity of the proposed control strategy.

**Key words:** voltage control; reactive voltage; sensitivity

## 何为电离辐射?

辐射是不依人的意志为转移的客观事物。在人们赖以生存的环境中,辐射无处不在。太阳发出的由核反应的光和热,是人类生存所必需的,天然的放射性物质广泛分布于整个环境中。就连我们的身体内,也存在着<sup>14</sup>C、<sup>40</sup>K以及<sup>210</sup>Po之类的放射性核素。地球上的所有生命,都是在存在着此类辐射都背景下不断进化而来的。

按照辐射作用于物质时所产生效应的不同,人们将辐射分为电离辐射与非电离辐射两类。电离辐射包括宇宙射线、X射线和来自放射性物质的辐射。非电离辐射包括紫外线、热辐射、无线电波和微波。