

# 地县 AVC 协调控制的实现

陈天华, 杜磊, 栗杰鹏

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 210061)

**摘要:** 基于电压分层及无功分区控制思想, 遵循三级电压控制模式并结合国内地县电网分级管理的特点, 提出了一种适合于一般地县自动电压控制(AVC)系统的联合协调控制技术, 阐明了地县 AVC 系统协调控制原理, 并分别探讨了地调侧和县调侧的控制策略。经实际系统的现场应用表明, 上述技术方案和控制策略可行且有效, 较好地解决了当前地县 AVC 控制系统之间的协调控制问题。

**关键词:** 自动电压控制; 协调控制; 控制模式

**中图分类号:** TM76

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2011)06-0023-03

随着我国电力系统的快速发展, 电网规模不断扩大, 电网结构和运行方式变得日益复杂, 这给电网的运行监控及安全分析带来了巨大的挑战。在无功电压方面, 以往一般采用局部、分散、人工的控制方式, 缺乏彼此间的协调, 这势必影响了控制的时效性和准确性, 难以达到良好的优化效果。随着调度自动化系统技术的发展, 无功电压的优化分析与在线控制方面得到了前所未有的重视。最近几年, 自动电压控制(AVC)系统<sup>[1]</sup>在各级电网中得到越来越广泛的应用。AVC 系统对全网无功电压状态进行集中监视和分析计算, 从全局角度对广域分散的无功源及无功补偿装置进行协调优化控制, 是保持系统电压稳定、提升电网电压品质和整个系统经济运行水平、提高无功电压管理水平的重要技术手段。随着各地自动化水平的提高, AVC 系统不仅在省级和地区级电网得到应用, 在有些县级电网中, AVC 系统也逐步接入使用。针对地县两级均有 AVC 系统的地区电网, 为了有效利用电网中各种无功调节和电压控制手段, 基于无功分布的区域性特点, 结合普遍采用的电网分级管理原则, 建立地县两级互联的地区全网的 AVC 系统, 由县级 AVC 系统直接控制辖区内的设备, 地区电网 AVC 系统直接控制本级电网的设备, 同时间接控制县级电网。地县 AVC 系统协调控制的实现具有明显的实用意义。

## 1 无功优化及其模型

### 1.1 无功优化

电力系统无功优化是以满足系统负荷要求和各种运行约束为前提, 通过优化算法确定系统中各控制变量的值, 以改善全网无功潮流分布, 提高电压质量从而达到降低电网损耗的目的。在理论上, 可归结为面向无功的最优潮流问题。无功优化具有目标函

数与约束条件非线性、离散控制变量与连续控制变量相混合等特点, 数学上看, 地区电网的无功优化是一个规模大、非线性强的较为复杂的优化问题。

### 1.2 全局优化模型

地调 AVC 以网损最小为无功优化<sup>[2]</sup>目标, 以电压及无功越限为罚函数, 目标函数可表示为:

$$\min F = \Delta P_{\text{loss}} + \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i \Delta V_i^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_{si} \Delta Q_{si}^2 + \sum_{i=1}^{n_3} \lambda_{di} \Delta Q_{di}^2 \quad (1)$$

式(1)中:  $\Delta P_{\text{loss}}$  为系统的有功网损;  $\sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i \Delta V_i^2$  为节点电压越限的罚函数,  $n_1$  为系统内控制节点个数;  $\sum_{i=1}^{n_2} \lambda_{si} \Delta Q_{si}^2$  为省地关口无功越限的罚函数,  $n_2$  为系统省地关口个数;  $\sum_{i=1}^{n_3} \lambda_{di} \Delta Q_{di}^2$  为地县关口越限的罚函数,  $n_3$  为系统地县关口个数。

电压与无功的越界值可定义为:

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{i\text{max}} & (V_i > V_{i\text{max}}) \\ 0 & (V_{i\text{min}} \leq V_i \leq V_{i\text{max}}) \\ V_{i\text{min}} - V_i & (V_i < V_{i\text{min}}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta Q_{si} = \begin{cases} Q_{si} - Q_{si\text{max}} & (Q_{si} > Q_{si\text{max}}) \\ 0 & (Q_{si\text{min}} \leq Q_{si} \leq Q_{si\text{max}}) \\ Q_{si\text{min}} - Q_{si} & (Q_{si} < Q_{si\text{min}}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta Q_{di} = \begin{cases} Q_{di} - Q_{di\text{max}} & (Q_{di} > Q_{di\text{max}}) \\ 0 & (Q_{di\text{min}} \leq Q_{di} \leq Q_{di\text{max}}) \\ Q_{di\text{min}} - Q_{di} & (Q_{di} < Q_{di\text{min}}) \end{cases} \quad (4)$$

基于以上模型的无功优化可得到理论上的最优解, 然而在一个实际且复杂的电力系统中, 上述优化结果却很难在线实现。首先, 受实时电网运行方式变化以及大量遥测遥信数据采集速度与精度的影响, 优化算法的收敛性得不到保证; 其次即使使用状态

估计结果能使上述算法的收敛性问题得到一定程度的改善,但状态估计结果准确与否仍要依赖于线路、设备参数的精确度;再次,上述优化结果不能完全考虑实际控制过程中的诸多问题,如各种控制变量的动作时序,设备动作时间间隔、动作次数等。因此,优化计算结果直接用于大规模系统实时控制的可靠性不高,可操作性也不强。本文结合地、县级电网的特点,对上述优化模型进行简化处理,并在此模型基础上进行地县两级 AVC 的协调控制,使控制效果尽量接近最优。

### 1.3 区域无功控制模型

在 110 kV 配网解环运行后,当前大多数地区电网的网络结构基本上呈辐射型树状分布,以一个辐射网络作为一个控制区域,即可把整个电网划分成若干在空间上彼此解耦的控制区域,各区域间的耦合性仅体现在关口的根节点上。结合控制灵敏度理论,可认为对一个区域内的电容器投切或者有载变压器分接头档位的调节,只影响本区域内的无功分布和节点电压水平,而对其他区域没有影响或影响可以忽略,这样对全网的无功电压优化控制就可以由整个网络缩小到对各个独立区域分别进行控制,大大简化了控制模型。

地调 AVC 可根据网络连接关系和设备参数建立各分区的静态模型,并利用数据采集与监控系统(SCADA)在线监测功能来读取刀闸变位,实时跟踪电网运行方式,实现动态分区。区域关口位于地调所管辖的 220 kV 变电站,当主变并列运行时,分区关口设定为该站 220 kV 母线;当主变分列运行时,分区关口位于 220 kV 主变高压侧。一个分区内包含一个 220 kV 变电站和若干个 110 kV 和 35 kV 变电站。对于每一分区,地调 AVC 也并不直接追求网损最小,而是尽量提高各母线节点的电压并减少各支路上的无功传输,在尽可能小的区域内做到无功就地平衡。

(1) 目标函数。其数学模型<sup>[3]</sup>可表达为:

$$\min \sum (PR+QX)/U \quad (5)$$

式(5)中: $P, Q$  为支路传输的有功和无功; $R, X$  为支路的电阻和阻抗; $U$  为计算节点的电压。

当支路传输有功一定且支路参数不变的情况下,要使目标函数达到最小,应使  $Q=0, U$  靠近上限。

(2) 约束条件。电压满足限值约束,关口无功或功率因数合格。

(3) 控制变量。地区电网可控设备为并联电容器/电抗器和变压器分接头。并联电容器/电抗器和变压器分接头为离散型变量,每天调节次数有

限。前者向系统注入或者吸收无功,后者可改变无功分布。

分区建立后,地调 AVC 系统实时扫描各分区关口电压无功,并综合考虑区域内各站电压水平、无功备用和设备状态等情况,采用该分区灵敏度矩阵预判设备动作对关口无功、母线电压的影响,并最终给出控制指令。上述计算过程不依赖于全网潮流计算结果,具有计算速度快、简单可靠、各分区间并行计算的特点。

## 2 协调控制原理

根据目前普遍的调度体系特点,县调管辖 35 kV 和部分 110 kV 站,地调管辖 220 kV 及部分 110 kV 站,如图 1 所示。在区域控制模型中,同一个区域中的设备可能分属于不同的调度系统,地县协调控制的关键在于如何协调隶属于不同管理范围的变量。

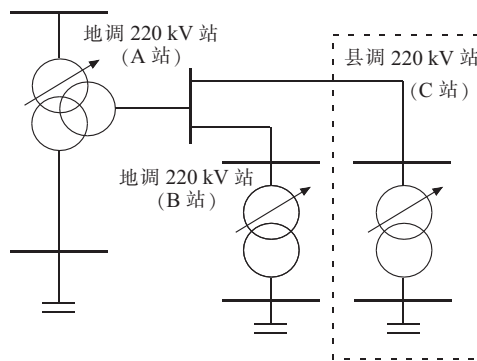


图 1 地县 AVC 协调控制示意图

地调 AVC 主站系统是地区全网无功电压协调控制的核心,可直接控制地调管辖内的变电站低压无功补偿设备及主变分接头,但对于县调 AVC 系统管辖内的 110 kV 变电站,地调 AVC 只能根据各分区计算结果对其关口(联络线或变压器)下发无功或者功率因数范围目标值,并对相应高压侧母线下发电压合格范围作为约束条件,县调 AVC 系统控制策略应以 110 kV 及以上等级电压安全稳定为前提,以地调下发值为目标值二次计算得出。

## 3 协调控制方案

为了适应地县两级电网无功电压管理权限的特点,地县两侧 AVC 系统要实现在空间和时间上的协调控制。

### 3.1 空间协调

地调 AVC 主站基于地区全网的模型进行无功电压计算,对于地调直接控制的变电站,通过直接下发电容器/电抗器投切和分接头调节等控制命令,保证直辖内各重要变电站的电压质量和无功合理分

布。对于县调控制的变电站,地调 AVC 主站通过下发联络线或变压器关口的功率因数或无功目标以及关口母线电压范围给县调 AVC 系统,引导县级电网的电压和无功控制方向。

县调 AVC 系统基于县调的控制模型,并实时接收地调下发的各关口控制目标,按照地调的目标计算各变电站的控制策略。地县两级 AVC 系统耦合于模型的关口点,进行数据交互,达到空间上的协调。在协调过程中还需进行数据安全范围验证和实时性辨识,以保证协调控制的安全性。

### 3.2 时间协调

地县两级在时间上进行分解协调的控制,主要体现在 2 点。

(1) 对于并联电容器/电抗器等具有动作次数限制的离散控制对象,首先要保证电容/电抗器自身的动作次数和动作时间间隔要满足安全约束。另外也要考虑两级之间相关设备(例如同区域的并联容抗器)的协调控制。地调 AVC 系统直接发出的控制指令和下发给各县调 AVC 的控制策略间应要有合适的时序,避免同一区域内设备重复动作或无功窜动。

(2) 地县控制周期设为 5 min,即每 5 min 地调向县调下发一次关口目标指令。周期内,各系统进行各自独立的优化计算并执行各自的控制策略,另外,下发的目标也必须控制在步长之内,以保证控制的稳定性。电压无功控制就是一个反复交叉迭代、分解协调控制的过程。对于在线控制系统,不期望通过一次控制策略就使系统网损达到最优,而是通过序列调节满足电压水平和减少无功传输的策略,逐步接近最优目标。

## 4 地县互联的实现

某地调 AVC 系统基于调度自动化系统(EMS)/SCADA 系统一体化设计,同时与 5 个县调 AVC 系统的进行联合控制,系统结构如图 2 所示。

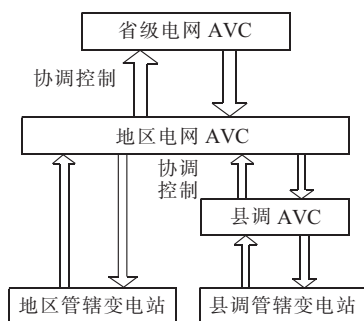


图 2 省地县三级协调控制模式

地调 AVC 系统拥有本地区电网全模型数据,利用地调 SCADA 系统的电网模型和实时遥信遥测

数据进行动态分区并按区域进行电压无功分析计算,进而得到电网电压无功调节策略。然后,将与县调 AVC 系统约定的控制信息,通过具有操作简单且免维护特点的 E 语言文本方式下发到各县调 AVC 系统中。县调 AVC 系统不必考虑管辖范围外的电网模型,只需实时接受地调 AVC 的协调控制指令,结合县调 SCADA 系统中获取的实时数据对辖区内设备进行控制。地县两级 AVC 系统相协调,从而完成对地区电网的无功优化和自动电压控制。

地县联调中某 110 kV 关口的日无功跟踪曲线如图 3 所示。其中间一条曲线为关口实时无功曲线,另外 2 条曲线为地调下发的无功上下限曲线。从图中可看出地调 AVC 根据该站上传的无功备用信息计算出该站无功范围并以控制目标方式下发,该站能实时响应并满足该目标,从而达到了地县 AVC 协调控制的目标。

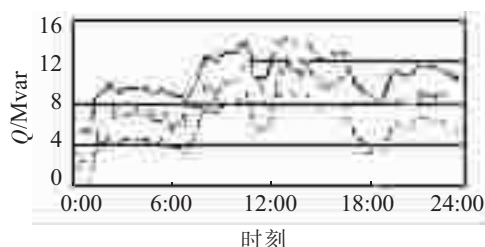


图 3 县调 AVC 跟踪曲线

另外,从该系统 2011 年初开始实现地县两级 AVC 系统联合协调控制以来的运行情况来看,能更好地对整个地区的无功电压分配,并利用区域内所有可调设备来进行调控,使调节结果更优,取得了不错的运行效果,进一步优化了无功潮流,降低了网损,减少了由于各自独立运行时调压引起的设备调节振荡,缓解了地区电网功率因数调节的压力,减少了地区电网无功补偿设备的投切次数,大大降低了调度运行人员的工作量。

## 5 结束语

本文在无功电压分布区域性及目前调度分级管理体系的基础上,提出了地县 AVC 系统协调控制的总体技术方案,并详细阐述了协调控制原理及控制方案的实现。实际应用效果表明本文所提出的协调控制方案是合理和有效的。

### 参考文献:

- [1] 黄华,高宗和,戴则梅,等.基于控制模式的地区电网 AVC 系统设计与应用[J].电力系统自动化,2005,29(15):77-80.
- [2] 赵美莲,赖业宁,刘海涛,等.实时无功优化研究及其在线实现[J].电力系统保护与控制,2009,37(23).
- [3] 唐寅生,李碧君.电力系统 OPF 全网最优无功的经济压差



保护、控制、测量、计量等于一体,简化了系统设计,提高了保护动作的可靠性。结合通信层和站控层组成的数字化发电厂电气监控管理系统,可大大提高发电厂厂用电电气科技含量和运行水平。

#### 参考文献:

- [1] 崔和瑞,于立涛,张屹. 220 kV 午山数字化变电站应用研究[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(3): 149-152.
- [2] 李瑞生,王锐,许沛丰,等. 基于 61850 规约的洛阳金谷园 110 kV 数字化变电站工程应用实践[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 76-78.
- [3] 陈倩茵. 厂用电监控系统在火电厂的应用[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(3): 85-87.
- [4] 黄云乐. 电磁式电流互感器存在的问题分析与解决措施[J]. 沿海企业与科技, 2010(4): 123-124.
- [5] 高春如. 大型发电机组继电保护整定计算与运行技术(第 1 版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2005.

- [6] 王红星,张国庆,郭志忠,等. 电子式互感器及其在数字化变电站中应用[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 115-120.
- [7] 徐大可,赵建宁,张爱祥,等. 电子式互感器在数字化变电站中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 78-82.
- [8] PROFIBUS International Support Center. PROFIBUS Technology and Application [Z]. Karlsruhe, Germany:PROFIBUS International Support Center, 2002.
- [9] 刘青,王增平,徐岩,等. 电子式互感器与继电保护接口的实现[J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 4-5.

#### 作者简介:

丁宁(1978-),男,江苏海安人,工程师,从事发电厂厂用电保护和自动装置研究与开发工作;

刘志雄(1980-),男,湖北汉川人,工程师,从事发电厂厂用电保护和自动装置研究与开发工作;

仲伟(1978-),男,江苏如皋人,工程师,从事发电厂厂用电保护和自动装置研究与开发工作。

## Application of Electronic Instrument Transformer in Electrical Auxiliary System of Power Plant

DING Ning, LIU Zhi-xiong, ZHONG Wei  
(Wiscom System Co. Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The successful applications of electronic instrument transformer in digital substation can give references for electrical auxiliary system of power plant in resolving the shortcomings of traditional instrument transformer. In order to promote the electronic instrument transformer's applications in the electrical auxiliary system of power plant, this paper discusses the traditional transformer's shortcoming, electronic transformer's merit and application mode, digital protection measurement device and etc.

**Key words:** electronic instrument transformer; electrical auxiliary system of power plant; traditional instrument transformer; digital protection measurement device

(上接第 25 页)

△UJ 算法及其应用[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 42-44.

- [4] 程亮,苏义荣,谢敏. 地县级电网全局无功优化的研究和软件开发[J]. 江苏电机工程, 2005, 24(1): 38-40.

#### 作者简介:

陈天华(1981-),男,江苏南通人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

杜磊(1983-),男,山东高唐人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

栗杰鹏(1986-),男,山西长治人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

## Implementation of AVC Coordination Control for Region and County Grid

CHEN Tian-hua, DU Lei, LI Jie-peng  
(NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China)

**Abstract:** Based on the voltage and reactive power hierarchical idea, according to the principles of three-stage voltage control mode and the hierarchical management feature of regional grid, a coordination control solution of the AVC (automatic voltage control) system for region and county grid was proposed. The principles of the coordination control were elaborated. And control strategies were discussed respectively for region and county side. At last, actual applications in power grid show that the proposed technical solution and control strategies are feasible and effective.

**Key words:** automatic voltage control (AVC); coordination control; control mode