

# 地区电网 AVC 系统设计与实现

钟毅<sup>1</sup>, 陈蕊<sup>2</sup>

(1. 广东电网公司中山供电局, 广东 中山 528400; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061)

**摘要:** 电压和电网损耗是电力系统重要的指标。提高电压合格率和降低电网损耗是电网企业一项非常重要的工作。目前在地区电网中已广泛使用的无功补偿和调压手段是变电站无功电压控制装置 VQC, 但是 VQC 存在着不能有效处理全网范围内的无功优化问题和维护工作量大等诸多不足。AVC 是地区电网无功调度发展的最高阶段。介绍了地区电网 AVC 系统的总体设计方案、控制模式、控制策略等, 并针对当前无功电压控制的现状, 提出了具体解决方案。

**关键词:** 自动电压控制; 无功优化; 闭环控制

## Design and realization of AVC system about area power system

ZHONG Yi<sup>1</sup>, CHENG Rui<sup>2</sup>

(1. Zhongshan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Zhongshan 528400, China; 2. NARI Technology Development Limited Company, Nanjing 210061, China)

**Abstract:** The voltage and the electrical network loss are important target of the electrical power system. Improving the voltage qualified and reducing the electrical network loss are an important work of the grid enterprise. In the current, the means of reactive power compensation and voltage regulation is VQC, which has been widely used in regional power grid. But there are many inadequacies with VQC, which cannot effectively process Reactive Power Optimization in the entire net scope. And the maintenance of VQC is difficult. AVC is the highest stage of the regional power grid reactive scheduling. This article introduces the area power system AVC system, including system design plan, the control pattern, the control strategy and so on, proposes a concrete solution.

**Key words:** area power systems; reactive optimization; closed-loop control

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)23-0041-04

## 0 引言

随着我国电力市场改革的深化, 厂网分开后, 降低电网损耗对电网公司来说变得非常重要。目前广泛应用的基于九区图原理的变电站 VQC 装置不能有效处理全网范围内的无功优化问题。为提高电网的安全稳定水平, 进一步提高电网电压质量, 降低网损, 迫切需要一种基于新型控制原理和实现方式的电压无功优化自动控制系统的出现。与此同时, 我国地区电网运行的自动化水平近年来已得到很大的提高, 调度自动化系统 SCADA/EMS 也已得到普及, SCADA 的“四遥”功能日趋完善。因此, 基于 SCADA/EMS 系统、在全网范围内的处理无功优化问题的自动电压控制系统 (AVC) 显得十分必要, 它为现代电网安全、优质、经济运行提供了先进的控制手段。

## 1 国内无功优化控制现状

近年来我国大部分地区电网用的最多的是安装

于变电站端的当地 VQC 软件或装置。它在变电站内部, 依据九区图原理, 利用硬件或者软件来实现本站内的无功资源和电压调节设备的动作。这种办法简单易行, 可以保证一定的电压合格率和功率因数, 但是难以完全实现全网范围的无功电压最优控制。

VQC 控制系统也存在着明显的缺陷和不足:

不能对全网范围的无功电压最优控制。

不能在系统事故时及时更改控制方案, 可能会加重事故的后果。

各变电站分布在不同的地点, 出现故障后运动人员维护异常困难。

各变电站都各装一套无功/电压自控装置, 总的投资大。

近年来国内的许多地区电网开始探索应用 AVC 来解决无功优化问题, 利用软件实现电网的电压无功集中式实时控制, 也成为当前地区电网电压无功优化控制问题的研究热点。

## 2 地区电网 AVC 系统技术方案

AVC 的总体控制方案是:

(1) 对电网进行分层分区, 使 AVC 控制在空间上协调作用。分层一般根据电压等级划分; 分区是根据无功平衡的局域性, 以一个 220 kV 的变电站为中心, 将该厂站和其所属下级厂站及设备化为一个分区, 必要时以电气距离远近进行理论分区并作校正。

(2) 在总的分层分区控制方案下, 按时间特性和各种控制设备的响应特性细分为如下三种控制模式, 使 AVC 控制在时间上协调作用:

区域电压优化控制: 数十秒, 控制区域枢纽厂站无功设备, 校正或优化区域内母线群体电压水平;

电压校正控制: 数十秒, 主要由各个厂站就地控制无功设备快速响应就地电压变化;

区域无功优化控制: 5~15 min, 全面协调控制发电机无功出力、容抗器投切、变压器分接头升降, 使全网电压水平尽可能高、线路无功潮流最小。

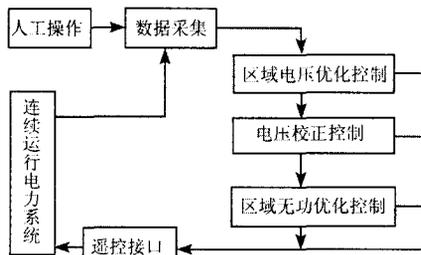


图 1 AVC 工作原理框图

Fig.1 Block diagram of the AVC principle

## 3 AVC 的控制目标

AVC 系统基于 SCADA/EMS 构架, 有效利用了现有资源, 节约成本。系统结构示意图如图 2 所示。

全网无功电压闭环控制目标是:

在地调中心利用 SCADA/EMS 应用软件对变电站中的变压器分接头和电容器组进行远方控制, 实现地区电网的安全经济运行;

保持地区电网范围内所有变电站负荷侧母线电压在规定范围内;

有效地利用电压无功调控手段, 使所有变电站无功尽可能就地平衡, 减少因远距离输送无功而引起的网损;

在全网无功电压闭环控制条件下, 使各变电站的电容器最合理地投入和有载变压器分接挡位动作次数尽可能少;

当省调 AVC 有指令下发时, 确保跟踪省网无功指令, 以有效控制主网枢纽变电站电压的稳定。

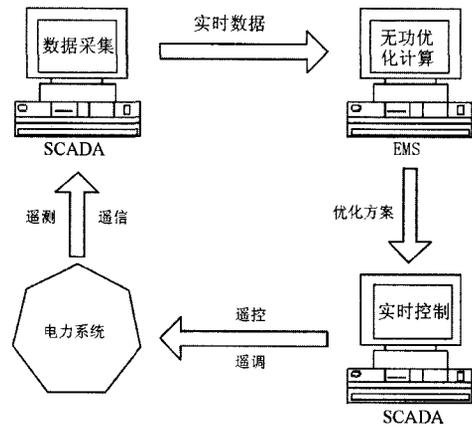


图 2 AVC 系统结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the AVC structure

虽然对全网无功电压的闭环控制目标是明确的, 但是控制规律受很多现场情况和设备的电气控制特性约束, 使得控制策略的求解直接用 OPF 优化算法十分复杂, 求出的控制策略缺乏可操作性。地区电网 AVC 实施过程中另辟蹊径, 通过 PAS 的网络建模和 SCADA 实时数据的在线潮流分析计算, 根据无功就地平衡原理, 参照九区图和灵敏度分析得出 AVC 调控指令, 统一对电网内各变电站的有载调压装置和无功补偿设备进行集中监视、统一管理和在线控制, 实现闭环控制。

## 4 区域协调的二级控制模式

对于地区电网 AVC 采取两层协调控制模式, 基于分离原理将稳态整定值控制和动态电压控制分别优化处理。第二级(全网协调)根据电压无功优化控制, 确定各区域电压中枢点的整定值。第一级(区域电压无功集中控制系统)则随电压变化独立地按整定值进行控制。两级之间通过 SCADA 进行数据通信。

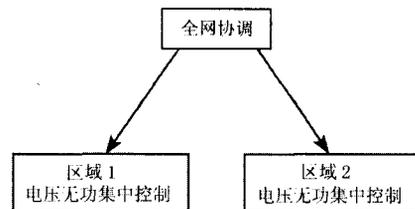


图 3 二级协调控制模式

Fig.3 Control mode with two-level coordination

在全网协调层中, 根据全网各电压等级的相关参数(线路参数、变压器参数等)和地调调度自动

化系统采集的实时数据以网损最小为目标进行无功优化计算, 确定各区域电压中枢点整定值。

区域电压无功集中控制系统属于执行层, 直接获取 SCADA 实时量测数据, 实时动态跟踪网络运行方式变化, 根据分层分区调压原则, 对区域电压无功进行监视和综合分析计算提出相应的调压措施。

二级协调控制模式的主要功能有:

#### 1) 全网优化补偿无功

(1) 当地区电网内各级变电站电压处在合格范围内, 控制本级电网内无功功率流向合理, 达到无功功率分层就地平衡, 提高受电功率因数。

(2) 电压等级不同变电站电容器组根据计算决策谁优先投入。

(3) 变电站不同容量电容器组根据计算决策谁先投入。

(4) 预算 10 kV 母线电压, 防止无功补偿设备投切振荡。

#### 2) 全网优化调节电压

(1) 以尽可能少的有载调压变压器分接开关调节次数, 达到最大范围的提高电压水平, 同时避免了多变电站多主变同时调节主变分接开关的调节振荡。

(2) 电压合格范围内, 根据实时线损计算确定线损最低的运行电压点, 可以获得明显的降损节电效果。

(3) 实施有载调压变压器分接开关档位调节次数按负荷、电压和时段自动优化分配。

## 5 控制策略

电压无功优化控制是一个多目标控制问题, AVC 系统采用混合优化算法。首要目标是保证电压安全优质和关口功率因数合格, 其次是降低网损。AVC 在分层分区、时空协调作用的总控制方案前提下, 根据电网实际状态自动选择相应控制模式, 不同控制模式采用相应的控制策略。

### 5.1 自动拓扑分区

根据无功平衡的局域性和分散性, AVC 对地区电网进行分区控制。首先在 220 kV 主变高压侧对地区电网进行分层, 然后在地区电网内部进行分区。AVC 读取 SCADA 的遥信数据, 通过网络拓扑实时跟踪电网运行方式变化正确划分供电区域。

AVC 采取的分区方法是以 220 kV 变电站为中心, 其所供电的下属变电站构成一个区域。在 AVC 中区域是动态的概念, 最小区域为一个厂站, 最大区域为全网, 电网参数变化后自动重新划分动态区域。为了达到优化状态, 必须在尽可能小的区域范

围内能做到无功就地平衡。首先尽量使小区域无功就地平衡, 如果该区域无功就地平衡无法得到满足, 则将该区域范围扩大到相邻及上级厂站。

### 5.2 建模与数据源

考虑网络安全防护和方便维护, AVC 作为 EMS 的一个应用, 与平台一体化设计, 数据流无缝衔接:

从 PAS 网络建模获取静态电气网络模型, 由建模软件自动生成控制模型并进行严格验证。该控制模型定义厂站、母线电压监测点、功率因数监控点、控制设备(有载调压变压器及电容器等)等记录并形成静态的联结关系。

从 SCADA 获取电网所有实时遥测遥信等动态量测数据, 并能进行生数据处理。数据处理采取的策略有数据质量检验、数字滤波、遥测误差校正、误遥信检测等。

### 5.3 全网电压优化调节

AVC 根据电网电压无功分布空间分布状态自动选择控制模式并使各种控制模式自适应协调配合, 实现全网优化电压调节。

1) 区域电压控制: 区域群体电压水平受区域枢纽厂站无功设备控制影响, 是区域整体无功平衡的结果。结合实时灵敏度分析和自适应区域嵌套划分确定区域枢纽厂站。

2) 电压校正控制: 就地无功设备控制能够最快、最有效校正当地电压, 消除电压越限。厂站内变压器和电容器按九区图基本规则分时段协调配合, 实现电压无功综合优化。

3) 电压控制协调: 根据电网电压无功空间分布状态自动选择控制模式, 控制模式优先顺序为“区域电压控制”>“电压校正控制”。区域电压偏低(高)时采用“区域电压控制”, 仅个别厂站母线越限时采用“电压校正控制”, 自适应给出合理的全网电压优化调节措施。

4) 逆调压: 电压限值根据逆调压规则和历史负荷统计、当前负荷大小动态确定, 高峰时段电压下限偏高, 低谷时段电压上限偏低, 实现逆调压。

### 5.4 全网无功优化控制

AVC 控制仅仅使电网无功在关口满足功率因数要求、达到平衡是远远不够的。为实现全网无功优化控制, 必须在尽可能小区域范围内使无功就地平衡。

1) 区域无功欠补(不足), 流进区域无功偏大时, 从该区域补偿降损效益最佳厂站开始寻找可以投入无功设备, 使得无功潮流在尽可能小的区域内满足分区平衡, 线路上无功流动最小。

2) 区域无功过补(富余), 区域无功倒流时, 如

果该区域不允许无功倒流，根据实时潮流灵敏度分析，从该区域切除电容器校正无功越限最灵敏厂站开始寻找可切除无功设备，消除无功越限。

3) 同一厂站无功设备循环投切，均匀分配动作次数。

4) 电容器等无功补偿装置的无功出力是非连续变化的，由于无功负荷变化及电容器容量配置等原因，实际运行中无功不可能完全满足就地或分层分区平衡，在保证区域关口无功不倒流的前提下，区域内电网各厂站之间无功可以倒送，使无功在尽可能小区域内平衡，优化网损。

5) 投入或切除无功设备可能使电压越限时，考虑控制组合作，如投入电容器时预先调整主变分头，使控制后电压仍然在合格范围内，但减少了线路无功传输。

### 5.5 全网关口功率控制

AVC 保证地区电网关口功率因数合格，按分时段功率因数考核标准进行控制，功率因数考核标准可根据要求自行设置。参考标准：0—7 点和 11—13 点和 22—24 点低谷负荷功率因数控制在 0.9 和 0.95 之间，7—11 点和 13—22 点高峰负荷功率因数控制在 0.95 以上。

AVC 建模时根据 SCADA 关口功率总加公式自定义关口，运行时关口功率总加和 SCADA 保持一致，严格控制不向关口倒送无功。

### 5.6 全网自动协调控制

#### 1) 空间协调

AVC 根据电网电压无功空间分布状态自动选择控制模式，优先顺序是“区域电压控制”>“电压校正控制”>“区域无功控制”。区域电压偏低（高）时采用“区域电压控制”，快速校正或优化群体电压水平；越限状态下采用“电压校正控制”，保证节点电压合格；全网电压合格时考虑经济运行，采用“区域无功控制”。

#### 2) 时间协调

AVC 属于混杂控制结构，使闭环控制随时间跟踪电压无功状态自动协调有序进行。若 AVC 检测到电压越限，则形成离散事件并驱动控制，从而形成控制指令交给遥控接口执行，遥控命令作用于连续运行的电网，电网执行命令形成新的稳态潮流分布后可消除越限。此时全网电压合格，启动区域无功控制，无功设备调节采用序列投切保证离散控制指令作用于电网后，电网有时间来形成新的稳态分布潮流。在下一周期，AVC 根据新的潮流状态自动判断选择控制模式，从而逐步逼近优化运行状态并且能够避免控制过调。

## 6 安全策略

AVC 对电压无功调节设备直接进行遥控，与一般调度自动化软件相比，安全性措施显得非常重要。

### 1) 系统投运安全策略

AVC 系统应在保证电网安全可靠运行前提下，本着循序渐进的原则将电网中各厂站逐步接入，对于新接入厂站，首先应置于开环方式运行，由值班员人工干预来优化或确认控制方案，待该厂站运行稳定、正确、可靠后再接入闭环运行。对于闭环运行的厂站，其所属调压设备仍可以根据实际状态决定控制状态。

### 2) 数据处理安全策略

AVC 应在 SCADA/EMS 平台遥信遥测环节出现误差、遥控遥调环节出现故障或调度自动化系统出现异常时准确判断和可靠闭锁。AVC 数据处理采取的策略有数据质量检验、数字滤波、遥测误差校正、误遥信检测等。

### 3) 控制设备安全策略

AVC 应考虑被控设备当前状态（如检修或保护等）、设备的安全运行条件、设备的动作次数和使用寿命。AVC 按照安规、运规调节变压器分接头或投切电容器，例如并列变压器分接头统一调节，电容器投切时间间隔满足一定时间等。

### 4) 异常事件处理安全策略

AVC 应对电网中出现的各种异常事件，如 10 kV 母线单相接地等，能准确判断和可靠闭锁。AVC 处理的异常事件有变压器调节拒动、变压器调节滑挡、10 kV 母线单相接地、电容器开关遥控不成功、电容器开关检修、电容器开关保护动作等。

## 7 AVC 前景展望

电网无功优化并不是孤立的技术问题，而是一个各方面相互关联的问题。AVC 算法方面，目前的一个研究热点就是多智能体 Agent 算法及 MAS 理论的应用。随着电力系统的发展和计算机、自动化技术的提高，地区电网之间的远程协调也越来越受重视。因此在以后的 AVC 发展过程中，将会逐步解决地区电网与省网、其他地区电网之间相互配合协调的问题，省网 AVC 与地区电网 AVC 一起联合进行省地调电网无功控制。

### 参考文献

[1] 庄侃沁, 李兴源. 变电站电压无功控制策略和实现方式[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (15): 47-50.

(下转第 53 页 continued on page 53)

## 参考文献

- [1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
XIAO Xiang-ning. Analysis and Control of Power Quality[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 林海雪. 现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5-12.  
LIN Hai-xue. The Basic Problem of Current Power Quality[J]. Power System Technology, 2001, 25(10): 5-12.
- [3] 林海雪. 论电能质量标准[J]. 中国电力, 1997, 3(30): 7-10.  
LIN Hai-xue. A Discussion on Electric Energy Quality Standard[J]. Electric Power, 1997, 3(30): 7-10.
- [4] 向农, 宣扬, 张俊敏. 电能质量及其数字检测方法[J]. 高压技术, 2003, 29(4): 46-48.  
XIANG Nong, XUAN Yang, ZHANG Jun-min. Power Quality and Method of Digital Measurement[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(4): 46-48.
- [5] 王宾, 潘贞存, 赵建国, 等. 电能质量监测数据的同步处理与装置设计[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 45-50.  
WANG Bin, PAN Zhen-cun, ZHAO Jian-guo, et al. Data Synchronous Processing and Device on the Monitoring of Electric Power Quality[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 45-50.
- [6] 李唐兵, 姚建刚, 刘一江, 等. 电能质量在线监测装置算法研究[J]. 电测与仪表, 2008, 45(507): 12-16.  
LI Tang-bing, YAO Jian-gang, LIU Yi-jiang, et al. Research on the Algorithms for Power Quality Online Monitoring Equipment[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, 45(507): 12-16.
- [7] 聂晶晶, 许晓芳, 夏安邦, 等. 电能质量监测及管理  
系统[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10): 75-81.  
NIE Jing-jing, XU Xiao-fang, XIA An-bang, et al. Study on Power Quality Monitoring and Management System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 75-81.
- [8] 黄峻岭, 王汉林, 丁网林. 电能质量管理信息系统方案设计[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 76-78.  
HUANG Jun-ling, WANG Han-lin, DING Wang-lin. Design of Power Quality Management Information System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 76-78.
- [9] 徐遐龄, 查晓明. 电能质量监测评估系统的研究[J]. 高压技术, 2008, 34(1): 158-162.  
XU Xia-ling, ZHA Xiao-ming. Study on Power Quality Monitoring and Evaluating System[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(1): 158-162.
- [10] 张巍, 马文营, 杨洪耕, 等. 开放式电能质量管理软件的研制与开发[J]. 继电器, 2003, 31(1): 47-50.  
ZHANG Wei, MA Wen-ying, YANG Hong-geng, et al. The Research and Development of Open Power Quality Management System[J]. Relay, 2003, 31(1): 47-50.
- (上接第 44 页 continued from page 44)
- ZHUANG Kan-qing, LI Xing-yuan. Strategies and Implementation Modes of Voltage and Reactive Power Control for Substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(15): 47-50.
- [2] 严浩军. 变电站电压无功综合自动控制问题探讨[J]. 电网技术, 2002, 24(7): 41-43.  
YAN Hao-jun. Discussion and Implementation of Voltage-reactive Control in Substation[J]. Power System Technology, 2002, 24(7): 41-43.
- [3] 许文超, 郭伟. 电力系统无功优化的模型及算法综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(1): 100-104  
XU Wen-chao, GUO Wei. Summarize of Reactive Power Optimization Model and Algorithm in Electric Power system[J]. Proceedings of CUS-EPSSA, 2003, 15(1): 100-104.
- [4] 李瑞超, 陈实. 安徽电网自动电压控制系统设计及实现  
[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8): 20-22.  
LI Rui-chao, CHEN Shi. Design and Implementation of Real-time Generation Control System for Anui Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 20-22.
- [5] 熬丽敏, 王永春, 吴庆. 短期负荷预测分析及一种新模型构想[J]. 吉林电力, 2006, 6(4): 16-19.  
AO Li-min, WANG Yong-chun, WU Qing. Review of Short-term Load Forecasting and a Novel Proposition on it[J]. Jilin Electric Power, 2006, 6(4): 16-19.
- 收稿日期: 2008-01-29; 修回日期: 2008-03-27
- 作者简介:  
钟毅(1979-), 男, 学士, 工程师, 从事电网调度自动化技术工作; E-mail: zyx0501@163.com  
陈蕊(1980-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为调度自动化自动电压控制。