

## 地区智能电网分布式电压无功自动控制系统研究

孙建伟<sup>1</sup>, 王宗兴<sup>2</sup>, 夏亚君<sup>1</sup>, 顾博川<sup>1</sup>

(1. 广东电网公司电力科学研究院, 广东省智能电网新技术企业重点实验室, 广东 广州 510080;

2. 积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100)

**摘要:** 随着地县一体化建设的推进, 以适应新形势、简化管理、进一步提高地区电网电压无功自动控制效率为目的, 提出了分布式电压无功自动控制系统。系统根据电网监控权, 以变电站为基本单元, 将全模型划分为多个属于不同的监控区域和县局局的本地模型。采用分布式技术, 将服务部署于物理上分散的多个节点机, 以本地模型为单元分配给节点机, 进行监视、计算和控制。软隔离消息总线, 保证相关人员在所属的模型视图内进行电网监视和模型维护, 透明化底层信息。与原有的集中式控制相比, 系统体系结构更加灵活, 便于扩展, 可靠性更高, 计算和控制效率得到了明显提升, 满足地县一体化的建设要求。

**关键词:** 电压; 无功; 分布式; 自动控制; 地县一体

### Study on distributed reactive power and voltage automatic control in regional smart grid

SUN Jian-wei<sup>1</sup>, WANG Zong-xing<sup>2</sup>, XIA Ya-jun<sup>1</sup>, GU Bo-chuan<sup>1</sup>

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Smart grid Technology, Guangdong Electric Power Research Institute, Guangzhou 510080, China; 2. Integrated Electronic System Co., Ltd, Jinan 250100, China)

**Abstract:** With the advance of municipal-county integration, in order to simplify management and further improve the efficiency of automatic control, a distributed voltage and reactive power automatic control system is adopted. Based on the monitor right, taking substation as the basic unit, the system divides the whole model into several local models belonging to different monitoring area; using a distributed technology, services are deployed on multiple physically distributed node computers, assigning the local model to the node computer to monitor, calculate and control; soft isolation message bus ensures that the relevant personnel monitor the power grid and maintain the model in their view of the model, transparenting the underlying information. Compared to the original centralized control, system has more flexible architecture, scalable, and higher reliability. Its calculation and control efficiency is improved significantly. It meets the requirements of municipal-county integration.

**Key words:** voltage; reactive power; distributed control; automatic control; municipal-county integration

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)13-0112-05

## 0 引言

电压是电能质量的重要指标。电压质量对电力系统的安全与经济运行, 对保证用户安全生产和产品质量以及电器设备的安全与寿命, 有重要的影响。电力系统的无功补偿与无功平衡, 是保证电压质量的基本条件。有效的电压控制和合理的无功补偿, 不仅能保证电压质量, 而且提高了电力系统运行的稳定性和安全性, 充分发挥了经济效益。

随着电网规模的日益扩大, 以往由运行值班人员根据其运行经验和简单逻辑判断, 人工手动进行无功电压控制的控制模式很难达到优化的控制效果, 已经不能满足电网发展的需要了。另一方面, 在我国地区电网中曾经广泛使用的变电站无功电压控制装置(VQC)<sup>[1-3]</sup>, 由于其控制原理的不足, 也难以取得理想的无功电压优化控制效果。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提高, 调度自动化系统(SCADA/EMS)也已得到普及, 在现场运行中具有较高的可靠性和稳定性, SCADA的“四遥”功能日趋完善。基于计算机软件模块的电压无功自动控制系统(AVC)<sup>[4-9]</sup>应运而

基金项目: 广东省智能电网新技术企业重点实验室资助项目  
(2060299)

生。AVC 在调度 SCADA 的基础上进行全局的无功电压优化计算或者专家系统推理, 确定变压器有载分接头位置, 无功补偿设备的投切, 然后通过 SCADA 系统的遥控、遥调功能进行控制。

为了更好地适应电网的迅猛发展和电力市场建设的需要, 地县一体化建设蓬勃发展。现有的集中式的电压无功自动控制系统已经不能很好地满足地县一体化管理模式的要求, 分布式的电压无功自动控制系统<sup>[10-11]</sup>成为当前的研究热点。本文结合实践

经验, 研究了从集中式控制转向分布式控制中的相关核心问题。

## 1 分布式电压无功自动控制系统

### 1.1 系统体系结构

分布式电压无功自动控制系统的体系结构可以用“分布式决策、分布式控制, 本地决策、本地控制”来概括。硬件体系结构如图 1 所示, 软件体系结构如图 2 所示。

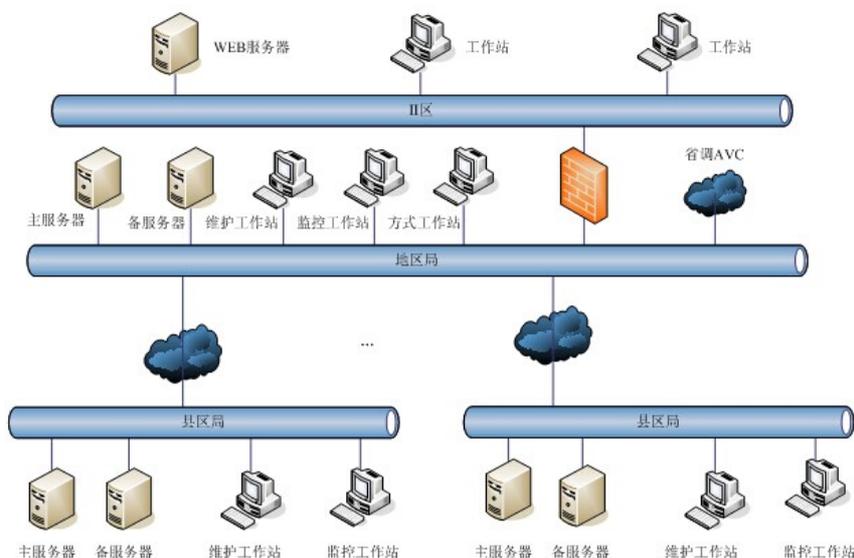


图 1 系统硬件结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of system hardware structure

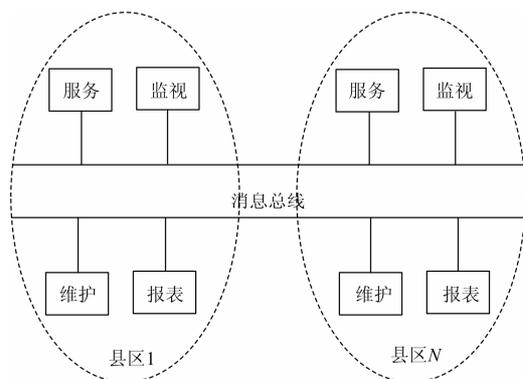


图 2 系统软件结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of system software structure

系统采用客户机-服务器的方式运行, 在安全 I 区的实时网络中通过消息总线进行通信。不同县区局部署有自己专有的 AVC 主备服务器、AVC 工作站。各个县区地位平等, 平行运行, 县区局之间通过软件方式进行隔离, 互不可见。

AVC 服务器: 每个地区部署两台 AVC 服务器

作为双机热备用。AVC 服务器从 EMS 获取电网全模型和本地模型, 对本地区电网进行无功电压的计算, 生成控制策略。AVC 服务器双机热备用运行, 当主机由于故障退出运行时, 备机自动切为主机。采用主备方式时, 备机只计算而不控制。

工作站具体可以分为维护工作站、监控工作站、方式工作站。

AVC 维护工作站: 主要运行 AVC 的维护模块, 由自动化人员运行维护使用, 用于本地区 AVC 模型的修改和参数设置。

AVC 监控工作站: 主要运行 AVC 的实时监控模块, 供调度和监控人员监视本地区 AVC 系统的运行情况。

AVC 方式工作站: 主要运行 AVC 的报表模块, 供方式人员查询历史控制策略, 统计电压合格率、功率因数合格率、设备动作次数等, 对比分析 AVC 的控制效果。

### 1.2 系统控制流程

系统控制流程如图 3 所示。

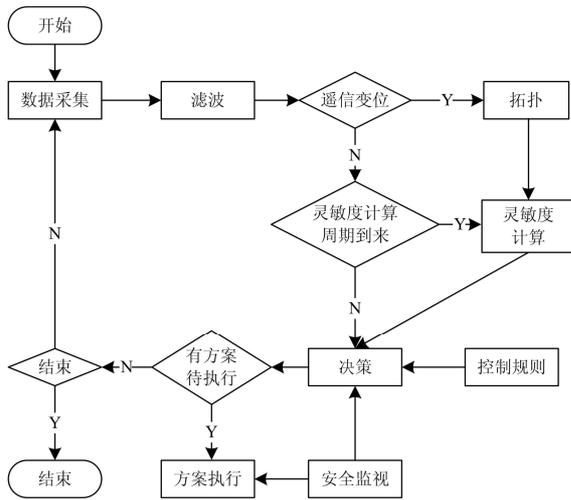


图 3 控制流程图

Fig. 3 Control flow diagram

与集中式控制相比，从广义范畴来讲，在控制流程方面没有根本差别，但是在通信软隔离、电网模型、拓扑分析和灵敏度计算、决策、运行监视、历史查询与统计分析等狭义方面存在根本差别。

### 1.3 通信软隔离

每一个县区局部署有自己专用的 AVC 服务器和客户端。为确保客户端只能连接到本县区局的服务器，服务器的信息只能广播给本县区局的客户端，不同地区的服务注册不同的服务名称。服务名称的命名遵循“基名称”+“机器所属安全责任区 ID”的规则。服务启动时，首先获取机器所属安全责任区 ID，然后根据命名规则注册服务名；客户端启动时，首先获取机器所属安全责任区 ID，然后根据命名规则连接服务。

### 1.4 电网模型

与集中式控制相比，分布式控制面临的最大挑战就是如何合理高效地管理电网模型。合理的电网模型管理使得后续的分布式功能简单化，不合理的电网模型切割相反会复杂化后面的分布式处理。模型管理的第一步就是对模型进行分类。在此将模型分为 SCADA 模型、PAS 模型、AVC 模型。每一类模型由各个县区局的相应模型构成。例如，地区电网由  $N$  个县区局构成，SCADA 模型由县区局 1 的 SCADA 模型、县区局 2 的 SCADA 模型...县区局  $N$  的 SCADA 模型组成，同样 PAS 模型由县区局 1 的 PAS 模型、县区局 2 的 PAS 模型...县区局  $N$  的 PAS 模型组成，AVC 模型由县区局 1 的 AVC 模型、县区局 2 的 AVC 模型...县区局  $N$  的 AVC 模型组成。从县区局的视角出发，有六类模型，SCADA 全模型、本地 SCADA 模型、PAS 全模型、本地 PAS 模

型、AVC 全模型、本地 AVC 模型，包含关系如图 4 所示。

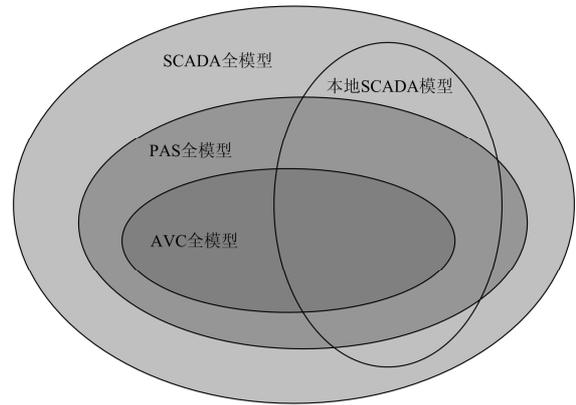


图 4 模型关系图

Fig. 4 Model relation diagram

另外，本地 SCADA 模型和 PAS 全模型的交集为本地 PAS 模型，本地 SCADA 模型与 AVC 全模型的交集为本地 AVC 模型。

有了上述模型分类，模型的建立和使用由图 5 描述。

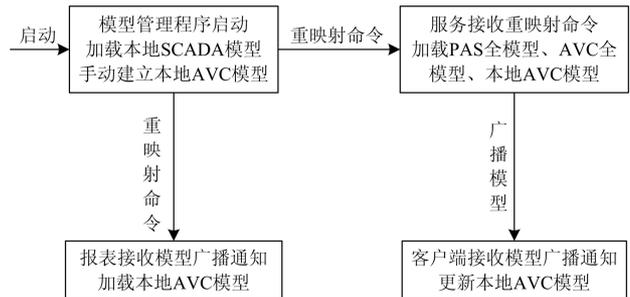


图 5 模型建立和使用图

Fig. 5 Model building and use diagram

模型的管理由模型管理程序负责。模型管理程序从数据库加载本地 SCADA 模型，展示给模型维护人员，维护人员在本地 SCADA 模型的范围内，完成对本地 AVC 模型的建立、更新等工作。一旦模型建立完毕，就可以通知所有服务（本县区局服务+其他县区局服务）重新映射模型，服务会从数据库加载 PAS 模型、AVC 全模型和本地 AVC 模型，然后广播最新本地 AVC 模型，客户端接收到模型广播通知后自动更新本地 AVC 模型。报表在接收到重映射命令后，会从数据库加载本地 AVC 模型，供历史查询和统计分析使用。

### 1.5 拓扑分析和灵敏度计算

服务初次启动或者遥信变位都会触发拓扑分析。拓扑分析的范围是 PAS 全模型，对电网进行控制区域划分。利用拓扑分析结果，在 AVC 全模型上

生成子网关口、变电站关口和电压监测点。

服务初次启动、灵敏度计算周期到来、遥信变位情况下需要进行灵敏度计算。灵敏度计算嵌入服务端,采用摄动法对本地 AVC 模型中的变压器有载分接头和无功补偿设备逐一进行灵敏度计算,计算对网损、考核关口功率因数、变电站关口功率因数、母线电压的灵敏度,为控制效果预算提供可靠的理论依据。单次扫描计算使用的计算模型为 PAS 全模型,确保计算精度。使用 AVC 全模型记录灵敏度结果。灵敏度计算属于耗时操作,对本地 AVC 模型的扫描计算属于分布式计算,可以有效地提高计算效率。

### 1.6 决策

决策是系统的核心功能。它主要根据一定的控制规则,生成控制方案,保证电压和功率因数合格,无功就地平衡。系统提供两种方案生成算法,基于评价指标的方案生成算法和基于规则的专家方案生成算法。前者通过综合关口功率因数、母线电压、网损、控制安全等因素,建立指标评价模型,评价指标最大的设备就是当前最优控制设备。后者则是基于规则的专家系统在电压无功自动控制领域的应用。不同的母线电压、关口功率因数、变电站无功情况确定了一条规则,该规则指定设备操作顺序,是无功补偿设备优先还是变压器有载分接头优先,所有的规则形成专家知识库。

决策范围是本地 AVC 模型。当本地 AVC 模型

中的母线电压越限或者本地 AVC 模型所属的关口功率因数越限时,决策过程启动,并最终生成矫正方案。在没有越限的情况下,决策过程依旧,并给出降损方案。在计算控制策略的过程中,需要使用灵敏度计算结果,对控制结果进行比较准确的预估。预估的范围由用户指定,支持 AVC 全模型预估、本地 AVC 模型预估、本站 AVC 模型预估。

### 1.7 运行监视

监控人员通过客户端监视服务的运行情况。监控人员只关心本监控区域的信息,客户端通过从服务端下载本地 AVC 模型或者接收服务端广播的模型变化通知,更新本地 AVC 模型,来满足该要求。

### 1.8 历史查询与统计分析

报表模块提供历史查询与统计分析功能,用于 AVC 控制效果的分析和评价。报表模块使用 AVC 本地模型,历史查询和统计分析都在该模型内进行。

## 2 分布式控制和集中式控制对比

### 2.1 模型比较

在模型层面上,分布式控制和集中式控制对比如表 1 所示。

### 2.2 优缺点比较

集中式无功电压自动控制和分布式无功电压自动控制各有其优缺点,总体来看分布式控制更合理、更先进。优缺点对比如表 2 所示。

表 1 分布式、集中式控制核心功能模型应用对照

Table 1 Core function model comparison of distributed and centralized control

功能	分布式控制	集中式控制
拓扑分析	拓扑 PAS 全模型,划分控制区域 使用 AVC 全模型,生成关口和监测点	拓扑 PAS 全模型,划分控制区域 使用 AVC 全模型,生成关口和监测点
灵敏度计算	PAS 全模型用于计算 AVC 全模型用于结果记录 本地 AVC 模型用于扫描	PAS 全模型用于计算 AVC 全模型用于结果记录 AVC 全模型用于扫描
决策	本地 AVC 模型用于决策 控制效果预估模型人工指定,支持 AVC 全模型、本地 AVC 模型、本站 AVC 模型	AVC 全模型用于决策 AVC 全模型用于控制效果预估
运行监视	本地 AVC 模型	AVC 全模型
历史查询与统计分析	本地 AVC 模型	AVC 全模型

表 2 两种控制模式优缺点

Table 2 Advantages and disadvantages of two control modes

	分布式控制	集中式控制
优点	各个县区局系统独立运行,互不影响。灵敏度计算效率高,响应速度快。本地模型本地维护,减轻了地调系统维护人员的工作量。方案执行效率高。	遥控方案步调一致
缺点	分布式服务方案欠缺同步性,极端情况下可能会产生振荡。	系统出现异常时,会影响整个地区的控制。计算效率低,响应速度慢。模型需要集中维护,维护工作量大。方案执行效率低。

### 3 结语

随着电网发展和地县一体化的推进建设,地区电网模型急速增大,原有的集中式的电压无功自动控制系统很难满足实际使用要求。本文结合地县一体化实践经验,对分布式电压无功自动控制系统进行了较为深入的研究。服务分布式部署到各个县区局,通过对模型合理分类,服务将功能主要应用于本地 AVC 模型上,这样不仅提高了运算效率,而且更好地适应了地县一体化的管理模式。

### 参考文献

- [1] 沈佩琦,周健科. VQC 实现方式及存在问题分析[J]. 中国电机: 技术版, 2013, 5: 12-14.  
SHEN Pei-qi, ZHOU Jian-ke. Achieve way and problems for the VQC[J]. China Electric Power: Technology Edition, 2013, 5: 12-14.
- [2] 李华. 变电站电压无功综合控制(VQC)装置的应用[J]. 广东电力, 2006, 19(11): 62-65.  
LI Hua. Study and application of voltage and reactive power integrated automatic control system in substations[J]. Guangdong Electric Power, 2006, 19(11): 62-65.
- [3] 韩文庆,周志勇,王毅,等. 基于负荷预测的区域变电站电压无功综合控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(8): 68-72.  
HAN Wen-qing, ZHOU Zhi-yong, WANG Yi, et al. Study of area substation voltage and reactive power control based on load forecasting[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(8): 68-72.
- [4] 黄春红,陈进忠,林桓,等. 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] 李健,刘明波,陈文广. AVC 体系下的长期电压稳定仿真分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 59-65.  
LI Jian, LIU Ming-bo, CHEN Wen-guang. Long-term voltage stability simulation based on AVC framework[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 59-65.
- [6] 庞鹏,黄缙华. 地区电网自动电压控制系统在线和离线评估技术研究及应用[J]. 广东电力, 2012, 25(12): 90-94.  
PANG Peng, HUANG Jin-hua. On-line and off-line evaluation technology research and application of automatic voltage control system of regional power grid[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(12): 90-94.
- [7] 陈霞,孙海顺,隋先超,等. 一种区域耦合度指标及其在电压无功分区控制中的应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 83-88.  
CHEN Xia, SUN Hai-shun, SUI Xian-chao, et al. Area coupling index and its application in voltage and reactive power hierarchical control[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(7): 83-88.
- [8] 缪楠林,刘明波,赵维兴. 电力系统动态无功优化及其实现[J]. 电工技术学报, 2009, 24(2): 150-157.  
MIAO Nan-lin, LIU Ming-bo, ZHAO Wei-xing. Power system dynamic reactive power optimization and its implementation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(2): 150-157.
- [9] 贾志伟,刘君,于伯健. 基于遗传算法的改进二级电压控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(6): 37-43.  
JIA Zhi-wei, LIU Jun, YU Bo-jian. Study on improved secondary voltage control based on genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(6): 37-43.
- [10] 陈浩,吴宁. 分层控制系统在电网调度方面的应用[J]. 广东电力, 2004, 17(6): 22-28.  
CHEN Hao, WU Ning. Hierarchy system applied to electric network dispatching[J]. Guangdong Electric Power, 2004, 17(6): 22-28.
- [11] 贺晓红. 承德电网分布式 AVC 系统的应用研究[J]. 华北电力技术, 2009(9): 25-27.  
HE Xiao-hong. Application research on distributed AVC system of Chengde Power Grid[J]. North China Electric Power, 2009(9): 25-27.

收稿日期: 2013-09-26; 修回日期: 2014-02-19

作者简介:

孙建伟(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动化;

王宗兴(1985-),男,本科,工程师,从事电压无功自动控制等方面的研究。E-mail: dinosaur\_xing@126.com