

省地 AVC 系统协调控制技术研究及其实实现

赵美莲¹, 赖业宁², 董爱芹³

(1. 南京工程学院, 江苏 南京 211167; 2. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003;

3. 安阳优创电力设计院有限责任公司, 河南 安阳 455000)

摘 要: 基于电压分层控制及无功源区域性分布的特点, 结合现代电网调度自动化系统(EMS)的一体化调度需求, 阐明了省地自动电压控制(AVC)系统协调控制原理, 提出了一种适合省地 AVC 系统联合优化的协调控制技术方案, 并分别探讨了省调侧和地调侧的控制策略以及它们之间通信方案的实现。经实际系统的工程应用表明, 所提出的技术方案和控制策略是可行且有效的, 较好地解决了当前省地 AVC 控制系统之间的协调问题。

关键词: AVC; 协调控制; 联合优化

中图分类号: TM761

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2011)04-0005-03

电力系统的快速发展使得电网规模不断扩大, 电网结构和运行方式也变得日益复杂, 这对电网的安全分析和运行监控都带来巨大的技术挑战。作为提高电压质量、降低系统网损和提高电压稳定水平的重要手段, 近年来自动电压控制(AVC)技术备受电业业界所重视。明确要求新一代电网调度自动化系统(EMS)建设中应包含 AVC 系统建设内容, 各网省主站系统应具备 AVC 系统调节功能, 并加大研究省地 AVC 系统协调控制技术。无功电压控制是一项复杂的系统工程, 其基本原理是分层分区控制^[1-3]。以往一般采用局部、分散、人工的控制方式, 缺乏全局协调, 这势必影响了控制的时效性和准确性, 难以获得良好的控制效果。随着调度自动化系统的技术发展以及电能质量要求的不断提高, 无功电压分析与在线控制技术得到了快速发展和工程实用化, 各网省级调度中心和地区级调度中心纷纷建设并投入了 AVC 系统^[4-8]。

1 省地 AVC 协调控制总体方案

1.1 基本原理

从物理本质上看, 省调 AVC 系统和地调 AVC 系统之间的协调控制可等效为电源侧和负荷侧之间的无功电压协调控制, 如图 1 所示。省调主站 AVC 系统是全网无功电压协调控制的核心, 主要通过基于全网的电压校正与无功优化算法, 且综合考虑各种控制变量约束, 计算出合理的无功电压控制策略。省调主站 AVC 系统直接控制管辖范围内的直调电厂机组无功出力、投切 500 kV 变电站低压无功补偿设备及主变分接头调整等, 使各个区域内枢纽母线电压在规定范围或按最优运行。与此同时, 省调主站 AVC 系统向地调子站 AVC 系统发送相应的关

口母线(一般选择 220 kV 变电站高压母线)电压控制目标值, 实现省调主站与地调子站之间的协调控制。地调 AVC 系统控制策略则是以 220 kV 及以上主网安全稳定运行为前提, 基于省调下发的目标值进行子站控制策略的分析和计算。

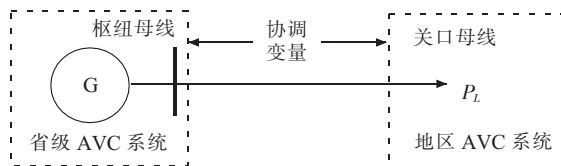


图 1 省地 AVC 协调控制原理示意图

1.2 总体方案

全网无功电压优化协调控制系统一般采用“集中决策—分层控制”模式, 以安全性和经济性为约束, 实现分层分区控制。分层主要是指按电压等级进行无功平衡控制, 可分为 3 个级控制层。一级控制通常是快速反应的闭环控制, 响应时间为 1 s 至几 s 内, 如发电机组(包括调相机)的无功功率控制、静止无功补偿器的控制, 以及快速自动投切电容器和电抗器等; 二级控制系统协调一个区域内一级控制设备的工作, 响应时间为分钟级; 三级控制则协调、优化二级控制系统, 指导值班人员的干预, 除安全监视及控制外, 经济问题主要在三级控制中考虑, 以按安全经济运行原则协调优化运行状态; 三级电压控制的目的是实现全网电压无功的协调控制, 可根据离线分析经验或专家系统设定各控制区的主导节点电压。从三级电压控制体系看, 相互间的协调是取得全局优化效果的关键。省地协调电压控制技术方案如图 2 所示。

在图 2 的控制框架中, 省级 AVC 系统进行全网无功优化, 实时计算出地区电网中协调变量的最优设定值, 然后通过调度数据通信网下发。在地区电网的协调控制决策中, 除了满足本级电网的控制目

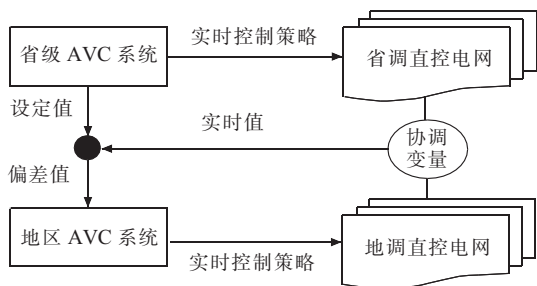


图2 省地协调电压控制的框架图

标外, 还需要实时跟踪由省级电网给出的协调变量的最优设定值。

1.3 协调控制流程及其安全性机制

基于省地无功电压控制的安全性需求, 设计的协调控制流程如下:

(1) 全网无功优化。以全网有功网损最小化为目标进行全网无功优化, 计算出控制母线的目标期望值。在满足 220 kV 母线电压合格的前提下, 省调 AVC 尽量控制 220 kV 变电所主变关口无功负荷满足 220 kV 线路无功达到经济分布。

(2) 控制目标下发。省调 AVC 系统向地调 AVC 系统下达每个 220 kV 变电所无功目标期望值指令。

(3) 控制指令校核与执行。地调 AVC 系统接收到省调下发的控制目标指令后, 首先进行指令的有效性校核, 校核通过后立即执行, 若校核通不过, 则闭锁远方控制并发报警。

(4) 地调 AVC 系统具备远方/本地 2 种运行模式, 其开环/闭环状态应及时上传省调 AVC 系统。远方模式下按省调指令运行, 本地模式下按本地考核指标运行。在规定时间内接收不到省调 AVC 系统下发数据, 则闭锁远方控制并发报警, 切换到本地模式运行; 收到省调 AVC 系统下发数据后, 应自动恢复正常, 切换到远方模式。

(5) 为了细化上下级之间的控制策略与调度管理, 地调 AVC 系统应将必要的信息通过 SCADA 上传省调, 其中包括各台电容器的投切状态、受控状态、闭锁状态及实际的可控无功容量; 各台有载变压器分头位置、受控状态及闭锁状态; 各厂站闭环控制状态。

2 协调控制策略

2.1 协调变量的选择

根据目前我国省地电网调度职能划分, 可考虑选择 220 kV 主变高压侧无功功率(功率因数)作为协调变量。将该协调变量作为可调变量, 并加以严格的约束条件, 在约束条件中综合考虑无功分层平衡原则和地调电网的调节能力。然后将该控制变量及

其约束条件加入省级三级电压控制的无功优化模型中进行统一求解, 以保证省地 AVC 之间协调策略的匹配。

2.2 省调侧的策略考虑

根据无功就地平衡的原则, 在正常情况下不希望出现省调与地调之间出现大的无功流动, 尤其在 220 kV 电网电压正常的情况下, 不希望地调侧向省调侧倒送无功, 这主要是因为地调侧统计的可投总容量是中压侧辐射电网的总加, 其传输必然要经过一定的路径, 由这部分容量来支持省调的无功需求是不经济的。而在省调模型中也无需考虑地区电网的内部细节, 因此, 有必要在地调侧设定一个分层平衡点, 这可以通过对 220 kV 主变中压侧无功功率(从主网流入主变为正)施加一个限制来实现: $Q_h \geq Q_h^b$, Q_h^b 为接近 0 的正数。但在紧急情况下, 若 220 kV 电网电压越限, 且发电厂失去调节能力的情况下, 此时只能利用地调侧作为无功支撑, 此时不再考虑就地无功平衡, 取消 $Q_h \geq Q_h^b$ 约束, 即令 Q_h^b 为一个比较大的负数, 以地调侧的全部实际控制能力为准。

实时优化计算地调 220 kV 变电站高压侧无功的控制目标, 在正常情况下尽量维持 220 kV 主变无功就地平衡; 在 220 kV 电网电压越限, 且发电厂失去调节能力情况下, 牺牲地调电网的无功平衡参与主网调压; 对地调 AVC 下发 220 kV 变电站关口无功目标指令。

2.3 地调侧的策略考虑

为加强上下级的协调性, 地调 AVC 系统上传对 220 kV 电压的期望值, 该期望值表明从地调侧调压的角度出发所期望的省网侧 220 kV 电压值, 作为省网 AVC 系统进行全局优化时的参考。

地调 AVC 系统将每个 220 kV 变电站可投切电容器容量、变压器分接头位置及其所辖 110 kV 电网可投切电容器容量上传至省调 AVC; 在不违反自身约束的条件下, 地调 AVC 控制 220 kV 以下变电站的电容器和变压器分接头, 满足省调 AVC 下发的 220 kV 变电站关口无功目标指令。

地调 AVC 系统上传无功量应分为 2 个部分: 关口厂站正常无功可调范围和紧急无功可调范围。地调 AVC 系统对从 220 kV 变电站向下辐射的电网进行实时的扫描, 生成这 2 个无功可调范围, 并上传给省调 AVC 系统。

3 省地协调的通信方案设计

省地协调的通信模式可根据当地调度中心的通道情况、数据质量而采用不同的方式, 但其主要设计基点都是实时性和安全性要求。

(1) 使用现有的上、下行通道, 或者采用数据网, 二者互为备用。通信规约在现有规约基础上修改, 报文格式如图 3 所示。

41H	00	变电所编号	无功指令	BCH
42H		实际有功	实际无功	BCH
43H		母线电压	II 母线电压	BCH

图 3 AVC 通信报文格式

报文中通道标志 00 表示正常, 01 表示中断。使用现有省地调数据采集与监控(SCADA)/EMS 数据转发功能实现控制指令传递, 实现容易, 即在地调 SCADA 数据库中建立遥信、遥测转发表, 接收省调下行指令, 并上传控制状态。控制精度一般取为区域电网中电容器容量平均值(一般为 5~10 MVar)。

(2) 基于 E 语言协议。在这种模式下, 省地协调的信息基本流向如图 4 所示。

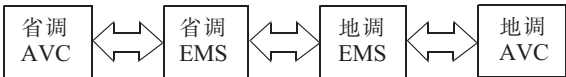


图 4 地协调的信息基本流向示意图

省调 AVC 系统和地调 AVC 系统制定相应的数据交换内容, 并通过设置标志文件等机制进行读写闭锁。采用 E 语言文件方式时, 必须通过安全性和正确性校验, 保证文件在传输过程中的可靠性。基本方法是在导出端生成校验码, 接收端根据校验码对文件进行校验。例如采用 MD5 算法进行文件安全性校核, MD5 是国际通用的标准算法, 算法稳定可靠, 是文件校验最成熟的算法之一。安全性校验的具体过程如下: ① 导出端生成 E 语言文件。② 导出端利用 MD5 校验程序对该 E 语言文件生成一个校验文件。③ 导出端同时将两个文件传送到接收端。④ 接收端利用校验文件对 E 语言文件进行校验, 正确时进入下一步处理, 否则报警。

4 工程应用

以我国某省级电网电压协调控制的工程应用为例, 分析该省调与地调 AVC 系统的协调控制效果。省调 AVC 系统经过全网优化计算(一般采用周期计算模式, 每 15 min 自动计算一次), 得出各关口母线的电压控制目标值, 然后以电压上下限值的带宽形式下发控制指令。地调 AVC 系统接受到省调指令后, 调节其管辖区域内的无功电压调节设备, 动态跟踪该目标值。某关口母线电压在一天内动态跟踪目标值的运行情况如图 5 所示。从图 5 可以看出, 关口母线电压能够较好地跟踪省调下发的电压目标值(能严格运行在其规定的限值范围内), 且其电压变化趋势与省调期望值变化趋势相一致, 表明省调

AVC 系统和地调 AVC 系统之间的优化协调控制效果良好。

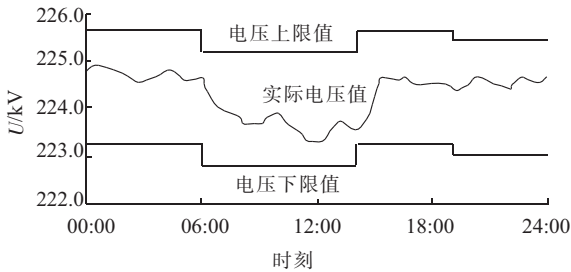


图 5 关口母线电压跟踪曲线

5 结束语

本文结合无功区域性分布特点和当前调度一体化要求, 基于电压三级控制体系架构, 提出了省地 AVC 系统协调控制的总体技术方案。省级 AVC 系统进行全网无功优化, 实时计算出地区电网中协调变量的最优设定值, 然后通过调度数据通信网下发。地区电网根据自身的无功电压调节能力, 实时跟踪由省级电网给出的目标期望值。文中所提出的技术方案和控制策略在实际工程应用中表明, 较好地解决了当前省地 AVC 系统之间的协调控制问题。

参考文献:

[1] 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, 25(4): 16-20.

[2] YOKOYAMA R, NIIMURA T, NAKANISHI Y. A Coordinated Control of Voltage and Reactive Power Heuristic Modeling and Approximate Reasoning[J]. IEEE Transactions on Power System, 1993, 8(2): 636-645.

[3] 胡泊, CANLZARES C A, 刘明波. 基于最优潮流的二级和三级电压控制[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(13).

[4] 邹根华, 郭玉金. 大电网省地协调自动电压控制(AVC)的研究[J]. 华中电力, 2008, 21(3): 9-11.

[5] 盛戈肇, 江秀臣, 范习辉, 等. 基于多 Agent 的二级电压控制系统的实现及性能分析[J]. 电网技术, 2005(24).

[6] 祝项英, 沈雅琴. 基于分层分控模式的地区电网 AVC 系统的开发与应用[J]. 中国电力, 2009, 42(12): 45-48.

[7] WEN J Y, WU Q H, TURNER D R, et al. Optimal Coordinated Voltage Control for Power System Voltage Stability [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19 (2): 1115-1122.

[8] 贾志伟, 刘君, 于佰健. 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(1): 37-43.

作者简介:

赵美莲(1976-), 女, 山西朔州人, 讲师, 主要从事电力系统分析、高电压技术的教学与科研工作;

赖业宁(1975-), 男, 广西梧州人, 高级工程师, 主要从事电力系统分析、电压稳定及优化潮流方面的研发和工程化工作;

董爱芹(1975-), 女, 河南延津人, 工程师, 主要从事电力系统分析与设计工作。

(下转第 12 页)

作者简介:
夏文静(1978-),女,江西南昌人,工程师,从事发电厂热力系统
研究及电站锅炉优化运行调整工作;

何长征(1978-),男,江西新余人,工程师,从事炉内燃烧数值模
拟及电力热力设备性能测试及优化运行工作;
韦红旗(1966-),男,安徽霍山人,副教授,从事电力热力设备性
能测试及优化运行工作。

Numerical Simulation Aiming for Adjustment Experiments of
Low NO_x Combustion

XIA Wen-jing, HE Chang-zheng, WEI Hong-qi
(Southeast University, Nanjing 210018, China)

Abstract: Due to the complexity of practical factors having effects on the formation of NO_x in coal-fired boilers as well as coal characteristics, operation conditions and so on, it's much difficult to analyze associated issues just using traditional experiments. In order to estimate different parameters influencing the emission of NO_x and specify the key factor, numerical model using software FLUENT has been developed in the paper just for the simulation of combustions under several operation parameters. The mechanism can then be analyzed qualitatively, and the experiments can also be simplified.

Key words: boiler; NO_x; numerical simulation; qualitative analysis

(上接第 7 页)

Study and Realization of Coordinated Automatic Voltage Control (AVC) for
Provincial Regional AVC System

ZHAO Mei-lian¹, LAI Ye-ning², DONG Ai-qin³

(1.Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China; 2.State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China; 3.Anyang You Chuang Electric Power Design Institute Co.,Ltd., Anyang 455000, China)

Abstract: Based on the voltage hierarchical control and reactive source regional distribution characteristics and the scheduling needs of modern power grid energy management system (EMS), the principles of coordinated AVC for provincial power network are clarified and a joint optimization scheme for coordinated AVC for provincial power network is proposed. Besides, the control strategies of AVC in the provincial and the municipal control side are discussed and the realization of communication scheme between them is also given. The practical applications of actual power system shows that the proposed technical scheme and control strategy are feasible and effective, which can solve the current coordination problems of AVC for provincial power network better.

Key words: AVC; coordination control; joint optimization

ABB 持续投入 Symphony 控制系统的研发

Symphony 系列控制系统作为全球工业领域应用最为广泛的分散控制系统 (Distributed Control System – DCS), 在全球已提供超过 6 000 套,其主要用户群是发电和水处理等公用事业部门。

ABB 集团电力系统发电业务负责人 Franz-Josef Mengede 介绍说:“这个决定符合 ABB 集团‘渐进而不淘汰’的产品策略,可以有效帮助用户在未来技术进步与现有投资收益最大化之间取得平衡。”

作为 Symphony 分散控制系统长期发展策略的要点,ABB 将调整 Symphony 系统的研发计划,决定将原计划到 2015 年的阶段性研发周期改为长期投资于 Symphony 系列产品的研发,使用户可以有效地管理其运营资产的生命周期并降低总资产成本。

Symphony 系列产品的开发将遵从 ABB 集团‘渐进而不淘汰’的产品生命周期政策,并基于如下准则:所有的 Symphony 系列产品在直到开发出与其兼容,等同或性能更优越的产品之前将不会停止正常销售。

ABB 对 Symphony 分散控制系统的的技术研发投资将针对包括控制、输入输出、通信、工程设计、操作、故障安全和运行安全等方面提供更大容量、更高性能和更新功能的产品,这些产品将同时致力于解决发电和污水处理过程管理的特殊挑战。

关键的应用开发领域将包括电气系统集成、操作运行的有效性、资产寿命的延展及优化、可再生能源并网及满足智能电网运营等。