

Exploration on Voltage & Reactive Power Control Under Integration Mode

GUO Guang

Henan Provincial Power Company, Kaifeng Power Supply Company, Kaifeng, Henan, P.R. China
kfguoguang@sina.com

Abstract: With the deepening of China's electric power market reformation, reducing the power grid loss has become very important to power supply companies after separation. In order to improve the grid security and stability, further enhance the power grid voltage quality and reduce the loss, the optimized reactive voltage control of closed loop from the whole network has been an urgent necessity. Simultaneously, the integration mode are being extended gradually in regional power grid, the operation automation of power grid has been greatly elevated in recent years, the automatic distribution system SCADA / EMS has also been pervaded, and the "four remotes" of SCADA are more and more perfect. Therefore, on basis of SCADA / EMS system, the automatic voltage control system (AVC) optimizing the reactive power grid within the whole country is very necessary, which has provided an advanced control mean for accommodating the reactive voltage control under integration mode and realizing the safe, high-quality and economic run of modern power grid.

Keywords: Reactive power optimization; Automatic Voltage Control; Security; Economic operation

调控一体化模式下电压无功调节方式探索

郭光

河南省电力公司开封供电公司, 开封, 中国, 475000
kfguoguang@sina.com

【摘要】随着我国电力市场改革的深化,厂网分开后,降低电网损耗对供电公司来说变得非常重要。为了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,迫切需要从全网角度进行电压无功优化闭环控制,与此同时,调控一体化模式在地区电网逐渐推广,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,它为适应调控一体化模式的电网无功电压调节,实现现代电网安全、优质、经济运行提供了先进的控制手段。

【关键词】无功优化;自动电压控制;安全性;经济运行

1 前言

目前,我国电力行业对电压的控制主要借助于电压无功综合控制装置(VQC),但该装置仅采集一个变电站的运行参数,只对一个变电站进行运行控制,不能实现对全网范围内的电容器、电抗器投切和有载变压器档位的动作进行协调控制,在一、二级有载调压电网中容易出现投切振荡,同时又会增

加设备的投资。为了克服 VQC 装置的这一缺陷,并且适应调控一体化模式的调度运行,开封供电公司开发了调控一体化无功优化闭环控制系统^[1]。

2 调控一体化无功优化闭环控制系统

2.1 系统基本设计

系统结构设计如图 1 所示。为了避免传统的无

功优化算法中由于负荷波动引起的各变电所电容器投切和有载变压器分接头调节振荡或其他不必要操作,系统首先通过调度自动化 SCADA 系统采集全网各节点运行电压、无功功率、有功功率等实时数据,并结合全网历史资料,在此基础上再进行全网无功优化控制。

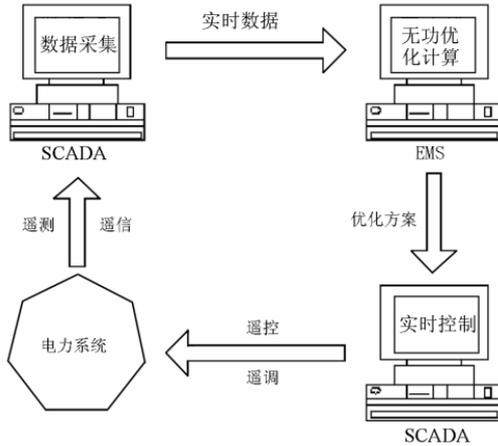


Figure 1. Schematic Diagram of Voltage and Reactive Power Control System
图 1. 电压无功控制系统结构示意图

2.2 基于模糊专家系统的电压校正

在本系统的设计方案中,电压校正与全网无功优化是严格分开的,采用基于灵敏度分析的模糊专家系统来进行电压校正。系统采用的知识表示方式是产生式规则,即把主变压器分接开关档位调节、电容器电抗器投切以及运行人员的经验用规则表示出来,形成调度专家系统知识库,进而根据电网 SCADA 系统提供的实时信息对知识库进行推理,获得电压无功优化控制的结论。

2.3 无功优化算法

2.3.1 目标函数

不考虑投资因素的无功优化控制系统模型的目标函数是系统网损最小:

$$F = \min P_{loss} \quad (1)$$

同时要满足以下等式约束条件和不等式约束条件:

(1) 节点电压约束:

$$V_{i\min} < V_i < V_{i\max} \quad (2)$$

(2) 功率因数约束:

$$\cos \theta_{i\min} < \cos \theta_i < \cos \theta_{i\max} \quad (3)$$

(3) 有载调压分接头档数调节上下限:

$$T_{i\min} < T_i < T_{i\max} \quad (5)$$

(4) 设备动作次数上限:

$$N_i < N_{i\max} \quad (6)$$

(5) 功率方程约束:

$$P_{Gi} = P_{Di} + V_i \sum_{i \in h} V_i (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (7)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} + V_i \sum_{i \in h} V_i (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (8)$$

在线实时无功优化系统就是在满足上述六项约束条件下,寻找网损最小的无功潮流最优分布方案,包括投切电容器、电抗器、发电机无功出力、调节有载调压分接头等设备动作。

考虑惩罚函数的模糊优化模型如下:

$$F = \min P_{loss} + \sum \lambda_k (f_k(x)) \quad (9)$$

其中: k - 约束方程的个数; λ - 惩罚因子; f - 罚函数。

罚函数的构造形式如下,以节点电压约束为例:

$$f(V) = (V_i - V_{i\lim})^2 \quad (10)$$

其中:

$$V_{i\lim} = \begin{cases} V_{i\max} & V_i > V_{i\max} \\ V_i & V_{i\min} < V_i < V_{i\max} \\ V_{i\min} & V_i < V_{i\min} \end{cases} \quad (11)$$

2.3.2 改进遗传算法与模糊专家系统结合的优化算法

考虑到无功电压控制模型中,电容器、电抗器的投切和变压器分接头档位动作均为非连续性调节,必将导致节点的无功变化量为非连续性变量、不可微,而且模型中含有大量不等式约束,因此优化算法采用适用范围广、寻优能力强、适于求解复杂非线性优化问题的遗传算法,并对其进行了实用化处理:

(1) 每一次优化方案中变压器分接开关只许调节一档;

(2) 在优化前每个设备必须经过设备动作次数优化模块预处理,筛选后的设备才允许加入到备选控制变量;

(3) 并列变压器应该同步调节,在染色体编码时把并列的变压器映射成染色体中的同一个基因位;

(4) 为防止优化效益不明显时造成电容器和变压器分接开关无谓动作, 允许人工设置网损减少量限值, 如果低于此限值, 优化方案不执行。

当改进遗传算法在一定的时间内得不出控制方案则启动模糊专家系统进行次优控制, 以确保 AVC 系统不输出模糊的指令。

2.4 该系统的可靠性及安全性措施

2.4.1 可靠性措施

对于保护信号, 为防止设备频繁闭锁, 设立以下原则:

(1) 每一个设备定义“保护状态”, 当保护状态置为“保护闭锁”时系统不对该设备发令;

(2) 设备对应保护信号动作, 则其保护状态为“保护闭锁”;

(3) 每一个设备可能对应多个保护信号, 当某一个保护信号复归时, 其对应设备是否解除“保护状态”, 必须参照此设备对应的其他保护信号状态以及是否需要人工确认;

(4) 设备保护闭锁: 对于保护信号动作, 将触发相关设备保护状态, 系统不会对该设备发令; 系统支持 SCADA 系统中自定义遥信状态, 并作相应的处理。

同时, 对于采集的数据, 系统应用了数据过滤、数据校验、死数据处理及电压越限判断等技术, 以确保系统优化方案的准确性和可靠性。

2.4.2 安全处理措施

(1) 在操作设备前进行严格的预算和分析, 以防止设备操作引起电网的不稳定;

(2) 主变压器出现滑档, 则立即将设备状态改为“不可控”, AVC 系统不对该设备发令;

(3) 判断变压器是否并列运行, 并列运行的变压器要统一调节, 保持分接头在同一档或变比一致;

(4) 联合调档时如果一台变压器调档成功, 另一台变压器调档失败, 则必须将成功调节的变压器档位调回原来位置, 闭锁并告警, 防止调档成功的变压器档位来回调节;

(5) 当变压器档位不匹配时, 应当将变压器档位调节到匹配位置;

(6) 在规定时间内(如5分钟)对同一设备只允许操作一次;

(7) 在规定时间内同厂站只允许操作一个设备(并列运行变压器联调除外);

(8) 对档位不一致的并列运行变压器能自动调节以保持分接头在同一档或变比一致;

(9) 同变电所相同容量电容器组循环投切, 合理的利用设备。

3 AVC 系统在开封地区电网中的应用

开封地区 AVC 系统的接线方式如图 2 所示。从整体结构上, 系统可分成两大部分, 主站及监控站。

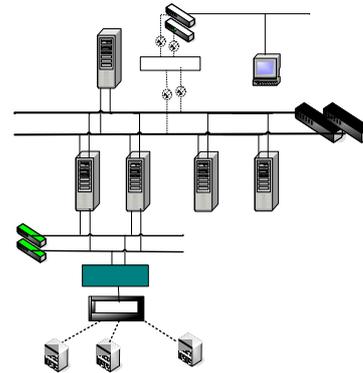


Figure 2. Wiring Diagram of AVC System in Kaifeng Area

图 2. 开封地区 AVC 系统接线图

3.1 主站部分

主站部分包括 AVC 服务器和维护工作站, 均放在自动化机房, 其作用如下:

(1) AVC 服务器通过数据接口收集全网实时数据, 在线进行电压无功优化计算, 并将计算结果发送到维护工作站。AVC 计算服务器同时也是电压无功控制系统的数据库及文件服务器, 保存着全网参数、计算结果、历史信息、图形文件等;

(2) AVC 维护工作站配置了 AVC 系统维护子系统用户界面, 允许自动化或其它维护人员对电网参数、AVC 系统参数等进行维护。

3.2 监控站部分

监控站安装一台 AVC 工作站, 以便监控人员维护 AVC 系统中的设备状态, 并监视潮流图和运行数据。

4 运行效益分析

自 2009 年 12 月投入至今, AVC 系统已接入变电站 28 座, 包括 110kV 变电站 19 座, 电容器 74 组, 变压器 60 台。AVC 系统投入后运行情况良好, 取得了如下经济效益:

4.1 提高了电压质量

AVC 系统投入运行后, 开封电网 10kV 母线电压合格率已提升至 99.7% 以上, 整个地区的供电质量较工程实施前有了明显的提高。为了较为清晰地阐述这一点, 以某站 10kV#2 母线电压为例进行分析。该站于 2009 年 12 月在 AVC 系统中投入闭环运行, 取 AVC 投入前(2009-02-02)及投入后(2010-02-02)连续一周的线电压值 UAB (取自调度自动化系统历史库), 表 1 给出了对比结果。电压每 15 分钟采一个点, 一周共 672 个采集点, 从结果可以看出, AVC 投入后, 系统电压质量得到了大幅提高, 电压越限问题得到了有效的抑制。

Table 1. 10kV # 2 Bus Voltage Comparison Table on a typical day in One Station Before and After the Launching of AVC system

表 1. AVC 系统投入前后典型日某站 10kV#2 母线电压对比表

		>10.7kV	10.6~10.7kV	10.55~10.6kV	10.45~10.55kV
AVC 投入前	点数	3	7	19	159
	百分比	0.45%	1.04%	2.83%	23.66%
AVC 投入后	点数	0	0	9	145
	百分比	0	0	1.34%	21.58%
		10.25~10.45kV	10.15~10.25kV	<10.15kV	
AVC 投入前	点数	419	57	8	
	百分比	62.35%	8.48%	1.19%	
AVC 投入后	点数	501	17	0	
	百分比	74.55%	2.53%	0	

4.2 减少了电能损耗, 取得了明显的降损节能效果

AVC 系统投入后, 流过电网的无功功率大幅降

低, 降损节能效果明显。在 AVC 系统投入后, 全年可节省电量 858.55 万千瓦时, 约合人民币 412.1 万元, 降损效益明显。

4.3 减轻了监控人员的劳动强度

AVC 系统投入后, 大大减轻了监控人员的劳动强度, 有效避免了人为误差, 完善并提高了无人值班变电站的自动化水平。以某 110kV 变电站为例, 表 2 列出了其闭环运行前后主变分接头及电容器的动作次数 (数据来源于 AVC 的 WEB 查询系统)。对比结果可以看出, 闭环投运后, 大大减少了监控班工作人员手动操作的次数, 极大减轻了其工作量。

Table 2. Frequency Statistics Before and After the Launching of AVC Closed Loop in one Substation

表 2. 某变电站 AVC 闭环运行前后设备动作次数统计

设备动作次数/时间(月)		手动升(投)	手动降(切)	合计
2009.2	主变	155	136	291
	电容器	62	65	127
2010.2	主变	29	17	46
	电容器	4	3	7
设备动作次数/时间(月)		AVC 升(投)	AVC 降(切)	合计
2009.2	主变	/	/	/
	电容器	/	/	/
2010.2	主变	31	50	81
	电容器	9	9	18

5 结论

AVC 系统在开封地区投入运行后, 对电网的安全、优质、经济运行都起到了积极的作用: 网损率明显降低; 10kV 母线电压合格率得到了大幅提高, 且波幅减少; 电网初步具备了逆调压功能; 有效提高了电网电压稳定性。

References (参考文献)

[1] Kaifeng area AVC System Manual
开封地区 AVC 系统说明书

[2] Cun Qiao-ping. Power System Reactive Power Optimization Algorithm. Electrical switch, 2007.No.5 :19-20.
寸巧萍. 电力系统无功优化算法综述. 电气开关, 2007. No. 5:19-20.

[3] Guo qinglai, Sun Hongbin, etc. Jiangsu Power Grid AVC Main Station and implementation. Power Systems .2005. No.22 :83-87
郭庆来, 孙宏斌等. 江苏电网 AVC 主站的研究和实现. 电力系统自动化. 2005. No. 22:83-87

[4] DING xiaoqun, Deng Yong. Based on genetic algorithm optimization of reactive power grid in Fujian practical improvements. Power System Technology .2004. No.16 :44-47
丁晓群, 邓勇. 基于遗传算法的无功优化在福建电网的实用化改

进. 电网技术. 2004. No. 16: 44-47

[5] Li Chen, Dingxiapoqun. Based on an integrated real-time power system data analysis and application of line loss. *Electric Power Automation Equipment*. 2005. No. 3: 47-50

李晨, 丁晓群. 基于实时系统数据的电网综合线损分析方法及应用. *电力自动化设备*. 2005. No. 3: 47-50

[6] Chen Yanqiu, Zhang Yao. Improved genetic algorithm combining sensitivity analysis of reactive power optimization. *Power*. 2008. 27 No.

7 :65-69

陈延秋, 张尧. 改进遗传算法结合灵敏度分析的无功优化. *电力系统*. 2008. 第 27 卷第 7 期: 65-69

[7] Yu Tao, Zhou Bin. Power system voltage / reactive power Control Strategies. *Relay*. 2008. No.6 :79-85

余涛, 周斌. 电力系统电压/无功控制策略研究综述. *继电器*. 2008. No. 6: 79-85