

盐城电网 AVC 系统设计和应用

胡桂荣

(盐城供电公司, 江苏 盐城 224002)

摘要: 阐述了盐城电网 AVC 系统设计和应用, 该系统的目标是提高母线电压合格率, 提高 220kV 主变高压侧的力率合格率, 减少地区电网的网损。控制对象是控制范围内的有载调压变压器的分接头和无功补偿设备。该系统在盐城电网应用后, 通过试运行完善了策略和修正了运行参数后, 一段时间的闭环运行后证明该系统达到了预期的目的, 大大提高了盐城电网的经济运行水平。

关键词: 自动电压控制; 优化; 应用

0 引言

电力系统电压和无功功率控制是一个关系着保证供电质量, 满足用户无功功率需求和系统电压稳定的问题, 同时也是减少网损, 提高电网经济运行水平的有效的措施, 盐城电网以前采用的是人工方式, 运行人员根据系统当前运行状态在九区图上的位置来决定相应的控制方案, 调节主变有载调压的分接头和投切无功补偿装置, 这种方法简单, 但是运行人员的工作量相当大, 同时无法对区域范围内进行无功优化控制。

近年来盐城电网发展非常迅速, 电网中有载调压变压器和无功补偿装置越来越多, 电网无功电压控制的方式必须由人工的单一调节向有专家决策系统进行的自动控制方式转变, 随着盐城电网调度自动系统的升级, 在此基础上进行功能扩充开发了 AVC 系统。该系统在盐城电网应用后, 通过试运行完善了策略和修正了运行参数后, 一段时间的闭环运行后证明该系统达到了预期的目的, 大大提高了盐城电网的经济运行水平。

1 系统结构

盐城电网的 AVC 系统的目标是确保电网安全稳定运行, 保证电压和关口功率因数合格, 尽可能减少线路无功传输, 降低电网因不必要的无功潮流引起的损耗, 对电网内各变电站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, 提高无功电压管理水平。

盐城电网的 AVC 系统是基于 EMS 系统的状态估计和在线潮流的功能, 该系统与地区调度中心主

站 EMS 平台一体化设计从 PAS 网络建模获取控制模型, 从 SCADA 获取实时采集数据根据电网无功电压实时状态进行在线分析和计算, 通过 SCADA 远动通道下发遥控遥调命令, 逐步逼近全网无功电压潮流优化状态, 该系统的自动电压无功控制过程是一个再分析、再决策、逐次逼近的反馈闭环控制过程。AVC 控制流程的控制流程如图 1 所示。

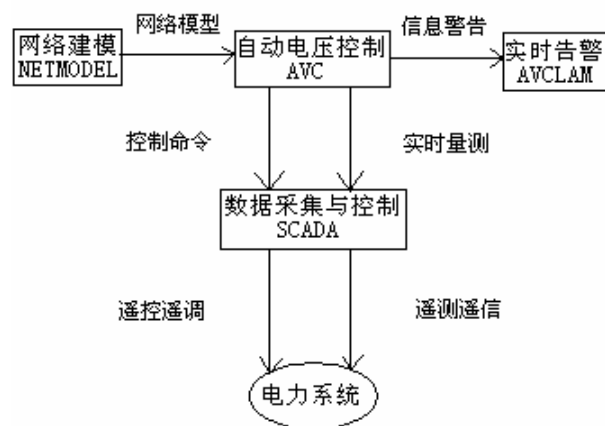


图 1 AVC 控制流程图

2 电压无功优化模型

盐城电网的 AVC 系统针对不同的系统运行状态, 采取不同的电压无功优化模型。针对处于紧急状态的电力系统利用校正控制使其达到正常状态, 而处于正常状态的电力系统进行无功电压优化, 提高全网的电压水平, 降低网损。

2.1 控制变量的选择

电压和无功功率控制设备主要有同步发电机、调相机、有载调压变压器、无功补偿装置等。考虑到地区电网的实际情况, 也是为了处理的方便, 选

择 PV 节点及平衡节点的电压幅值 U_G , 有载调压变压器的变比 T , 并联电容器组或电抗器组的无功容量 Q_X 作为控制变量, 所有变量取其增值。

2.2 目标函数

对于电压无功控制问题定义了三种不同的目标函数。

对于处于紧急状态的系统, 最迫切的问题是迅速的消除越限, 使系统恢复正常, 以免造成其它严重的后果。因此, 以调整量的加权最小偏差

$$\min F_1 = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i |\Delta x_i|$$

作为目标函数, 这是第一级控制

的目标。其中 N_c 为控制变量个数, Δx_i 为第 i 个控制变量的增量, α_i 为权值。

某些时候的越限程度可能较严重, 靠现有的手段无法完全消除越限, 此时应最大程度地降低越限程度, 其目标函数可以表示为

$$\min F_2 = F_1 + M \sum_{i \in V_S} w_i |h_i^m - h_i(\Delta x_i)|$$

。这是第二级控制

的目标。其中 V_S 为越限约束集合; M 为惩罚因子, 较大的正数; w_i 为权重; $h_i(\Delta X)$ 为状态方程, h_i^m 为状态极限, ΔX 为控制变量向量。

电力系统在大部分时间都处于正常状态, 此时应追求经济目标。因此, 第三级控制就以降低系统有功损耗为目标。其目标函数为 $\min F_3 = P_{\text{loss}}$ 。

2.3 约束条件

电压无功优化的约束条件包括各控制变量上下限约束, 负荷节点 (PQ 节点) 电压幅值的上下限约束, 发电机 (PV 节点) 的无功出力上下限约束及支路无功潮流的不等式约束。

$$\Delta U_G^{\min} \leq \Delta U_G \leq \Delta U_G^{\max}$$

$$\Delta T^{\min} \leq \Delta T \leq \Delta T^{\max}$$

$$\Delta Q_C^{\min} \leq \Delta Q_C \leq \Delta Q_C^{\max}$$

$$\Delta Q_X^{\min} \leq \Delta Q_X \leq \Delta Q_X^{\max}$$

$$\Delta V_D^{\min} \leq \Delta V_D \leq \Delta V_D^{\max}$$

$$\Delta Q_G^{\min} \leq \Delta Q_G \leq \Delta Q_G^{\max}$$

$$\Delta Q_l^{\min} \leq \Delta Q_l \leq \Delta Q_l^{\max}$$

3 控制模式和策略

AVC 主要基于如下三种控制模式, 不同控制模式采用相应控制策略:

区域电压控制: 数十秒, 控制区域枢纽厂站电压无功设备, 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, 主要由各厂站就地控制无功设备快速响应就地电压变化;

区域无功控制: 5 分钟~15 分钟, 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、降低网损。

3.1 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。当区域内无功分布合理, 但区域内电压普遍偏高 (低) 时, 调节枢纽厂站无功设备, 能以尽可能少的控制设备调节次数, 使最大范围内电压合格或提高群体电压水平, 同时避免了区域内多主变同时调节引起振荡, 实现区域电压控制的优化。

3.2 就地电压控制

由实时灵敏度分析可知, 就地无功设备控制可最快、最有效地校正当地电压越限。厂站内变压器和电容器按九区图基本原理分时段控制。电压限值根据逆调压规则确定, 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。

3.3 区域无功控制

当电网电压合格并处于较高运行水平后, 按无功分层分区甚至就地平衡的优化原则检查线路无功传输是否合理, 通过实时潮流灵敏度分析计算决定投切无功补偿装置以尽量减少线路上无功流动、降低线损并调节有关电压目标值。

(1) 区域无功欠补 (不足), 流进区域无功偏大时, 根据实时潮流灵敏度分析, 从该区域补偿降损效益最佳厂站开始寻找可投入无功设备, 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),使区域无功倒流时,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。

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。

投入或切除无功设备可能使电压越限时,考虑控制组合动作,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。

4 开发中遇到的问题和解决方案

4.1 计算数据偏差修正

系统的计算分析以及控制策略是建立在仿真计算数据基础上,而对电压的监视考核是基于 SCADA 的采集值,二者之间存在差异是必然的,这种差异可以采取如下措施缩小:

- (1) 提高测量设备精度;
- (2) 减少传输环节误差;
- (3) 采用先进的状态估计算法对 SCADA 数据进行处理;
- (4) 建立合适的网络等值模型;
- (5) 提高参数的精度。

即使采取以上措施,从实际的效果来看,差异仍然很大。如果完全采取 SCADA 数据为基准,则给分析计算造成很多困难,控制策略缺乏理论分析的基础;如果采取等值模型为基准,则与正常的运行数据有一定的差异,会造成系统的误判。为了解决分析计算数据和监视控制数据的差异问题,本系统采用了以 SCADA 数据为基准的变化量修正方法。这种方法合理性主要体现在:实现了计算数据和监控数据的统一,实现了控制量和考核量的统一,减少了表记误差带来的不利影响。

4.2 电压和负荷波动对 AVC 系统的影响

盐城电网的 AVC 系统在投入运行后出现局部变电站电容器投切频繁的情况,经过分析发现主要是以下几个原因:

(1) 该变所接的 220kV 变电站有 3 万千瓦左右的钢铁冶炼的冲击负荷。

(2) 该变所接的 220kV 变电站 220kV 母线和 110kV 母线均有统调机组并网,并承担电网的调峰和调频的任务,机组的出力变化导致母线电压变化较大,从而使得 AVC 系统不断变动策略措施。

在调试过程从以下几个方面解决此类问题:

(1) 合理分配电容器的总投切次数,以每天 6 次计,按时段分配次数。

(2) 细分电网的负荷峰谷,针对特定控制区域的负荷特点重新整定峰谷时段。

(3) 优化算法,调整部分策略,有选择地增加部分变电站调节设备的迟滞性。

在实际运行过程中,通过以上的方法改进后 AVC 系统运行正常。

5 AVC 系统应用情况

盐城电网的 AVC 系统在正式投入运行以来,实践证明该系统设计先进合理,运行稳定可靠,产生了巨大的经济效益和社会效益,归纳起来有以下几个方面:

提高了电压质量,通过对盐城电网在 AVC 系统投运前后一个月的电压合格率的对比发现在 AVC 系统投运后,盐城电网的 10kV 母线的电压合格率提高了 0.16%,有效地改善了电能质量。

提高了地区 220kV 主变力率的合格率,盐城电网的 220kV 主变力率的合格率由 97.5%提高到 98.96%。

减少了有载调压变压器的分接开关次数近 30%,提高了设备的使用寿命,减轻了检修劳动强度。

减轻了监控人员的劳动强度,避免人为的误差,真正实现了全网无功电压的实时控制,完善并提高了无人值班变点所的自动化水平。

充分利用现有的无功资源,使得无功资源利用效率最大化,同时大大降低了主网的电能损耗,为电网的经济运行提供了可靠的技术支撑,提高了电网的稳定水平,通过 AVC 系统实现的无功系统的再调度,较好地实现了逆调压,保证了各级电压在合格的范围内,并保证了高负荷时段电网电压保持一个高水平,优化了系统的潮流,降低输电损耗取得直接的经济效益。

可靠的安全控制策略和告警信号,消除了电网运行人员的顾虑,在电网发生异常的情况下,该系

统会自动闭锁，例如：系统相关设备的保护动作，电容器的保护动作以及系统的过负荷等各种异常状态下，AVC 系统都会发出实时告警信息，提醒运行人员处理，并可靠闭锁，防止误动。

6 结束语

AVC 系统在盐城电网运行的实践证明，自动电压控制系统能够在确保电网和设备安全运行的情况下，从地区全网的角度出发进行无功电压优化控制，实现无功补偿设备投切合理和无功分层就地平衡和电压稳定，实现主变分接开关、电容器的有效调节，实现输电损耗率最小，达到电压合格率最高，从而进一步提高电网的调度自动化水平，具有很大的经

济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 孙洪斌,吴文传,张伯明.安全约束条件下的全局无功最优控制的仿真研究[J].电力系统自动化,1999,23(5):4-8.
- [2] 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.
- [3] 何仰赞,温增银.电力系统分析[M].武汉:华中理工大学出版社,2002.

作者简介:

胡桂荣（1980-），男，工程师，从事电网调控运行、生产运检管理工作，E-mail: longhu555@sina.com。