

地区电网 AVC 应用与策略分析

谢丰临

国网上海市电力公司市南供电公司, 上海 200233

摘要: 自动电压控制 (AVC) 作为智能电网调度技术支持系统 D5000 的高级应用之一, 可有效实现地区电网电压无功的协调控制, 保障电网的电能质量。本文结合 AVC 在上海地区电网中的应用实例, 系统阐述了 AVC 应用功能和地调控制策略, 同时通过对 AVC 运维过程中存在的问题及运行过程中碰到的缺陷进行分析, 提出了 AVC 缺陷的排查方法和处理步骤, 有助于运维人员快速找到故障症结点, 提升缺陷处置效率。

关键词: AVC, 电能质量, 控制策略

引言

自动电压控制 (以下简称 AVC) 应用基于智能电网调度技术支持系统 D5000 平台一体化设计, 其主要功能是在满足电网安全稳定运行的前提下, 保证电压和功率因数合格, 并尽可能降低系统因不必要的无功潮流引起的有功损耗, 提高输电效率, 实现电网的经济运行^[1-4]。

AVC 从网络分析应用 (PAS) 中获取控制模型、从电网稳态监控应用 (SCADA) 中获取实时采集数据并进行在线分析和计算, 对电网内各变电所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, 实现全网无功电压优化控制闭环运行。

本文结合 AVC 在上海地区电网中的应用实例, 系统阐述了 AVC 应用功能和地调控制策略, 同时通过对 AVC 运维过程中碰到的问题进行分析, 提出了 AVC 缺陷的排查方法和处理步骤, 有助于运维人员快速处置缺陷, 提升工作效率。

1 AVC 系统架构及控制策略

1.1 系统架构

AVC 应用主要由自动电压调整程序 (AVC_MAIN)、遥控程序 (DO_CTLs) 和报警程序 (AVC_ALM) 三大模块构成, 信息流向如图 1 所示。

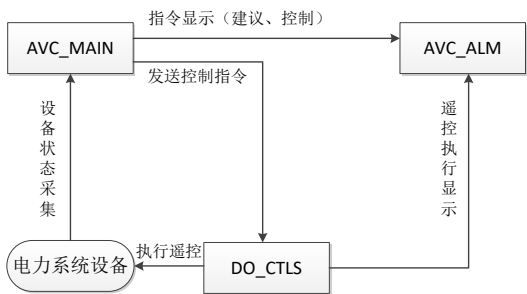


图 1 AVC 信息流向图

AVC_MAIN 从 SCADA 获取电网实时运行状态, 根据分区调压原则对电网电压进行在线监视, 发现电压、无功异常时提出相应的调节措施。当系统处于自动控制状态时, 将调节措施交给 DO_CTLs, 执行变压器的调档和容抗器的投切, 遥控环节是 AVC 应用的关键, AVC 应用闭环运行是否成功很大程度上决定于地区电网基础自动化状况。报警程序负责显示自动电压调整

程序提出的调节建议和遥控程序所执行的自动调节措施。

地调 AVC 应用具备以下六大功能: 1) 根据 SCADA 实时遥信信息, 实时动态跟踪电网运行方式的变化, 正确划分供电区域, 实现动态分区调压; 2) 根据设定的限值, 实时监测电网内的母线电压越限、功率因数越限信息, 并自动给出调节措施; 3) 程序处于闭环运行状态时, 将调节指令转化为遥控命令, 经 D5000 系统下发到厂站端的一次设备; 4) 具备辨识电网及监控系统各种异常运行情况的功能, 并闭锁调压设备自动控制、给出相应提示信息; 5) 具有事件记录功能, 可记录调节指令、有载调压装置和无功补偿设备的动作情况、异常报警事件和遥控信息; 6) 具备在线统计分析功能, 可统计 AVC 系统闭环投运率、控制成功率, 统计设定时间段内调节设备的动作次数, 用于后续的分析。

1.2 控制策略

AVC 调节功能是将原有的分布式厂站 VQC 调节功能进化成集中式精准调节功能, 减少因现场设备精度不足而产生的控制偏差, 并将局部调整上升为全系统的综合调整, 提升电压无功控制效率, 保障电网经济运行。AVC 控制的基本要求是优先确保母线电压合格率, 再考虑地区的分层、分区无功平衡。AVC 控制策略^[5-7]理论上已从九宫格模式上升为十七宫格的精细化调节模式, 但在实际应用中地区电网目前大多仍采用九宫格控制策略。图 2 为 AVC 十七宫格分区图; 表 1 为九宫格模式的 AVC 策略表; 表 2 为十七宫格模式的 AVC 策略表。

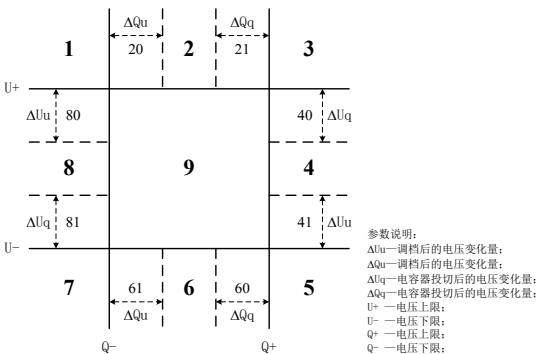


表 1 AVC 九宫格模式策略表

区号	电压状态	无功状态	AVC 策略
1	电压高	无功倒送	优先切电容 / 投电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再降档
2	电压高	无功正常	优先降档，校验不通过，或无可调档位时，再切电容 / 投电抗
3	电压高	无功欠补	优先降档，校验不通过，或无可调档位时，再切电容 / 投电抗
4	电压正常	无功欠补	优先投电容 / 切电抗。如果启动组合策略，投入可能导致电压越上限，可以先降档，再投电容
5	电压低	无功欠补	优先投电容 / 切电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再升档
6	电压低	无功正常	优先投电容 / 切电抗，校验不通过（比如投入可能导致无功倒送），或无容抗器可控时，再升档
7	电压低	无功倒送	优先升档，校验不通过，或无可调档位时，再投电容 / 切电抗
8	电压正常	无功倒送	优先切电容 / 投电抗。如果启动组合策略，切除可能导致电压越下限，可以先升档，再切电容
9	电压正常	无功正常	无策略

表 2 AVC 十七宫格模式策略表

区号	电压状态	无功状态	AVC 策略
1	电压高	无功倒送	优先切电容 / 投电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再降档
2	电压高	无功正常	优先投电容 / 切电抗，次选降档
20	电压高	无功合格偏小	优先切电容 / 投电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再降档
21	电压高	无功合格偏大	优先降档，若主变不可调节，则切电容 / 投电抗
3	电压高	无功欠补	优先降档，若主变不可调节，再切电容 / 投电抗
4	电压正常	无功欠补	优先投电容 / 切电抗，次选降档
40	电压合格偏高	无功欠补	降档，若主变不可调节，则不调
41	电压合格偏低	无功欠补	投电容 / 切电抗，若无容抗器可控，则不调
5	电压低	无功欠补	优先投电容 / 切电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再升档
6	电压低	无功正常	优先投电容 / 切电抗，次选升档
60	电压低	无功合格偏大	优先投电容 / 切电抗，校验不通过，或无容抗器可控时，再升档
61	电压低	无功合格偏小	优先升档，若主变不可调节，则投电容 / 切电抗
7	电压低	无功倒送	优先升档，若主变不可调节，则投电容 / 切电抗
8	电压正常	无功倒送	优先切电容 / 投电抗，次选升档
80	电压合格偏低	无功倒送	升档，若主变不可调节，则不调
81	电压合格偏高	无功倒送	切电容 / 投电抗，若无容抗器可控，则不调
9	电压正常	无功正常	无策略

2 地调 AVC 运维策略

2.1 AVC 运行参数

运行参数主要指 AVC 控制过程中使用的电压和无功限值参数 [8-10]，为满足多种运行方式的需要，限值参数可在 AVC 全局运行参数表中统一设置，也可根据各自厂站实际情况单独设置特殊运行参数。

2.1.1 110 千伏及以下厂站参数配置原则

地区电网 35 千伏及以上电压等级的电压调节主要依靠上级厂站，自身无调节手段，因此地区电网的 AVC 控制主要集中在 110 千伏及以下厂站的 10 千伏侧电压无功优化上。

市南电网的 10 千伏电压动作上下限参照母线电压越限值设置，预留 0.1 的裕度（即若 10 千伏母线电压高限 10.7，则相应 AVC 策略中电压动作上限设置为 10.6）；无功动作上下限参照电网实际运行情况设置，调度专业根据地区电网运行实际确定有功分界值、功

率因数上下限和无功系数上下限，对应公式如下：

若 $P_{HV} \geq P_b$,
$$\begin{cases} Q_{max} = P_{real} \cdot \tan[\cos^{-1}(\lambda_{min})] \\ Q_{min} = P_{real} \cdot \tan[\cos^{-1}(\lambda_{max})] \end{cases};$$

若 $P_{HV} < P_b$,
$$\begin{cases} Q_{max} = Q_c \times \beta_{max} \\ Q_{min} = Q_c \times \beta_{min} \end{cases};$$

其中， P_b 代表有功分界值； P_{real} 代表该站变压器高压侧有功实时值； λ_{max} 代表功率因数上限； λ_{min} 代表功率因数下限； Q_c 代表该站最大电容器计算容量； β_{max} 代表无功系数上限； β_{min} 代表无功系数下限。

2.1.2 220 千伏厂站参数配置原则

地区电网 110 千伏及以下厂站的无功装置除参与本站无功调节外，也参与区域内 220 千伏厂站的关口无功控制（关口指的是 220 千伏主变高压侧）。地区

电网 110 千伏及以下厂站参与区域关口调节的原则: 1) 优先优化本站电压和无功, 若与区域无功控制相冲突, 则优先确保本站电压、无功在合理范围内; 2) 若同时参与本站和区域无功控制, 易造成设备频繁动作, 则设置该站不参与区域无功控制, 仅参与本站调节; 3) 关口无功越限时优先投切 220 千伏厂站本地的容抗器, 110 千伏及以下厂站的无功调节装置仅作为后备控制手段。

针对关口无功调节, 地区电网 AVC 运行参数仅配置一组限值, 即关口功率因数上、下限, 关口功率因数限值可通过 220 千伏主变高压侧有功实时值和无功限值计算而得, 对应关系如下:

$$\text{若 } \gamma \leq 1, Q = P_{\text{real}} \cdot \sqrt{(1-\gamma^2)} / \gamma;$$

$$\text{若 } \gamma > 1, Q = -P_{\text{real}} \cdot \sqrt{1-(2-\gamma)^2} / \gamma;$$

其中, Q 代表 220 千伏主变高压侧, γ 代表关口功率因数。

2.2 AVC 运维注意事项

地区电网在运维 AVC 过程中需注意以下几点:

1) 正确维护 AVC 运行参数表, 确保 AVC 控制能满足电网多种运行方式需要, 避免策略失效;

2) 正确维护 AVC 遥控关系表, 确保控制设备(电容器、电抗器、主变等)遥控点号正确, 避免误动作;

3) 正确维护主变下行遥调信息表, 确保升、降档状态与现场一致, 避免反向调节;

4) 正确配置 AVC 保护信号表, 确保 AVC 在非正常运行状态下能准确闭锁;

5) 控制设备在检修工作完成后要及时解锁, 确保其能正常参与后续的 AVC 自动调节。

3 地调 AVC 缺陷排查

3.1 AVC 策略分析

AVC 策略分为非组合和组合两类, 非组合策略一次仅控制一个设备进行电压无功调节; 组合策略则一次可控制多个设备进行电压无功调节。举例来说, 某变电站的主变无功倒送, 对应 10 千伏母线电压偏低, 接近下限值, 若该站采用的非组合策略, AVC 策略判断切除电容器会导致电压越下限, 则 AVC 不动作保持现状; 若采用组合策略, AVC 策略会先将主变升档拉高母线电压, 再切除电容器将主变无功拉回合理值。反之, 某变电站的主变无功欠补, 对应 10 千伏母线电压偏高, 接近上限值, AVC 动作策略与前者类似。

因此, 在这两种情况下, 需启动对应变电站的组合策略, 否则 AVC 将认为无合适的调节手段, AVC 不动作。

3.2 控制设备排查

首先检查相关控制设备是否被闭锁(包括设备是否挂着缺陷牌、是否存在保护动作情况等), 闭锁状态下 AVC 是无法控制该设备的; 其次检查相关控制设备遥控、遥调点号、升降档状态是否正确; 再排查 SCADA 下并联电容/电抗器表中的容抗器类型、额定容量是否正确, 若类型和容量填反了, 会导致 AVC 在

获取容抗器信息时将电容器误认为是电抗器, 造成控制策略错误, 若额定容量值填写的与实际偏差较大, 会导致 AVC 预判错误, 进而造成误动或拒动; 最后排查现场设备的操作机构、测控装置等是否存在问题, 现场导致 AVC 动作异常的常见缺陷有以下三类, 一是档位变送器异常或测控装置死机造成的主变档位不变化/跳变; 二是工控机死机、操作机构失灵、开关输出接点故障、出口继电器故障等造成的开关遥控拒动; 三是部分无功变送器只能单方向上送数据, 导致无功倒送情况无法正确反应。

4 结语

本文结合上海地区电网 AVC 应用情况, 系统阐述了 AVC 架构、控制策略和运维方法, 助于地调自动化运维人员持续提升 AVC 运维质量和缺陷处置效率, 保障地区电网的安全稳定运行。AVC 应用的可靠稳定运行, 对保障地区电网的供电质量至关重要, 在日常的运维工作中, 需要多观察、多思考、多总结, 全面掌握 AVC 策略原理、运维方法和缺陷排查方法, 重视 AVC 巡视和维护工作, 减少人为因素引起的误动作, 提升解决问题的能力, 确保 AVC 有效调节。

参考文献

- [1] 宋丽. 电力调度自动化 AVC 应用研究分析[J]. 华东科技: 学术版 10 (2016): 160.
 - [2] 刘楠. 对智能电网无功电压自动控制 AVC 系统的相关分析[J]. 中国科技纵横, 2018(16): 178-179.
 - [3] 刘帅. 基于 D5000 系统的睢宁电网调度优化应用研究[D]. 江苏: 中国矿业大学, 2020.
 - [4] Zabudskiy E I, Balandina G I. Automatic control system for power grid voltage stabilization[J]. Procedia Computer Science, 2017, 103: 511-516.
 - [5] Vu H, Pruvot P, Launay C, et al. An improved voltage control on large-scale power system[J]. IEEE transactions on power systems, 1996, 11(3): 1295-1303.
 - [6] 王南勤, 刘泽辰, 张伟, 等. 基于模型预测控制的含新能源多阶段 AVC 优化策略[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(7): 118-126.
 - [7] Ding X, Shi J, Zhou L. The research of the smart automatic voltage control (smart avc)[J]. AASRI Procedia, 2013, 4: 85-89.
 - [8] 王玉森, 赵键. 地方电网的 AVC 系统设计原则及实现[J]. 中国科技博览, 2015, 0(34): 315.
 - [9] 阮璇, 张鹏, 陈伟, 等. 地区电网 AVC 定值及策略优化[J]. 云南电力技术, 2023, 51(2): 41-43, 48.
 - [10] Zabudskiy E I, Balandina G I. Automatic control system for power grid voltage stabilization[J]. Procedia Computer Science, 2017, 103: 511-516.
- 作者简介:
 谢丰临(1997—), 女, 助理工程师, 本科, 从事自动化运维工作;
 王芮(1991—), 女, 工程师, 硕士, 从事自动化运维工作。