

成都电网自动电压控制系统的建设与运行

刘建¹ 胡启元¹ 林瑞星² 蒲维²

(1. 成都电业局 四川 成都 610017; 2. 四川电力科学研究院 四川 成都 610072)

摘要: 地区电网的自动电压控制(AVC)系统是现代电网无功电压控制的重要手段。介绍了成都电网AVC系统的建设、运行现状,重点阐述了成都电网AVC系统的功能、控制策略和控制流程。最后,结合目前成都电网AVC系统的运行情况给出了AVC系统的发展建议。

关键词: 自动电压控制; 电压无功; 控制流程; 控制策略

Abstract: Automatic voltage control (AVC) of regional power grid is an important means for reactive power and voltage control of modern power grid. The construction and operation of AVC system in Chengdu Power Grid are introduced, and the focuses are on the functions, control strategies and control flow of AVC system in Chengdu Power Grid. At last, combined with the actual operation of AVC system in Chengdu Power Grid, the suggestions for its development are given.

Key words: automatic voltage control; voltage and reactive power; control flow; control strategy

中图分类号: TM761 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)02-0043-05

0 引言

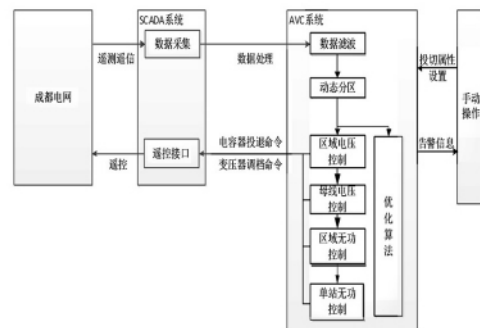
自动电压控制AVC系统对全网无功电压状态进行集中监视和分析计算,从全局的角度对广域分散的电网无功装置进行协调优化控制,是保持系统电压稳定、提升电网电压品质和整个系统经济运行水平、提高无功电压管理水平的重要技术手段^[1,2]。近年来,基于地区电网的自动电压控制AVC系统已在全国各地的供电公司投入运行^[3,4]。大部分地区电网的AVC系统都采用与调度自动化平台一体化设计模式,通过调度的监控与数据采集系统SCADA采集各节点遥测、遥信实时数据,然后进行在线分析和计算,对电网内各变电所的有载调压装置和无功补偿设备进行集中监视、统一管理和在线控制,实现全网无功电压优化控制闭环运行。

成都电网共有500kV变电站5座,变电容量9 750 MVA。220 kV变电站40座,变电容量140 0.60 MVA。110 kV变电站169座,变电容量150 8.90 MVA。成都电业局设置了1个地调和14个县调。成都电业局于2009年对地调调度自动化系统进行了扩建改造,基于南瑞OPEN-3000调度自动化系统平台一体化设计建设并完善了AVC系统功能。将对成都电网的AVC系统的建设和运行情况进行介绍。

1 地调AVC系统功能特点

成都电网属于地区电网,其AVC系统包括:地调AVC系统、县调AVC系统。地调AVC系统可实时接收省调对220 kV变电站高压侧关口功率因数命令,驱动地区电网无功控制满足省网的要求。成都电网地调AVC主站系统数据和控制流程图如图1所示。

成都电网地调AVC主站系统功能主要包含以下几点:①动态分区;②电压合格;③关口力率合格④事故报警和安全闭锁;⑤统计和评估;⑥上下级AVC主站系统协调。



1 成都电网地调AVC主站系统数据和控制流程

1.1 动态分区

AVC系统的动态分区是根据无功平衡的局域

性和分散性,AVC对地区电网电压无功分层分区控制,使自动控制在空间上解耦。在AVC系统计算时无功优化是以区域进行划分的,其中区域是动态指定,最小为一个厂站,最大为整个电网。区域划分可以嵌套也可以和空间中的地理分区不一样,尽量满足在小区域范围内无功平衡。如果该区域无功不能就地平衡,则把和该区域电气耦合度最高的相邻厂站包括进来,在这个扩大的区域内就地平衡,以此实现最小范围内的无功平衡。在AVC系统数据库中定义了厂站、母线电压监测点、控制设备等记录。运行时AVC根据SCADA遥信信息,实时跟踪电网运行方式的变化,以220 kV枢纽变电站为中心,将全网分成彼此间无功电压电气耦合度小的区域电网。

1.2 电压合格

成都电网地调AVC系统能实时矫正母线电压,当母线电压接近和越限时,可根据实时灵敏度分析,采用区域电压控制和电压校正控制方法,控制主变压器分接头调整或启动厂站内无功设备调节消除电压越限,使系统各节点电压合格,提高系统节点电压合格率。

1.3 关口力率合格

成都电网地调AVC系统可在电压都合格的情况下对系统各关口力率进行实时计算,启动厂站内或所属区域变电站的无功设备调节,使系统各关口力率合格,降低系统网损。

1.4 事故报警和安全闭锁

成都电网地调AVC系统设置了诸多情况下的告警功能。如,通过设置关联SCADA保护信号,AVC可检测到设备的保护动作并自动闭锁对该设备的控制,同时发告警信号;如果对某个设备的控制连续两次均无响应,则闭锁对该设备的控制,并发出设备拒动的告警信号;在220 kV主网电压过低的情况下,系统自动闭锁上调220 kV主变压器分接开关,防止造成主网电压崩溃;出现主变压器滑档情况时,系统自动闭锁对主变压器分接头的控制,并发滑档告警;系统自动计算电容器和主变压器分接头的动作次数,当达到该时段动作次数限值后,启动闭锁该设备,并发设备动作次数越限的告警信号;在AVC没有下发指令时,如果检测到有电容器开关遥信变位或主变压器档位调整的情况,则判为手工操作,AVC闭锁对该设备的控制,并发手工操作的告警信号。此外,AVC系统还设置了自动解锁和人工

解锁功能,自动解锁是当检测到触发某类告警或保护闭锁的信号复归时,将自动解除对相关设备的闭锁;对于某些告警信号,还可设置为在告警信号复归后,延时一段时间解锁。人工解锁是通过人工确认方式解除闭锁的功能。

1.5 统计和评估

地调AVC系统和调度自动化系统一体化平台设计,可共享EMS平台支撑软件,具备丰富完善的历史报表功能,实现了记录历史控制命令及控制前后电压无功相关信息,并提供方便的查询手段,可分类、分时段统计和查询系统、厂站、设备动作次数、正确动作次数、拒动次数。比如,AVC系统可结合EMS提供的报表工具和统计计算,可逐日统计各变电所10 kV母线电压合格率并存储到EMS历史库,在月末统计当月合格率并存储到EMS历史库,提供按日、月查询功能和界面;可将每次计算的全网网损的情况列表分析统计,使调节控制的网损与计算值分别对应,清晰表述计算值和实际调节值以及差值。针对AVC系统的调节情况对其进行评价。

1.6 上下级AVC主站系统协调

成都电网地调AVC主站具备本地和远方两种控制模式。在本地模式下,地调AVC系统按当地功率因数考核指标运行。在远方模式下,地调AVC系统接收省调各关口实时功率因数限值,即为220 kV主变压器高压侧无功指令限值,驱动地区电网控制满足省网要求。省调实时在线下发给地调各关口功率因数目标值,地调AVC系统在远方模式下以此为目标,给出电容/电抗器投切,主变压器分接头调整等协调控制策略。地调能够对省调AVC系统下发数据进行校核;地调能够统计每个区域内可控电容器投/切电容器容量和可接受的电压上下调节范围,并将此数据通过SCADA上传省调。

2 AVC系统的控制方式和运行模式

成都电网地调AVC主站系统对控制对象的控制方式分为“开环”、“闭环”、“监视”。其中“开环”是表示AVC系统对被控对象进行分析计算,提示操作人员操作。“闭环”是指AVC系统对被控对象进行分析计算并对其直接进行发命令控制。“监视”表示AVC系统只对被控对象进行分析计算,不对其进行直接发命令控制。AVC系统运行模式分为“本

地”和“远方”两种，“本地”是指以本地设定的目标进行优化计算，“远方”是指以接收到的省调下发约束与目标值进行优化计算，在省地通讯中断时，AVC系统能自动切换至“本地”模式。

3 AVC系统的控制算法

地调AVC系统的实现算法有“默认算法”、“控制算法”和“优化算法”3种。

成都电网地调AVC系统的“控制算法”主要结合成都电网网络结构基本上呈辐射型树状分布的特点，以一个辐射网络作为一个控制区域，把整个电网划分成若干在空间上彼此解耦的控制区域。

3.1 全网电压优化调节

AVC根据电网电压无功分布空间分布状态自动选择控制模式并使各种控制模式自适应协调配合，实现全网优化电压调节。

3.1.1 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，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，同时避免区域内多主变压器同时调节所引起的振荡，实现区域电压控制的优化。

3.1.2 电压校正控制

由实时灵敏度分析可知，就地无功设备控制能够最快、最有效校正当地电压，消除电压越限。当某厂站电压越限时，启动该厂站内无功设备调节。该厂站内变压器和电容器按九区图基本规则分时段协调配合，实现电压无功综合优化：电压偏低时，优先投入电容器然后上调有载主变压器分头；电压偏高时，首先降低有载主变压器分头，如达不到要求，再切除电容器。

3.1.3 电压控制协调

根据电网电压无功空间分布状态自动选择控制模式，控制模式优先顺序为“区域电压控制”>“电压校正控制”。区域电压偏低(高)时采用“区域电压控制”，仅个别厂站母线越限时采用“电压校正控制”，自适应给出合理的全网电压优化调节措施。

3.2 区域无功控制

AVC控制仅仅使电网无功在关口满足功率因数要求、达到平衡是远远不够的。为实现全网无功优化控制，必须在尽可能小区域范围内使无功就地平衡。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、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，使各电压等级网络之间无功分层平衡、提高受电功率因数，在各电压等级网络内部无功在尽量小的区域范围内就地平衡，减少线路无功传输、降低网损。

区域无功不足(欠补)时，根据实时灵敏度分析从补偿降损效益最佳厂站开始寻找可投入无功设备，具体而言即不但可以决定同电压等级厂站电容器谁优先投入，而且可以决定同一厂站电容器组谁优先投入；区域无功过剩(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。

同一厂站无功设备循环投切，均匀分配动作次数。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，使无功在尽可能小区域内平衡，优化网损。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压器分头，使控制后电压仍然在合格范围内，但减少了线路无功传输。

3.3 关口功率控制

AVC保证地区电网关口功率因数合格，按分时段功率因数考核标准进行控制，功率因数考核标准可根据要求自行设置。参考标准：0~7时、11~13时和22~24时低谷负荷功率因数控制在0.9和0.95之间，7~11时和13~22时高峰负荷功率因数控制在0.95以上。严格控制不向关口倒送无功。

3.4 自动协调控制

3.4.1 空间协调

AVC根据电网电压无功空间分布状态自动选择控制模式，优先顺序是“区域电压控制”>“电压校正控制”>“区域无功控制”。

3.4.2 时间协调

AVC 设计混杂控制结构,使闭环控制随时间跟踪电压无功状态自动协调有序进行。例如,若 AVC 检测到电压越限,则形成离散事件并驱动控制,从而形成控制指令交给遥控接口执行,遥控命令作用于连续运行的电网,电网执行命令形成新的稳态潮流分布后可消除越限。此时全网电压合格,启动区域无功控制,无功设备调节采用序列投切,即每周期内只允许一次投切动作,保证离散控制指令作用于电网后,电网有时间来形成新的稳态分布潮流。在下一周期,AVC 根据新的潮流状态自动判断选择控制模式,从而逐步逼近优化运行状态并且能够避免控制过调。

3.5 优化动作次数

每天调压设备(主变压器分级开关和电容器开关)动作次数是有限制的,根据历史负荷曲线优化分配各时段动作次数,并且考虑负荷动态特性,在负荷上坡段、下坡段采取动态控制策略,使 AVC 控制具有一定预见性,尽量减少设备动作次数。

4 AVC 系统的优化算法

地调 AVC 系统的实现算法有“优化算法”,是采用无功优化的方法进行计算,核心算法为枚举法,即将系统中可调控的无功补偿设备和变压器分接头档位调节变量按照枚举法的方式进行逐一模拟,对最优策略进行预设,实现最终无功电压控制。

5 AVC 系统的算法实现流程

AVC 系统可根据电网电压无功空间分布状态手动选择算法模式,“默认算法”模式是系统优先采用“优化算法”进行计算,在潮流计算不收敛或计算结果不合格时,自动切换至“控制算法”进行计算。“控制算法”模式的控制策略设置的优先顺序是“区域电压控制”>“电压校正控制”>“区域无功控制”。例如区域电压偏低时采用“区域电压控制”,快速提高群体电压水平;越限状态下采用“电压校正控制”,保证节点电压合格;全网电压合格时则考虑经济运行,采用“区域无功控制”。AVC 系统算法的实现流程如下图 2 所示。

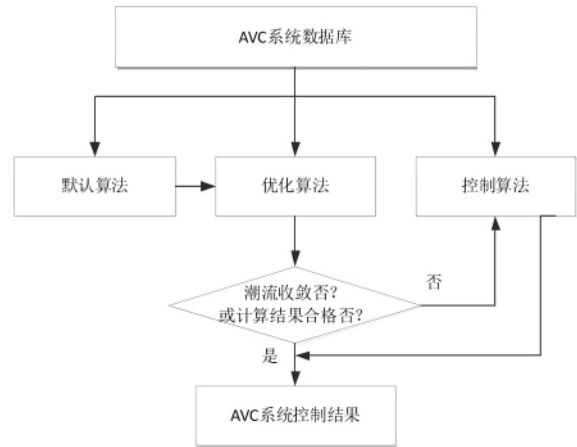


图2 地调 AVC 系统的算法实现流程

6 AVC 系统运行效益分析

目前,成都地调 AVC 系统运行情况良好。此前,电压调整主要依靠人工调节和基于变电站的电压无功控制装置 VQC。人工调压费时费力,VQC 只能保证单个变电站的无功平衡及电压稳定,投切动作频繁,产生的波动对电网影响大。而 AVC 系统优化动作次数、减少电网波动、延长电气设备使用寿命的功效。AVC 的区域控制在相当程度上减少线路上的无功传输,有效降低网损,成都电网应用的 AVC 系统定能带来可观的经济效益。表 1 列出了 2012 年成都地调 AVC 系统变压器档位和电容器的动作次数(截止到 11 月)。

表 1 2012 年成都地调 AVC 系统变压器档位和电容器的动作次数(截止到 11 月)

月份	变压器档位	电容器
1	12 579	9 334
2	13 644	12 418
3	20 024	9 684
4	17 841	10 650
5	18 319	9 870
6	17 467	9 359
7	27 435	10 907
8	25 167	11 840
9	27 841	8 244
10	21 104	7 016
11	22 308	10 867

由表 1 可见,为满足电压合格及无功要求,降低

电网损耗,变压器档位和电容器的调节量较大,AVC系统省时省力省资源的优势明显。

目前成都电网AVC系统已与省调AVC主站系统的通讯、控制策略和优化模式联调成功。省调主站实时下发220kV变电站母线电压参考值和关口力率,地调AVC主站系统接收后,作为优化计算的约束条件,进而得到优化控制策略,最后根据优化控制策略结果调控220kV变电站。

7 结 语

对成都电网自动电压控制AVC系统的建设、实现和运行情况进行了介绍。成都电网AVC系统将完善地调AVC系统和县调AVC系统的协调控制。自从成都电网区域闭环控制稳定后,全网在电能质量、功率因素都有全面提高,增加了无功补偿设备的利用率,实现无功功率分层就地平衡,对降低系统网损,减小运行人员工作强度起到重要作用。今后可以进一步优化地调AVC系统,完善省、地、县调AVC系统的联合协调闭环控制,使无功电压控制方式更趋合理高效。

参考文献

- [1] 余涛,周斌. 电力系统无功/电压控制策略研究综述[J]. 继电器, 2008, 36(6): 79-83.
- [2] 郭庆来,吴越,等. 地区电网无功优化实时控制系统的研究与开发[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(13): 67-69.
- [3] 李端超,陈实,等. 安徽电网自动电压控制(AVC)系统设计及实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8): 20-22.
- [4] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等. 江苏电网AVC主站系统的研究和实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 83-87.
- [5] 唐寅生,李碧君. 电力系统OPF全网最优无功的经济压差算法及应用[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 42-44.

作者简介:

刘建(1984),男,助理工程师,主要从事电力调控运行工作;

胡启元(1972),男,工程师,主要从事电力调控运行及相关研究工作。

(收稿日期:2012-12-03)

(上接第10页)

参考文献

- [1] 宋文南. 电力系统谐波分析[M]. 天津:中国电力出版社,1998.
- [2] 孙成宝,李广泽. 配电网实用技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998.
- [3] 吴兑昌,孙树勤,宋文南,等. 电力系统谐波[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
- [4] 李冰,淳森林. 现场测试报告[R]. 成都胜业电器设备有限公司,2009.
- [5] 于永源,杨绮雯. 电力系统分析[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [6] 姚为正. 三相串联型电力滤波控制方式及其补偿特征的研究[M]. 西安:交通大学,1999.
- [7] 周训伟. 串联有源电力滤波器研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.
- [8] 苏文成. 无功功率补偿与电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [9] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [10] T. J. E 米勒主编. 电力系统无功功率控制[M]. 北京:

水利电力出版社,1990.

- [11] 航空工业部第四规划设计研究等编. 工厂配电设计手册[S]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [12] 汪穗峰,张勇军,任倩,等. 配电网可靠性定量分析综述[J]. 继电器, 2008, 36(3): 79-83.
- [13] 刘进军,卓放. 电容滤波型整流电路网侧谐波分析[J]. 电力电子技术, 1995(4): 14-19.
- [14] GB/T 14549-93, 电能质量 公用电网谐波[S]. 北京:中国标准出版社,1994.
- [15] 王汝文,张杭. 电力电子技术应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [16] Dobinson A D. Closer Accord on Harmonics[J]. IEEE Electron Power, 1997(5): 567.
- [17] Sakui M, Fujita H, Shioya M. A Method for Calculating Harmonic Currents of Three-Phase Bridge Uncontrolled Rectifier with DC Filter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1989, 36(3): 434-440.

作者简介:

田园(1979),男,工程师,主要从事电力系统规划、设计和施工。

(收稿日期:2013-02-04)