

柘溪电厂 AVC 策略及实现

朱 华, 马 杰

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要: 水电厂自动电压控制(AVC)的总体目标是根据电网要求,考虑电厂及机组的运行限制条件,使电厂电压稳定安全。文中首先介绍电厂侧 AVC 系统的一般要求,然后以柘溪电厂为例,具体阐述包括功能约束和保护闭锁的 AVC 策略,在 PQ 曲线限制的实现和提高电压调整精度方面进行了重点分析,实验表明考虑无功进相的 AVC 系统切实可行,调节跟踪精度在 0.4 kV 以内。

关键词: 水电厂; 计算机监控系统; 自动电压控制; 精度

0 引言

柘溪电厂位于湖南安化县柘溪镇境内,是资江干流上的一座大型电厂,是新中国成立后最早动工建设的 4 座水电厂之一,经扩机后电厂设计装机容量 94.75 MW,安装 9 台混流式水轮发电机,是湖南省电网中的重点工程,能有效解决湖南电力系统的调峰需要。柘溪电厂的计算机监控系统选用南京南瑞集团公司开发的 NC2000 系统,具备自动电压控制(AVC)功能。

在电厂侧,发电机无功功率、高压母线电压主要由各电厂值班人员根据系统调度的要求人工调节。这种调节方式仅能保证部分时段、部分节点的电压合格,但与电力系统的经济运行、可靠供电的目标相去甚远。这种依赖人为干预的管理方式已与电网的发展要求不相适应。因此,寻求有效的方法实现无功电压优化的在线计算控制,在理论和实用上都具有十分重要的意义。厂站内、电厂与变电站之间、500 kV 与 220 kV 之间、省网之间及省地之间均需要协调,只有采用 AVC 系统才能做到全局范围内的协调。

近年来,电力系统为提高电能质量、改善电压水平投入了大量的精力,但随着电网规模的日益扩大,以往通过当地闭环控制的调压设备如发电机、变压器分接头、并联电容电抗器,加之无功、电压关系复杂,由运行值班人员根据其运行经验和简单的逻辑判断、人工手动进行无功电压控制的模式已经很难达到优化控制的效果,而且不能满足大电网安全、稳定、经济运行的要求。因此,迫切需要一套电厂 AVC 装置,能够执行省调 AVC 主站下发的自动电压调节指令,从而确保电网电压的安全、稳定、经济。

AVC 技术的全称为发电厂无功电压远方自动控制,即中调通过对各发电厂的发电机组的无功功率进行远方控制,提高各发电厂高压母线的电压水平,从而达到提高本地区的供电电压水平、改善地区电网的电能质量的目的。随着大机组、超高压电网的形成,电压不仅是电网电能质量的一项重要指标,而且是保证大电网安全稳定运行和经济运行的重要因素^[1]。

下面首先介绍电厂 AVC 一般控制策略,随后阐述柘溪电厂的系统配置和实现策略。

1 电厂侧 AVC 一般控制策略

1.1 约束条件

AVC 参数依据电网要求,根据电厂实际情况,灵活地在监控系统数据库、AVC 功能块中修改,有关参数还可以根据运行条件及要求,在 AVC 画面中在线修改。AVC 电压死区 ΔV 具体定值由电网给定。当 $|V_{\text{set}} - V_{\text{act}}| < \Delta V$, AVC 停止进行无功分配,以避免频繁变化电压值。 V_{set} 为电压设定值, V_{act} 为母线电压值。

AVC 约束条件首先是无功功率要遵从以下要求:

$$Q_{\text{imin}} < Q_i < Q_{\text{imax}} \quad (1)$$

式中: Q_{imin} 为机组最小无功功率; Q_{imax} 为机组最大无功功率。

同时,还要考虑的约束有:功率因数在允许值范围内(取国家标准定值);满足最大转子电流限制;满足最大定子电流限制;满足最大定子电压限制。

影响机组无功分配的因素有:无功功率的调整首先由调相运行的机组承担,剩余的部分由参加无功调节的机组分担;运行机组间的无功功率一般按机组承担无功负荷的能力成比例地分配;考虑各机组有功负荷的大小,按一定的功率因数分配机组的

无功功率;当电厂的升压变压器带有调压抽头时,机组的无功功率的调整要与变压器的抽头调节相配合,一般在调整变压器抽头之前,应最大限度地利用发电机的电压调整范围^[1-2]。

1.2 控制模式

AVC 子系统接收 AVC 主站系统下发的全厂控制目标(高压母线电压、全厂总无功功率等),按照控制策略(电压曲线、恒母线电压、恒无功)合理分配给每台机组,通过调节发电机无功出力,达到全厂目标控制值,实现全厂多机组的电压无功自动控制。在保证机组安全运行的条件下,为系统提供可充分利用的无功功率,减少电厂的功率损耗。

AVC 提供以下控制模式:

1)按照中调/当地给定全厂总无功方式控制全厂无功负荷分配。

$$Q_{AVC} = Q_{set} - Q_{AVC}' \quad (2)$$

式中: Q_{set} 为全厂无功设定值; Q_{AVC}' 为不参加 AVC 机组所发无功功率之和。

2)按照中调/当地给定的母线电压值,对全厂无功功率进行分配,使电厂母线电压维持在给定水平,当母线电压在正常电压范围之内,按照正常调压系数进行调整。

当母线电压值在正常电压范围以外,进入紧急调压模式,按照紧急调压系数进行调整。

3)按照中调给定的母线电压增量,对全厂无功功率进行分配,使电厂母线电压维持在给定水平;同样,当母线电压值在正常电压范围内时按照正常调压系数调整,当母线电压值在正常电压范围以外时按紧急调压系数进行调整。

4)按电压曲线方式控制母线电压。按照中调/当地设定的电压曲线的当前值,对全厂无功功率进行分配,使母线电压维持在曲线设定值水平,全厂无功功率 AVC 分配值等于母线电压偏差引起的调整量与不参加 AVC 机组所发无功之和。当母线电压值在正常电压范围以外,同样也按照紧急调压系数进行调整。

1.3 控制模式选择

电厂 AVC 子系统原则上应采用全厂控制模式,可以控制多台和单台机组。AVC 工作方式可由运行人员在 AVC 控制画面上任意选择。

1)投入/退出

包括:全厂 AVC 投入或退出,机组 AVC 投入/退出,无机组投入 AVC,全厂 AVC 投不上。

2)开环/半闭环/闭环

开环方式也应用于调试模式,在此方式下,AVC 只显示参加 AVC 机组的无功负荷分配,可作

为运行人员操作指导,并不下发至机组现地控制单元(LCU)。

闭环方式下,AVC 给出的参加 AVC 机组的无功负荷分配值作为机组的无功负荷设定值下发至 LCU,由机组 LCU 调整机组无功出力。

3)当地/远方

远方方式时,电压曲线给定值由中调设定;当地方式时,电压曲线/给定值由运行人员通过画面设定。

4)I 母/II 母控制

I 母控制:AVC 按照 I 母的电压根据实际厂内拓扑结构进行调节。

II 母控制:AVC 按照 II 母的电压根据实际厂内拓扑结构进行调节。

合母控制:AVC 按照合法有效的母线电压进行调节。

1.4 分配原则

1)等功率因数原则^[3]。每台机组的功率因数保持一致,即 AVC 根据当前各台机组的有功功率实发值按比例分配无功功率到各台机组。

2)无功容量成比例原则^[4]。AVC 根据当前各台机组可发的最大无功功率和最小无功功率得出的容量,来进行成比例分配无功功率到各台机组参加 AVC 的机组。

3)相似调整裕度原则^[5]。比无功容量成比例更进一步,AVC 根据当前机组可发的最大无功功率和最小无功功率得出无功容量,然后再依据当前实发值和调节方向,算出每台机组切实可以调节的无功功率范围,再依据这个范围分配无功功率到各台参加 AVC 的机组。

4)动态优化原则。AVC 依据优化系数直接分配无功功率到各台机组。

需要说明:不参加 AVC 的机组,AVC 分配值跟踪实发值,但此值只供显示,并不实际作用于该机组。母线电压与给定电压值在电压死区内,AVC 分配值跟踪实发值。

2 柘溪电厂 AVC 工作模式

根据柘溪电厂实际情况,采用原监控系统一体化集成 AVC,电厂 AVC 功能通过监控系统子程序 AVC 软件方式实现。由于柘溪电厂长期都是 2 条母线分母运行,而且每条母线所带机组均固定,因此将采用一厂双模块分别独立控制 I 母和 II 母的方式实现 AVC 全厂集中控制,并且按照电网调度要求,只采用电压定值方式下发遥调控制信号。

2.1 系统配置

采用 SUN 公司的 2 台服务器并采用双机冗余方式配置;上位机与主备远动装置具备交叉通信的能力,任意一台上位机(双机时)或远动装置故障时系统仍可正常运行;软件配置具有良好的实时性和可维护性,应包括数据采集、处理、通信和诊断等各种软件;软件遵循国际标准,满足开放性的要求;留有用户用于运行维护、二次开发的接口;采用 UNIX 具有较强的防计算机病毒、反入侵的能力。系统拓扑结构如图 1 所示^[6]。

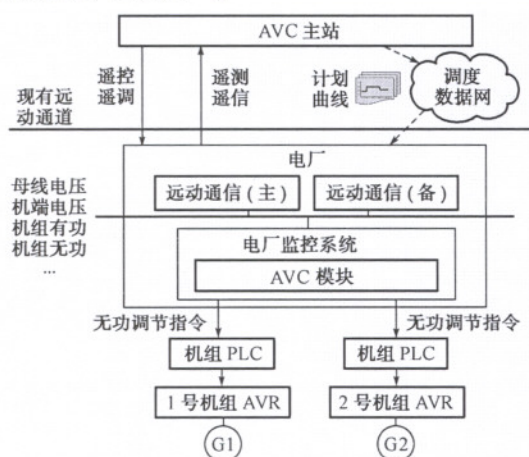


图 1 系统拓扑结构

柘溪电厂 AVC 功能在电厂监控系统中通过 AVC 软件实现。与省调信息交换通过远动通信机,控制脉冲经机组可编程逻辑控制器(PLC)连接到励磁系统。

2.2 分配原则

一般来说,发电机无功出力越大,无功储备减少,系统的电压稳定裕度就越少。故障后,如果并联电容器不能及时投入,则发电机动态无功储备将决定电压稳定的程度。在电网的实际运行中,发电机动态无功储备可分为 2 部分:一部分是为保证电网的安全运行而预留的必需的无功储备;另一部分可能是由于电网的当前实际无功需求不足而多出来的不必要的无功储备。

由 1.4 节分配原则公式可知,无功相似裕度与等功率因素、等比例等分配原则相比,具有调节平滑、安全可靠的优点。因此,考虑机组 AVC 调节的平滑性,柘溪电厂 AVC 采用无功相似裕度分配原则。

2.3 安全策略

1)防主站目标错误保护。AVC 子站可以检测主站下发的非法命令,判定的主要依据是:主站下发的目标超过设定的最大值 236 kV、最小值 224 kV;

主站下发的目标超过设定的单次最大调节量 2 kV;主站下发的控制方向与实际不符。当 AVC 检测到非法主站目标值时,维持原值。

2)PQ 曲线。在以电压为主、无功功率上下限为辅的协调方式中,AVC 子站在调节过程中自动计算并判断各台机组的无功功率是否在 PQ 曲线限制范围^[3]。但是,柘溪电厂无功功率实际存在深度进相调节的需求,因此 PQ 曲线除考虑过励限制外,还应同时考虑欠励限制,在两者形成的包线中,通过动态采集机组有功功率,依据过励和欠励限制线查表线性插值的方式获得机组无功功率调节上、下限。而且,在 AVC 调节过程中,如果无功功率实发值超过限值(上调节超过上限值,下调节超过下限值),则无论母线电压是否达到控制目标值,都应先闭锁相应机组的增磁或减磁,AVC 子站等待闭锁信号源恢复。

3)当出现以下情况之一时,AVC 子站系统应退出运行,并给出告警信号,由运行人员检查处理后手动投入运行:无机组参加 AVC,全站 AVC 自动退出;电站事故,全站 AVC 自动退出;母线电压测量值异常,全站 AVC 自动退出;系统电压振荡,全站 AVC 自动退出;当 AVC 量测偏差大(与当前运行工况比较)或长期(时间可设)控制无效果时,退出运行。

4)机组 AVC 自动退出条件为:机组无功功率不可调;机组 LCU 故障;机组励磁装置故障;机组无功功率测量品质坏。

5)当出现以下情况之一时,AVC 子站系统自动闭锁相应机组 AVC 功能,并给出告警信号,在恢复正常后应自动解锁恢复调节。AVC 增磁/减磁闭锁条件为:高压母线电压越控制限值上限,闭锁增磁控制;高压母线电压越控制限值下限,闭锁减磁控制。满足最大转子电流限值,闭锁增磁控制;最大定子电压限值,闭锁增磁控制。无功功率越控制限值上限,闭锁增磁控制;无功功率越控制限值下限,闭锁减磁控制。厂用母线电压越控制限值上限,闭锁增磁控制;厂用母线电压越控制限值下限,闭锁减磁控制。

6)其他安全闭锁条件为:AVC 调度调节模式下,远动通信故障,AVC 自动切为电站调节模式;AVC 调度调节模式下,电站电压(无功)设定值跟踪实发值;当母线所挂接机组全部增/减磁闭锁时,为保护电厂 AVC 调节不违反厂用电等当地安全约束,电压指令跟随当前电压实际值。

7)系统震荡判据为:软件根据电网调度要求和电厂的特点进行简化处理,经滤波后的母线电压值如果超过限值,则认为系统振荡,此时 AVC 系统退

出,同时发出报警信号。

2.4 AVC 子站采集信息要求

AVC 子站系统根据需要采集下列信息:

1)模拟量信息:电厂高压母线电压,考虑消除共模误差,只采用 U_{AB} 线电压;各机组有功功率、无功功率;各机组机端电压;各机组定子电流;厂用母线电压;主变高压侧有功功率、无功功率。

2)开关量信息:相关机组开关、刀闸位置信号;各机组励磁系统正常/异常状态信号;相关的保护动作信号;相关的故障告警信号。

2.5 AVC 主站-子站信息交互要求

AVC 主站要求上送的信息有:

1)遥测信息,包括高压母线电压、各机组机端电压、各机组有功功率和无功功率、主变各侧有功功率和无功功率。

2)遥信信息,包括 AVC 子站远方控制/就地控制信号、AVC 子站功能投入退出信号、各机组的 AVC 投入/退出信号、各机组断路器和隔离开关位置信号、全厂增/减磁调节闭锁信号。

AVC 主站下发控制信息各段高压母线电压控制目标和 AVC 远控投入闭环信号。

由于电厂一般三相电压均送给 AVC 模块作为参考^[6],而现今普遍使用的电压互感器精度均在 0.5%,要实现调度 220 kV 的 AVC 系统调节精度要求(0.4 kV),直接系统误差就已经超过 0.5%,这就存在尖锐的矛盾。分析发现,实际上,此处误差为共模误差,并且短期内更换电压互感器的可能性不大,综合考虑调度电压调整的增量模式,因此 AVC 系统采用的电压量测和控制目标只采用 U_{AB} 线电压,这样可以暂时解决 AVC 系统调节精度的问题,但要从根本上解决,仍需提高现场采集电压互感器回路的精度。

2.6 控制效果

老厂试验数据如表 1 所示。初始状态是 1 号、

2 号和 3 号机组 AVC 投入,全厂 AVC 投入闭环。试验证明,本文给出的考虑无功进相的 AVC 系统切实可行,调节跟踪精度在 0.4 kV 以内,效果良好,符合调度规范要求。

表 1 多台机组投入 AVC 测试结果

调度设定 电压/kV	老厂电压 U_{AB}/kV	全厂及各机组无功功率/Mvar			
		全厂	1号机	2号机	3号机
228.03	227.79	38.6	27.4	13.5	-2.3
228.73	228.38	45.1	26.4	18.4	0.3

3 结语

柘溪电厂 AVC 自 2010 年 4 月下旬试投运以来,精度高,运行良好,保证了柘溪电厂的安全自动运行。实践证明,本文的 AVC 结构配置和实施策略是行之有效的,能够满足电网安全稳定的要求。

参考文献

- [1] 黄家志,谢秋华.三峡左岸电站 AGC/AVC 功能设计与运行经验.水电自动化与大坝监测,2006,30(5):8-12.
- [2] 刘小力,甘成勇.电站 AVC 控制设计与实现.水电自动化与大坝监测,2010,34(1):24-27.
- [3] 唐建惠,张立港,赵晓亮.自动电压控制系统(AVC)在发电厂侧的应用.电力系统保护与控制,2009,37(4):32-35.
- [4] 张忠翼.自动电压调控技术在电厂中的应用研究[D].保定:华北电力大学,2009:5-15.
- [5] 单鹏珠,俞鸿飞,朱辰.浙江电网水电厂 AVC 功能设计及其应用.水电自动化与大坝监测,2010,34(2):6-8,16.

朱 华(1983—),男,通信作者,工程师,主要研究方向:水电站监控系统高级应用技术。E-mail: zhuhua@sgepri.sgcc.com.cn

AVC Strategies and Realization for Zhexi Hydropower Plant

ZHU Hua, MA Jie

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The main target of automatic voltage control (AVC) for hydropower plants is to stabilize voltage with safe and effective method in accordance with operation restriction condition of the units and the power plant. With generators of Zhexi Hydropower Plant, Hunan as an example, the policies of AVC, such as function restrictions, boundary condition and protection locking strategy for AVC are expatiated. And implementation of PQ curve restriction and high accuracy of voltage control are analyzed in detail. The test results illustrated in this paper will benefit to the future test and operation for Hydropower Plants' AVC.

Key words: hydropower plant; computer monitoring system; AVC; accuracy