

关于 AVC 分散控制模式下的变电站电压无功控制研究

邢晓野¹ 毛启欣² 戴建华¹ 张亚谱¹ 赵磊¹

(1. 包头供电公司 内蒙古自治区包头市 014030; 2. 内蒙古电力(集团)有限责任公司电力调度控制分公司 010040)

摘要: 在电力系统中,考核电能质量的关键指标之一就是电压。如果电压波动过大,不但会对电气设备的使用效率和寿命造成影响,而且还会对系统的安全稳定运行造成危害,严重的还会造成压机的死机。造成大面积停电。同时,降低网损也是实现分层分区就地平衡无功的重要手段,所以调节电压无功同样是影响电压质量的重要因素,各级变电站都承担着重要的责任。

关键词: AVC 分散控制模式; 变电站电压; 电压无功控制

AVC 系统,即自动电压控制系统,在电力系统中扮演着至关重要的角色。它通过实时监测电网的电压水平,并快速调整无功功率的分布,有效提高电压质量,确保电力系统的安全、可靠和经济运行。在电力供应过程中,电压的稳定性直接关系到电能的使用效率和电气设备的安全,因此,AVC 系统的应用显得尤为重要。近年来,变电站中的电压无功综合控制系统得到了广泛的推广和应用。这一系统利用先进的控制策略和算法,能够针对负荷和电压的波动进行及时、有效的调节。在电压波动时,系统能迅速响应,调整有载调压变压器和电容器组的工作状态,以保持电压稳定;同时,通过无功就地平衡,降低系统对无功电能的吸收,从而显著减少网络损耗。

一、变电站电压无功综合控制的主要方式

(一) 集中控制方式

集中控制是电力系统自动化管理的一种高级形式,其通过调度中心对分布在不同地点的配电中心的调压设备和无功补偿设备进行统一指挥和调度。这种控制方式的核心思想在于通过集中管理和优化资源分配,以实现整个电力系统的电压稳定、无功平衡,从而提高系统的运行效率和经济效益。然而,要实现理想的集中控制,调度中心需要具备先进的电压和无功优化实时控制软件。这些软件应能够根据不同地区的实际负荷情况、线路特性以及设备状态,动态调整控制策略,确保各个配电网中心的电压和无功功率始终维持在最佳状态。

(二) 分散控制

分散控制作为常用的电压无功综合控制方式。其核心思想是通过对有载调压变压器和其他电压调节器的分接头位置进行自动调节,在规定范围内维持区域内的电压和无功功率,以适应当前负荷的变化,并控制无功功率补偿设备的工作状态,在各变电站或发电厂实施控制。进而减少局部网络变压器的电能损失,使系统得以安全稳定地运行。通过在局部范围内实现电压和无功功率的控制优化,可以有效地改善电网的性能,提升供电质量,同时减少能源损耗和设备损坏的风险。然而,分散控制也存在局限性,即无法实现全局优化。由于各个变电站

或发电厂独立进行控制,缺乏整体协调,可能导致系统整体性能的损失。分散控制只能针对局部范围内的问题进行优化,无法考虑整个系统的综合性能,容易造成局部最优解与整体最优解之间的矛盾。

(三) 关联分散控制方式

关联分散控制作为一种创新的电力系统控制策略,融合了分散控制和集中控制的双重优势。在日常运行中,各个变电站的关联分散控制装置遵循既定的控制规律,主动对电压进行精准调控,保障了电力系统的安全、稳定和高效运行。而在面临紧急状况或系统运行模式发生显著变动时,调度中心能够迅速介入,直接对变电站的控制参数进行干预,确保系统快速恢复稳定。这种控制策略依赖于装置的高智能和强大的通信能力,它们需要进行复杂的逻辑分析、自动调整以及实时信息交流。尽管关联分散控制可能会带来一定的投资成本增加和技术挑战,它依然是提升电力系统可靠性与经济性的有效手段,并能够在各种运行条件下保障系统的最优性能。

二、电压无功控制的调节判据

(一) 单一控制策略

在电力系统中,功率因数是负荷效率的重要参数。传统的功率因数控制方法是通过设定功率因数的上、下限来控制电容器组的投切,即在低于下限时将功率因数投到电容器组,在高于上限时将电容器组切除。但是,这种管制方式还是有欠缺的。一是没有考虑到电容器组投切后对母线电压产生潜在影响的无功功率变化。其次,电容器组的投切在负荷较轻的情况下,可能会造成无功功率的变化,从而导致功率因数量的不同而波动,从而使发电电容器组的投切频繁接触,形成所谓的“投切振荡”。改进后的自动投切装置已经出现,以解决这些问题。这种装置能够自动调整功率因数的设定值,根据不同的负载区域,适应负载的变化。它采用自动选取算法来进行电容器组的投切,有效减少了因负载变化而导致的频繁动作。

(二) 综合控制策略

同时,在电力系统的运行中,"九区图"控制理论是一种广泛应用的方法,它根据电压和无功功率的上、下

限将运行区域划分为九个区。这九个区域分别对应不同的控制策略:0区表示电压和无功均处于合格范围内,无需调节;1区至8区则分别对应电压或无功超出合格范围的情况,需要通过调整变压器分接头挡位和补偿电容器组的投切来进行控制。电压的上限(U上限)和下限(U下限)根据电压合格范围确定,无功的上限(Q上限)和下限(Q下限)则根据电容器组容量、电容偏差以及无功功率平衡原则设定。通过这种方式,变电站运行人员可以根据实时采集的电压和无功数据,判断当前所处的区域,并采取相应的控制措施,确保电力系统稳定高效运行。

(三) 基于人工智能的电压无功控制策略

基于人工智能的电压无功控制策略可以通过多种方法实现,包括基于模糊控制理论、基于人工神经网络负荷预测、基于专家系统和基于遗传算法。在这些方法中,模糊控制理论利用模糊隶属度函数将电压和无功偏差量、分接头档位、可调电容器组数等模糊化处理,通过模糊控制器输出精确的控制值,具有信息量少、计算量小、在线实现等优点,能有效控制系统的电压性能和稳定性。人工神经网络通过训练样本集和实时数据模糊化,输出控制信号,减少变压器的分接点调整次数,同时结合无功预测和优化决策。专家系统地运用专家知识,对无功电压按规律进行综合调节,以启发性、透明性和灵活性为特征,使控制目标达到预期。主要用于选择变压器分接档和投切电容器组的组合,遗传算法模拟生物遗传和进化机制,以寻求最佳的解决方案,优化电力系统性能,确保电压稳定和系统更经济、更安全。这些以人工智能为基础的控制策略为电力系统的稳定运行提供了有效的技术支持,对电力系统的运行效率和可靠性的提高起到了不可忽视的作用。

三、AVC 分散控制模式下的变电站电压无功控制系统设计

变电所电压无功控制系统在自动电压分散控制模式下,结构上分为三层:指令层、通讯层、执行层。指令层核心是AVC主站伺服器,它负责优化电压动态性能、稳定性和网络损耗,并基于实时或预测的网络结构和SCADA系统数据,进行状态估计与无功优化计算,生成控制指令以实现变电站二次侧电压和进线无功的精准控制。通讯层负责确保这些指令通过专用通道和智能光MODEM或光电转换器,快速、准确传输至变电站监控系统。执行层则根据这些指令,对变电设备进行实际操作,完成电压无功控制目标。执行层是通过变电站监控系统,结合通信层发出的控制指令,接收远动终端单元(RTU)传送的运行数据,生成遥控、遥调命令的系统核心部分。为了实现变电站电压无功的精确控制,增强电力系统的稳定性和经济效益,减少网络损耗,保证供电质量,对

OLTC、电容器等设备进行了调整。

变电站电压无功控制系统(VQC)在自动电压分散控制模式下,对动态优化计算模块进行了深入研究。该系统与电压无功就地控制模式下的动态优化研究类似,但在功能上有所扩展。系统采用AVC主站预测模块,在考虑在线变压器调压器(OLTC)和电容器组调节次数限制的情况下,根据系统电压需求、变电所二次侧负荷变化和优化计算结果来设定目标函数,旨在优化降低二次侧电压和无功(或功率因数)与设定值之间的偏差。该系统确定了OLTC的最佳档位,同时确定了每个时间段电容器组的切换状态,通过寻找目标功能的最优解法来实现电压无功等级的最优化。这种设计提高了电力系统的稳定性和经济性,降低了网络损耗,保障了电力供应质量,延长了设备寿命,为电力系统的安全运行提供了有力保障。如果AVC主站对变电站的各项预测值保持较高准确性,且不调整各时段的设定值,变电站VQC系统将依据动态优化策略进行控制。这意味着系统会实时监控电压和功率等关键参数,确保它们在规定范围内。然而,一旦运行参数越限,表明预测数据不准确,动态优化策略将不再适用,此时VQC系统将切换到静态优化计算模块。这个模块的作用是在AVC主站下发新指令时迅速调整控制变量,或者在无新指令到达或异常情况下,维持电压和无功在当前目标值附近或合格范围内,确保电力系统的稳定运行和供电质量。这样的整合设计使得VQC系统能够灵活应对预测偏差和实时指令变化,保障电力系统的高效、可靠和安全运行。

结语

综上所述,在自动电压控制系统的支持下,变电站能够实时响应系统负荷变化和预测数据偏差,通过精确控制OLTC和电容器组,实现电压无功的最优化调节。这种整合设计的控制系统,不仅提高了电力系统的运行效率和经济效益,降低了网络损耗,而且增强了系统对各种运行条件的适应性。

参考文献:

[1]陈旭,羿应棋,张勇军.考虑风电场随机波动性的变电站关口无功控制区间整定方法[J].电力系统自动化,2016(15).

[2]吕志来,喻宜,李海,等.中低压配电网无功优化综合协调控制系统研究与设计[J].供用电,2015(4).

[3]薛涛,李庚银.短期负荷预测在配网无功优化控制中的应用[J].山东电力技术,2008(3).

单位名称:内蒙古电力(集团)有限责任公司包头供电分公司,内蒙古电力公司2023年科技项目内电生(2023)14号文地调AVC控制策略优化研究与应用科技项目资助