

地区电网与新能源无功电压协调控制

许大卫, 陈天华, 陈建华, 杜磊, 杨科
(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 211106)

摘要:随着新能源发电的快速发展, 新能源电厂并网后的无功电压优化控制受到广泛的关注, 文中结合新能源发电的特性以及目前成熟并广泛应用的地区电网自动电压控制系统, 提出一种地区电网与新能源电厂无功电压协调控制的总体技术方案, 详细阐述了协调控制原理及控制方案的实现。经实际系统的现场应用表明, 上述技术方案和控制策略可行且有效, 较好地解决了新能源并网的无功电压协调控制问题。

关键词:地区电网; 新能源; 无功电压; 协调控制

中图分类号: TM761.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)02-0041-04

随着传统能源的日渐稀少, 近年来新能源发电在我国得到了越来越广泛的应用。在风力发电领域, 根据中国风能协会发布的最新数据, 2013年中国(不包括台湾地区)新增装机容量 16 088.7 MW, 同比增长 24.1%; 累计装机容量 91 412.89 MW, 同比增长 21.4%。新增装机和累计装机 2 项数据均居世界第一^[1]。在光伏太阳能发电领域调查数据显示, 2011年中国的光伏发电安装量比 2010 年增长了约 5 倍, 是全球光伏发电安装量增长最快的国家^[2]。与传统发电方式相比, 新能源发电具有可再生、无污染、建设周期短等优点, 但风力和光伏资源本身具有随机性、间歇性、周期性及波动性等特点。大容量风电同时并网会造成接入变电站母线电压质量急剧下降^[3,4]。光伏电源的并网对配网和高压输电网的电压质量也均会有一定的影响^[5]。

近年来, 针对新能源发电的电压稳定而进行的无功补偿问题一直是电力企业和相关研究机构关心的热点。目前在风电场和光伏电站普遍采用自动电压控制(AVC)系统对并网点电压和无功进行调节。AVC 系统可接受来自调度的母线电压和总无功的限值设定以及电站内的母线电压和无功的设定, 通过一定策略调节并网风机/光伏逆变器无功功率、无功补偿设备(容抗器和 SVG/SVC 等)的投入量或变电站升压变压器的变比进行电站的无功及电压调节使并网点电压在正常运行范围内^[5]。

1 AVC 系统简介

AVC 系统在 20 世纪 80 年代初开始用于电网, 又称为二次电压调节网, 目标是在电网中实现无功功率及电压的区域性集中控制^[6]。其主要功能是在满足电网安全稳定运行前提下, 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。AVC 系统从网络分析应用(PAS)获取控制模型、

从电网稳态监控应用(SCADA)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。

2 实现方案

2.1 系统架构

地区电网 AVC 系统作为主站, 新能源 AVC 系统作为子站。主站利用电网实时数据和状态估计提供的实时方式进行分析计算, 实现对电网母线电压、发电机无功、电网无功潮流自动监视并对无功可调控设备进行在线闭环控制。总体控制模式采用无功电压二级协调控制模式。整体控制框架如图 1 所示。

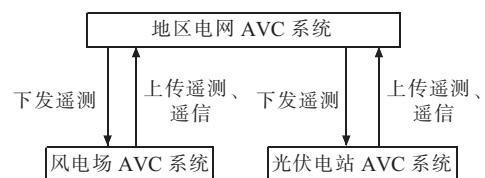


图 1 系统控制框架图

在具体实现时, 主站与子站在满足二次防护要求的基础上, 通过调度数据网连接实现通信, 通过标准化规约设定建设实现数据传输的无缝连接。主站系统根据全局网络模型和实时数据进行全局优化分析计算, 对子站系统下达电压或功率因数曲线, 电场接收后形成控制策略, 对并网风机/光伏逆变器无功功率、无功补偿设备(容抗器和 SVG/SVC)的投入量或变电站升压变压器的变比进行调节, 并将调节后的电压无功状况反馈给主站, 形成闭环控制。整体架构如图 2 所示。

2.2 优化模型

地区电网和新能源子站的协调控制以网损最小为无功优化的目标^[7]。以主网中枢母线的电压、风电场升压站高压侧母线电压、光伏电站并网点电压、主网关口无功和升压站关口无功的越限为罚函数。目标函数为:

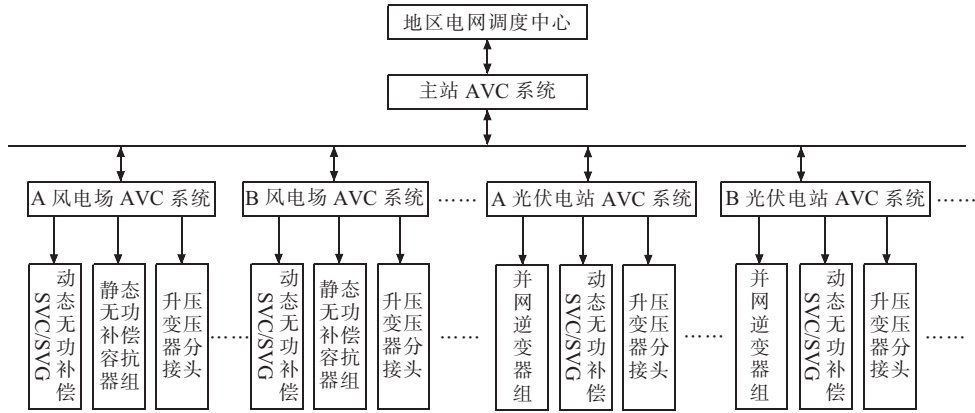


图2 系统整体架构图

$$\min F = \Delta P_{\text{loss}} + \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i \Delta V_i^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_i \Delta V_i^2 + \sum_{i=1}^{n_3} \lambda_i \Delta V_i^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \lambda_{si} \Delta Q_{si}^2 + \sum_{i=1}^{n_5} \lambda_{di} \Delta Q_{di}^2 \quad (1)$$

式(1)中: ΔP_{loss} 为系统的有功网损; $\sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i \Delta V_i^2$ 为中枢母线电压越限的罚函数; n_1 为系统内中枢母线个数; $\sum_{i=1}^{n_2} \lambda_i \Delta V_i^2$ 为升压站高压侧母线电压越限的罚函数; n_2 为升压站高压侧母线个数; $\sum_{i=1}^{n_3} \lambda_i \Delta V_i^2$ 为光伏电站并网点电压越限的罚函数; n_3 为光伏电站并网点母线个数; $\sum_{i=1}^{n_4} \lambda_{si} \Delta Q_{si}^2$ 为主网关口无功越限的罚函数; n_4 为主网关口个数; $\sum_{i=1}^{n_5} \lambda_{di} \Delta Q_{di}^2$ 为升压站关口无功越限的罚函数; n_5 为升压站关口个数。

电压和无功的越限值可定义为:

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{i\max} & (V_i > V_{i\max}) \\ 0 & (V_i = V_{i\max}) \\ V_{i\min} - V_i & (V_i < V_{i\min}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta Q_{si} = \begin{cases} Q_{si} - Q_{si\max} & (Q_{si} > Q_{si\max}) \\ 0 & (Q_{si} = Q_{si\max}) \\ Q_{si\min} - Q_{si} & (Q_{si} < Q_{si\min}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta Q_{di} = \begin{cases} Q_{di} - Q_{di\max} & (Q_{di} > Q_{di\max}) \\ 0 & (Q_{di} = Q_{di\max}) \\ Q_{di\min} - Q_{di} & (Q_{di} < Q_{di\min}) \end{cases} \quad (4)$$

式(1)中各惩罚因子 λ 为开放参数,可根据各级电压、无功以及网损的优先级高低予以设置,优先的选项惩罚因子较大。基于以上模型的优化可以得到理论最优解,但在一个实际的电力系统中,上述优化结构很难在线实现。其原因主要有:(1)实时电网运行方式变化以及大量遥测遥信数据采集的速度和精度影响了优化算法的收敛性;(2)即使使用状态估计结果能使上

述计算的收敛性得到一定程度的改善,但状态估计的结果准确与否仍要依赖于线路和设备参数的准确性;(3)上述优化结果不能完全考虑实际控制过程中的诸多问题,如各种控制变量的动作时序,设备动作时间的间隔,动作次数等。因此,用优化结果直接应用于大规模的实时控制的可靠性不高,可操作性也不强。本文结合地区主网、风电场/光伏电站子网的特点,对上述优化模型进行简化处理,并在此模型基础上进行两级AVC系统的协调控制,使控制效果尽量接近最优。

2.3 控制策略

新能源子站根据主站电力系统调度机构发出的指令,自动调节其发出(或吸收)的无功功率,实现对并网点电压的控制,其调节速度和控制精度应能满足电力系统电压调节的要求。风电场/光伏电站无功调节方式包括调节风机/光伏逆变器无功功率、调节电站集中补偿装置无功功率和调节变压器变比的方式。主要控制策略为:

(1) 采用传统AVC系统成熟的分层分区、就地平衡的控制思想。

(2) 风电场/光伏电站110 kV及以下线路接入主网的部分划分到地区电网控制区,参与区域无功电压优化。

(3) 主站端根据各区无功调节能力及平衡情况,设定子站端并网点电压控制值(或功率因数),风电场/光伏电站子站端根据设定电压值,合理控制风机/光伏逆变器、集中无功补偿装置和变压器,使得并网点电压满足控制要求;

(4) 通过对风电场/光伏电站无功需求与可调节范围的预判,调节电站并网点电压设定值,充分发挥风机/光伏阵列无功调节能力;

(5) 基于风电/光伏电站功率预测,协调控制慢速离散无功调节设备(并联电容、电抗器等)与快速连续无功调节设备(风机/光伏阵列、静止无功发生器SVC/SVG等),超前控制投退电容电抗器等静态无功补偿装置。

2.4 技术要求

主站系统在通信、配置、功能以及精度方面应满足如下要求:

(1) 主站与子站系统在满足二次防护要求的基础上,通过调度数据网连接实现通信,通过标准化接口建设实现数据传输的无缝连接。

(2) 主站所有功能软件模块应集成在统一的平台之中,实现集群的无功电压控制。

(3) 主站系统应根据全局网络模型和实时数据进行全局优化分析计算,通过分级分区实施闭环控制。对于风电场/光伏电站,由主站系统下达电压或功率因数曲线,电场就地执行,保证其不对主网无功电压产生负面影响。

(4) 主站根据电压等级划分电压控制区,考虑负荷预测、风电/光伏功率预测,基于全网的无功优化目标函数,在确保稳定性指标和全网无功潮流最优的前提下,给出各控制区中枢母线节点电压幅值的设定参考值和联络线潮流信息,计算周期在15~60 min。子站根据区域内可用无功控制设备,将区域无功需求分配到各无功控制设备,包括SVC设备、常规机组AVR、可投切电容器等,根据设定的电压参考值/调整量,以保证中枢节点电压在设定值附近,每次命令控制周期在5 min以内。

2.5 协调方案

基于风电场/光伏电站接入系统的方式和拓扑关系结果,主站首先进行新能源电厂的分区归并,然后进行协调的二级电压控制策略。该方法适用于地区电网330 kV/220 kV主网能够拓扑到新能源电场升压站出线,其主要的控制原则是参与二级电压控制。子站在保证自己电压合格的情况下,和二级电压控制的控制方向保持一致。

其控制目标按拓扑类型分为2种情况:如果升压站存在高压侧母线且可拓扑到地调的330 kV/220 kV主网,以升压站内高压侧母线为控制目标;如果升压站没有高压侧母线或高压侧母线采集不到量测,则通过拓扑关系搜索到对端线路的升压站高压侧母线。如图3所示。

拓扑搜索分区完毕后,主站首先在网络拓扑的基础上,根据升压站出线连接到地区电网的结构,将其进行分区;查看控制目标电压是否越限,电压越限时采用越限校正控制,在有足够无功的情况下,将母线电压拉入正常的控制限值范围;在没有足够无功的情况下,也尽最大能力减少母线电压的越限情况。控制目标在没有越限的情况下,参与区域内的二级电压控制,根据区域内的电压情况进行电压调节。二级电压控制策略以裕度调节为主,其计算公式为:

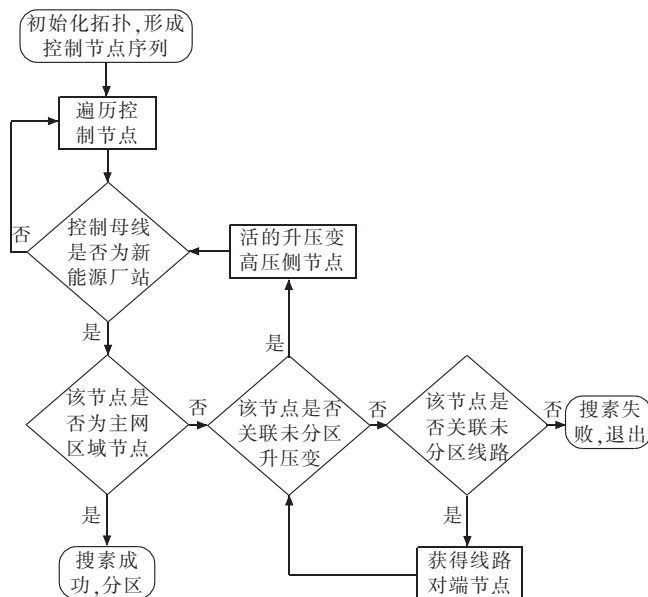


图3 拓扑搜索流程图

$$\begin{cases} f_{up} = (\frac{V_{max} - V_c}{V_{max} - V_{min}} + Q_{vq} \frac{Q_{max} - Q_c}{Q_{max} - Q_{min}}) / (1 + Q_{vq}) \\ f_{dn} = 1 - f_{up} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中: V_c, V_{max}, V_{min} 分别为控制母线当前电压、电压上限和电压下限; Q_c, Q_{max}, Q_{min} 分别为母线所有机组当前无功、母线所有机组无功调节上限和无功调节下限; Q_{vq} 为电压对无功的裕度权重。

主站在执行区域无功控制时,可以根据裕度值对控制目标进行排序,实现序列调节,使调节效果接近最优,控制流程如图4所示。

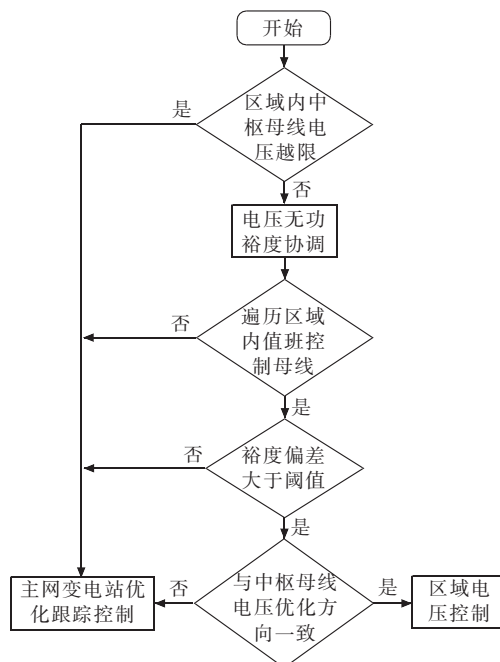


图4 协调控制流程图

当区域电压需要上调时,优先调节上调裕度大的控制母线电压,上调裕度小的母线电压暂保持原值;当

区域电压需要下调时,优先调节下调裕度大的控制母线电压,下调裕度小的母线电压暂保持原值;当区域电压无需调节时,对各控制母线根据调节裕度确定调节方向并进行相应的调节。

3 实例应用

西北某地调拥有丰富的风力发电资源,下辖6个风电场。风力发电的不规律性导致了风电并网点电压长期不稳定。2013年3月,该地调AVC系统和下辖风电场AVC系统实现了联调控制,地调AVC系统主站定时下发控制母线电压调节目标值,风电场AVC系统子站响应目标值并调节无功补偿设备或升压站分接头,且将调节后的结果反馈回地调AVC主站,风电场联调前、联调后的电压曲线如图5、图6所示。通过分析某站并网点在联调前后的电压曲线,可以看出,实现了联调控制后,该站的110 kV I 母线电压波动趋于稳定,电压合格率提升效果明显。

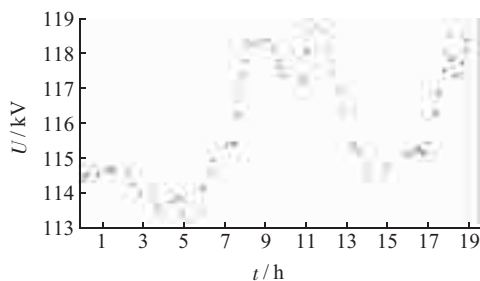


图5 风电场联调前电压曲线

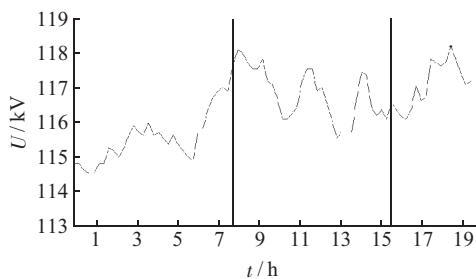


图6 风电场联调后电压曲线

4 结束语

本文在新能源电厂无功电压分布特性及目前的调度分级管理体系的基础上,提出一种基于自动电压控制(AVC)技术的无功电压协调控制方案,并详细阐述了协调控制原理及实现。通过现场的实际应用,此方案可有效约束新能源电厂的无功和电压波动,优化电网潮流,实现电网系统的安全和经济运行。

参考文献:

- [1] 中国风能协会. 2013年中国风电装机容量统计[EB/OL]. <http://www.cwea.org.cn/upload/2013年风电装机容量统计.pdf>.
- [2] 前瞻产业研究院. 2013-2017年中国光伏发电产业市场前景与投资战略规划分析报告[EB/OL].
- [3] 李强,李凤婷,樊艳芳,等. 风电并网对接入地区电压的影响[J]. 中国电力,2012,45(4):15-18.
- [4] 孙涛,王伟胜,戴慧珠,等. 风力发电引起的电压波动和闪变[J]. 电网技术,2003,27(12):63-70.
- [5] 魏世贵,刘双. AVC/AGC在光伏电站的应用[J]. 江苏电机工程,2013,32(2):35-37.
- [6] 赵美莲,赖业宁,刘海涛,等. 实时无功优化研究及其在线实现[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(23):79-83.
- [7] 唐寅生,丁晓群. 智能AVC系统的特征和建设研究[J]. 电网技术,2010,34(10):10-14.

作者简介:

- 许大卫(1989),男,江苏东海人,助理工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;
- 陈天华(1981),男,江苏南通人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;
- 陈建华(1977),男,山东德州人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;
- 杜磊(1983),男,山东高唐人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;
- 杨科(1986),男,江苏宜兴人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

The Coordination Control of Reactive-Power and Voltage in the Regional Grid with New Energy Resources

XU Dawei, CHEN Tianhua, CHEN Jianhua, DU Lei, YANG Ke
(NARI Technology Development Co. Ltd, Nanjing 211106, China)

Abstract: With the rapid development of new energy technologies, the coordination control of reactive-power and voltage in the regional grid with new energy resources is attracting an increasing attention. In this paper, combining new energy resources and widely used automatic voltage control system, we propose a technical solution to coordinate reactive-power and voltage in the regional grid. The engineering application results show that the proposed technical solution and control strategy is effective.

Key words: regional grid; new energy resources; reactive and voltage; coordination control