

基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制

罗毅, 涂光瑜, 金燕云, 丁力, 吴冀湘

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对目前地区电网电压无功控制的现状, 提出了基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制方案, 该方案借助地区电网调度自动化系统或集控站自动化系统采集的电网数据和遥控、遥调手段, 以各个变电站内的有载调压分接头、无功补偿设备和地方小电厂的发电机励磁电流作为控制对象, 采用多区图控制策略, 实现全网电压无功优化的自动控制, 可以有效地提高全网各个节点的电压合格率、降低网损。还讨论了实现上的若干技术问题, 包括控制参数整定、无功调节量的大小、地方小电厂如何参与调节、长输电线中的网损影响等, 并结合实例分析了多区图控制的控制效果。

关键词: 电压; 无功优化; 能量管理系统 (EMS)

中图分类号: TM727

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2004)05-0044-05

0 引言

我国地区电网经过几年的城、农网改造后, 供电可靠性大大提高, 有些地方的供电可靠性已经达到 99.9%, 基本上可以满足目前大多数用户对供电可靠性的要求。在此前提条件下, 当前地区电网电压质量(特别是电压合格率)问题就显得特别突出, 并且越来越受到各级供电部门的重视。影响地区电网电压合格率的因素主要有两个方面: 一方面是无功电源配置不合理, 这可以在地区电网的电压无功优化计算的基础上配以适量的建设资金逐步解决; 另一方面是没有能够实现全网的电压无功优化协调控制。当前在地区电网中很多变电站都装设有电压无功综合自动控制装置(VQC), 只采集变电站内部信息, 控制目标为变电站低压母线电压和变电站消耗的无功功率, 不能实现全网的协调控制。有些地区电网 EMS 中装设有电压无功优化计算软件, 从理论上说计算结果可以用于实现全网电压无功优化控制, 但由于存在一些难以解决的技术问题而使应用受到限制, 这些问题包括收敛性问题、当系统数据不全或出现局部坏数据后计算失败、远动数据的异步性等带来的较大误差直接影响控制的效果等。因此, 迫切需要提出新的控制原理和控制方法来解决地区电网电压无功协调控制问题, 提高地区电网的电压合格率。

国内外很多学者对此进行了众多研究。例如文献[1]提出了一种全网无功电压优化集中自动控制系统, 该系统不是进行单纯的电网潮流计算, 而是建立全网网损尽可能小、电压合格的优化及控制判断

规则, 这些规则能明显地改进控制效果。文献[2]提出了一种适用于 110 kV 及以上电网的自动电压控制方法, 该方法基于经济压差优化电压无功潮流程序, 对解决 EMS 中装设的电压无功优化计算软件的收敛性问题有一定帮助。

本文提出了一种基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制的控制理论和控制方法。利用从 EMS 或集控站 SCADA 系统中采集的电网数据及地区电网的网络拓扑图, 不须进行地区电网电压无功优化计算, 只通过构建的电网多区图控制规则, 对各个变电站进行相应的控制, 能较好地解决地区电网电压无功协调控制问题。

1 控制原理

1.1 电压无功控制的基本思路

为了理解地区电网电压无功多区图的控制思想, 特定义一些基本概念如下。

端子网: 在地区电网中, 电气上连通的某一电压等级的设备及其配供电的设备所构成的网络。

伴随端子网: 端子网加上向端子网供电的变压器所构成的网络。

端子网电压: 端子网中最高电压等级的电压。

端子网无功: 向端子网供电的变压器上流通的无功功率。

端子网无功调约束: 在端子网中调节无功补偿设备时, 应该保证端子网无功在给定的范围内变化, 该限制条件称为端子网无功调约束。

地区电网电压无功控制的总原则是在保证电压

合格的前提条件下,使电网网损达到最小。为了使电网网损($I^2R = \frac{P^2+Q^2}{U^2}R$)达到最小,应尽可能减小电网中传输的无功功率,并适当地提高电网运行电压。因此,若各级终端子网内部的无功功率能尽可能平衡,就可以达到网损最小的目标。但是,要求每一级终端子网的无功功率都能就地平衡是不可能的,也是没有必要的,这样必须装设很多无功补偿设备,经济上也不合理。

实际上,对城区电网而言,终端子网覆盖的地域范围很小,线路损耗一般可以忽略不计,网损主要来自降压变压器,只要将流过变压器的无功功率降至最小值即可达到网损最小的目标。这样,就要求同一电压等级电网中的无功功率能够平衡,而同一电压等级电网中各个变电站的无功功率可以相互传输,不会造成太大的网损,电压也比较容易满足要求。

对农村电网而言,各级终端子网覆盖的地域范围差别较大,输电线路的线径选择也不尽相同,很多情况下必须考虑输电线路损耗的影响。因此,不仅要考虑降低流过变压器的无功功率至最小值,而且当局部无功负荷较大时,同一电压等级电网中各个变电站的无功功率的相互支援应该按照电气距离最小的原则实现,即在潮流允许的条件下,距无功负荷电气距离小的无功补偿设备优先投切或调整。这样才能保证整个网损最小。这一原则当然也可以用于城区电网,只是效果不太明显,除非系统中存在限流电抗器等大电抗设备。

改变各个变电站的有载调压变压器分接头,可以改变该变压器中、低压侧终端子网的电压,进而改变电网的无功功率。一般降低有载调压变压器分接头可以提高变压器中、低压侧终端子网的电压,使无功负荷增大;调高有载调压变压器分接头可以降低变压器中、低压侧终端子网的电压,使无功负荷减少。但有载调压变压器分接头的调整次数不能太频繁,应该有限制地调整。当终端子网无功不足时,终端子网中各点的电压普遍偏低,不允许局部采用降低有载调压变压器分接头的办法抬高电压,这样会引起整个电网的无功缺额更大,必须先补偿无功,此时,可以先投入运行电压较低和无功有缺额的变电站的电容器组,或切除运行电压较低和无功有缺额的变电站的电抗器,再增大发电厂的无功出力。当终端子网无功过剩时,终端子网中各点的电压普遍偏高,一般应降低无功出力,此时,可以先切除运行电压较高和无功有剩余的变电站的电容器组,或投

入运行电压较高和无功有剩余的变电站的电抗器,再降低发电厂的无功出力。

如果要投切某一级终端子网内的无功补偿设备,必须先检查其伴随终端子网无功是否会越限。只有当伴随终端子网无功不发生越限时才能进行操作。

1.2 多区图控制策略

从电网运行的角度讲,电网各个节点电压和无功都应在一定的范围内,即电压和无功都有上、下限要求。若计 U_H 、 U_L 、 Q_H 、 Q_L 分别为电压上限、电压下限、无功上限、无功下限,用横坐标表示终端子网的无功,纵坐标表示终端子网的电压,则得到图 1 所示的多区图。

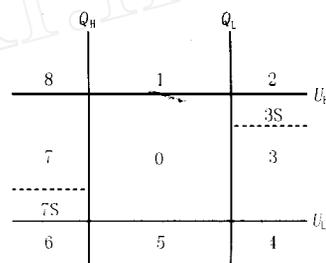


图 1 电压无功控制用多区图

Fig. 1 Multi-region diagram for control over voltage and reactive power in regional power network

每个区域的控制策略如下:

区域 1——电压越上限,无功合格。调节分接头降压,但受三绕组变压器的低压侧电压限制闭锁;

区域 2——先调节分接头降压,若无功仍越下限,则在终端子网无功调节约束下投入电容器;

区域 3——在终端子网无功调节约束下投入电容器;

区域 4——先在终端子网无功调节约束下投入电容器,若电压仍越下限,调节分接头升压;

区域 5——调节分接头升压,但受三绕组变压器的低压侧电压限制闭锁;

区域 6——先调节分接头升压,若无功仍越上限,则在终端子网无功调节约束下切除电容器;

区域 7——在终端子网无功调节约束下切除电容器;

区域 8——先在终端子网无功调节约束下切除电容器,若电压仍越上限,则调节分接头降压。

3S、7S 两区为防振区,一般不加控制。区域 0 的电压无功均合格。

上述策略中“在终端子网无功调节约束下”的含义是:只有在满足终端子网无功调节约束的情况下才允许调节操作,否则,不允许调节操作。“受三绕

组变压器的低压侧电压限制闭锁”的含义是:如果操作会引起三绕组变压器的低压侧电压越限,则闭锁该操作。

1.3 多区图控制过程

多区图的控制过程如图 2 所示。

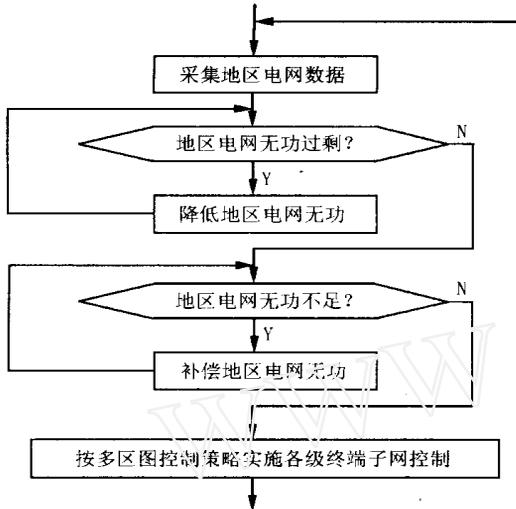


图 2 地区电网电压无功控制流程图

Fig. 2 Flow chart of control over voltage and reactive power in regional power network

每个调节周期分为两个阶段:

首先,判断地区电网的整体无功水平。若无功过剩或不足,则在地区电网无功调节约束下调节地区电网无功,使之处于合格范围。当无调节手段时停止第一阶段调节。第一阶段调节是电网电压无功协调控制的基础,如果取消第一阶段调节,可能由于无功过剩或不足造成调节振荡或调节次数过多。在实际的控制过程中,可以考虑对前二、三级终端子网先作终端子网无功平衡调节,会产生更好效果。

然后,按照多区图控制策略对各级终端子网进行控制。一般应先控制上一级的终端子网,再控制下一级终端子网,即按电压等级从高到低控制。为了加速控制过程,可以对相互独立运行的多个终端子网同时进行控制,并统一判断无功调节约束条件。

1.4 控制参数整定

控制参数可以通过三种方法进行整定。

方法 1:时段整定法。先根据电网运行的历史负荷数据和电网的运行要求计算出各个时段各级终端子网的电压和无功的要求范围,用此要求范围整定各个时段的多区图。一般时段的步长以分钟计,间隔可以人为设定。此方法相当于给出了一段时间内统计的电压曲线和无功曲线,其优点是使用简单,整定容

易;其缺点是当负荷变化时很难做到无功最优。

方法 2:负荷整定法。负荷整定法是整定各级终端子网在不同负荷下的电压和无功的要求范围的方法,整定数据一般用多维链表给出,在线进行负荷匹配。此方法要求事先进行无功优化计算,并且得到多维链表需要较长计算时间。当系统的运行方式发生变化后,将带来一定的误差。

方法 3:在线整定法。在线整定法是一种准实时整定方法,当系统的运行方式、系统负荷发生变化后,或者每一个整定的时间后(一般为分钟级),自动进行无功优化计算,并用计算结果调整多区图的参数,特别是无功上、下限,此时无功上、下限可以整定为最优无功值附近的一个调节偏差量。即:

$$Q_H = Q_{\text{优}} + Q + q$$

$$Q_L = Q_{\text{优}} - Q - q$$

式中: $Q_{\text{优}}$ 为无功优化计算出的最优无功值; Q 为无功补偿时的最大调节误差; q 为调节裕量, $q > 0$, q 整定的越小,调节越频繁,调节也越能跟踪最优无功值。可见在线整定法的调节性能最好。但必须选择收敛性和计算速度都较好的无功优化算法,如经济压差方法等。 $Q_{\text{优}}$ 的计算也可能因系统数据不全或出现局部坏数据而失败,也可能在系统运行方式变化过程中由于运动数据的异步性等带来较大误差,实际使用中应该判断 $Q_{\text{优}}$ 的合理性。一种可行的方法是将方法 2 与方法 3 结合起来,如果 $Q_{\text{优}}$ 在方法 2 整定的范围内,则采用方法 3 的整定数值,否则,采用方法 2 的整定数值,这是以牺牲控制计算机内存为代价的。

1.5 几个特殊问题

在地区电网电压无功多区图优化控制中存在一些必须考虑的特殊问题,主要是:

(1) 当电压不合格时一次应该调整的无功量。一种计算方法是灵敏度分析法,先离线计算出各种典型运行方式时几种典型负荷下的无功-电压灵敏度数值,控制过程中匹配用最接近的运行方式和最接近的负荷来选择应该调整的无功量。另一种方法是具有自学习功能的专家系统法,在控制工程中自动生成各种运行方式时各个阶段性负荷每投切单位无功容量所影响的电压值(初值也可以采用灵敏度分析法得到),并在控制过程中不停地矫正这些数值。

(2) 充分利用地方小电厂参与调节。很多地区电网都存在小水电厂,其中有些小水电厂具有无功调节能力。小水电机组参与调节受到的限制很多,主要是机端电压和功率极限图的限制,但小水电机

组具有平滑调节无功功率的能力,并且由于调节造成的运行费用大大低于投切电容器、电抗器造成的开关检修费用。因此,在无功平衡调节过程中,应该尽可能利用地方小水电厂的调节能力。

(3) 大阻抗元件和重负荷线路的影响及修正。大阻抗元件和重负荷线路将造成较大的电压和功率损耗,调节过程中应该限制其传输的无功功率大小。可以按照 1.1 中所述原理根据电气距离的远近确定无功补偿设备的投切方法。

(4) 如果某变电站无功不足或电压偏低,但该变电站已经没有调节手段时,可以考虑同一终端子网内其它变电站或电厂支援无功;同理,如果某变电站无功过剩或电压偏高,但该变电站已经没有调节手段时,此时可以考虑同一终端子网内其它变电站或电厂少发无功。此时,应优先保证电压合格。

2 控制效果分析

相比于在多个变电站装设电压无功综合自动控制装置(VQC)的控制方式而言,基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制实现了全网的电压无功协调控制,使无功可以达到或接近最优,降低了网损,避免了各个变电站之间可能的调节振荡,对保证电压合格率具有重要作用。

相比于基于 EMS 中电压无功计算软件的控制方案而言,基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制从根本上解决了计算软件不收敛、电网异步数据、电网数据不全或局部坏数据造成的不可控的影响,实用性大大增强。但每当电网运行方式发生变化和负荷发生大的变化时,控制过程不是一次完成的,而是有一个调节周期存在,控制过程要比采用基于 EMS 中电压无功计算软件的控制方案时间长一些。

由于远动系统自身的原因,地区电网的数据具有异步性,电网同一时刻的数据传到主站的时间差可能达到几秒钟,高级计算软件可能因此出现很大的误差,甚至不收敛。但采用多区图控制时,终端子网无功检测的是某一个点的无功值,终端子网电压检测的是某一个或极少数几个点的电压,若出现异步数据偏差较大,将会通过延时再检测来确认,异步数据影响的是调节的误差,且这一调节误差影响将因为电容器容量值的离散性而明显减弱。

如果电网数据不全,基于 EMS 中电压无功计算软件的控制方案由于电压无功计算软件往往无法计算而无法正确控制,但采用多区图控制仍可以达到

电网大部分区域协调控制的目标。数据不全的局部区域的电压将会因为其所在的终端子网的控制而得到改善。

如果出现局部坏数据,采用基于 EMS 中电压无功计算软件的控制将出错,采用多区图控制时若第一轮控制的反馈数据不对,将引起控制闭锁,从第二轮控制开始等同于电网数据不全时的控制。

3 实例分析

图 3 为某地区电网局部简图。图中的变电站和水电厂都已经重新编号。

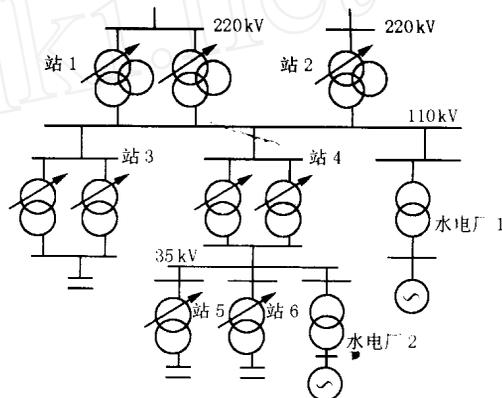


图 3 某地区电网局部简图

Fig. 3 Local diagram of regional power network

对于 110 kV 所在的终端子网,若 110 kV 各母线电压偏低或越下限,且变电站 1 和 2 的无功功率接近上限或越上限,则可以判断 110 kV 所在的终端子网无功不足,需要进行无功补偿。此时,可以先检查变电站 3、5、6 中是否有变电站处于 4 区运行,若有,在相应变电站低压母线电压从越下限恢复正常和变电站 4 的无功功率不倒送的前提下,估算应补偿的无功容量,并选择电容器组投入。若仍不能使变电站 1 和 2 的无功功率恢复正常,则适当增大水电厂 1 的励磁电流,直到变电站 1 和 2 的无功功率恢复正常或水电厂 1 的励磁电流不能再增加为止。同理,若 35 kV 所在的终端子网无功不足,需要进行无功补偿,可以在变电站 5、6 和水电厂 2 进行调节补偿。

完成电网的无功平衡控制后,就可以利用多区图控制策略进行控制。调节的顺序是:首先变电站 1、2 同时调节;其次变电站 3、4 同时调节;再次变电站 5、6 同时调节。

若变电站 5 没有调节手段后,可以调节水电厂 2 或变电站 6 的无功功率实现同级电网的无功相互支援,并优先保证电压。

4 结论

基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制具有如下特点:

(1) 借助地区电网调度自动化系统或集控站自动化系统采集的电网数据和遥控遥调手段,以各个变电站内的有载调压分接头、无功补偿设备和地方小电厂的发电机励磁电流作为控制对象,采用多区图控制策略,实现全网电压无功优化的协调控制,可以有效地提高全网各个节点的电压合格率、降低网损。

(2) 由于不进行电压无功优化计算,不存在软件不收敛问题,可以适应地区电网的异步数据,当电网数据不全或出现局部坏数据时,仍可以实现电网大部分区域协调控制,实用性大大增强。

基于多区图控制策略的地区电网电压无功优化控制方法适合于 110 kV 及以下电网电压无功控制。

参考文献:

[1] 丁晓群,陈晟,许杏桃,等(DING Xia-qun, CHEN Cheng,

XU Xing-tao, et al). 全网无功电压优化集中控制系统在泰州电网的应用(Application of Optimization and Centralized Control System for Reactive Power/ Voltage in Taizhou Power Network) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2000, 24(12): 21-23.

[2] 唐寅生,周全仁,周铁强(TANG Yin-sheng, ZHOU Quan-ren, ZHOU Tie-qiang). 湖南 500 kV 电网自动电压控制方法研究(Study on Method of Automatic Voltage Control for 500 kV Power Network in Hunan) [J]. 中国电力(Electric Power), 2001, 34(8): 31-34.

收稿日期: 2003-06-13; 修回日期: 2003-08-29

作者简介:

罗毅(1966-),男,副教授,从事 EMS & DMS 的研究;
涂光瑜(1941-),男,教授,博士生导师,从事电力系统运行与控制的研究;

金燕云(1977-),女,硕士研究生,从事电力系统电压控制的研究。

Control over optimization of voltage and reactive power in regional power network based on multi-region chart control strategy

LUO Yi, TU Guang-yu, JIN Yan-yun, DING Li, WU Ji-xiang
(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A control scheme for optimization of voltage and reactive power in regional power network based on multi-region chart control strategy is proposed to cope with the *status quo* of the control over voltage and reactive power in regional power network. Automatic control over the voltage of the entire network and optimization of reactive power are realized using the power network data gathered by the dispatch automation system of the regional power network or the automatic system of the centralized control station, by means of telecontrol and telemetry, and with control objects of on-load voltage regulation taps, reactive power compensation installations in all substations and the exciting current of generators in small local power plants. The performance of multi-region chart control strategy in automatic control over the optimization of voltage and reactive power in entire power network has made it possible to effectively increase the rate of acceptable voltage at all the buses on the entire power network, and reduce network loss. Also the discussed are some technical problems in implementation, such as the setting of control parameters, the magnitude of the amount of reactive power regulation, the way how small local power plants perform the regulating, and the influence of network loss in long transmission lines. The control effect with the multi-region chart strategy is discussed with examples.

Key words: voltage; optimization of reactive power; energy management system(EMS)

(上接第 43 页 continued from page 43)

Research on technological information management system of relay protection

LI Zhi-xing, CAI Ze-xiang, XU Zhi-hua, LI Jurr-da, ZHU Lin
(Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper takes the design and development of the practical technological information management platform of relay protection as the goal, expatiates on the overall plan, design thoughts and key technologies, and points out the structure, functions and way of realization of system. The successful application of this system in Shajiao A power plant has verified the efficiency of design thoughts presented in this paper.

Key words: relay protection; drawing management; vectorize; secondary development of AutoCAD