

变电站电压无功控制策略和实现方式

庄侃沁, 李兴源

(四川大学电气信息学院, 成都 610065)

摘要: 阐述了变电站电压无功控制的原理、策略、存在的问题和实现方式; 分析了基于人工智能新技术的“九区图”法的优点及其在电压无功控制中的应用; 比较了当前几种主要的电压无功控制装置/方式, 提出了一种利用变电站自动化系统采集信息的“半独立式”电压无功控制装置, 这种控制装置有着广阔的应用前景。

关键词: 变电站; 电压; 无功; 九区图; 人工智能

中图分类号: TM 761⁺.1; TP 18

0 引言

变电站电压无功控制已成为保证电压质量和无功平衡、提高电网可靠性和经济性必不可少的措施。

从控制理论的角度上讲, 变电站电压无功控制是一个多限值、多目标的最优控制问题^[1]; 从控制手段上讲主要有 2 种方法: 变压器分接头调节和电力电容器投切。其基本控制规律是: ①变压器分接头上(下)调后, 电压将变大(小), 无功变大(小), 功率因数变小(大); ②投入(退出)电容器后, 无功变小(大), 电压变大(小), 功率因数变大(小)。

目前, 原有的主要靠人工手动调节的电压无功控制方法已不能适应电力系统发展的要求, 需要有新的控制方法和方式。

1 电压无功的控制策略

基于变压器分接头调节和电容器投切, 国内外提出了不少自动控制方法, 较典型的有以下几种。

1.1 按功率因数或电压高低调节^[2,3]

根据用电网功率因数或电压的变化自动投切电容器组, 使功率因数维持在某一整定的范围内, 实现无功补偿。这种方法简单、易行, 但未考虑变压器分接头的调节, 无功补偿效果较差。

1.2 基于人工智能的动态规划方法

通过人工智能的方法^[4~6]寻找一组变压器分接头和电容器组投切量变量, 使得目标函数有最优解:

$$J = X|\Delta V_{\Sigma}| + X_{pf} + X_{tap} + X_{nc}$$

其中 $X|\Delta V_{\Sigma}|$ 为实际电压对额定电压的偏移量; X_{pf} 为无功(功率因数)的偏移量; X_{tap} 为变压器分接头动作的次数; X_{nc} 为电容器组投切动作的次数。

同时, 满足不等式约束条件:

a. $\Sigma T \leq T_{\max \Sigma}$: 一天内变压器分接头动作次数之和应不大于限定值;

b. $\Sigma N_c \leq N_{c \max \Sigma}$: 一天内电容器投切次数之和应不大于限定值;

c. $|V_{\min}| \leq |V| \leq |V_{\max}|$: 实际电压不大于最大值、不小于最小值;

d. $|p_f| \geq p_{f \min}$: 功率因数不小于限定值。

由于国内的计算机水平、数据库技术、状态估计、通信、实时监控等软硬件技术仍有待发展, 至今尚无成熟的适用于我国电力系统的全网智能动态规划系统。目前在工程中使用较多的为九区图控制法。

1.3 按传统九区图法实现电压无功控制

按电压和无功上下限值将电压-无功平面划分为 9 个区域, 各个区域对应不同的控制策略。实际运行时, 系统根据电压、无功运行的区域采取相应的控制方法。

传统的九区图法存在的主要问题是: 控制策略是基于固定的电压无功上下限而未考虑无功调节对电压的影响及其相互协调关系; 用于运算分析的信息有分散性、随机性的特点, 这造成了控制决策的盲目和不确定性, 实际表现为设备频繁调节。例如: 当系统电压正常而无功不正常, 同时又无足够的电容器组投切, 而一天内变压器分接头动作次数之和未达其限定值时, 采用传统的九区图控制将导致变压器分接头频繁动作。如图 1 所示。

当系统运行于第 1 区的运行点①时, 电压正常、无功越上限。若此时已无电容器可投, 根据第 1 区控制规则——“先投电容器, 若电容器不可投, 下调分接头”, 则只有下调分接头到点②, 而调节分接头一般对无功的影响不大, 此时系统仍可能运行于第 1 区。根据规则将继续下调分接头至运行点③, 此时

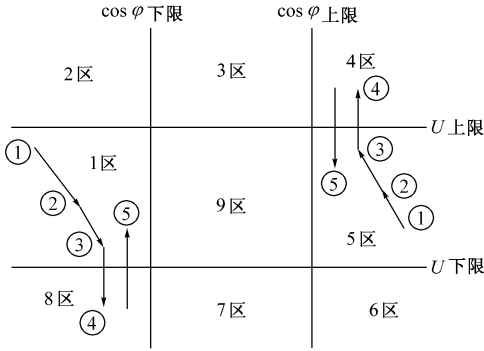


图1 分接头频繁调节的原因示意图

Fig. 1 The reason for frequent adjustments of transformer tap positions

电压已接近下限但无功仍不满足要求。电压继续降落进入第8区即运行点④,则电压越下限、无功越上限。根据第8区控制策略——“先投电容器,若电容器不可投则上调分接头”,此时又要上调分接头,造成分接头频繁动作,类似情况还可能出现在第5区。

传统九区图法原理清晰,易于用单片机实现,但对设备动作次数、经济性欠考虑。

1.4 基于人工智能的九区图法

1.4.1 基于专家系统的电压无功调节

实际应用中,运行调试人员预先根据经验和具体要求,根据可能出现的各种情况制定一套基于规则的专家系统。运行时,专家系统针对具体的变电站配置情况、电压等级、系统运行时段,模拟专家决策的过程,根据规则综合、智能地调节电压无功,从而达到预期的控制目标。

文献[7]介绍了变电站电压无功控制专家系统的控制目标和控制策略及其系统的软、硬件结构和实现环境。文献[8]将微机自动调压装置获取的180多条知识,用产生式规则来表达,正向分层推理,建立了电压无功控制专家系统。

1.4.2 基于模糊控制理论的电压无功调节

模糊控制适用于不确定的、有不同量纲、相互冲突的多目标优化问题,同时,电力系统中无功调节对电压会产生影响,因此可考虑采用无功模糊边界的调节方式。将电压状态引入无功调节判据,把原先固定的无功上下限边界变为受电压影响的模糊边界。按照这种控制策略,无功控制的新边界为2条斜线(见图2)。

具体过程为:通过模糊隶属度函数,把电压和无功偏差量、分接头挡位、可调电容器组数等模糊化处理,转化为模糊集论域的词变量,作为模糊控制器的输入。控制器的输出对应于控制规则表内电压和无功偏差的一种组合,最后把控制器的输出模糊化,得

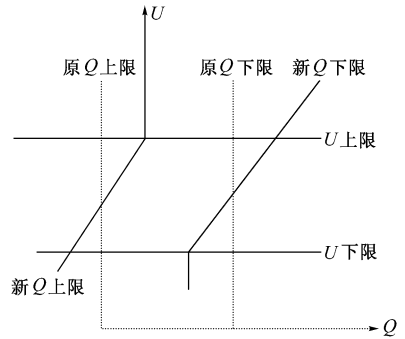


图2 电压和无功控制模糊边界示意图

Fig. 2 Fuzzy limit of volt/var control

到作用于分接头和电容器组投切控制的精确值^[3,9]。

根据模糊控制策略,无功调节按照新Q限值,新边界的斜率也可随电压状态灵活地改变。这种方法充分考虑了电压无功动态平衡,减少了设备的动作次数,保证了电容器和分接头动作合理、有效。例如,当电压较高(未越限)而无功不是太缺(根据旧边界,无功越下限)时,按照模糊新Q边界,可以不投电容器,避免了因投电容器引起电压进一步升高,越上限,从而导致不必要的分接头调节的情况。

文献[10]提出了一种综合控制电容器组投切和变压器分接头切换的模糊控制算法。此算法所需信息量少,计算量小,容易在线实现。进一步还可引入解耦与综合控制相结合的手段^[11,12],将双输入双输出模糊控制器转化为2个单变量模糊控制器的组合。

1.4.3 基于神经网络的电压无功调节

人工神经网络有集体运算和自适应学习的能力,有预测性、指导性和灵活性的特点,能大大减少变压器分接头调节次数。

文献[13]提出了一种基于人工神经网络的将无功预测和优化决策相结合的电压无功综合智能控制方法。它利用神经网络技术,分析电压发生变化的原因和变化趋势,确定综合控制策略。首先,将相关的历史数据输入无功预测神经网络训练样本集,再将负荷预测结果及电压、无功、功率因数等系统实时数据模糊化,输入控制决策神经网络,输出控制信号。

2 电压无功控制(VQC)的实现方式

2.1 基于变电站自动化系统的VQC

随着无人值班变电站的增多,在变电站中一般均有用于当地和远方监控的自动化系统或具有“三遥”功能的RTU装置,它们有完善的I/O(输入/输出)功能,包括对测量量及信号量的采集。该装置也具备控制变压器分接开关、电容器开关动作的功能。

因此在此装置的基础上添加相应的电压无功控制模块到变电站自动化系统软件中,将系统采集到的信息进行计算、分析,输出控制命令给被控对象,即可实现 VQC 控制目的。具体有 2 种实现方式:

a. 利用变电站自动化系统后台监控系统的 VQC 控制。其特点是 VQC 运行软件安装在变电站后台监控计算机上,成为后台监控系统的一个子模块,当后台监控计算机运行时,设置投入 VQC 功能即可工作,达到控制要求。这种方法参数设置简单,人机界面友好,调试方便,省去了专用硬件设备,降低了成本。但是 VQC 的可靠性取决于网络通信水平、I/O 单元和后台监控计算机的运行状况,尤其是对后台监控计算机的可靠性要求更高。目前,南瑞中德公司的 LSA678 及 NSC-2000 系统的 VQC 即采用此方式。

b. 挂在变电站自动化系统网络上的 VQC。在变电站自动化系统的网络上挂一独立工控机,用于运行 VQC 软件,通过网络实现信息的计算和 VQC 功能控制。这种方式参数设置简单,毋需单独敷设电缆,调试方便,而且调节与闭锁速度快。但是要增加专用工控机,系统可靠性取决于网络通信水平、I/O 单元和独立工控机的运行状况。四方公司的 CSC-2000 系统的 VQC 即采用这种方式。

2.2 VQC 专用独立式成套装置

专门用于实现变电站 VQC 功能的成套装置在电力系统中应用广泛。这种装置的特点是集 I/O 单元与分析判断功能于一体,相关闭锁信号由相应装置的硬接点输入,所需测量值由自带的 I/O 单元采集,有关控制也由自带的 I/O 输出。这种控制方式将各种 VQC 功能集中于一个装置中,不受其他系统或网络的影响,因而可靠性高。缺点是所需敷设电缆较多、安装调试麻烦,不能充分利用站内自动化资源,变电站运行方式改变时其功能改变与扩充困难。VQC 专用装置主要适用于非自动化的变电站。国内目前这种装置型号较多。

2.3 半独立式新型 VQC 控制方式

根据电力系统的实际情况,很需要有一种介于 VQC 专用成套独立装置和基于变电站自动化系统的 VQC 之间的控制方式——“半独立式 VQC 控制”,即将变电站自动化装置所提供的信息经 VQC 专用装置运算处理后直接输出控制。该方式的输出部分是自带的,而输入部分基于自动化系统装置。

由于目前在许多变电站中基本上均有自动化设备而无 VQC 装置,因此若采用成套的独立装置增加 VQC 功能时,需要进行大量的电缆和回路改造;而若采用在自动化系统上增加 VQC 功能软件,则

需要对系统的软件进行大量变动,何况目前仍有许多 RTU 只有“二遥”功能,使得信息采集不完善,无法保证 VQC 软件的可靠性。因此,需要有一种兼顾可靠性和经济性的新型 VQC 控制,使其能安全、有效、方便地投入自动化系统中。如图 3 所示。

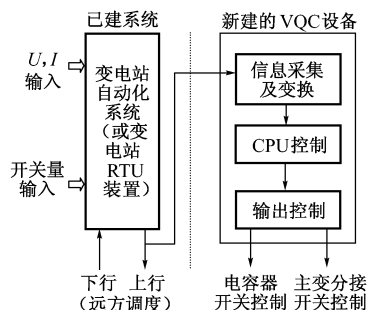


图 3 半独立式 VQC 控制方式框架示意图

Fig. 3 Framework of half-independent VQC control mode

这种半独立式 VQC 装置通过在自动化系统的上传口截取所需信息,经控制装置的分析处理得到控制信号,然后通过本身的输出回路控制相应的对象。变电站自动化系统中若投入这种 VQC 控制装置,只需接入少量的电缆和改动很少的回路。该方式安全、方便,有很高的实用价值。按该思路设计的 VQC 控制系统将应用在嘉兴市电力自动化系统中。

3 电压无功控制需要注意的问题

a. VQC 功能闭锁问题。VQC 闭锁是指在系统异常的情况下,能及时停止自动调节。主要闭锁条件有:主变保护动作;电容器保护动作;电容器异常;电容器退出运行;电压互感器断线;系统电压异常;限值闭锁(如电压或无功越限,电容器开关或主变分接开关一天动作次数达到最大值等);目标对象拒动;变压器分接头滑挡;VQC 软件或 VQC 装置故障。

b. 与远方调度(监控中心)的关系。对于无人值班站,远方调度(监控中心)应能掌握 VQC 的当前运行状况,并能完成对 VQC 功能投入或退出的遥控操作。

c. 完善的人机界面。除了一般要求以外还应有图形方式显示的运行工况,在线灵活设定有关参数以及完善的记录、统计等功能。

4 结语

目前,国内已有若干套 VQC 自动控制装置,如何兼顾其可靠性和经济性仍是令人困扰的问题。使用传统的电压无功控制方法,当系统运行情况、网络结构等发生变化时,需要修改整个程序,工作量大。

而采用人工智能的方法,对于专家系统只需修改部分知识库,对于模糊逻辑控制只需修改控制规则,对于神经网络只需重新训练样本,简单易行、不易出错。人工智能技术可以解决传统控制方法难以解决的复杂问题。此外,随着自动化水平的提高,如何开发符合国内电力系统实际水平的动态规划 VQC 软件,达到全网最优也是一个重要的课题,有待进一步探索。

参考文献

- 施玉祥,陶晓农(Shi Yuxiang, Tao Xiaonong). 中低压变电站电压无功调节的研究(Automatic Voltage Controller and Its Application to Substation). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1996, 20(9)
- 孙淑信,游志成,李小平,等(Sun Shuxing, You Zhicheng, Li Xiaoping, et al). 大型变电站微机自动调压系统的研究(Study of Microcomputer Automatic Voltage Control System for Large Substations). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1996, 20(9)
- 厉吉文,李红梅,宁文怡(Li Jiwen, Li Hongmei, Ning Wenyi). 变电所电压和无功自动调节判据的研究(Study and Analysis on Substation Voltage and Reactive Power Automatic Regulating Criteria). 中国电力(Electric Power), 1995, 28(7)
- Laframboise J R P R, Ferland G, Chikhani A Y, et al. An Expert System for Reactive Power Control of a Distribution System Part 2: System Implementation. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3): 1433~1441
- Lu F C, Hsu Y Y. Fuzzy Dynamic Programming Approach to Reactive Power/Voltage Control in a Distribution Substation. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(2): 681~688
- Hsu Y Y, Lu F C. A Combined Artificial Neural Network-Fuzzy Dynamic Programming Approach to Reactive Power/Voltage Control in a Distribution Substation. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(4): 1265~1271
- 孙淑信,肖能爽,李晖,等(Sun Shuxing, Xiao Nengshuang, Li Hui, et al). 500 kV 变电站电压和无功智能控制及专家系统应用的研究(The Application and Study of Voltage/VAR Intelligent Control and Expert System in 500 kV Substation). 见:全国高等学校电力系统及其自动化专业第十二届学术年会论文集(In: Proceeding of 12th CUS-EPSSA). 保定(Baoding): 1996
- 吕艳萍(Lu Yanping). 变电站自动调压装置的专家系统(An Expert System for Substation Automatic Voltage Regulator). 中国电力(Electric Power), 1996, 29(3)
- 李建中(Li Jianzhong). 变电站电压无功综合调节模糊控制研究(Fuzzy Control of Substation Voltage and Reactive Power Comprehensive Regulation). 中国电力(Electric Power), 1998, 31(4)
- 段海峰,李兴源,宋永华(Duan Haifeng, Li Xingyuan, Song Yonghua). 一种基于模糊逻辑的电压无功控制策略(The Control Strategy of Voltage and Reactive Power Based on Fuzzy Logic). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1997, 21(6)
- 许之晗(Xu Zhihan). 变电站电压无功模糊控制理论和系统设计: [硕士学位论文](Fuzzy Logic Control Theory and System Design of Voltage/Reactive Power in Substation, Thesis). 成都: 四川大学(Chengdu: Sichuan University), 2000
- Ramakrishna G, Rao N D. Fuzzy Inference System to Assist the Operator in Reactive Power Control in Distribution System. IEEE Proceedings—Generation, Transmission & Distribution, 1998, 145(2)
- 杨争林,孙雅明(Yang Zhenglin, Sun Yaming). 基于 ANN 的变电站电压和无功综合自动控制(The Synthetic and Automatic Control of Substation Voltage and Reactive Power Based on ANN). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(13)

庄侃沁,女,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源,男,博士,教授,中国电机工程学会理事,IEEE 高级会员,从事电压稳定分析、电压无功控制系统、HVDC、电能质量及电力市场方面的研究工作。

STRATEGIES AND IMPLEMENTATION MODES OF VOLTAGE AND REACTIVE POWER CONTROL FOR SUBSTATIONS

Zhuang Kanqin, Li Xingyuan (Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The principles and strategies of voltage and reactive power control (VQC) for substations, as well as the existing problems and implementation modes are discussed. In this paper the new "nine-area control strategy", based on the artificial intelligent technologies, is introduced. Several current voltage/var control modes are also compared. Furthermore a new "half-independent" voltage/var control mode is presented, which uses the information collected from substation automatic system. It is believed to have wide applications in the near future.

Keywords: substation; voltage; reactive power; nine-area method; artificial intelligent