

自适应动态预测变电站电压无功模糊控制系统的研究

袁旭龙¹, 王林虎²

(1. 邵阳学院, 湖南 邵阳 422000; 2. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 介绍了一种基于自适应灰色系统理论及模糊控制理论的变电站电压无功综合控制系统和软硬件的实现方法。本系统对一定时间后的电压、无功做出预测并进行实时控制。对参数越限进行提前判断和决策, 减少了电压、无功的不合格时间。将传统静态区间控制改进为动态分析控制, 更好地反应系统的动态特性。应用模糊控制, 提高了系统的调节能力和电压质量, 保证了系统的稳定性。

关键词: 电压无功综合控制; 自适应预测; 梯度式离散无功边界改进 17区; 模糊逻辑推理

中图分类号: TM761 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)08-0041-03

0 前言

本文提出了自适应动态预测控制方案, 建立了加权最小二乘预测模型, 对系统在一定时间后可能出现的状态做出预测, 其中的权重序列根据对系统变化情况的灰色自关联分析进行自适应调整, 使得预测模型能对电力参数的变化实现快速动态跟踪。提高了系统的灵敏度和智能化。传统“九区图”控制法, 在一定程度上改善了主变低压侧电压, 但控制判据对电压无功状态的综合识别能力不充分, 从而导致对电容器和变压器分接头的频繁调节, 另外对系统变化响应缓慢。在此我们经过分析提出用“梯度式离散无功边界改进 17区”电压无功控制法代替传统“九区图”控制法, 可使得电压无功更加合理地耦合控制。同时引入电压和无功的变化速度作为辅助控制量, 应用模糊数学实现多维分析控制, 将传统静态区间控制改进为动态控制, 更好地反应了系统的动态特性, 同时提高了决策对未知和不确定因素的处理能力。采用 DSP 和工控机组成变电站电压无功综合控制的硬件系统可将具体的计算、判别、优化、控制等功能由软件来实现, 从而避开了绝大多数的硬件开发工作, 降低了开发难度和成本。

1 负荷电压无功的预测算法^[1]

通过灰色关联度的分析和加权最小二乘法建立负荷电压无功预测模型, 通过短期和超短期负荷预测, 可以得到未来的无功-时间和电压-时间负荷预测变化曲线。当发生电压无功越限时, 通过预测的负荷曲线, 得到本次越限的可能的持续时间, 然后作为一个判据, 用来判断是否需要投切电容器或调整变压器分接头。能提前做出综合的决策分析并发

出相应的控制指令, 提高了决策的合理性。

电力系统电压、无功的变化一般都比较平滑, 可用多项式作为预测模型。

$$\hat{f}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 + \phi(t) \quad (t=1 \sim N) \quad (1)$$

$\phi(t)$ 为 5 次以上的分量和随机量; $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 为预测的常量、一次、二次、三次、四次、五次分量系数。

越是新近的数据越能反应预测数据的可能值, 同时希望新近的数据预测误差相对较小。所以用加权的最小二乘法求解预测模型

$$= \sum_{t=1}^N \lambda^t \times [f(t) - \hat{f}(t)]^2 = \min \quad (2)$$

$f(t)$ 为离散的时间序列, 运行时实时补充最新数据, 剔除最早的历史数据, 始终保留 N 组数据;

λ 为加权系数。随着 t 值越大, 相应的 $[f(t) - \hat{f}(t)]^2$ 应越小; 所以 λ 应为随着 t 增大而增大的等比数列

$$\lambda = (\lambda^{N-1}) \quad (0 < \lambda < 1) \quad (3)$$

为等比数列的基值, 应随系统数据的变化规律自适应调节。

$$= (1 + \lambda) / 2 \quad (0 < \lambda < 1) \quad (4)$$

为时间序列前一半数据 $f(1 \sim N/2)$ 和后一半数据 $f(N/2+1 \sim N)$ 的关联度

$$= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N/2} (K) = \frac{2}{N} \cdot$$

$$\sum_{k=1}^{N/2} \frac{\min_k |f_1(k) - f_2(k)| + \max_k |f_1(k) - f_2(k)|}{|f_1(k) - f_2(k)| + \max_k |f_1(k) - f_2(k)|} \quad (5)$$

f_1 为前半部分数据曲线的规一化:

$$f_1 = \{1, \frac{f(2)}{f(1)}, \dots, \frac{f(N/2-1)}{f(1)}, \frac{f(N/2)}{f(1)}\} \quad (6)$$

f_2 为后半部分数据曲线的规一化:

$$f_2 = \left\{ 1, \frac{f(2+N/2)}{f(1+N/2)}, \dots, \frac{f(N-1)}{f(1+N/2)}, \frac{f(N)}{f(1+N/2)} \right\} \quad (7)$$

为分辨系数,取值为 0.5。

求取 f_2 后,将历史数据序列 (1) 代入预测模型 (2),就可确定 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 系数矩阵,得到预测模型。

2 电压无功控制策略

采用有载调压变和晶闸管控制投切的电容器组作为控制对象。传统“九区法”无功边界是恒定的,不能充分反映电压对无功的影响,而实际上无功的调节边界是受电压影响并在一定程度上服务于电压调节的模糊边界。我们采用“梯度式离散无功边界改进 17 区”控制方案,对不是定值的无功边界合理地判断无功投切,将变边界无功判据计算问题变成简单的区域分析,即定值比较问题。如图 1 所示。引入电压无功的变化速度作为辅助控制量,应用模糊数学实现多维分析控制,提高了决策对未知和不确定的处理能力。

2.1 梯度式离散无功边界改进 17 区控制^[2,3]

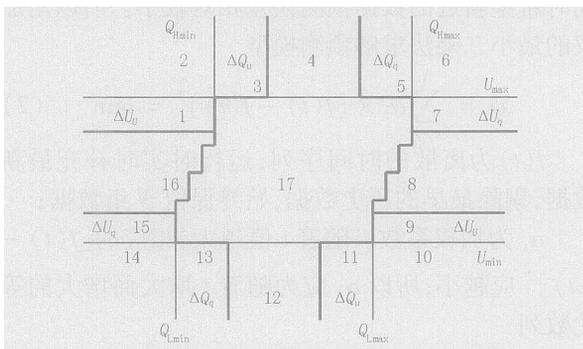


图 1 离散无功边界的改进 17 区控制图

Fig 1 An improved 17-area control strategy with discrete reactive power margin

对于离散无功边界的定量可以用根据系统的运行特性和现场要求确定:

选择适当的边界离散值 n ,则每级对应的电压水平范围:

$$U_k = [U_{\min} + (k-1)U, U_{\min} + kU], k = (1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

式中: U 为电压离散级差: $U = (U_{\max} - U_{\min}) / n$; U_{\min} 为低电压水平; U_{\max} 为高电压水平。

电压水平对应的无功下边界为:

$$Q_{\min} = Q_{L\min} + k Q_{\min} \quad (9)$$

电压水平对应的无功上边界为:

$$Q_{\max} = Q_{L\max} + k Q_{\max} \quad (10)$$

式中: Q_{\min} 为无功下边界的离散级差,

$$Q_{\min} = (Q_{H\min} - Q_{L\min}) / n; \quad (11)$$

Q_{\max} 为无功上边界的离散级差,

$$Q_{\max} = (Q_{H\max} - Q_{L\max}) / n; \quad (12)$$

$Q_{H\min}, Q_{H\max}$ 为高压水平下允许的无功范围;

$Q_{L\min}, Q_{L\max}$ 为低压水平下允许的无功范围。

根据实际控制效果调整边界离散级 n ,随着 n 的变化无功上下边界变成连续的斜边界,能涉及电压水平对无功的影响,边界判决简单明了。

2.2 模糊逻辑决策^[2]

把电压、无功的实时值,及其变化速度 S_u, S_q , 电压、无功的预测值作为模糊控制的输入量进行联合模糊分析,对各变量建立模糊论域。计算出最后的控制结果,如果需要的动作次数大于 1,利用延时或反时限控制限制动作之间的时间间隔。

3 VQC 硬件组成

本系统是由工控机和 DSP 系统组成,采用 C 和 VC++ 语言实现了上述控制方法。主要有信号变送器、DSP 数据采集卡、上位机、开关量输入/输出卡、驱动卡、电源、液晶显示器、打印机等组成。工控机充当上位机完成数据计算及存储、离线优化、模糊控制、显示、打印、通讯等功能;下位机负责模拟量和开关量的采集、数据的上传及控制指令的执行。

WB 系列电压电流变送器与 APC B467 专用智能 DSP A/D 采集板配合,可实现主变高压侧的电压、电流和低压侧的电压量多路模拟量输入的同步采集和高速转换以及 16 位数字量输出。该板采用 DSP 芯片 TMS320VC33 作为智能元件,可以独立完成 A/D 采集及数据处理。主 CPU 可以通过 16 位双口 RAM 芯片随时读取采集或运算结果。本板采用数字地与模拟地一点短接以获取最高的转换精度。上位机 APC B095 是符合 PCMG 2.0 版本的 6U CompactPC 板卡。其特点是无风扇工作。板上含 Transmeta Crusoe TM5400 600 MHz 处理器,其运行于 100 MHz 的前端总线速度之上。对所采集到的数据进行分析处理后,将控制信号经光电隔离送执行机构,同时将系统有关状态信息送显示器显示或打印存档,将有关报警信号送中央信号单元执行。

开关量包括主变开关、母联开关和电容器所连开关的分合信号、主变分接开关的档位信号和继电保护信号等。开关量经光电隔离变换成 $\pm 5\text{ V}$ 的电平信号,供主机调用。对于输出信号,通过装置的驱动电路,直接接在变压器分接开关的步进电机和电容器所接开关的控制端,保证了输出信号的可靠动作。

4 软件设计

包括通信程序、下位机采样程序、自适应预测程序、模糊推理程序、动作执行程序。上位机启动采样后,就会置标志位为 $0x66$,同时查询相应标志位,下位机将一个周波的数据采集完毕,并存放于双口 RAM 中的同时,下位机会置相应标志位为 $0xaa$,若上位机查询到标志位变为 $0xaa$,则从双口 RAM 中将采样数据读入,若标志位不变,则等待并循环查询。状态标志控制字 STBZW 用于标志系统运行方式和状态,分别标志控制方式、控制对象闭锁状况、调节对象的调节极限状况、是否允许备用方案等。电压无功综合控制主程序流程如图 2 所示。

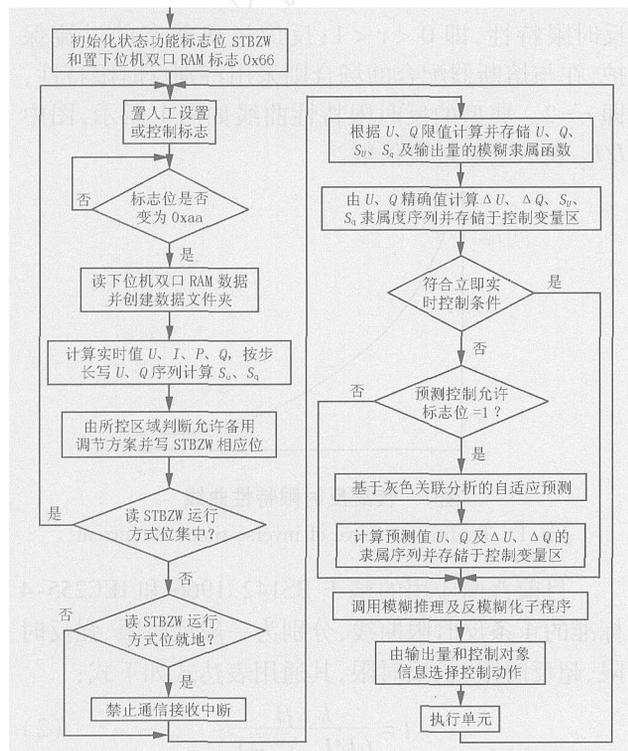


图 2 电压无功综合控制主程序流程

Fig 2 Flow chart of main program for the voltage reactive power comprehensive control

5 结语

通过仿真实验分析,本系统预测模型在正常情况下能够比较准确地预测出系统的可能状态,可减小越限时间。对电压无功预测曲线与实际曲线的误差分析,得到电压误差大部分在 ± 0.1 以内,无功误差大部分在 ± 0.2 以内,基本满足预测控制的要求。用“梯度式离散无功边界改进 17 区”电压无功控制法与传统“九区图”电压无功控制法的结果相比较,得出对处于图 1 的 2、3、7、10、11、15 区时,能有效减少动作次数,同时减少了参数不合格时间;由模糊逻辑分析能降低参数随机波动及测量误差对控制决策的影响。另外充分考虑了变电站稳定安全运行下 VQC 的闭锁条件,包括主变压器、电容器保护动作,主变压器、电容器退出,PT 断线或系统电压异常,目标对象拒动,主变滑档,以及 VQC 模块故障等。

参考文献:

- [1] Amjady N. Short-term Hourly Load Forecasting Using Time-series Modeling with Peak Load Estimation Capability[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16(4): 798-805.
- [2] 肖友强,杨顺昌.大型变电站无功电压控制的离散模型[J].中国电力,1999,32(7):38-40.
XIAO You-qiang, YANG Shun-chang A Discrete Model for Large Substation Reactive Voltage Control[J]. China Electric Power, 1999, 32(7): 38-40.
- [3] 赵登福,司喆,杨靖.新型变电站电压无功综合控制装置的研制[J].电网技术,2000,24(6):14-17.
ZHAO Deng-fu, SI Zhe, YANG Jing Research of a New Integrated Control Set for Voltage and Reactive Power in Substation[J]. Power System Technology, 2000, 24(6): 14-17.
- [4] Soliman SA, Temraz H K, ElHawary M E Fuzzy Systems Applications to Reactive Power Compensation in Primary Distribution Feeders [A]. Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE 2001. 1597-1609.

收稿日期: 2004-08-18; 修回日期: 2004-11-02

作者简介:

袁旭龙(1963-),男,硕士,讲师,主要研究方向为电力系统监控与保护;

王林虎(1975-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统监控与保护。E-mail: hulinw@126.com

(下转第 80 页 continued on page 80)

- Test of Security and Stability Control System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(7): 82-83.
- [10] 赵晓宇, 陈健, 傅丰林. 基于 Motorola M12 GPS接收机实现继电保护同步检测 [J]. 今日电子, 2004, (4): 21-23.
ZHAO Xiao-yu, CHEN Jian, FU Feng-lin Using Receiver Based by Motorola M12 GPS to Check Separate Relay Synchronously [J]. Electronic Products, 2004, (4): 21-23.
- [11] 罗建, 李亚军, 等. 继电保护远方测试方法的探讨 [J]. 重庆大学学报, 2002, 25(9): 12-15.
LUO Jian, LI Ya-jun, et al Remote Test Method of Relay Protection [J]. Journal of Chongqing University, 2002, 25(9): 12-15.
- [12] 陈皓. 新一代微机继电保护测试仪及其基本性能 [J]. 电力自动化设备, 2002, 22(5): 61-63.
CHEN Hao Test Device of Protective Relay and Its Property [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(5): 61-63.
- [13] 王晓芳, 刘湘涛. DSP在继电保护测试装置中的开发与应用 [J]. 船电技术, 2000, (6): 21-23.
WANG Xiao-fang, LIU Xiang-tao Development and Application of DSP for Relay [J]. Marine Electric & Electronic Technology, 2000, (6): 21-23.
- [14] 王洲, 张明, 等. 基于 DSP的继电保护数字式动态仿真测试装置的研究 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21(2): 8-10.
WANG Zhou, ZHANG Ming, et al Research on DSP-based Digital Test Equipment for Protection Relay by Dynamic Simulation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(2): 8-10.
- [15] 赵志民, 秦立军, 等. 继电保护测试技术的现状与发展 [J]. 现代电力, 2002, 19(1): 43-48.
ZHAO Zhi-min, QIN Li-jun, et al Status and Developments of Relay Protection Testing Technology [J]. Modern Electric Power, 2002, 19(1): 43-48.

收稿日期: 2004-07-21; 修回日期: 2004-09-23

作者简介:

何智平 (1974 -), 男, 硕士研究生, 主要从事配电变压器状态和故障研究; E-mail: h_zp@sina.com

周玲 (1964 -), 女, 副教授, 主要从事人工智能在电力系统中的应用及继电保护领域的教学和科研工作。

Status and development of microcomputer-based protective relay test device in domestic market

HE Zhi-ping¹, ZHOU Ling¹, ZHANG Fang-jun², WU Jian³

(1. School of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Department of Electrical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China;

3. Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215011, China)

Abstract: The paper looks back on status about various microcomputer-based relay test devices in domestic market. Based on the fields standpoint, it compares some aspects of main products of relay test devices in domestic market, including output precision, capability of continuous work, power output and transient output, reliability, facility of software and ways of report producing, etc. It also illuminates development direction of microcomputer-based protective relay test device.

Key words: relay protection; test; electric power system

(上接第 43 页 continued from page 43)

Study of reactive power fuzzy control system in substation based on adaptive dynamic prediction

YUAN Xu-long¹, WANG Lin-hu²

(1. Shaoyang College, Shaoyang 422000, China; 2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A method of realizing the hardware and software of substation voltage & reactive power integrated control system is introduced, based on the theories of adaptive gray and fuzzy control. The system can forecast the next voltage and reactive power and do real-time control. Because the apparatus can judge and control in advance, the unqualified time parameters are reduced. At the same time, traditional status control is changed into dynamic control to preferably reflect the dynamic characteristics of power system. Employing fuzzy control theory, the ability of power system adjusting and voltage quality have been improved, which can ensure system stability.

Key words: AVQC; adaptive forecast; an improved 17-area control strategy with discrete reactive power margin; fuzzy logic analysis