

一种新型的电压无功综合控制装置的研制

杨剑¹, 颜俊¹, 谭方熊², 刘沛¹

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 广西电力工业勘察设计研究院, 广西 南宁 530023)

摘要: 提出了一种采用 PC 工控机硬件平台和 Windows 操作系统的高性能电压无功控制装置, 解决了过去变电站电压无功控制装置由于软硬件的限制而产生的各种缺陷。该系统控制策略以九区图为基础, 并且在容易引起频繁动作的边界上采用人工神经网络预测变压器分接头调节和电容器投切后的电压无功, 以决定采用何种控制方式。

关键词: 电压; 无功; 九区图; 人工神经网络

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)18-0050-04

0 引言

电压无功的最优控制是提高供电质量、减少线路损耗的主要手段。对于联系电网和用户的变电站来说, 其主要任务是保证安全、经济、优质地向用户提供合格的电能, 而且保证变电站用户端的电压接近额定值, 对提高全网电压质量有着重要意义。

目前已经投入使用的各种电压无功控制装置(VQC)基本上是基于单片机或者是基于 DOS 操作系统。由于硬件和软件自身的局限性, 这些装置普遍存在如下问题: 参数设置不够方便, 对用户开放的参数不够充分和全面; 部分闭锁条件隐藏在程序里面, 而没有在人机界面中反映出来; VQC 记录不够全面; 由于采样信息不够充分, 装置本身无法适应变电站复杂的运行方式; 缺乏强大灵活的通讯功能^[1]等。本文研制的电压无功控制装置基于 PC 工控机和 Windows 操作系统, 它具有丰富的软硬件资源, 向用户提供了最优的人机界面, 丰富的图形信息, 详尽的记录, 灵活的通信方式, 并且以工程中得到广泛应用的九区图为基础, 结合人工神经网络, 在保证电压合格率优先、无功基本平衡的原则下, 尽量减少调节投切设备的动作次数, 防止产生电容投切振荡。该系统弥补了当前变电站电压无功控制装置存在的不足。

1 装置的特点和主要功能

1.1 基本控制功能

1) 变电站的运行方式既可以通过采集开关量自动识别, 也可以通过人工设置。控制方式采用九区图为主、人工神经网络为辅的策略, 并具有防止变压器分接头和电容器投切频繁动作的功能。

2) 用于不同运行方式的变电站。以两台有载调压三卷变压器和 2 × 4 组电容器为例, 该装置具有对低压侧和中压侧电压实行综合控制功能。用户可以根据需要选择目标侧和辅助侧, 系统先对目标侧进行控制, 当目标侧母线电压、无功都处于正常区域后, 才转而对另一侧电压进行辅助控制。在保证目标侧电压无功合格的前提下, 尽可能把辅助侧的电压也控制在合格范围内。

3) 电容器实行轮换投切, 也可按指定次序投切, 对不能参加投切或故障的电容器可以单独予以闭锁。在多台变压器并联运行方式下, 装置可保证并联主变同步调档。

4) 具有谐波检测功能, 当投入电容器引起谐波放大时, 可切除所投电容器, 消除谐振现象。

5) 提供开放的参数整定功能。各种参数的整定可通过标准的 Windows 菜单设置。

6) 具有系统仿真功能, 可以建立仿真模型进行仿真试验, 以观察系统动作的全过程和判断系统动作的正确性。

1.2 闭锁和报警功能

本装置与传统的电压无功控制装置相比, 具有强大的开放式闭锁报警功能, 能够更有效地进行电压无功综合控制, 防止变压器分接头和电容器投切的误动作和频繁动作, 延长设备的寿命。丰富的报警信息显示功能能够使得运行维护人员更为方便地维护设备, 及时地发现问题并加以处理。

1.3 显示、统计和打印功能

本装置提供了大液晶屏幕, 利用 Windows 丰富的图形视窗显示功能使得信息的表达更直观更富有人性化。能够按时间的选择统计各种信息, 使得运行人员能够从不同的方面了解装置的运行情况、动

作情况以及评价电压无功控制的效果。装置的打印功能能够代替变电站无功专责人员的人工抄表,并且可以即时地形成各种书面报告,便于分析查阅。

1.4 通信功能

本装置提供 RS232 串行通信接口,可与 RTU 或变电站综合自动化监控系统通讯,将装置动作信息、报警信息、统计数据和整定参数等上传给监控设备,也可接受远方参数整定。同时,还可以根据需要提供 Modem 通信或网卡通信,方式灵活多样,可以适应各种要求。

2 装置的软硬件结构设计

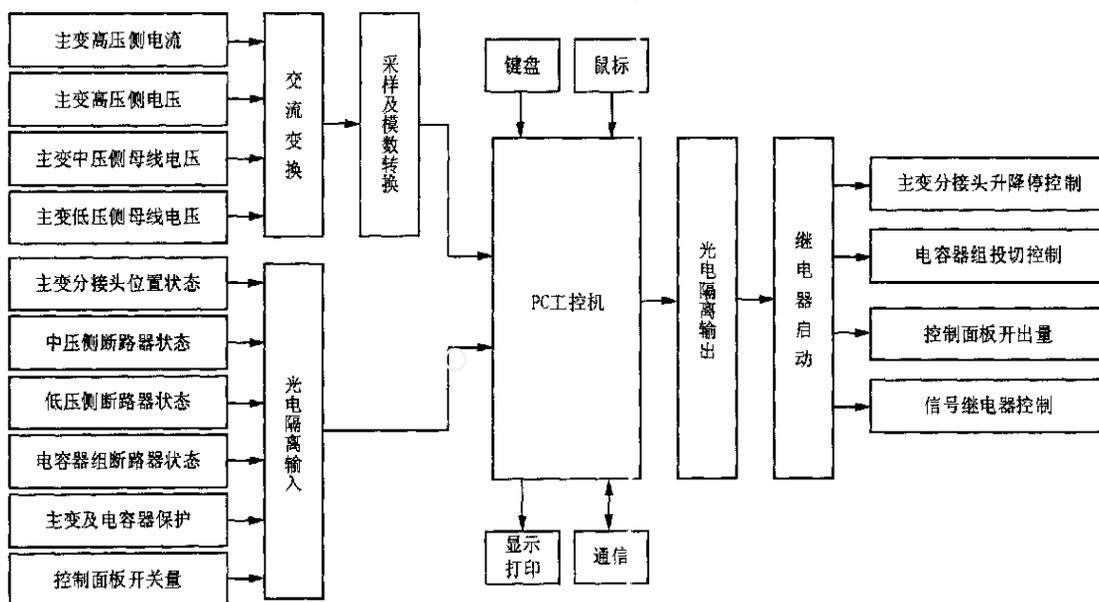


图 1 硬件原理图

Fig. 1 Hardware structure

2.2 软件结构设计

本装置软件是在 Visual Studio 环境下,用 Visual C++ 语言开发的。采用了 Windows 下的多进程和多线程技术。不同的线程完成不同的功能,同时所有线程都共享整个软件的虚拟地址空间,线程之间可以共享软件的全部数据和资源。软件结构图如图 2 所示,整个软件由三个进程构成:用户操作界面进程(UI)、接线图绘制进程、报表显示打印进程。

用户操作界面进程(UI):该进程为主进程,本装置的主要功能如数据采集、显示,电压无功控制都在该进程中完成。由于数据采集需要频繁地访问硬件,查询 A/D 转换的状态,因此单独引入数据采集子线程。控制部分相对独立且非常重要,它不应受到用户操作界面的影响,因此也单独引入电压无功

2.1 硬件结构设计

本装置由 PC 工控机、开关量输入、模拟量输入、开关量输出等接口板和液晶显示器、鼠标、键盘、打印机等外部设备组成的一个多输入多输出的闭环自动控制系统,硬件原理框图如图 1 所示。装置通过开关量输入卡读入变压器各侧的开关状态,判断运行方式决定控制对象,通过模拟量输入卡读入变压器高压侧电流、各侧母线电压。通过检测电压、无功判别运行区域。当检测到电压无功不合格时由控制策略经过一定延时发出控制命令,通过开关量输出卡驱动继电器,调节变压器分接头和(或)投切电容器,将电压和无功控制在给定范围内。

控制子线程。那么 UI 主进程就由用户界面主线程、数据采集子线程、电压无功控制子线程组成,多个线程之间采用排斥区同步。下面分别介绍各线程的原理和结构:

1) 用户界面主线程。主要完成各种显示功能,包括主接线图及其相关参数显示,实时波形显示,各次谐波实测值显示,九区图实时显示,实时时钟显示,电压无功整定曲线显示等。该线程还包括了各种参数的在线整定修改,各种类型整定参数形成数据库表格存放。

2) 数据采集子线程:通过采集卡初始化 DLL 与硬件连接,程序编写简单,易于实现。

3) 电压无功控制子线程:该线程是整个软件的核心,它被设计成一个电压无功控制类,其数据成员

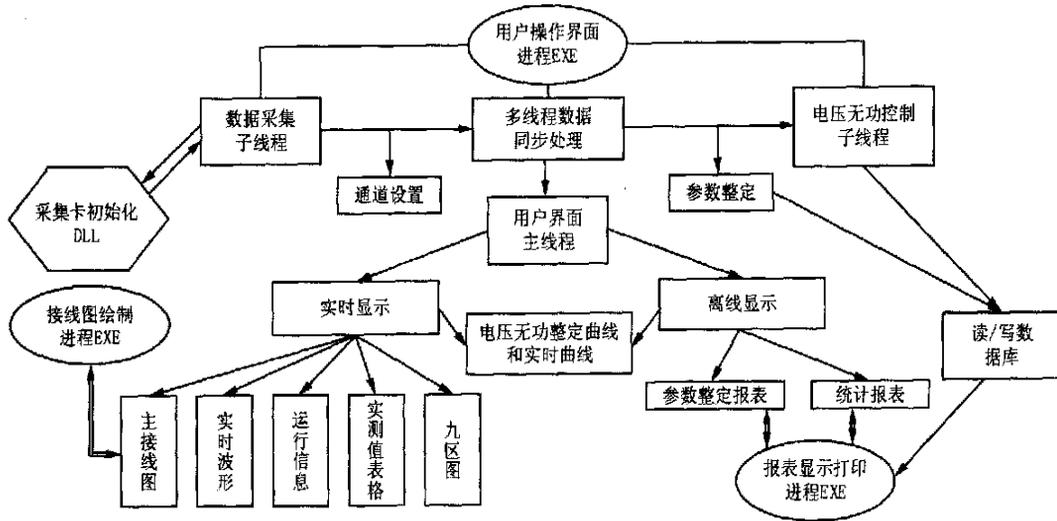


图2 软件结构图

Fig.2 Software structure

分别对应其所需要的数据量,例如母线电压,变压器高压侧电流,断路器和隔离开关状态,变压器档位信息等。类的成员函数分别完成诸如运行方式识别、运行区域判断,投切电容,升降分接头等功能。在该类中结合运行情况,形成各种运行信息数据库表格,包括报警信息表格,动作信息表格,统计信息表格等。电压无功控制类完成了对电压无功综合控制功能的软件封装,便于与其他程序特别是与变电站监控程序接口,形成自动化系统后台机软件VQC。

接线图绘制进程:该进程实际上是一个功能强大的绘图工具,可以利用该工具根据变电站的实际情况离线绘制主接线图,并且以链表形式形成存盘文件。用户操作界面进程(UI)通过这个存盘文件作为接口来进行主接线图的实时显示。

报表显示打印进程:该进程主要是制作报表显示以及提供打印功能。它利用灵活的数据查询方式访问由UI主进程形成的各种数据库表格,并且提供各种统计功能对数据进行二次处理,最后形成满足需要的报表。

3 控制策略

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于发展,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^[2]。

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

号有分散性、随机性的特点,这就造成了控制策略的盲目和不确定性,实际表现为在九区图的某些边界区域,设备会频繁调节。例如:当运行点在图3所示的9区时,由于它接近电压上限区,根据该区的控制规则“投电容器”,则有可能出现如图3所示的三种结果。结果1是运行点进入了0区,说明这次控制成功。结果2和结果3是运行点进入1区或2区,人为地增加了电压的不合格率,并且它又会引起变压器分接头下调或切除电容器而造成设备的频繁动作。因此在9区内有两种控制方式:直接投电容器;先下调变压器分接头降压再投电容器。类似的情况还有可能出现在10区。

当运行点在图3所示的11区时,由于它接近无功下限区,根据该区的控制规则“调变压器分接头降压”,则也有可能出现如图3所示的三种结果。结果4是运行点进入了0区,说明这次控制成功。结果5和结果6是运行点进入7区或8区,它又会引起变压器分接头下调或切除电容器。因此在11区内也有两种控制方式:直接调变压器分接头降压;先切电容器使运行点远离无功下限,若电压还是越上限则再调变压器分接头降压。类似的情况还有可能出现在12区。

因此,在9,10,11,12区应该考虑采用哪种控制方式能够以最少次数的动作达到预期的效果。由于实时系统电压、有功和无功负荷之间的关系存在随机性,非线性的特点,而人工神经网络(ANN)具有很强的非线性逼近能力、联想记忆功能^[3],所以本文提出运用人工神经网络在九区图的9,10,11,12区预测变压器分接头调节或电容器投切后的电压无

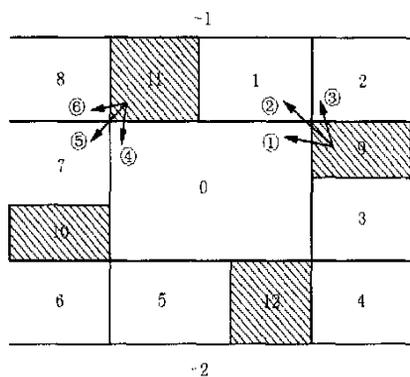


图3 九区图

Fig. 3 Nine-zone diagram

功,以决定采用何种控制方式,得到最佳控制效果。在选取隐含层节点数和误差精度时应考虑到,如隐含层节点过少,训练时间将大大增加,甚至不收敛;节点过多或误差精度过小,网络记忆能力加强,一些噪声和干扰信号也被当作规律记忆下来,外推和内插效果也很差。如果隐含层节点数选择恰当,网络权值就会消除噪声信号的干扰而记住主要规律^[4]。因此考虑选取第一隐含层节点数为15,第二隐含层节点数为25,相对精度为0.002。

ANN预测模型结构如图4所示, $U_1, Q_1, \dots, U_6, Q_6$ 分别是控制动作发生前的变压器高压侧无功和目标侧电压,每隔5分钟(时间间隔可调整)取一个实测值, P 是控制动作发生前变电站的运行方式,那么输入就反映了控制动作发生前一段时间的无功和电压的变化趋势。输出 U, Q 是控制动作(取控制方式1)发生后要预测的变压器高压侧无功和目标侧电压,通过 U, Q 结合九区图来判断控制方式1是否达到效果,从而在两种控制方式中作出选择。

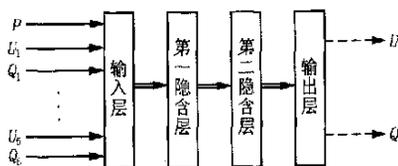


图4 ANN模型结构图

Fig. 4 Structure of ANN model

在除9、10、11、12区的其他区域内采用传统的九区图控制策略^[5,6]。

这种结合人工神经网络的九区图控制策略能够在保证电压合格率优先,无功基本平衡的原则下,尽量减少调节投切设备的动作次数。

4 结束语

本文研制的基于PC工控机硬件平台和Windows操作系统的电压无功控制装置,利用了PC工控机和Windows操作系统丰富的软硬件资源,提供了开放的参数整定,友好的人机界面,详实的信息记录,灵活多样的通信功能,并且各种功能形成封装的模块类,便于相互接口和升级。控制策略以九区图为基础,并在容易引起频繁动作的边界上结合人工神经网络的预测功能,在保证电压合格率优先,无功基本平衡的原则下,尽量减少调节投切设备的动作次数。

参考文献:

- [1] 催驰(CUI Chi). 低压配网无功补偿浅析(Preliminary Analysis of Reactive Power Compensation in Low Voltage Distribution Network) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2000, 24(7): 71-72.
- [2] 庄侃沁, 李兴源(ZHUANG Kan-qin, LI Xing-yuan). 变电站电压无功控制策略的实现方法(Strategies and Implementation Modes of Voltage and Reactive Power Control for Substation) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(8): 47-50.
- [3] 王树谦, 等(WANG Shu-qian, et al). 多层前向人工神经网络(Multi-level Forward Artificial Neural Network) [M]. 郑州: 黄河水利出版社(Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press), 1999.
- [4] 杨争林, 孙雅明(YANG Zheng-lin, SUN Ya-ming). 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) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(13): 10-13.
- [5] Bridenbaugh C J, Dimascio D A, Aquila R D. Voltage Control Improvement through Capacitor and Transformer Tap Optimization [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 222-227.
- [6] 周邗飞, 赵金荣(ZHOU Ye-fei, ZHAO Jin-rong). 电压无功自动控制软件及其应用(Software for Automatic Control of Voltage and Reactive Power in Substation and Its Application) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(5): 56-59.

收稿日期: 2004-01-17; 修回日期: 2004-02-24

作者简介:

杨剑(1977-)男,硕士研究生,研究方向为变电站综合自动化,电能质量分析与检测; E-mail: ocena2500107@sina.com

(下转第59页 continued on page 59)

4) 由于被测信号为直流,故其抗干扰能力强,漏电流的检测范围为 $\pm 10\text{mA}$,电流的分辨率为 0.1mA 。

5) 传感器电路简单,测试程序不复杂。易于操作人员安装调试,且材料成本低。

总之,本文提出的新型传感器构成的测试方法和原有的检测方法相比具有显著的优点。经过连续3年的在线运行结果表明,该传感器运行可靠,广泛地适用于发电厂、变电站的直流操作系统。

参考文献:

- [1] 费万民,张艳莉,吕征宇 (FEI Wan-min, ZHANG Yan-li, Lü Zheng-yu). 电力系统中直流接地电阻检测和接地故障点探测方法的研究 (Study on Methods of Measuring Insulation Resistance Between Ground and DC Power Supply and Detecting Fault Grounded Point) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2001, (3) 60-30.
- [2] 贾清泉,肖鹏,杨以涵,等 (JIA Qing-qun, XIAO Peng, YANG Yi-han, et al). 小电流接地电网单相接地故障

的小波选线方法 (Wavelets Method to Select Single Phase Faulted Circuit for Small Current Grounding Power System) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(3): 5-8.

- [3] 肖白,束洪春,高峰 (XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng). 小电流接地系统单相接地故障选线方法综述 (Survey of the Methods of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(4): 16-20.
- [4] Robertson D C, Camps O I, Mayer J S, et al. Wavelets and Electromagnetic Power System Transient [J]. IEEE Trans on PWRD, 1996, (2): 1050-1058.

收稿日期: 2003-12-29; 修回日期: 2004-03-25

作者简介:

马文骐(1952-),男,副教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作;

兰华(1956-),女,教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作;

李贻涛(1974-),男,工程师,从事电力系统及其自动化的科研工作。E-mail: liyitao@ynmail.com

Development of differential magnetic sensor for line selection in fault detection of DC power system

MA Wen-qi, LAN Hua, LI Yi-tao

(Northeast Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper introduces a kind of differential magnetic sensor, which is applied to the line selection in fault detection of DC power system. Theoretical research and spot operation verify that this sensor can detect the magnetic field generated by leakage current of each branch without injecting any signal into DC operating circuit, so it has no any bad effects to the circuit. With accurate detection and high sensitivity, it solves the practical problems on fault detection of DC power system.

Key words: ground fault detection; sensor; differential magnetic

(上接第 53 页 continued from page 53)

颜俊(1981-),男,硕士研究生,研究方向为人工智能

在电力系统中的应用;

谭方熊(1966-),男,高级工程师,研究方向为电力系统自动化。

Development of a new voltage-reactive power integrated control equipment

YANG Jian¹, YAN Jun¹, TAN Fang-xiong², LIU Pei¹

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Guangxi Electrical Industry Investigation and Design Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: A high capability voltage-reactive power integrated control equipment based on PC industrial computer and Windows operation system is presented in this paper. It solves the difficulties resulted from the limitations of software and hardware of old devices. The control strategy is based on nine-zone diagram and combined with artificial neural network, which makes a decision about the change of transformer taps and capacitor switching.

Key words: voltage; reactive power; nine-zone diagram; artificial neural network