

基于 PC 工控机的 35kV/10kV 变电站 微机保护及自动化系统

王海吉, 贺家李, 段玉倩, 郝国华, 刘秀玲

(天津大学电气自动化与能源工程学院, 天津 300072)

摘要: 工控机式的保护与自动化有很多优越性和广阔的发展前景。基于 MIC2000 系列工控机和 WINDOWS CE 嵌入式视窗操作系统, 结合自行开发的基于 ISA 总线的微机保护智能同步数据采集卡, 本系统实现了中小型 35kV/10kV 变电站的微机保护和自动化的功能。工控机式保护装置的保护实现方法和基于单片机的继电保护装置有很大的区别, 对用单 CPU 实现多路保护的算法作了深入的研究, 通过采用并行处理技术和多线程技术, 使得系统在多条线路同时故障时, 仍能保证保护的快速性要求。文中对系统的硬件构成、系统软件的规划设计、保护算法的实现以及低周减载的实现作了较为详细的介绍。

关键词: 微机保护; 自动化; 工控机; WINDOWS CE; 低周减载

中图分类号: TM772 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)04-0038-05

1 引言

迄今为止, 电力系统的微机保护和自动化装置均是分布安装的独立系统。装置之间通过现场总线联系互相传递测控和事故信息。作者尝试基于成熟的工控机硬件和 WINDOWS 视窗操作系统的支持, 开发出适合 35kV/10kV 变电站的集中式微机保护及自动化的整合系统。早在微机保护研究初期, 微机保护研究的先行者, 国际电力系统委员会副主席 G. D. Rockefeller, 60 年代末期对用一台电子计算机作为一个变电所内所有电力设备的保护作了研究, 但是由于受当时计算机水平的限制, 用一台计算机来保护一个变电所内的所有设备——并用重复设置以提高可靠性, 在当时的计算机硬件水平下, 被认为在技术和经济上都是不可行的。而现在基于 X86 系列 CPU 的 PC 工控机最高时钟可以达到几百兆赫, 具有强大的数据处理能力和快速的实时响应速度。配合自行研制的微机保护智能同步数据采集卡, 完全可以用一台工控机实现主从式结构的中小型变电所的所有保护和自动化功能。为了提高系统的可靠性, 可以采用双机热备用方式运行。基于 PC 总线的工业控制计算机构成的保护和自动化系统具有性能价格比高、抗干扰能力强、运行稳定可靠、用户界面友好、模块化结构、兼容性好易于升级、软硬件资源丰富、通讯组网功能强等优点。易于实现保护、控制、测量和数据通讯等功能一体化^{[1][2]}。

2 系统总体结构

本装置选用台湾研华公司的 MIC2000 系列 PC 兼容的工业控制计算机。该产品具有良好的防震和抗电磁干扰能力。采用前插式 19in 标准机箱, 机箱内有 11 个插槽的 ISA 总线母板, 250W 的工业级电源, 推拉式双风扇冷却系统, 使机箱内产生正气压, 防止灰尘进入, 保持高效散热。CPU 主板选用 MIC2350, 配有奔腾 266MHz 的 CPU、64M 内存并集显卡、网卡、CRT 和液晶平板显示器驱动于一体, 配有一个标准并口、一个标准 232 串口和一个可跳线设定为 232 或 485 或 422 的串口。开关量输入输出板均选用 MIC2000 系列产品, 板上均带有光电隔离。

3 操作系统的选择^{[3][4]}

目前流行的 PC 机操作系统有 WINDOWS - 98、WINDOWS 2000、WINDOWS - NT。由于其友好的视窗界面深受用户的喜爱, 也是计算机用户最熟悉的。但由于一套完整的操作系统其需要占用几百兆硬盘存储空间, 对于运行功能单一的应用程序系统软件, 其中的很多组件根本就用到。而工业环境要求可靠性高, 硬盘这种旋转式存储介质可靠性较低。需要采用电子盘 (FLASH 卡等)。而大容量的电子盘成本较高。为此微软开发了 WINDOWS CE 嵌入式操作系统。它是一个轻量级、多线程、实时性较强、模块可定制、带有图形界面的操作系统。它的优势在于资源耗费小、WIN32 API 子集和多平台的支持能力。它可以根据用户的资源配置封装用户程序。在 PDA (手持电脑) 上得到了广泛的应用。WINDOWS

基金项目: 国家自然科学基金 (NO. 59907002) 资助项目

CE 的使用在国内还处于起步阶段,成熟的产品并不多。但它的发展前景非常乐观,因此 WINDOWS CE 比较适合本系统。

4 微机保护智能同步数据采集卡的硬件结构与电路构成

微机保护智能同步数据采集卡(简称保护卡,下同)是本系统的核心。卡上采用 INTEL 公司的 80C196KC 16 位单片机作为 CPU。A/D 转换器选用 AD 公司的 AD7874。该芯片是一个 4 路、12 位的同步数据采集系统。AD7874 电源供电电压为 $\pm 5V$, $\pm 10V$ 的输入范围,片内置有采样保持器和高精度基准电压源,4 通道 A/D 转换同时启动,实现同步采样尤其适合保护的需要,4 通道总共转换时间 $31\mu s$ 。卡上共有 3 片 AD7874。在卡上通过采用 DC - DC 和快速光耦实现了 A/D 转换电路与系统总线和直流电源的隔离,有效地抑制了相互干扰,提高了采集精度和系统的稳定性。通过 DC - DC 进行直流电源隔离后,A/D 转换器电源噪音降低为一次侧的 1/5。本卡的硬件结构框图如图 1。

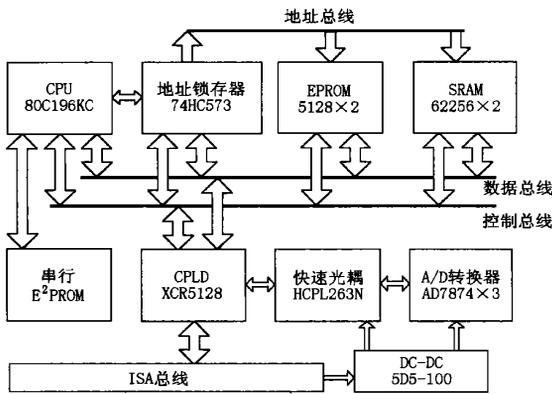


图 1 微机保护智能同步数据采集卡硬件结构框图

快速光电耦合器采用了 HP 公司的 HCPL263N,耦合速度达到 10MHz,驱动电流 2mA,当 80C196 的时钟选择 12MHz 时,CPU 不需要加入等待延时,就可直接从 AD7874 读出或写入数据。

HCPL263N 外围电路构成如图 2。

HCPL263N 输入输出逻辑关系真值表如表 1。

表 1 HCPL263N 逻辑关系

TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)	
LED	OUTPUT
ON	L
OFF	H

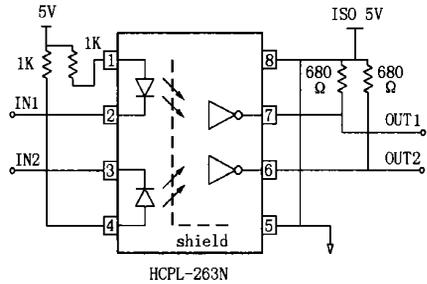


图 2 HCPL263N 的电路构成

保护卡和 PC 机的通讯接口是通过由 Xilinx 公司的 XCR5128 实现,该芯片采用 CMOS 工艺节电型设计,属于 COOLRUNER 系列,选用 PLCC84 封装形式,64 个 I/O 管脚,4 个纯输入管脚。4 个时钟管脚及 4 个编程管脚均可作为 I/O 使用。其中 CK1 作为时钟使用时只能接外部时钟,CK2、CK3、CK4 作为时钟使用时可以接外部时钟也可以由内部逻辑电路产生,但用作内部时钟时,不可以再作为输入管脚使用。该芯片内部具有 128 个宏单元,可以灵活编程,实现各种功能,节省了线路板的布线空间,提高了可靠性^{[3][4]}。在本卡上 XCR5128 是数据交换枢纽,它同时实现 80C196 单片机对外围芯片的地址译码、PC 总线地址译码和控制逻辑、A/D 转换结果的读入、5 个 16 位字的双端口 RAM 的读写控制逻辑、以及 PC 机和 80C196 单片机之间的相互中断申请逻辑的实现。

5 系统软件的规划设计

为了使系统软件具有更好的兼容性、更易于维护,采用了 VC++ 语言、面向对象的程序设计方法和数据库技术。系统的规模和功能用数据库来描述,通过对数据库记录的添加或修改就能方便地对系统构成进行扩充,对功能进行删减或添加,即实现了系统组态化设计。由于要实现多条线路的保护和监测管理,对于紧急事件的响应要求快速及时,而且要考虑几条线路同时故障的特殊情况。为此开发了硬件触发的中断服务程序和在实际应用中启动的多线程函数。

5.1 数据组织与数据库管理

数据库是本系统软件的重要组成部分。用户通过数据库对系统的功能和系统的组成进行组态。系统构成灵活方便。随时可以查看各种运行记录并可打印输出或上传。采用 ADO 技术实现数据库连接,易于实现网络数据库接口。

系统数据库包括线路参数数据库表、保护定值

库表、采集卡参数库表、系统参数数据库表、系统运行历史数据记录库表、故障记录库表以及操作记录库表等。以下列举几个重要库表的字段构成。

线路参数数据库表的字段构成

线路编号,线路名称,定值组号,采集卡编号,卡上线路编号,IA入端,IB入端,IC入端,UA入端,UB入端,UC入端,合令开出端,跳令开出端,低周整定轮次。

保护定值库表的字段构成

线路编号,线路名称,定值编号,电流段定值,电流段定值,电流段时间定值,电流段定值,电流段时间定值,电流保护电压闭锁定值,重合闸时间定值,重合闸检无压定值,一次侧PT变比,一次侧CT变比,电流段投入否,电流段投入否,电流段投入否,段经方向否,段经方向否,段经方向否,段经电压闭锁否,段经电压闭锁否,段经电压闭锁否,加速段否,加速段否,加速段否,加速电压闭锁否,方向是30°还是45°。

采集卡参数库表的字段构成

采集卡编号,采集卡名称,Ua输入通道编号,Ub输入通道编号,Uc输入通道编号,U输入通道,保护线路条数,双端口RAM首地址。

系统设定数据库表的字段构成

变电站名称,本站的IP地址,服务器的IP地址,母线电压采集卡编号,保护线路数,低周减载频率偏差定值,频率偏差间隔,低周减载延时定值,低周减载滑差定值。

5.2 采用多线程的事务处理方法

当保护卡通过中断申请向主机发出跳令以后,由主机向相应的线路通过开关量输出板发出跳闸信号执行跳闸。如果设置了重合闸,跳闸后要启动重合闸线程,由该线程去实现重合闸延时和逻辑判断。由于WINDOWS操作系统支持多线程同时工作,并不影响主监控程序的运行。如有多条线路同时重合闸,只是需要多启动几个重合闸线程,由于各线程是独立的,彼此互不影响,重合闸过程结束后,所启动的线程将被取消。在本系统中还有其他需要快速响应的过程需要通过线程实现。所以需要按过程的重要程度,合理地分配各线程的优先级,最需要快速动作的得到最快响应。

6 保护卡上微机多路保护的实现

保护卡用于实现多条线路的数据采集,突变量启动判据和故障类型判据,当需要跳闸时向主机申

请中断,由PC工控主机通过开关量输出板向跳闸出口继电器发送跳闸令。重合闸逻辑由PC工控主机实现。以下主要介绍保护卡的保护软件实现方法和流程。

6.1 中断处理程序

采用软定时器中断实现1.66667ms采样间隔定时,该中断的优先级为最高。在中断程序中同时启动3片4路同步A/D转换器。12路的转换时间只有40μs。A/D转换器结束后通过快速输入HSIO发中断申请,而非查询方式,CPU没有等待延时,节省了非常宝贵的CPU时间。

快速输入HSIO作为A/D转换器转换结束的中断源。在中断处理程序中实现读取各路A/D转换结果,进行各条线路的相电流差突变量启动判据,当有故障发生时,中断返回时转到故障处理程序。中断处理程序流程图如图3。

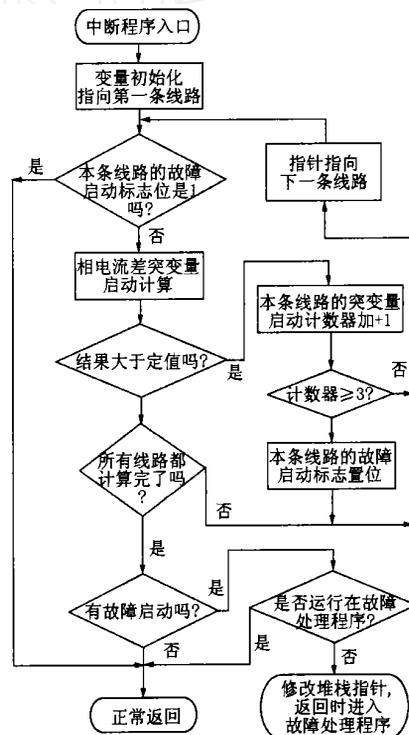


图3 采样中断处理程序

6.2 事故处理程序的编程方法

多回出线线路的微机保护算法与单回线的算法有很大的不同。它要求事故处理程序能够同时处理多条线路同时故障的情况。在本程序中为了提高处理速度,延时速断和过电流保护的延时按照采样周期的个数进行整定,采样间隔定时中断处理程序中对故障启动的线路的延时计数器自动加1,在故障处理程序中进行延时到否的判据。延时未到继续处

理其它线路。在故障处理程序中借鉴了实时操作系统中进程的概念(即分时并行处理技术),对每条故障线路的处理类似于一个进程,当线路出现故障时将故障线路的处理进程挂起(即启动一个进程),当故障切除或消失时取消挂起(即结束进程)。在每个挂起的故障线路的故障处理过程中设有进度变量,以便记录故障处理过程进行到那里。进度分为以下几个阶段:1)连续三次越限;2)故障延时;3)发跳令;4)跳闸后延时;5)故障切除后返回。在不同的进度中作不同的处理。这种处理方法保证了当多条线路同时故障时保护动作的快速性。故障处理程序的流程图见图 4。

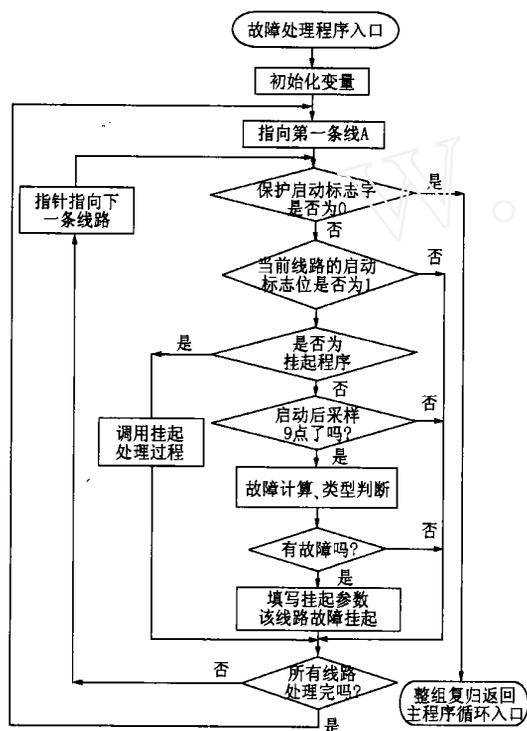


图 4 故障处理程序流程图

7 低周减载的实现^[5]

当发生有功功率缺额,系统频率降低时,必须及时切除相应容量的负荷,使系统其余部分的频率能迅速恢复到接近额定值运行。所以低周减载是变电站自动化的重要功能。本系统低周减载功能是由用户可设定的,在线路参数库表中设置该条线路的整定轮次。每轮次的频率偏差定值和延时,在系统设定参数库表中设定。

7.1 低周减载的整定原则

最高一轮的低频整定值,一般选为 49.1 ~ 49.2Hz,主要是考虑在有一定旋转备用的情况下,如

果失去的电源容量比例不大,可能自动恢复到 49.5Hz 及以上时,不应切除负荷,而在调出备用容量时,因调速系统的时滞,将使频率下降到某一低值后才恢复。最高一轮的频率整定值应高于此一过程的低值。因为从频率继电器感知低频到切除负荷有延时,在上一轮未跳开负荷前,系统频率已仍在下降中,因此下一轮除频率起动作值应较低外,还必须带有 0.2 ~ 0.3s 的延时,以保证选择性。

各轮间的频率整定值差,一般选为 0.2Hz 左右。

应当按负荷重要性的顺序,安排按频率降低自动减负荷的顺序,先切次要负荷,后切重要负荷。

一般安排不应小于 5 轮左右,各轮切除负荷份额有不同做法,但以均匀分配为好。例如一共计计划切 50%,共五轮,则最好每轮切除 10%。

安排长延时(例如 20s)的特殊轮次是必要的。例如在实际情况下,当整定为 49.1Hz 的第一轮负荷切除后,因切负荷容量不足,系统频率可能悬浮在 49.1Hz 到下一轮的 48.9Hz 之间。因此在安排下一轮 48.9Hz 的切负荷总量时,其中应有一部分由上一轮频率 49.1Hz 经长延时 20s 后切除,可以解决上述问题。而且逐轮均应如此安排。

7.2 低周减载滑差定值的整定原则

滑差定值整定在 $df/dt > 8 \sim 10\text{Hz/s}$ 可以有效地防止因变电所停电、负荷电动机反馈引起的频率继电器误动作导致的跳闸。因为电动机反馈产生的频率下降速度远远大于系统因电源缺额产生的频率下降速度。系统频率下降时,以事件开始时的频率下降最快,即 $\frac{df}{dt} \max = \frac{df}{dt} \Big|_{t=0} = -\frac{K}{M}f_0$ 。一般 $M = 5 \sim 10, f_0 = 50$,取 $K = 0.5$,在这种情况下, $df/dt \max = 2.5 \sim 5$ 。如果功率缺额过大,只能依靠连锁切除集中大负荷,不能再依靠按频率降低自动减负荷的逐级动作。

8 结论

本系统经过动模实验表现出很好的抗干扰能力,运行稳定可靠。还具有用户界面友好直观、功能齐全、易于组态等优点。数据采集快速准确,一块保护卡可以方便地组态出多种保护和监测组合。最多可以保护 6 回两相接线并不带方向保护的馈出线,同时能够满足保护快速性的要求。达到了设计目的,拓展了变电站的微机保护和自动化的研究领域。

参考文献:

[1] IEEE 电力系统继电保护委员会, 编, 黄焕琨, 力菊,

- 译. 计算机继电保护系统. 北京: 水利电力出版社, 1982.
- [2] 段玉倩. 神经网络式微机继电保护的研究. 天津大学博士研究生毕业论文, 1998, 12.
- [3] (美) Douglas Boling 著. 北京博彦科技发展有限公司译. Microsoft Windows CE 程序设计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1999.
- [4] (美) Terence A. Goggin 著, 尤淘, 张平, 等译. Windows CE 高级开发指南 [M]. Windows CE Developer's Handbook. 2000, 电子工业出版社.

- [5] 王梅义. 电网继电保护应用 [M]. 中国电力出版社, 1999, 3.

收稿日期: 2001-10-17

作者简介: 王海吉 (1964 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护及其自动化; 贺家李 (1925 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统故障分析及继电保护领域的研究工作; 段玉倩 (1972 -), 女, 博士, 主要从事电力系统故障分析及继电保护领域的研究工作。

Study on computerized relay protection and integrated automation system of the 35kV/10kV electric power substation based on PC industrial controlling computer

WANG Hai-ji, HE Jia-li, DUAN Yu-qian, XI Guo-hua, LIU Xiu-ling
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: There have broad developing foreground in the fields of computerized relay protection and integrated automation of power system based on industrial computer. Based on MIC2000 modular industrial computer series, WINDOWS CE and computerized relay protection card designed by the author, this system realized the integrated function of the protection and automation of the 35kV/10kV electric power substation. There have much difference between the realized method of protection based on industrial computer and the protection devices based on singlechip processor. The author studies comprehensively the algorithm of multi-line protection achieved by single CPU and uses the technique of parallel processing and multi-threads. It makes the system meet the need of rapidity even if multiple faults on several lines take place simultaneously. This paper is mainly about the hardware structure, the scheme and design of software, the realization of protection algorithm and the realization of the under frequency unloading function.

Keyword: computerized relay protection; automation; industrial computer; WINDOWS CE; data sampling card; under frequency unloading

(上接第 28 页)

参考文献:

- [1] Chang C S, Tong Feng. Analysis of distribution disturbance using wavelets technique [C]. IPEC '99 Singapore Proceedings of the International Power Conference, 1999.
- [2] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Trans On PAMI, 1989, 11(7): 674 ~ 693.
- [3] 崔景泰, 著 [美], 程正兴, 译. 小波分析导论 [M]. 西安

交通大学出版社, 1995.

- [4] 林湘宁. 微机保护新原理的小波理论应用研究 [M]. 华中科技大学博士论文, 2000.

收稿日期: 2001-09-17

作者简介: 刘珠明 (1976 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为小波分析在继电保护中的应用、电力电子; 吕艳萍 (1956 -), 女, 副教授, 研究领域为电力系统继电保护及变电站综合自动化; 刘兵 (1976 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为小波分析在继电保护中的应用。

Study of a new principle applied in EHV transmission line fault locator

LIU Zhu-ming, L Ü Yan-ping, LIU Bing, XIANG Tie-yuan
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The wavelet transformation (WT) is a very powerful tool for the analysis of non-stationary signals. The fast algorithm of WT enables the applications of wavelet transformations. High-speed digital signal processors (DSP) provided the hardware support for fast algorithm of WT. This paper introduced the principle of the instrument. The results from EMTP simulation prove the efficiency and realtime of it.

Keywords: wavelet transformation; travelling-wave; DSP; fault location; EMTP; simulation