

基于双嵌入式系统的新型故障录波器设计

康忠健<sup>1,2</sup>,李海峰<sup>2</sup>,陈 杰<sup>2</sup>,郭志忠<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学(华东) 电气工程系,山东 东营 257062; 2. 许继电气股份有限公司,河南 许昌 461000; 3. 哈尔滨工业大学 电气工程系,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 介绍采用 Nucleus Plus 和 WinCE 嵌入式操作系统的新型一体化故障录波器的原理、总体结构、软硬件设计及其特点。该装置创造性地将采集站与分析站进行一体化设计,具有可靠性高、测量精度高及 GPS 高速同步采样的特点,能同时记录和分析系统相量的稳态值及故障暂态数据,是适用于发变组与线路的兼有相角测量单元功能的新一代故障录波装置。

**关键词:** 故障录波; 相角测量; GPS 同步采样; 嵌入式操作系统;

**中图分类号:** TM 938.6      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-6047(2006)01-0061-04

0 引言<sup>[1-7]</sup>

电力系统故障录波装置用于记录当系统发生故障时的电流、电压、频率、温度及其导出量变化的全过程。故障录波装置是分析电力系统故障特别是分析继电保护动作行为的不可缺少的重要依据。故障录波装置的主要作用是及时记录发电机组发生故障和异常运行时电气量或非电气量变化过程,事后将该过程再现,作为分析继电保护的動作行为、分析故障和异常运行的重要依据,以积累运行经验,提高系统安全运行水平,并根据故障录波情况的统计分析,对故障情况、故障概率统计积累科学依据。

随着电力系统广域测量技术的发展,电力自动装置采用嵌入式系统设计是个发展方向。本文研究的新型一体化 WGL-800 故障录波分析装置基于 Nucleus Plus 和 WinCE 实时多任务嵌入式操作系统,在软件和硬件 2 方面采用先进的嵌入式计算机技术和嵌入式 GPS 同步采集技术<sup>[6-7]</sup>,克服了一般故

障录波器的不足,极大地提高了装置的可靠性。装置同时能记录和分析系统相量的稳态值及故障暂态数据,是适用于发变组与线路的兼有相角测量单元 PMU(Phasor Measurement Unit)功能的新一代故障录波装置。

1 总体结构

WGL-800 故障录波分析装置在结构上采用开放式主从结构,可以根据现场需求配置为 1+n 结构(1 台中心分析站和 n 台采集分析站)的主从分布式结构,如图 1 所示。

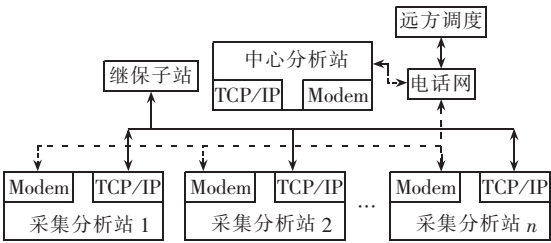


图 1 WGL-800 故障录波分析装置总体结构图  
Fig.1 Overall structure of WGL-800 fault recorder

收稿日期: 2005-06-16

现场采集分析站是 WGL-800 故障录波分析装置的核心,以下将重点针对采集分析站介绍录波器的硬、软件设计。采集分析站采用 800 系列保护产品通用硬件平台,19 英寸 6U 结构,组屏后放置在继电保护室,主要用于在线监测系统相量(包括幅值与相角)的运行状态、故障数据录波和对本采集站进行在线管理、控制与维护,同时具有对故障录波文件进行分析、打印及将数据远传至上级调度的功能。

中心分析站采用一般工控机,放置在主控室。主要对采集分析站进行在线管理、控制与维护,并对故障录波文件进行分析、打印及将数据远传至上级调度。该结构体系可配置为  $1+n$  结构,即 1 台中心

分析站配置  $n$  台现场采集站,中心分析站利用 103 规约通过 TCP/IP 网络对所有的现场采集站进行在线管理、控制与维护,并对各现场采集站上传的故障录波文件进行分析、事故再现、打印,并将数据远传至上级调度。

多台现场采集站既可以集中组屏,也可各自单独组屏。各现场采集站和中心分析站之间通过 TCP/IP 局域网通信。主从分布式结构适用于大型系统的录波,1 台现场采集站可适用于单台发变组和变压器的录波,可以很好地满足不同场合的录波需求。

## 2 硬件设计

采集分析站硬件结构如图 2 所示。

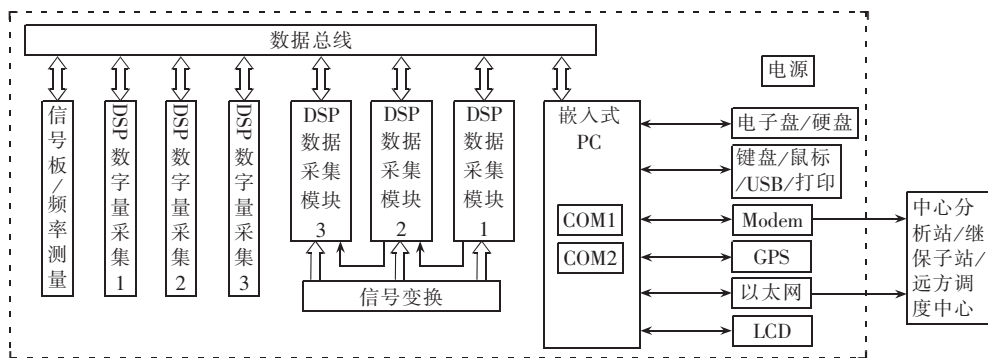


图 2 录波分析装置硬件结构图

Fig.2 HW of the recorder

装置的硬件部分采用分层设计思想,系统硬件分为 3 层。最底层的 DSP 数据采集模块负责采集模拟量和开关量信号。中间层为嵌入式工控机,从 DSP 数据采集模块获得的数据(故障数据)存储在嵌入式工控机的硬盘(电子盘)上,同时读取开关量,将稳态数据直接存储在硬盘中,故障暂态数据存在电子盘中,同时对本采集站进行在线管理、控制与维护,对故障录波文件进行分析、事故再现、打印及数据远传。系统硬件的最高层为中心分析站计算机,对现场采集站进行在线管理、控制与维护,对故障录波文件进行分析、事故再现、打印及数据远传等功能均在这一层中实现。

采集分析站完成实时信号的采样、故障录波和故障分析功能。各路模拟量采样信号经过交流变换插件变为 5 V 弱电信号,DSP 数据采集模块对所接入的模拟量按 5 kHz/s 的速率进行 GPS 同步采样,各路开关量采样信号在 DSP 数据采集模块中经过光电耦合隔离变换为高低电平后也按 5 kHz/s 的速率进行采样,并对所采集的各种模拟量、开关量和频率量利用录波启动算法进行计算。如果有故障发生则自动启动暂态录波功能,故障文件存储按 A-B-C-D-E 方式存储,故障数据先存储在各 DSP 数据采集模块中,随后及时转存到装置的硬盘或电子盘中,供事后进行事故分析使用。装置平常自动测量存储各电气量的稳态运行数据,包括幅值和相角,采样频率为每秒 50 个点,因而兼有 PMU 的功能。

由于采集分析站在硬件上完全采用嵌入式技术进行设计,采用嵌入式工控机作为主机,DSP 数据采集模块由 APCI 5467<sup>①</sup> 构成,DSP 数字量采集模块由 APCI 5970 构成,主机与 DSP 数据采集之间通过双口 RAM 实现数据交换。由于装置无风扇等旋转设备,同时 DSP 数据采集模块与主机之间采用 AT 96 总线进行“针孔式”连接,避免了“金手指”连接方式的不足,在硬件结构上使录波器的整体可靠性得到了很大提高。

## 3 软件设计

### 3.1 装置软件总体结构

录波分析装置的软件设计思想和结构如图 3 所示。

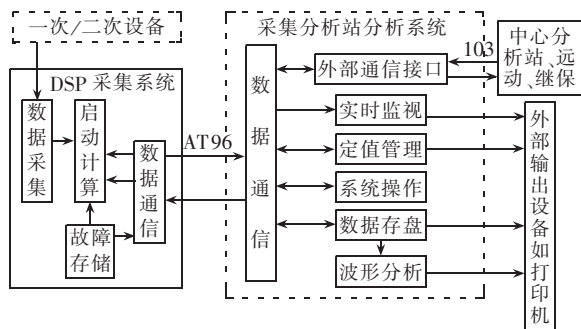


图 3 录波分析装置软件结构示意图

Fig.3 SW of the recorder

①APCI 5467 用户手册,北京康拓工业控制计算机公司,2004.

WGL-800 型故障录波分析装置为主从式一体化结构,DSP 数据采集系统用于在线监测系统运行状态及故障录波,采集分析站主机分析系统对 DSP 数据采集进行在线管理、控制与维护,并对故障录波文件进行分析、打印及数据远传至调度。

该结构体系的优点是将故障录波的实时与非实时功能分开,将各任务均衡分配于 DSP 数据采集系统和采集分析站主机系统,提高了装置运行的稳定性、可靠性。

### 3.2 DSP 数据采集系统软件设计

由于 DSP 数据采集系统用于完成在线监测及故障录波等功能,实时性要求较高,而基于 Nucleus Plus 嵌入式实时多任务操作系统的应用程序,可对数据采集系统硬件直接控制,实时性好。因此,开发平台为 Nucleus Plus 嵌入式实时操作系统,开发工具选用的是 TI 公司 TMS 320 系列 DSP 开发工具 Code Composer。

DSP 数据采集系统软件设计流程如图 4 所示。

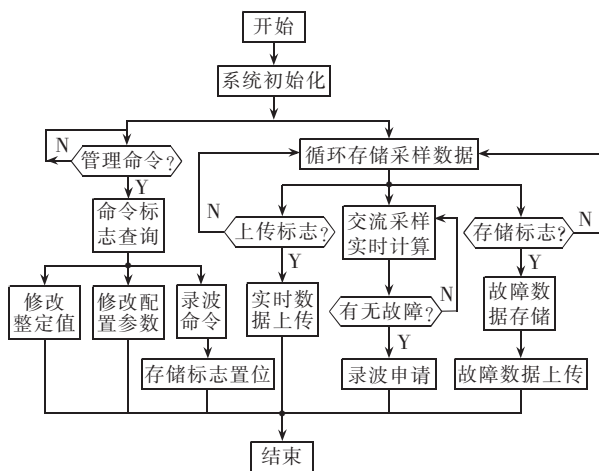


图 4 DSP 数据采集系统程序流程图

Fig.4 Program flowchart of DSP data acquisition system

DSP 数据采集系统完成 32/64/96/128 路模拟通道和 64/128/192 路开关量高速 GPS 同步采样,采样频率为 5 kHz,同时完成 12 路频率信号的测频,计算交流通道的基波稳态值、直流通道的平均值和通道的高次谐波稳态值,并根据录波装置配置情况进行录波启动判据计算。如果有故障发生则按 A-B-C-D-E 时段进行故障存储,如果没有故障发生则将系统相量实时稳态值上传至采集分析站主机进行实时监视。

### 3.3 采集分析站分析系统软件设计

采集分析站分析系统用于对故障录波文件进行存储,对录波装置进行在线管理、控制与维护,并对故障录波文件进行存储、分析、打印及数据远传至调度,实时性要求高。微软 WinCE.NET 4.2 操作系统是实时多任务嵌入式操作系统,系统具有 256 级中

断,与常用的桌面 Windows 操作系统相比具有可裁减、内核小、实时性强和稳定性强等优点<sup>[8]</sup>,因此采用 WinCE.NET 4.2 嵌入式操作系统作为系统软件开发平台。采集分析站分析系统软件为用户提供友好的人机交互界面,选用具有面向对象特点的嵌入式 WinCE 系统专用可视化开发工具 Embedded Visual C++<sup>[9]</sup>。

采集分析站分析系统的程序流程见图 5。

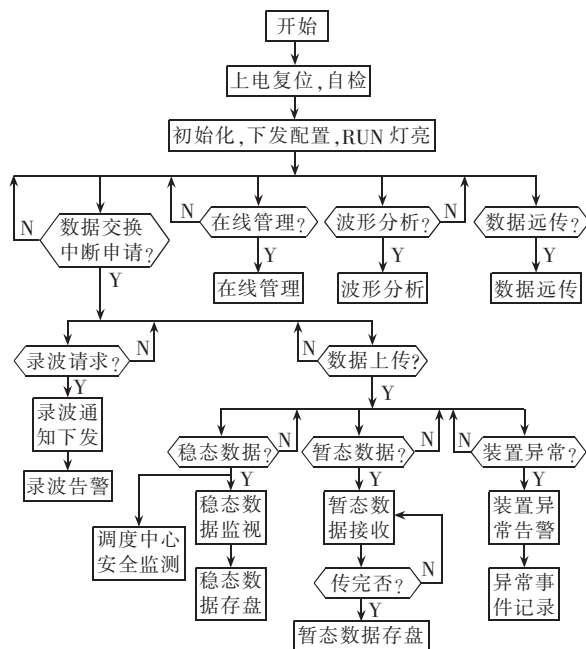


图 5 采集分析站分析系统程序流程图

Fig.5 Program flowchart of acquisition and analysis station

采集分析站分析系统功能包括工程配置、定值管理、实时监视、手动录波、波形分析和数据远传等功能。其中,定值管理完成对录波装置通道量的设置,如发电机、变压器、线路等设备通道的配置;定值管理可修改录波启动的定值,修改启动的灵敏度;实时监视该子系统,实时在线监视录波器所接各种模拟量、开关量、频率量及设备多种状态量的实时信息,对系统各电气量和非电气量的运行状况进行实时监视;手动录波用于检查装置运行状况或监测机组正常运行状况时的各路电气量或非电气量的波形。波形分析用于对录波量各种电气特征量及其合成量的分析与计算,进行故障诊断与定位,列出开关量详细动作清单,形成详细故障分析报告;数据远传可通过调制解调器或广域网将指定的故障文件传送到调度中心或中心分析站。

采集分析站分析系统采用面向对象编程的思想设计,完全满足发变组、变压器和线路的录波要求,是真正意义上的一体化录波分析装置。同时由于装置具有 GPS 连续测量系统相量(幅值和相角)测量功能,因而兼有 PMU 的功能。

## 4 结论

本文介绍了采用 Nucleus Plus 和 WinCE 双嵌入式操作系统的新型一体化故障录波器的原理、结构及其特点。

该装置具有如下特点:

a. 在硬件设计上采用完全嵌入式计算机技术和嵌入式 GPS 同步采集技术,装置无风扇等旋转设备,采用“针孔式”连接,避免了“金手指”连接方式的不足,提高了录波器的可靠性;

b. 在软件上采用 Nucleus Plus 和 WinCE 双嵌入式操作系统设计,克服了常见录波器存在的“录波死区”和操作系统易崩溃等缺陷;

c. 创造性地将采集站与分析站进行一体化设计,优化了录波器的结构,提高了装置的性价比;

d. 装置能同时记录和分析系统相量的稳态值及故障暂态数据,是适用于发变组和线路的兼有 PMU 功能的新一代故障录波装置。

## 参考文献:

- [1] 钟俊,吴言荪,张占龙,等. 基于 DSP 的数据采集及故障录波模块[J]. 渝洲大学学报,2000,17(3):30-35.  
ZHONG Jun,WU Yan-sun,ZHANG Zhan-long,et al. DSP data acquisition and fault recording model[J]. **Journal of the University of Yuzhou**,2000,17(3):30-35.
- [2] 罗杰. 一种基于双端口 RAM 的高速数据采集系统设计[J]. 电子学与计算机,2001(6):52-54.  
LUO Jie. A design of the high speed data acquisition system with dual-port RAM[J]. **Electronic and Computer**, 2001(6):52-54.
- [3] 牟晓勇,黄益庄,李志康,等. 嵌入式双速暂态信号同步录波装置[J]. 电力系统自动化,2003,27(20):92-94.  
MOU Xiao-yong,HUANG Yi-zhuang,LI Zhi-kang,et al.

The embedded dual speed tansient signal synchronously recording equipment[J]. **Automation of Electric Power Systems**,2003,27(20):92-94.

- [4] 王忠明. 微机计算机原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [5] 赵自刚. 微机型发电机变压器动态记录装置技术条件[S]. [S.l.]:[s.n.],2004.
- [6] 高厚磊,贺家李. 基于 GPS 的同步采样及在保护与控制中的应用[J]. 电网技术,1995,19(7):30-32,36.  
GAO Hou-lei,HE Jia-li. Application of GSP synchronous sampling in power system relay and control[J]. **Power System Technogy**,1995,19(7):30-32,36.
- [7] 曾祥君,尹项根,陈浩,等. GPS 同步暂态录波仪的研制[J]. 高电压技术,2000,26(2):56-58,79.  
ZENG Xiang-jun,YIN Xiang-gen,CHEN Hao,et al. The development of GPS synchronous transient data acquisition system[J]. **High Voltage Engineering**,2000,26(2):56-58,79.
- [8] 周毓林,宁杨,陆贵强,等. Windows CE.net 内核定制及应用开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [9] 田东风. Windows CE 应用程序设计[M]. 北京:机械工业出版社,2003.

(责任编辑:李 玲)

## 作者简介:

康忠健(1971-),男,四川安岳人,副教授,博士,主要研究方向为电力系统稳定分析及非线性控制、电力系统故障检测与诊断(E-mail:kangzjzh@163.com);

李海峰(1972-),男,四川安岳人,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护与测控、电力系统故障检测与诊断;

陈 杰(1968-),男,四川安岳人,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护与测控、电力系统故障检测与诊断;

郭志忠(1963-),男,四川安岳人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统稳定分析及控制。

## Design of fault recorder based on dual embedded operating systems

KANG Zhong-jian<sup>1,2</sup>,LI Hai-feng<sup>2</sup>,CHEN Jie<sup>2</sup>,GUO Zhi-zhong<sup>3</sup>

(1. Department of Electric Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257062, China;

2. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 3. Department of Electric Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The principles, structure and characteristics of a fault recorder based on Nucleus Plus and WinCE embedded operation systems is described. Both the data acquisition station and the data analysis station are the device are designed together, which has excellent performance of high-reliability, high-accuracy and high-speed GPS synchronous sampling. Both stable and transient data of power system are recorded and analyzed. It is a new type recorder with the function of phase measuring unit, and is suitable for generator-transformer set and power lines.

**Key words:** fault recording; phase measuring; GPS synchronous sampling; embedded operation system