

文章编号 :1673-5005(2006)05-0130-05

基于嵌入式技术的电力系统动态记录装置的研制

康忠健^{1,2}, 陈 杰², 郭志忠³

(1. 中国石油大学 信息与控制工程学院, 山东 东营 257061 ; 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 : 设计了一种采用 Nuclues Plus 和 WinCE 嵌入式操作系统的电力系统动态记录装置, 介绍了该装置的原理、结构及其特点。该装置克服了一般录波器的不足, 具有可靠性高、测量精度高和 GPS 高速同步采样的特点, 能以低速和高速两种记录方式连续记录系统故障的动态变化过程, 并能广泛应用于电力系统安全动态监测系统, 且所提出的嵌入式技术设计方法可用于其他行业的嵌式测控装置的设计。

关键词 动态连续记录 ; 相角测量 ; GPS 同步采样 ; 嵌入式技术

中图分类号 : TM 938 **文献标识码** : A

Study of dynamic recorder of power system based on embedded technology

KANG Zhong-jian^{1,2}, CHEN Jie², GUO Zhi-zhong³

(1. College of Information and Control Engineering in China University of Petroleum,
Dongying 257061, Shandong Province, China ;

2. XJ Electric Limited Company, Xuchang 461000, Henan Province, China ;

3. Department of Electric Engineering in Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract : A dynamic continuous recorder of power system was designed on the basis of Nuclues Plus and WinCE double embedded operation system, and its principle, structure and characteristics were described. The recorder overcomes the defects of general oscillograph, and is characterized by high reliability, high precision, GPS high-speed and synchronous samplings. Both the stable and the transient data of power system can be recorded with a low sampling rate and a high-speed sampling rate accordingly in the recorder. It can be widely used in the dynamic monitoring system of power system. And the method proposed can be applied to design the embedded control equipment in other industry.

Key words : dynamic continuous recorder ; phase measuring ; GPS synchronous sampling ; embedded technology

目前广泛应用于电力系统的微机故障录波装置常用来记录当系统发生故障时的电流、电压、频率、温度及其导出量的变化过程, 它是分析电力系统故障特别是继电保护动作行为不可缺少的重要依据。但现有的故障录波装置一般只记录故障前后一段时间内的暂态数据^[1-3], 对于分析较长时间的故障如系统震荡和面积污闪等故障来说, 所记录的数据时间长度明显不足, 不能满足故障分析的需要。目前国产故障录波器在硬件上一般采用“工控机 + 板卡”方式和“采集站 + 分析站”的双机组屏模式, 在操作系统上采用 DOS 和 WINDOWS 相结合的方式。由于工控机与板卡的总线联接采用“金手指”方

式^[4], 同时工控机自身带有风扇、硬盘、光驱和软驱等旋转设备, 使装置在硬件结构上的可靠性得不到保证。另外装置采用的 DOS 或者桌面 WINDOWS 操作系统的稳定性与实时多任务操作系统相比也较差。针对目前录波装置的不足, 笔者应用嵌入式计算机技术对长期连续记录系统故障动态变化过程的电力系统动态记录装置进行研究。

1 总体结构

电力系统动态记录装置在结构上采用开放式主从结构, 可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

(图1)。

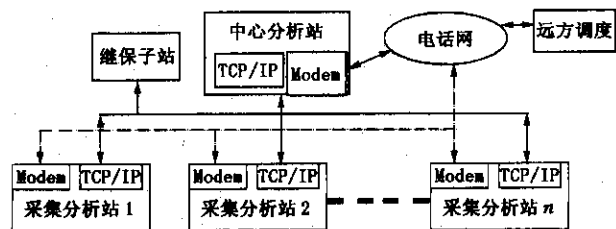


图1 电力系统动态记录装置总体结构图

现场采集分析站是电力系统动态记录装置的核心,采用许继集团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、连续数据录波和对本采集站进行在线管理、控制与维护,同时具有对某段时间内的记录文件进行分析、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。主要对多台采集分析站进行在线管理、控制与维护,并对记录数据文件进行分析、打印及将数据远传至上级调度和文件的删除管理。该结构体系可配置为 $1+n$ 结构,中心分析站利用103规约通过TCP/IP网络对所有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数据记录文件进行分析、事故再现、打印,并将数据通过公用电话网络传至远方调度中心。考虑到现场应用可能不会配置中心分

析站,因此采集分析站在支持TCP/IP的同时也支持Modem数据远传功能,可与远方调度中心直接通讯。

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局域网通讯。主从分布式结构适用于大型系统的动态记录,1台现场采集站可适用于单台发电机-变压器组的动态记录,可以很好地满足不同场合的动态记录需求。

2 动态记录装置硬件设计

2.1 装置硬件总体结构

装置采用分层设计的思想,硬件结构如图2所示。系统硬件分为3层。底层的DSP数据采集模块负责采集路模拟量和开关量信号,同时负责频率量的采集。中间层为嵌入式工控机,从DSP数据采集模块获得的数据(记录数据)存储在嵌入式工控机的硬盘(电子盘)上,同时对动态记录装置进行在线管理、控制与维护,并对记录文件进行分析、事故再现、打印及将数据远传。系统硬件的最高层为中心分析站计算机,对多台动态记录装置进行在线管理、控制与维护,系统动态变化过程分析、事故再现、打印及将数据远传等功能均在这一层中实现。

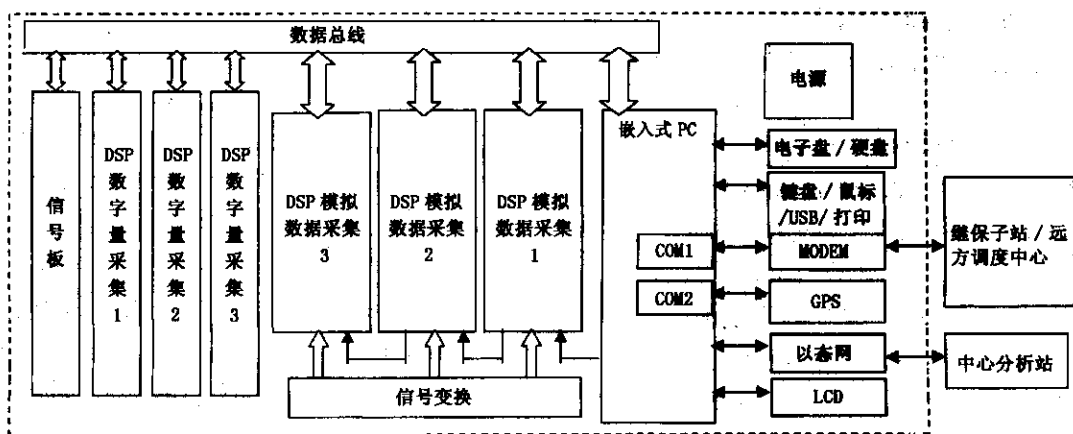


图2 电力系统动态记录装置硬件结构

采集分析站在硬件上完全采用嵌入式技术进行设计,采用APCI5000嵌入式系列工控机作为主机,DSP模拟数据采集模块由APCI5467构成,单块APCI5467可以对32路模拟信号进行同步采样,DSP数字量采集系统由APCI5470构成,单块APCI5470可以对64路开关量和4路频率信号进行同步采样^[7]。主机与DSP数据采集模块之间通过双口RAM实现数据交换。装置最大容量可配置为

128路模拟量、192路开关量和15路频率量。整个装置无风扇等旋转设备,所有连接方式为针孔式连接,使得装置的整体可靠性有了很好的保证。

2.2 装置工作原理

各路模拟量采样信号经过交流变换插件变为5V弱电信号,DSP数据采集模块对所接入的模拟量按5000次/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 5 000 次/s 的速率进行采样,并对所采集的各种模拟量、开关量和频率量进行故障启动算法计算。如果有故障发生,则故障数据的存储按 A-B-C-D-E 方式存储,记录速率为 5 000 次/s,暂态数据先存储在各 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。如果无故障,装置则以 50 次/s 较低速率记录各电气量的稳态运行数据,包括幅值和相角。从而实现对实时信号的采样、动态记录和分析的功能。

2.3 装置同步采样与同步录波功能的实现

由于装置内多个 DSP 数据采集模块同时工作,各 DSP 数据采集模块间的协调即 GPS 同步采样和同步录波功能的实现是关键。GPS 接收机的绝对时钟数字信号通过 RS232C 发送至主机,主机将在整点时刻通过双口 RAM 对各 DSP 数据采集模块时钟系统进行定时,以保证各 DSP 数据采集模块所记录的各点数据的绝对时标一致。同时 GPS 接收机的 1PPS 脉冲经过信号板整形处理后作为各 DSP 数据采集模块的采样控制脉冲的外部同步信号,即各 DSP 数据采集模块以周期为 0.2 ms 的内部定时器中断信号作为所采集的 32 路模拟量或者 64 路开关量的同步采样控制信号,当接收到 GPS 的 1PPS 脉冲时自动对各 DSP 内部定时器进行同步,从而实现多 DSP 数据采集模块间的 GPS 同步采样功能。装置不同的 DSP 数据采集模块间的同步采样相角偏差不大于 3°。

各 DSP 数据采集模块的故障启动信号经过逻辑‘或’后后连接到 AT96 总线上的 int3 中断,如果任一 DSP 数据采集模块检测出系统有故障发生,则通过该中断向主机提出录波启动请求,主机接收到该录波启动请求后通过双口 RAM 同时通知所有的 DSP 数据采集模块启动高速录波功能,从而实现多块 DSP 数据采集模块间的录波同步启动。

3 装置软件设计

3.1 装置软件总体结构

动态记录装置为主从式一体化结构,DSP 数据采集模块用于在线监测电力系统运行状态,分别以高速和低速记录故障暂态数据和稳态数据,实时性强,装置的主机分析系统对 DSP 数据采集进行在线管理、控制与维护,并对所记录的文件进行分析、打印及将数据远传至调度,数据存储和同步录波启动等部分功能对实时性要求也较高。为了将装置的实

时与非实时功能分开,将数据实时采样、通道计算、录波启动判据计算和数据存储等实时性强的任务分配在 DSP 数据采集模块中来完成,将装置的在线管理、控制与维护、波形分析、打印及数据远传等实时性较弱的功能分配于分析站主机系统中来完成,从而均衡分配系统任务,提高装置运行的稳定性和可靠性。装置的软件总体结构如图 3 所示。

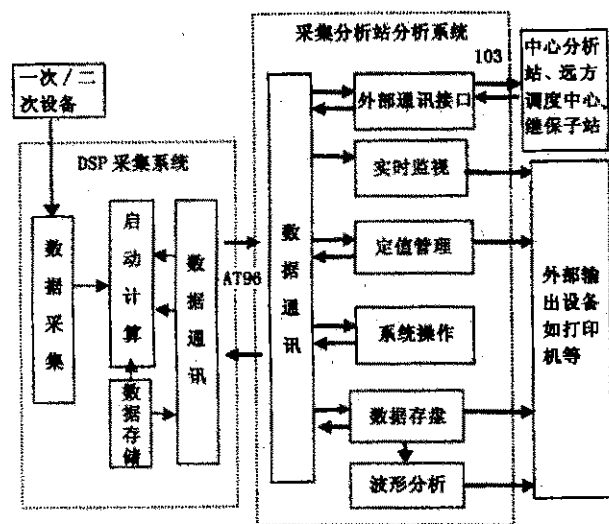


图 3 动态记录装置软件结构示意图

3.2 DSP 数据采集模块软件的设计

由于 DSP 数据采集模块用于完成在线监测及连续记录等功能,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模块硬件直接控制,实时性好,可很好地满足对实时性的要求。因此,采用 Nucleus Plus 嵌入式实时操作系统作为 DSP 数据采集模块的操作系统,开发工具选用的是 TI 公司 TMS320 系列 DSP 开发工具 Code Composer。其软件设计流程如图 4 所示。

DSP 数据采集系统完成 32/64/96 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 5 000 次/s,同时完成 15 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,并根据动态记录装置的配置情况进行故障启动判据计算。故障启动判据包括电压/电流/频率越限启动、电压/电流/频率突变启动、频率振荡启动、电流波动启动、负序电压/电流越限启动、零序电压/电流越限启动等,对发电机设备还包括逆功率启动、低励失磁启动和过激励启动等多种判据,使得装置的高速暂态录波功能能够在电力系统发生故障时灵敏启动。

如果某一 DSP 数据采集模块检测到电力系统有故障发生,则向主机申请高速存储请求,主机接收

到高速存储请求后,在主机的主机 int3 中断服务程序中通过双口 RAM 向所有的 DSP 数据采集模块下发高速存储命令。各 DSP 系统接收到了高速存储命令后将高速存储标志置位,并按 A-B-C-D-E 时段对暂态数据以 5 000 次/s 的速度进行高速数据记

录,高速数据存储结束后将高速存储标志清零并将所存储的暂态数据立即转存到采集分析站主机的电子盘中。如果没有故障发生则将系统相量实时稳态值以 50 次/s 的速度上传至采集分析站主机进行记录。

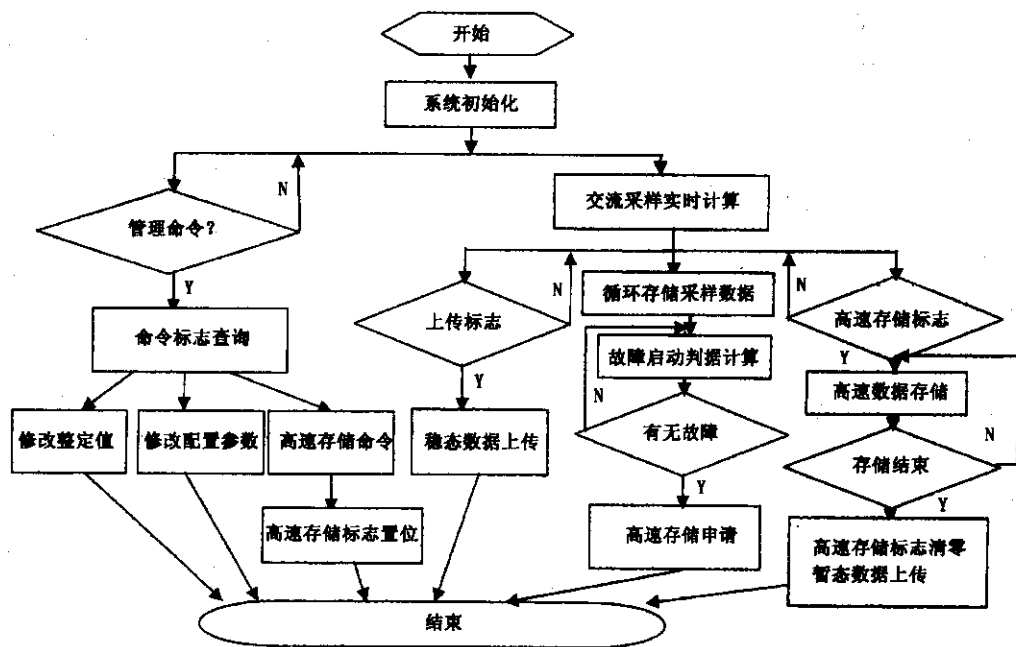


图4 DSP数据采集模块程序流程

3.3 装置分析系统软件设计

采集分析站分析系统用于记录文件进行存储、对动态记录装置进行在线管理、控制与维护,并对记录的数据文件进行存储、分析、打印及将数据远传至调度,稳态数据保留最新 3 d 的数据,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的特点,更适合于工业应用,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^[7]。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++。

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、手动记录、波形分析和数据远传等功能。其中定值管理完成对动态记录装置通道量的设置,如发电机、变压器和线路等设备通道的配置;定值管理可通过修改高速记录启动的定值来修改启动的灵敏度。实时监视用来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。手动记录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。波形分析用于对所记录的各种电气特征量及其合成量进行分析与计算,从而进行故障诊断与故障定位,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。

其中采集分析站的定值管理功能通过双口 RAM 将各项定值信息下发到各 DSP 数据采集模块,通讯实时性要求不高,可以通过 WinCE 操作系统中的消息映射响应来完成。但各 DSP 数据采集模块的高速存储申请、稳态数据上传、暂态数据的上传和装置状态异常告警等实时性要求很高,通过 int3 中断服务程序来实现,其流程图如图 5 所示。

如果有中断申请发生,则先判定是否是高速存储申请,如果是则立即向各 DSP 数据采集模块下发高速存储命令,进行高速暂态数据存储,否则检测是否有稳态数据、暂态数据或装置自身故障信息上传。如果有则进行相应的数据接收,直到相应的数据接收完成,稳态数据和暂态数据接收完成后存储在主机的电子盘中。

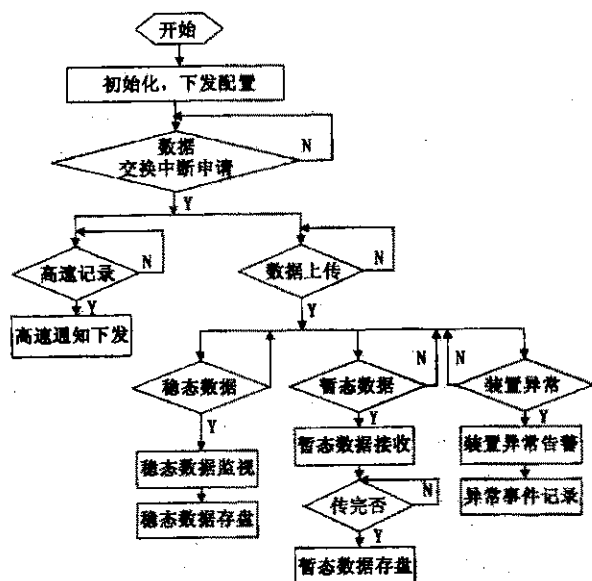


图5 采集分析站分析系统的 int3 中断
服务程序流程

4 结束语

所设计的装置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,采用针孔式方式连接,在操作系统上采用稳定的 Nuclues Plus 和 WinCE 双嵌入式操作系统,使装置的可靠性得到极大的提高。同时,装置能以高速和低速分别记录系统故障暂态数据和正常运行时的稳态数据,连续记录系统的动态变化,能够很好地满足电力系统对故障检测与记录方面新的需求。

装置已于 2005 年 10 月通过了国家继电器质量检测中心的型式试验和动模试验的验证,装置的各项性能指标满足国家相应的行业标准,其中静电放电、脉冲电磁场、辐射电磁场和抗浪涌等试验达到Ⅳ级标准。装置在型式试验中经过冲击震动、高低温和湿热等老化试验后未作任何处理进行动模试验,各项性能指标仍然表现良好,试验过程中装置运行稳定,表明装置具有良好的可靠性。本文中提出的嵌入式技术设计方法可用于其他行业的嵌入式测

控装置的设计。

参考文献:

- [1] 钟俊,吴言荪,张占龙. 基于 DSP 的数据采集及故障录波模块[J]. 渝州大学学报:自然科学版,2000,17(3): 30-35.
ZHONG Jun, WU Yan-sun, ZHANG Zhan-long. A module on the basis of DSP data acquisition and fault recording[J]. Journal of Yuzhou University (Nat Scien Edit), 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]. 微电子学与计算机,2001(6) 52-54.
LUO Jie. A design for high-speed data acquisition system based on double-port RAM [J]. Microelectronics and Computer, 2001(6) 52-54.
- [3] 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 systems[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(2) 56-58,79.
- [4] 王忠民. 微型计算机原理[M]. 1 版. 西安:西安电子科技大学出版社,2003:135.
- [5] 高厚磊,贺家李,江世芳. 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, JIANG Shi-fang. GPS-based synchronized sampling and its application in protection and control [J]. Power System Technology, 1995, 19 (7) 30-32,36.
- [6] 牟晓勇,黄益庄,李志康. 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. An embedded dual-speed synchronous acquisition recorder for transient signal [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(20) 92-94.
- [7] 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 9-12.

(编辑 修荣荣)