

嵌入式技术在电力故障录波装置中的应用

张敏, 黄翠莲, 杨毅斌

(广东电网公司梅州供电局, 广东 梅州 514021)

摘要: 故障录波装置是继电保护动作行为的检验者。传统的数字式故障录波装置采用通用计算机技术, 数据记录的可靠性依赖高速处理器和旋转部件, 可靠性差。装置不适合长期稳定运行。嵌入式系统是嵌入到对象中的专用计算机系统, 其可靠性不依赖通用计算机和复杂通用操作系统。提出了嵌入式录波一般框架。从数据采集、存储、通信和操作系统四个方面研究了利用嵌入式技术实现故障录波装置中需要注意的问题及解决方法。最后得出嵌入式技术可以应用到故障录波装置中, 提高装置的可靠性。

关键词: 故障录波; 嵌入式技术; 可靠性

Application of embedded technology in power system fault recording

ZHANG Min, HUANG Cui-lian, YANG Yi-bin

(Meizhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Meizhou 514021, China)

Abstract: Fault recording devices are the checkers of relays' operations. Traditional digital fault recording devices make use of general computer technologies, and their reliability of data recording depends on high speed processors and rotating components. So, traditional digital fault recording devices' reliability is poor, and they can't fit for long-term operation. An embedded system is the special system embedded in an object. Its reliability does not depend on a general computer and a complex operation system. General framework of embedded recording is proposed. Application of embedded fault recording technology in power system fault recording is discussed in detail from four points of view including data collecting, storage, communication and operation system with observing problems and solutions. Finally, this paper concludes that embedded technology can adopt in fault recording devices to improve their reliability.

Key words: fault recording; embedded technology; reliability

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)13-0057-04

0 引言

故障录波装置是研究现代电网的基础, 也是评价继电保护动作行为及分析设备故障性质和原因的重要依据, 性能优良的故障录波装置对于保证电力系统安全运行及提高电能质量起到了重要的作用。而数据记录的“真实”、“完整”、“可靠”, 是电力系统对故障录波装置的基本要求^[1], 但实现这些要求并非轻而易举之事。我们常常能看到这样的矛盾: 作为继电保护动作行为的检验者, 故障录波装置往往还没有其检验对象可靠; 甚至运行部门的技术人员总结的经验是, 微机保护装置测距比故障录波装置测距更可信、更准确。国产录波器尤其如此。究其原因, 硬件系统各元件的可靠性和硬件配置的合理性是影响录波器可靠运行、安全记录的关键因素^[2]。为了方便地实现故障录波高采样率、大容量存储等要求, 传统的数字式故障录波装置大多采用

通用的计算机技术, 数据记录的可靠性过于依赖高速的处理器和旋转部件(如风扇、硬盘等); 但这些部件功耗大, 可靠性差, 不利于装置长期稳定运行。

近年来嵌入式技术的快速发展给故障录波装置的可靠设计提供了有利的条件。那么, 什么是嵌入式呢? 一般来说, 嵌入式系统的定义是“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”^[3]。相对通用的计算机系统, 嵌入式系统更强调专用性、可靠性。对于故障录波装置这一对象来说, 就是在尽可能简单可靠的软、硬件框架基础上将录波数据真实、完整、可靠地记录下来, 其可靠性不依赖通用的计算机和复杂的通用操作系统。

1 非嵌入式录波存在问题的分析

一般来讲, 录波系统都采用图1或图2所示的结构。

图1采用工控机插AD采集卡方式。AD采集

卡上没有非易失存储 (FLASH, 电子盘, CF 卡等), 其采集数据需要实时地由工控机经 ISA 或 PCI 总线取走存放在工控机的硬盘上。

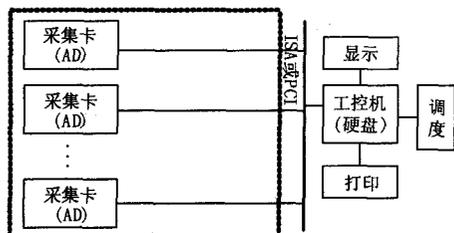


图 1 非嵌入式录波一般框架之一

Fig 1. No.1 General framework of non-embedded recording

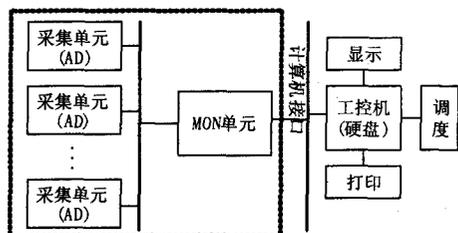


图 2 非嵌入式录波一般框架之二

Fig 2. No.2 General framework of non-embedded recording

我们可以看到此工控机有如下任务:

- 1) 读取采集数据 (实时);
- 2) 存储采集数据 (实时);
- 3) 判启动计算 (实时);
- 4) 存储故障数据 (实时);
- 5) 分析故障数据;
- 6) 管理采集数据和故障数据;
- 7) 与调度通信;
- 8) 显示;
- 9) 打印

如此多的任务集于一身, 任何一个环节出故障, 都会导致系统无法正常录波。因为录波是需要实时进行的。另外此方案中工控机基本都采用通用的 WINDOWS 操作系统, 其可靠性远低于嵌入式操作系统 (详见下文)。

上面是软件上的问题。另外从硬件的抗干扰性来讲, 插卡方式是最弱的, 相当于总线出板的概念, 极易受干扰, 导致死机, 录波功能失效。

图 2 是图 1 的一种改进。我们称之为前后台方式。AD 采集单元和 MON 监控板构成前置机, 前置机上有 RAM 作为存储器, 启动判据也由前置机完成。

前置机功能有:

- 1) 读取采集数据 (实时);

- 2) 存储采集数据 (实时);
- 3) 判启动计算 (实时);
- 4) 暂时存储故障数据 (实时);
- 5) 与后台机通信 (准实时)。

后台工控机功能有:

- 1) 与前置机通信 (准实时);
- 2) 存储故障数据 (实时);
- 3) 分析故障数据;
- 4) 管理采集数据和故障数据;
- 5) 与调度通信;
- 6) 显示;
- 7) 打印。

前置机一般采用单片机系统完成, 一般没有操作系统, 也没有非易失存储, 采用 RAM 临时存放故障录波数据, 然后将其转移到后台工控机上。

此方案中前置机硬件比较简单可靠, 采集不依赖于工控机; 但存储仍然依赖于工控机。一旦失电或前后台通信异常, 故障录波数据仍会丢失。可以说, 这是一个部分嵌入式的录波系统。

因此, 我们需要更为可靠的完全的嵌入式录波系统。

2 嵌入式录波框架结构

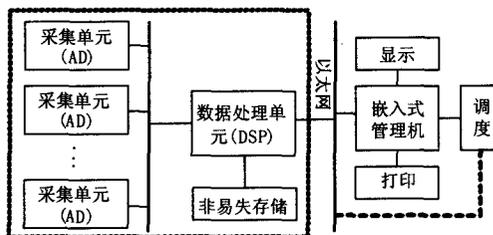


图 3 嵌入式录波一般框架

Fig. 3 General framework of embedded recording

图 3 是嵌入式的录波系统的一般框架。采集单元和数据处理单元即构成了完整的录波装置, 从采集、计算到永久存储全部完成, 即故障录波可靠性不依赖工控机。同时, 图 2 方案中的工控机发展到图 3 中的嵌入式管理机, 因为没有了实时任务, 可采用低功耗的嵌入式单板机, 可靠性也大大增加。

此方案中前置录波装置的功能有:

- 1) 取采集数据 (实时);
- 2) 存储采集数据 (实时);
- 3) 判启动计算 (实时);
- 4) 存储故障数据 (实时);
- 5) 简单分析故障数据 (实时);
- 6) 管理故障数据 (实时);
- 7) 与管理机或调度通信 (非实时)。

嵌入式管理机的功能有:

- 1) 与前置机通信 (非实时);
- 2) 存储故障数据, 冗余备份 (非实时);
- 3) 详细分析故障数据;
- 4) 与调度通信;
- 5) 显示;
- 6) 打印。

嵌入式管理机运行的任务对故障录波功能的完整性没有任何影响。如果不需要当地显示和打印, 嵌入式管理机的功能也可移到调度端, 这时甚至可以取消此嵌入式管理机。

2.1 嵌入式数据采集

数据采集部分决定了采样真实性。嵌入式数据采集首先要选择好嵌入式的处理器。一般故障录波器要求有 64 路模拟量和 128 路开关量, 5~10 kHz 采样频率; 此数据流量很大, 采集和处理需要很高的速度, 一般单片机不能完成, 需要用 FPGA 和 DSP (或高端嵌入式 32 位机) 来完成。

另外, 决定采样真实性的另外一个重要因素是采样同步。所有采集单元都由同一个采样触发信号触发同步采样才是真正的采样同步。此工作一般由 FPGA 实现。另外从可靠性的角度考虑, 采样同步不能完全依赖 GPS。目前运行的分散式保护装置无论是在同一变电站 (如分布式母差保护) 还是不同变电站 (如光纤纵差保护), 其采样同步都不依赖 GPS, 在 GPS 信号丢失时仍然能够同步采样, 正确动作。虽然故障录波装置没有站间同步的专用通道, 但至少在一个变电站内数据采集的同步应该是由录波装置本身来保证, 而不是靠软件的方法去离线对齐数据。只有这样才能达到与保护装置一样可靠同步采样, 尤其是需要计算差流和精确测距的情况。

2.2 嵌入式大容量存储

存储部分决定了数据记录的完整性。即电力系统故障、扰动和正常等所有状态下数据记录的完整。尤其在电网大面积污闪, 电力系统保护装置大面积动作, 动作行为不容易分析的情况, 以及在发电机变压器组的各种定值不易整定的复杂故障情况下, 更应该完整地记录系统各电气量的变化过程。

存储可靠性主要依赖于存储介质和存储速度。常用的存储介质主要有 RAM (包括 SRAM 和 SDRAM 等)、FLASH (包括 NOR FLASH 和 NAND FLASH 等)、电子盘/U 盘/CF 卡/SD 卡等, 由 NAND FLASH 派生出来的存储模块、硬盘、磁带和光盘等。其中电子盘/CF 卡具有较大的存储容量、较高的可靠性和可扩展性, 比较适合作为录波装置的基本存储介质。图 2 前后台方式的故障录波装置, 前台采

用 RAM 作为存储介质, 后台采用硬盘作为存储介质; 一旦 RAM 中数据不能及时送到后台就被新的数据覆盖或发生装置掉电的情况, 数据就没有保存下来。这种方式的录波可靠性是 RAM、硬盘及前后台通道同时正确工作来保证的, 由于串联环节多, 可靠性较差。所以要提高存储的可靠性, 不仅需要采用较高可靠性的存储介质, 而且应该将串联的方式改为并联的多重冗余存储的方式。

DL/T553-94 标准^[4]中所述基于启动元件的 A、B、C、D 段数据记录方式根据启动元件判别有扰动时, 就按高采样率进行数据记录, 当系统比较平稳 (无明显扰动时) 只记录包络线, 这样可以有效地利用存储空间, 并且可以实现板上嵌入式非易失性存储。这种存储方式相比硬盘而言, 虽然容量小些, 但它无旋转部件, 记录可靠性高。这种记录方式下每次故障的存储容量相对较小, 相应的它对远方调度端调用故障数据记录时对通讯的要求也大大降低。当采样率为 10 kHz 时, 一个 64 M 的电子盘可以支持的典型故障记录次数可达 50 次, 可满足一般应用场合。

2.3 嵌入式以太网通信

关于在变电站自动化系统中采用嵌入式以太网通信技术, 很多文章中已有详细介绍^[5]。以太网、IEC61850 标准成为变电站通信的未来方向是不争的事实。IEC61850 标准中也规定了故障录波的通信格式, 详细的介绍可以参见相关的标准文档。

采用嵌入式以太网通信, 比传统的 ISA、PCI、并行口等通信更为可靠, 因为两端的电源是完全隔离的, 不需要共地接线; 比 RS485、CAN、LONWORKS 等现场总线速度快, 更适合传送录波文件这样的大批量数据。而且, 采用 IEC61850 标准后, 系统的兼容性也更好。

2.4 嵌入式实时操作系统

嵌入式实时系统的实现多为微内核体系结构, 这使得核心小巧而可靠, 易于 ROM 固化, 并可模块化扩展。微内核结构系统中, OS 服务模块在独立的地址空间运行, 所以, 不同模块的内存错误便被隔离开来。常用的通用嵌入式实时操作系统有 QNX、VXWORKS、RT-LINUX、uCOS 等, 还有一些专用的微内核嵌入式实时操作系统, 如 TI 的 DSP/BIOS 等。其核心一般都提供了进程调度、进程间通信和中断处理等, 可扩展底层网络通信、文件处理功能。

一般来说, 上述操作系统完成录波和通信任务都可以, 重要的一点是采样的实时性必须保证, 如 10 kHz 采样率, 即 100 μ s 一次, 操作系统屏蔽中

断的开销时间最大不能超过 100 μ s 减去采样及存放时间, 否则可能出现漏采样点的现象。

3 结论

1) 故障录波装置的设计采用嵌入式技术能大大提高装置的可靠性;

2) 嵌入式数据采集、嵌入式大容量存储、嵌入式以太网通信、嵌入式实时操作系统是实现完全嵌入式故障录波的关键技术。

参考文献

- [1] ZHAO Zi-gang, ZHAO Chun-lei, XIAO Yan. Some New Ideas About the Development of Fault Recorder, Power System and Communications Infrastructures for the Future[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 骆健, 丁网林, 唐涛. 国内外故障录波器的比较[J]. 电力自动化设备, 2001.
- LUO Jian, DING Wang-lin, TANG Tao. Comparison of Domestic and Foreign Fault Recorders[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001.
- [3] 何立民. 嵌入式系统的定义与发展历史[J]. 单片机与

嵌入式系统应用, 2004.

HE Li-min. Definition of Embedded System and Its Development History[J]. Microcontrolles & Embedded Systems, 2004.

- [4] DL/T553-1994, 220~500 kV 电力系统故障动态记录技术准则[S].
- DL/T553-1994, 220~500kV Power System Fault Dynamic Recording Techanology Principle[S].
- [5] 吴在军, 胡敏强, 杜炎森. 嵌入式以太网在变电站通信系统中的应用的研究[J]. 电网技术, 2003.
- WU Zai-jun, HU Min-qiang, DU Yan-sen. Application of Embedded Ethernet to Communication Networks in Substations[J]. Power System Technology, 2003.

收稿日期: 2007-01-04 修回日期: 2007-03-07

作者简介:

张敏(1972-), 男, 电气工程师, 主要从事电力生产技术管理工作; E-mail: gdmzhangmin@163.com

黄翠莲(1974-), 女, 电气工程师, 主要从事电网运行方式管理工作;

杨毅斌(1975-), 男, 电气工程师, 主要从事电力生产技术管理工作。

(上接第 52 页 continued from page 52)

- [6] Rudnick H, Dixon J, Morán L. Delivering Clean and Pure Power Active Power Filters As a Solution to Power Quality Problems in Distribution Networks[J]. IEEE power & Energy Magazine, 2003.
- [7] 丁洪发, 段献忠, 朱庆春. 基于不对称级联型逆变器的串联混合有源电力滤波器[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(20): 1-6.
- DING Hong-fa, DUAN Xian-zhong, ZHU Qing-chun. Series Active Power Filter Based on Asymmetry Cascade Multilevel[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(20): 1-6.
- [8] 杨亚飞, 颜湘武, 姜尧林. 一种新的电压骤降特征量检

测方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(2): 41-44.

YANG Ya-fei, YAN Xiang-wu, LOU Yao-lin. A New Method to Detect Voltage Sag Characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(2): 41-44.

收稿日期: 2006-12-27 修回日期: 2007-03-09

作者简介:

王德发(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子技术电力系统中的应用; E-mail: liary0910@163.com

丁洪发(1973-), 男, 副教授, 研究方向为电能质量和 FACTS 技术。

(上接第 56 页 continued from page 56)

- [4] IEC61850-5, Communication Networks and Systems in Substation -Part 5: Communication Requirements for Functions and Device Models[S].
- [5] IEC61850-6, Communication Networks and Systems in Substation -Part 6: Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs[S].
- [6] IEC61850-10, Communication Networks and Systems in Substation -Part 10: Conformance Testing[S].

收稿日期: 2007-04-16 修回日期: 2007-05-10

作者简介:

黄欣(1972-), 男, 工程师, 从事电力系统调度自动化工作, 主要研究方向为电力系统自动化、调度自动化;

E-mail: huangx@gzpsc.com

贺春(1973-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统自动化、通信规约及规约测试。