

基于 VxWorks 文件系统的 Comtrade 分布式录波功能的实现

刘益青^{1,2}, 高伟聪³, 孙发恩⁴, 袁文广², 滕兆宏²

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 积成电子股份有限公司厂站部, 山东 济南 250100;
3. 山东外事翻译职业学院经管学院, 山东 济南 250100; 4. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘要: 分布式故障录波功能可以在微机保护装置中方便地实现, 然而现场应用中仍存在录波数据存储格式需要转换, 数据传输协议不通用等问题。针对这些缺陷, 在微机保护装置中引入了 VxWorks 文件系统, 在存储芯片中直接将录波数据保存成 Comtrade 格式的二进制文件, 避免了数据格式的后续转换。利用 VxWorks 实现了嵌入式的 FTP 服务器, 采用通用的以太网文件传输协议传输录波文件, 提高了传输速度。基于这些新技术, 设计了适用于变压器成套保护装置分布式故障录波实现方案, 详细阐述了录波文件生成、存储、传输等关键步骤的具体实现方法。通过 RTDS 试验及现场运行验证了整个方案的可行性和优越性。

关键词: VxWorks 操作系统; 文件系统; 文件传输协议; Comtrade 格式; 变压器微机保护

Implementation of Comtrade distributed wave record based on VxWorks file systems

LIU Yi-qing^{1,2}, GAO Wei-cong³, SUN Fa-en⁴, YUAN Wen-guang², TENG Zhao-hong²

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Integrated Electronic Systems Lab Co., Ltd, Jinan 250100, China; 3. School of Economics and Management, Shandong International University, Jinan 250100, China; 4. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The distributed fault recording function can be easily realized in microprocessor-based relay. However, there are several defects currently. For example, fault data format must be converted according to Comtrade, and transmission protocols are not universal, etc. To avoid additional disposal, the paper applies VxWorks file systems to microprocessor-based relay and converts fault data directly to binary Comtrade files. Furthermore, to increase the transfer speed, the paper realizes the embedded FTP server using VxWorks, and transmits the data files through Ethernet File Transfer Protocol. Based on the new technologies mentioned above, the paper designs a realization scheme for distributed fault recording in transformer microprocessor-based relay, and discusses the key steps of data file generating, storage and transmission in detail. Dynamic experiment based on RTDS and field operation validate the feasibility and superiority of the scheme.

Key words: VxWorks OS; file systems; file transfer protocol (FTP); Comtrade; microprocessor-based relay for transformer

中图分类号: TM69; TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)04-0113-04

0 引言

随着电力系统变电站数字化、智能化程度的提高, 集中式微机故障录波装置日益普及, 性能不断改进, 完全可以满足 110 kV 及以上变电站的运行需求。然而, 出于节省成本、降低设计复杂度考虑, 对于 110 kV 及以下的非枢纽变电站往往不单独配置集中式的微机故障录波装置, 这对于分析微机保护的动作用, 改进微机保护缺陷十分不利^[1-2]。为了在一定程度上解决这一问题, 充分利用微机保护的存储功能, 目前大多数厂家的微机保护装置都带有

故障录波功能。根据产品应用场合不同, 装置录波功能的繁简程度差别很大, 这种分布式实现的故障录波功能在变压器主后备一体化的成套保护中具有典型意义。集中式故障录波装置以硬盘为存储介质可直接将录波数据存成文件, 微机保护装置此前受到存储容量及操作系统的限制不便于直接采用文件系统, 只能将录波数据以数组方式存储, 用维护软件将录波数据读取后转存成文件。本文以实现变压器微机保护中的故障录波功能为目的, 详细论述了在微机保护装置中实现 Comtrade 格式录波文件直接存储, 并通过 FTP 协议传输录波文件等新方法。

1 嵌入式软硬件平台中文件系统的实现

嵌入式应用中一般不需要文件系统的支持，但对于复杂应用场合，特别是采用嵌入式以太网后，利用文件系统实现信息共享具有独特的优越性。装置参数及配置信息可以存储成文件形式，方便地实现装置的可配置和可组态。随着存储器容量的增大和价格的下降（本开发实例采用2 MBytes的RAM和8 MBytes的FLASH），直接在装置上利用文件系统存储录波数据成为可能，目前主流的嵌入式实时操作系统也都支持多种文件系统的访问。

FAT、NTFS等文件系统是大家比较熟悉的，此外，还有以下常用文件系统^[3]：cdromFS；tapeFs；rawFs；dosFs；TrueFFS。本装置用到了dosFs（与MS-DOS操作系统兼容并考虑了实时应用需求的文件系统）和TrueFFS（建立在FLASH芯片上的文件系统）两种文件系统，这两种文件系统都可为VxWorks所支持。

1.1 VxWorks操作系统实现下RAM文件系统

RAM存储器可以被CPU随机读写，在其上建立dosFs文件系统最简单实用。RAM中的dosFs文件系统既可在系统启动时进行驱动程序初始化，也可在使用时直接创建。需要包含相关头文件.\ramDrv.h和.\dosFsLib.h，创建时首先调用ramDevCreate()函数建立RAM虚拟磁盘，同时指明RAM文件系统基地址及文件系统容量；然后调用dosFsDevInit()、dosFsInit()、dosFsVolFormat()函数进行dosFs文件系统的建立、初始化和格式化，之后就可以使用标准C语言库中的文件操作函数fopen()、fwrite()、fclose()等进行操作了。

1.2 VxWorks操作系统下实现FLASH文件系统^[4]

FLASH芯片的擦除、写入操作过程繁琐，需要使用特殊的FLASH驱动程序。TrueFFS文件系统中增加了内存驱动层(MTD)，完成FLASH的底层编程(读、写、擦除、识别等)。对上层用户而言，仍然可以像使用RAM文件系统一样通过标准C语言库函数进行文件操作。

在VxWorks中建立TrueFFS文件系统，首先要在BSP中增加sysTffs.c、tffsConfig.c和wamdmtd.c等三个文件，主要完成绑定MTD层，指明FLASH芯片型号，关联驱动函数等工作以供TrueFFs文件系调用。在config.h文件中增加宏定义INCLUDE_TFFS。系统启动时首先调用tffsDevFormat()函数格式化FLASH，然后调用tffsDevCreate()与dosFsDevInit()来创建TrueFFS设备，并在该设备上加载dosFs文件系统，接下来就可以和RAM中的文件系统一样的访问了。

2 Comtrade录波功能在变压器保护中设计

2.1 Comtrade标准的基本要求

COMTRADE（暂态数据交换通用格式）标准^[5]，用来规范各种不同来源的暂态数据格式，实现统一数据交换。图1给出了Comtrade标准规定的文件结构及各文件属性。配置文件提供解释数据文件所必须的信息，例如通道类型，模拟、数字通道信息，触发时标，采样速率等；信息文件中的专用区可用于不同厂家进行功能扩展。

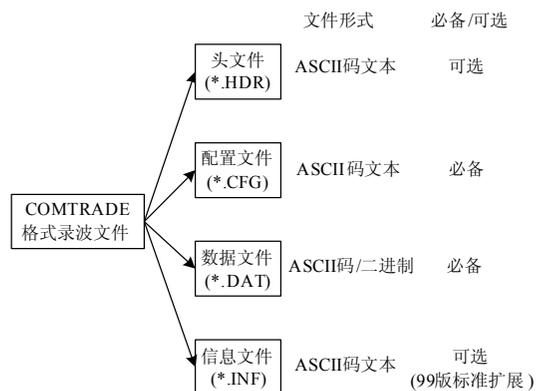


图1 Comtrade标准录波文件结构及文件属性

Fig.1 Architecture and attribute of COMTRADE data files

2.2 变压器成套保护装置中录波功能设计

录波功能设计如下：

a. 录波的启动。故障录波可以由以下事件触发：起动元件动作、开关量变位、强制录波。故障录波触发后录取触发前3个周波及触发后17个周波的采样值。为了减少占用内存，当起动元件动作后如果所有已投入的保护元件均未进入动作区，则录取前10周波后一直等待保护动作后继续录波，这样记录20周波的数据，最长可反映长达10 s的动态过程，以满足分析系统扰动需要。

b. 模拟量通道。在变压器主后备一体化的成套保护装置中最多可实现6侧差动、5侧后备和Z型变保护，可以直接采集多达45路模拟量，录波数据中对每1路模拟量都录取20周波，数据文件采用二进制格式存放，减少内存耗费。

c. 数字量通道。实现分布式故障录波最重要的用途是分析保护的动作情况，因此将所有保护元件的动作标志存储成数字量，在Comtrade数据文件中以数字量通道的形式保存。采用二进制文件可以对数字量进行压缩，共录取96路数字量通道，可以反映全部保护元件的动作情况。保存全部模拟量和数字量的数据文件大约60 KBytes。

d. 录波扩展信息。除了Comtrade标准要求的录

波数据外,对于分析保护动作行为有重要参考意义的补充信息在信息文件中的专用区予以扩展保存,主要包括:频率、保护压板状态、保护动作和返回时模拟量的有效值等。

e. 录波数据文件容量。按照上述设计的录波功能,每组完整的Comtrade录波数据共3个文件,大约占用65 KBytes存储空间,在掉电保存的RAM可以轻松保存20组以上。进一步地可以在RAM中存储到一定数量后转存到FLASH的文件系统中,这样可以保存的录波数据更多,也更安全。

3 录波文件的传输方案

3.1 录波传输协议及方案^[6-7]

录波数据存储微机保护装置中,需要进行远方传输,以进一步对数据进行分析。最早的录波数据传输方案是通过装置的维护串口,以厂家自定义的格式传输到PC机上,在PC机上开发出数据分析软件,对录波数据进行分析,进而分析保护装置动作行为是否正确。这种方案传输速度慢,而且基本上不能将录波数据共享给用户,仅能作为厂家分析之用。

随着以太网和IEC-103/104协议和IEC61850协议的广泛使用,扰动数据传输成为这些协议的一个基本服务。IEC-103/104协议传输信息后依然需要在后台机上转存成录波文件的形式;IEC61850协议虽然支持文件传输模型,然而存在所需带宽大、传输效率较低的问题,会长时间占用规约通道,延迟其他低优先级的信息的传输。

3.2 基于FTP协议的录波文件传输方案

新的录波文件传输方案采用以太网文件传输协议(FTP)。在装置上VxWorks操作系统中增添FTP服务器组件(见图2),系统启动FTP服务器任务后,

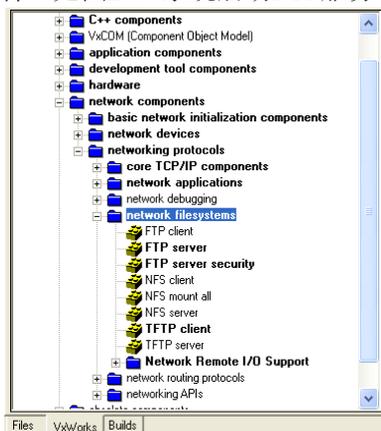


图2 VxWorks中的FTP服务器组件

Fig.2 FTP server component of VxWorks OS

后台PC机可以通过以太网的FTP客户端软件直接登录装置的FTP服务器,实现通用功能,包括:修改删除移动文件名和文件夹名;上传和下载文件;创建列写目录等。在PC机上分别使用IE、LeapFTP、FlashFXP等FTP客户端软件连接,均能可靠传输文件,与访问互联网上的通用FTP服务器完全相同。

4 装置中录波功能实现及性能分析

图3描述了系统启动的过程:在完成硬件自检及驱动程序的初始化后,启动VxWorks操作系统,建立多任务环境,在根任务中进行文件系统的初始化,通过本文第1.2节及1.3节的步骤分别完成RAM和FLASH中文件系统的建立和格式化,最后启动FTP服务器任务,随时响应FTP客户端的连接请求。

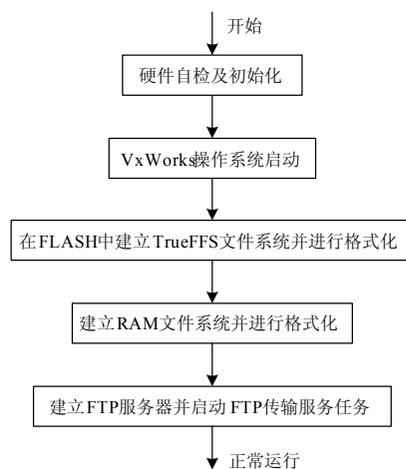


图3 系统启动流程图

Fig.3 Flow chart of system startup

一次完整的故障录波启动、文件记录和数据传输过程如图4所示。在AD完成数据采集后由故障启动模块进行故障判断,如检测到系统有扰动随即启动录波模块,将采集到的模拟量数据保存到录波数据缓存区,录波模块与保护逻辑判断模块相配合分别记录启动、跳闸、重合闸、后加速等不同时间段的模拟量数据到缓存区(图4中的过程①);在记录完成1次完整的系统扰动后,由录波模块将数据缓存区中的录波头信息和模拟量、数字量数据按照Comtrade标准要求写入相应的文件Gzlbfile1.*(图4中的过程②),至此完成录波文件的生成过程;故障信息子站上的FTP客户端软件连接到微机保护的FTP服务器后进行录波文件目录的列写和查询后选择需要传输的文件后启动传输(图4中的过程③);启动传输后FTP服务器访问RAM文件系统找到客户端请求的文件提交给客户端(图4中的过程③、④)。

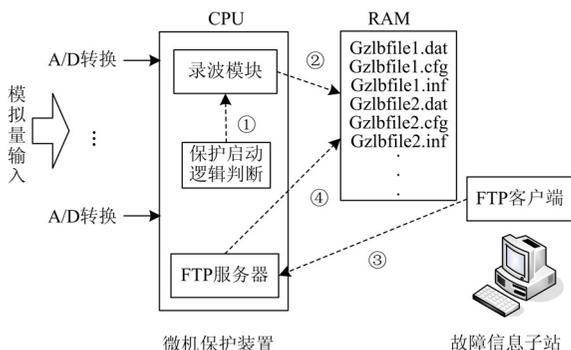


图4 录波功能实现过程示意图

Fig.4 Sketch map of recording data function

在RTDS试验中发生变压器区内单相接地故障时录取的数据文件Gzlbfile1.*，利用通用Comtrade文件分析软件打开波形如图5所示，通过该分析软件可对录波数据进行序分量、谐波含量、制动区/动作区、阻抗等各种分析。

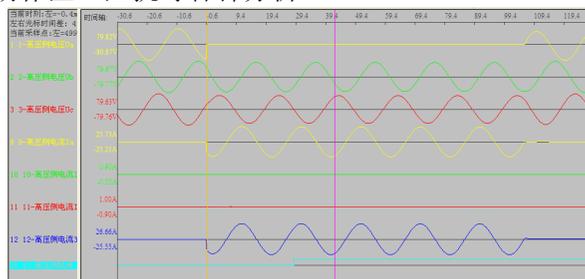


图5 实际录波文件的图形化显示

Fig.5 Graphics display of fault record file

使用VxWorks提供的计时函数测试了故障信息子站索要同一个录波数据文件时，采用不同传输方法所耗费的时间。由于在多任务环境中任务优先级会对传输时间有较大影响，所以将串口任务、IEC-103/104规约任务和FTP文件传输任务的优先级都设为120。在有遥信变位上传、有保护事项上传或故障启动等不同条件下多次测试传输文件的耗时，测试结果参见表1，可见FTP传输方式效率最高，同等条件下占用信道时间最短。

表1 录波数据文件传输时间比较

Tab.1 Time-consuming comparison of data files transmission

	串口传输 19 200 bps	IEC103/104规约 100Base-T	FTP传输 100Base-T
最长时间/s	94.220	15.066	2.003
最短时间/s	60.451	12.997	0.877
平均时间/s	70.022	13.445	1.223

5 结语

利用微机保护的存储功能，实现分布式的故障

录波已经非常普遍，但是在实现的过程中还存在着一些欠缺，例如录波数据在装置中的存储格式不统一，需要后台软件转存成Comtrade格式文件，数据传输协议速度慢等。针对这些问题，引入VxWorks的文件系统，在装置中将录波数据直接存储成Comtrade格式的二进制文件，避免了后续数据处理，真正实现装置级的Comtrade兼容格式录波功能。在录波文件的传输上利用VxWorks实现嵌入式的FTP服务器功能，使得任何接入以太网的PC机都可以通过FTP客户端软件访问装置中存储的录波文件。避免了通过远动通信规约传输扰动数据时速度慢，不通用的缺点。

引入这些新的实现技术后，使得传统的分布式故障录波功能更加实用，为分析变压器成套微机保护装置的動作行为提供了可靠数据。具备该功能的微机保护装置已经投入现场应用，可方便地将录波数据共享给运行部门，取得了良好的运行效果。

参考文献

- [1] 杨洋, 唐睿, 吕飞鹏. 基于COMTRADE格式的故障录波分析软件设计[J]. 继电器, 2008, 36(7): 67-70, 74. YANG Yang, TANG Rui, Lü Fei-peng. Fault recording analysis software design based on COMTRADE format [J]. Relay, 2008, 36(7):67-70,74.
- [2] 陈小林, 罗毅, 王伟平, 等. 基于故障录波数据的保护特性分析方法及其实现[J]. 电网技术, 2005, 29(18): 70-74. CHEN Xiao-lin, LUO Yi, WANG Wei-ping, et al. Protection characteristic analysis method based on recorded fault data and its implementation[J]. Power System Technology, 2005, 29(18): 70-74.
- [3] 陈连玉, 李会榜, 侯元文. 基于VxWorks和MC68332的变电站测控系统驱动程序设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 76-80, 91. CHEN Lian-yu, LI Hui-bang, HOU Yuan-wen. Driver design of measurement-control system of power substation based on MC68332 and VxWorks[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(23): 76-80, 91.
- [4] 乔峰, 林平分, YU John. 基于VxWorks的Flash文件系统 [J]. 北京工业大学学报, 2005,31(5): 543-548. QIAO Feng, LIN Ping-fen, YU John. Flash file system based on VxWorks [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2005, 31(5): 543-548.
- [5] Power Systems Relay Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems[S]. New York, USA: 1999.
- [6] 赵渊. 录波数据文件的有损压缩传送及文件传输协议的选择研究[J]. 继电器, 2002, 30(10): 33-36, 54.

(下转第 123 页 continued on page 123)

改方案正在南方电网实验室做动态模拟实验, 相信能完全解决该问题。

7 总结

本文通过对云广特高压直流输电工程在分系统调试、站系统调试和系统调试等各阶段中交、直流站控系统在软件功能设计方面暴露出来的一些问题进行了详细的分析, 提出了针对性的解决办法, 并得到了工程实际运行的验证和考验。另外, 对于电气原理设计方面存在的一些考虑不周到的地方, 也提出了自己的合理建议。对于接下来的云广二回等其他特高压直流输电工程有极大的借鉴意义和参考价值。

参考文献

- [1] 王久玲. 南方电网的实践与展望[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2 (1): 1-4.
WANG Jiu-ling. The practice and prospect of China southern power grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2 (1): 1-4.
- [2] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 122-136.
ZHAO Wan-jun. HVDC transmission engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004: 122-136.
- [3] 戴熙杰. 直流输电基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [4] 云广工程交流站控系统设计规范书, ED4 371 CS-C[S]. 2007.
Yunnan-Guangdong line ± 800 kV DC transmission project C/P design specification, ED4 371 CS-C[S]. 2007.
- [5] 云广工程直流站控系统设计规范书, ED4 321 CS-C[S]. 2007.
Yunnan-Guangdong line ± 800 kV DC transmission project C/P design specification, ED4 321 CS-C[S]. 2007.
- [6] 云广工程直流极控系统设计规范书, ED4 341 CS-C[S]. 2007.
Yunnan-Guangdong line ± 800 kV DC transmission project C/P design specification, ED4 341 CS-C[S]. 2007. 11. 9.
- [7] 李少华, 刘涛, 苏匀, 等. ± 800 kV 特高压直流输电系统解锁/闭锁研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 84-87.
LI Shao-hua, LIU Tao, SU Yun, et al. Research on de-blocking/blocking operation in ± 800 kV UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 84-87.
- [8] 孙巍峰, 张清枝, 冯广涛, 等. 特高压直流换流站就地控制功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (20): 62-65.
SUN Wei-feng, ZHANG Qing-zhi, FENG Guang-tao, et al. Function design of local control in UHVDC[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (20): 62-65.
- [9] 周君文, 刘涛, 李少华. 云广特高压工程控制系统功能分步研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 70-75.
ZHOU Jun-wen, LIU-tao, LI Shao-hua. Research on control functions in UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(10): 70-75.

收稿日期: 2010-03-10; 修回日期: 2010-05-20

作者简介:

张爱玲 (1968-), 女, 本科, 高级工程师, 从事高压直流输电控制保护系统的研究及工程管理工作;

姚致清 (1960-), 男, 博士研究生, 教授级高级工程师, 从事直流输电控制保护系统研究工作;

涂仁川 (1973-), 男, 高级工程师, 从事高压直流输电系统软件设计工作。E-mail: turenchuan@xjgc.com

(上接第 116 页 continued from page 116)

ZHAO Yuan. Research on transmission of fault recorder file based on lossy compression method and the selection of file transfer protocol[J]. Relay, 2002, 30(10): 33-36, 54.

- [7] 苏忠阳. 录波数据的分通道存储方式及其采用 IEC61850 传输的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(7): 101-104.

SU Zhong-yang. Channel split saving method of fault wave data and its application of IEC61850 file transmission[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(7): 101-104.

收稿日期: 2010-03-08; 修回日期: 2010-06-20

作者简介:

刘益青 (1977-), 男, 工程师, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统微机保护与自动装置, 数字化变电站; E-mail: liuyiqing@ieslab.com.cn

高伟聪 (1977-), 女, 讲师, 本科, 主要研究方向为嵌入式微处理器技术在微机保护中的应用;

孙发恩 (1983-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为 IEC61850 标准在数字化变电站中的应用。