

故障录波器发展历程及现状分析

陈昊琳¹, 张国庆², 郭志忠²

(1. 中国建筑西南设计研究院有限公司, 四川 成都 610000; 2. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 主要从故障录波器的核心控制器和结构两个方面, 对故障录波器的发展历程进行分析总结, 介绍了故障录波器在各个发展阶段的特点。重点讨论了故障录波器的研究现状, 阐明了数字化分布式故障录波器在数字化变电站中的位置, 并给出了当前最新数字化分布式故障录波器的模块构成, 主要针对其数据采集模块与管理分析模块的结构和功能进行了分析介绍。

关键词: 故障录波器; DSP; 嵌入式操作系统; 分布式故障录波器; 数字化变电站; 数字化分布式故障录波器

Development and present situation analysis of fault recorder

CHEN Hao-lin¹, ZHANG Guo-qing², GUO Zhi-zhong²

(1. China Southwest Architectural Design and Research Institute CO., LTD, Chengdu 610000, China;

2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The paper analyzes and summarizes the development of fault recorder mainly in two ways which are the core controller and the structure of the fault recorder. And the fault recorder features in every stage are briefly introduced. It focuses on the present situation analysis of fault recorder, clarifies the position of the digital distributed fault recorder in digital substation, and describes the module structure of the latest digital distributed fault recorder. The structure and function of data acquisition module and management analysis module of digital distributed fault recorder are discussed.

Key words: fault recorder; DSP; embedded operation system; distributed fault recorder; digital substation; digital distributed fault recorder

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0148-05

0 引言

电力系统故障录波器是研究现代电网的基础^[1], 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器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。电力系统故障录波器已成为电力系统记录动态过程必不可少的精密设备, 其主要任务是记录系统大扰动如短路故障、系统振荡、频率崩溃、电压崩溃等发生大扰动后引起的系统电压、电流及其导出量, 如系统有功功率、无功功率及系统频率的变化全过程尤为重要^[1-5]。

220~500 kV 电压等级的系统由于其运行涉及系统的稳定及系统电压和频率的崩溃等系统级的异常情况, 必须安装故障录波装置。本文将介绍故障录波器的重要发展阶段, 并重点讨论最新故障录波器——数字化分布式故障录波器的研究现状。

1 故障录波器的发展历程

1.1 核心控制器的变革

故障录波器的基本结构如图1所示, 主要包括采集模块和管理分析模块。

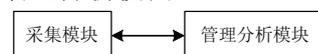


图1 故障录波器基本结构

Fig.1 Basic structure of fault recorder

采集模块主要完成录波数据的采集、分析计算、录波启动判别等; 录波管理分析单元主要完成数据的记录、分析和管理的、故障类型分析、故障定位和故障再现等功能。装置的原理框图如图2所示。

第一阶段: 图2中核心控制器1和2均为单片机, 可称为单片机型故障录波器^[5], 其技术特点主要有:

(1) 采用单片机作为主要控制器控制数据的动态不间断采集, 以及故障后的数据突变计算和控制外接设备等。

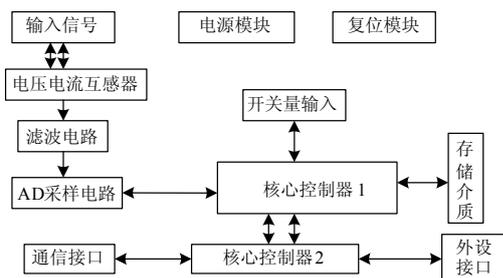


图2 故障录波器的原理框图

Fig.2 Function diagram of fault recorder

(2) 采用高速的A/D转换, 以保证高精度、高密度的数据采集及其实时性。

(3) 可采用RAM等作为数据记录介质。对比更早期用感光胶片作为记录介质的光电式故障录波器, 可以更快地记录故障发生时的电压电流波形图。

(4) 系统具有扩展性。

(5) 系统具有通用性。可安装于任何一个变电站, 基本不需要改动硬件和软件。

但由于单片机的指令执行速度慢, 总线带宽窄, 不能满足系统实时性的要求, 且单片机不具有DMA数据传输方式, 限制了传输速度等缺点, 随着电力网络的发展一般单片机已不能满足系统要求。

第二阶段: 图2中核心控制器1和核心控制器2有一个或全部为DSP, 可称为DSP故障录波器。

数字信号处理芯片(DSP), 作为一种为达到快速数学运算而特殊设计的新型微处理器, 具有相当强大的数据处理能力^[6]。目前, DSP已经广泛应用于高速自动控制、通信技术、图象处理、数学家电等众多领域, 为数字信号处理提供了高效而可靠的硬件基础。另外, DSP可以不再单纯用作数据采集, 它还同时能肩负主要运算和控制功能。因此DSP与高速A/D以及现代计算机技术的结合, 将进一步提高和完善微机保护自动装置以及故障录波等对实时要求很高的装置。

但是DSP计算能力虽然强大, 控制能力却相对不足, 无法移植功能强大的操作系统, 需要自己制定TCP/IP协议栈以支持网络通信, 工程量且不便日后的维护升级, 这在完整的故障录波系统中不仅影响到DSP的处理速度, 也难以胜任更高精度和实时性的要求。

第三阶段: 图2中核心控制器1为DSP, 核心控制器2为ARM处理器。

嵌入式系统具有的特点是: 高可靠性, 软硬件结构高度可裁剪性, 并且在恶劣的环境或突然断电的情况下, 系统仍然能够正常工作。另外, 采用嵌入式操作系统可以获得很好的实时处理能力。ARM

在数字信号处理方面和DSP在系统控制方面都存在其弱点^[8], 因此采用ARM和DSP的双CPU方案, 为复杂的信号处理算法提供硬件支持, 同时具备强大的任务处理能力, 形成相对精简优化的软硬件结构^[12]。同前两个阶段的故障录波器相比, 具有录波可靠性高、录波容量大、录波时间长、记录次数多、操作简便、界面友好、维护方便、获取波形快速方便、录波图清晰准确且体积小巧便携等优点^[13]。

1.2 结构的变革

第一阶段: 专用集中型故障录波器。

在变电站和发电厂内采用集中式的故障录波器^[14]。由专门的录波装置采集重要的电流、电压信号和继电保护、安全自动装置的动作触点、断路器辅助触点以及通信通道信号等的波形等, 然后进行故障判断以及简单的故障分析, 并将故障记录数据和初步分析结果送到远方录波主站进行进一步的处理, 结构如图3所示。



图3 集中型故障录波结构

Fig.3 Structure of concentrated fault recorder

这种集中式录波器在国内外电力系统中的研究和应用已有多年历史, 技术相对成熟, 目前已经广泛运行于国内各高压变电站和大型发电厂中。但是, 随着电力系统的快速发展, 特别是变电站自动化技术的不断进步, 现有的集中式录波的一些缺点被渐渐的暴露出来, 其结构配置和组网复杂, 难以集成到现有的自动化系统中。集中式故障录波器由于受到系统本身结构的限制, 无论模拟量的输入、开关量的输入、还是故障数据存储容量, 其冗余度小, 不利于增容和升级。

第二阶段: 微机继电保护装置兼有录波功能。

将保护动作前后一段时间内的相关电参数波形保存下来, 传给当地录波主站, 用于分析220 kV及以下馈电线路的故障^[14], 结构如图4所示。

这种方法实际是介于故障录波和事故追忆之间的一种功能, 虽然许多厂家称之为故障录波, 但它不能满足国家标准要求, 不能同步记录故障线路和设备以外的其它线路和设备的电参数波形, 所以不能用于输电网和发电机的故障录波。



图4 微机继电保护装置结构

Fig.4 Structure of the microcomputer relay protection device

第三阶段：分布式录波器。

分布式故障录波器是指其录波采集单元分布于各个电气间隔或各个变电站，它们和录波分析单元通过通信网络连接成一个有机的整体，共同完成电力系统或其中一部分的故障录波和分析功能^[14]。结构如图5所示。

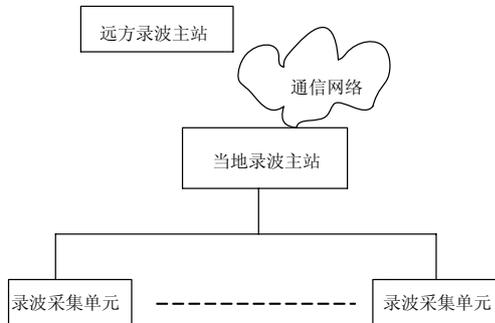


图5 分布式故障录波器结构

Fig.5 Structure of a distributed fault recorder

分布式录波系统利用现代网络通信技术，实现了各个厂站的录波采集单元和分析单元的数据共享和相互协调控制，避免了局部故障而引起整套录波器退出运行，充分发挥了录波数据在电力系统故障分析和自动监控方面的作用，克服了传统的集中式录波装置的诸多缺点，是当今录波装置的发展方向。

2 故障录波器最新研究

适应计算机技术和网络通信技术的迅猛发展，数字化变电站已成为变电站自动化技术的发展方向^[15-16]。传统的电力故障录波器对模拟量和开关量的采集需要通过硬电缆接入装置，当系统需要扩容或需要改变采集的对象时往往很不灵活。而数字化变电站遵循 IEC61850《变电站通信网络和系统》标准^[7]，一次设备常规的强电模拟信号测量电缆和控制电缆被数字光纤所取代，即模拟量和开关量已经网络化；过程层的合并单元^[17-18]，间隔层的二次保护、测量、控制单元，站控层的后台软件也已日益开发完善。数字化变电站实现了过程层设备数字化、间隔层设备网络化。

由第1部分故障录波器的发展历程可以得到，

利用最先进的核心控制器和适应数字化网络发展需要的分布式故障录波器能满足数字化变电站对故障录波器的要求，因此涌现出了数字化的分布式故障录波器，它是数字化变电站和录波器不断发展的共同产物。显然，数字化分布式故障录波器已经成为故障录波器的研究新点和热点，它处于数字化变电站间隔层^[19]，如图6所示。

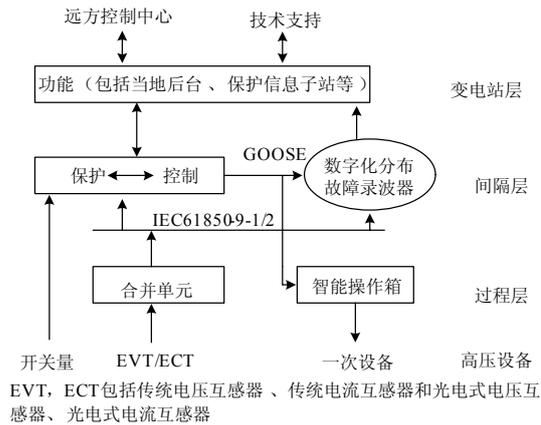


图6 数字化分布式故障录波器在数字化变电站中位置

Fig.6 Disposition of the digital distributed fault recorder in digital substation

数字化分布式故障录波器结构也如图1所示，分为采集模块和管理分析模块。采集模块结构如图7所示，它将接收和解析由合并单元送来的 IEC 61850-9-1/2 报文和由保护控制单元的面向通用对象的变电站事件（GOOSE）报文^[19]，分别提取采样值数据和开关量数据，另外采集模块具有数据同步、故障录波启动判别、数据存储以及数据通信等功能，其核心控制器多选用 DSP 或 ARM 处理器。

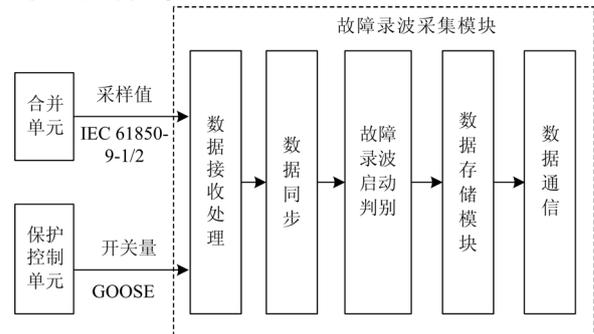


图7 数字化分布式故障录波器采集模块结构

Fig.7 Structure of data acquisition module of digital distributed fault recorder

数字化分布式故障录波器的管理分析模块结构如图8所示。它主要实现故障启动定值交互管理，故障数据格式转换，故障录波波形分析及数据通信等功能，这里的数据通信与上述录波采集模块中数

据通信相呼应, 利用以太网通信技术完成。管理分析模块的核心控制器多采用 ARM 处理器。

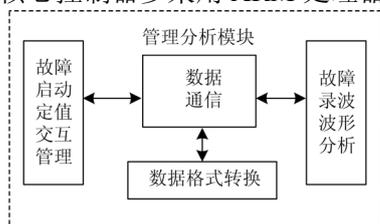


图 8 数字化分布式故障录波器管理分析模块结构

Fig.8 Structure of management analysis module of digital distributed fault recorder

数字化分布式故障录波器的技术特点有:

(1) 全面支持 IEC 61850 协议^[15]。实现真正数字化故障录波, 设备之间的连接全部采用高速网络通信, 并且通过网络真正实现数据共享、资源共享。

(2) 通信技术。按照 IEC 61850 标准的以太网通信技术。

(3) 同步技术。

(4) 故障录波启动技术, 特别是各录波采集单元协调启动技术。

(5) 数据存储技术等。

3 结束语

高水平的电网事故和继电保护动作行为分析需要高性能的故障录波器。本文首先从故障录波器的核心控制器和结构两方面介绍了故障录波器的发展历程, 之后介绍了在当前数字化变电站要求下出现的新型故障录波器——数字化分布式故障录波器, 重点讨论其在数字化变电站中的位置和主要模块构成, 说明了采集模块和管理分析模块实现的功能。通过分析, 得到具有强大网络功能和通信能力并拥有丰富后台分析软件支持的数字化分布式故障录波器, 必将取代现有的传统录波器, 成为市场的主流, 实现故障信息管理的数字化、网络化和规范化。

参考文献

- [1] 梁合庆. 变电站综合自动化中的故障录波装置[A]. 变电站综合自动化研讨会论文集[C]. 南京: 1995. 201-202.
LIANG He-qing. Fault Recording Unit in Synthetic Automation of Substation[A]. in: Paper on Synthetic Automation of Substation in Research and Discussion Meeting[C]. Nanjing: 1995. 201-202.
- [2] 赵自刚, 赵春雷. 国产录波器现状分析及新型录波器展望[J]. 电网技术, 1999, 23 (3): 44-50.
ZHAO Zi-gang, ZHAO Chun-lei. Present Situation

- Analysis of Domestic Fault Recorder and Prospect for New Type of Fault Recorder[J]. Power System Technology, 1999, 23 (3): 44-50.
- [3] 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, 21 (7): 27-31.
LUO Jian, DING Wang-lin, TANG Tao. Comparison of Domestic and Foreign Fault Recorder[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (7): 27-31.
- [4] 孙淑东. 电力系统故障录波器装置使用中的几个问题[J]. 继电器, 2000, 28 (8): 59-61.
SUN Shu-dong. Some Problem in the Use of Power System Fault Recorders[J]. Relay, 2000, 28 (8): 59-61.
- [5] 苏宏勋, 曹全喜, 白菊花. 故障录波器现状及一种新方案的探析[J]. 继电器, 1997, 25 (6): 33-38.
SU Hong-xun, CAO Quan-xi, BAI Ju-hua. Present Situation of Fault Recorder and Analysis of a New Project[J]. Relay, 1997, 25 (6): 33-38.
- [6] 孔新. 在故障分析系统中前置故障录波装置的研制(硕士学位论文)[D]. 西安: 线西安交通大学, 1997.
KONG Xin. The Researching and Development of Front Device of Fault Recorder, Thesis[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1997.
- [7] 邱革非, 等. 基于 DSP 的故障录波测距装置的底层开发[J]. 继电器, 2005, 33 (13): 73-76.
QIU Ge-fei, et al. Base Part Development of Distance Measurement Device for Fault Recorder Based on DSP[J]. Relay, 2005, 33 (13): 73-76.
- [8] 骆健, 丁网林, 等. 一种新型故障录波系统的实现[J]. 电网技术, 2003, 27 (3): 78-82.
LUO Jian, DING Wang-lin, et al. Implementation of a New Kind of Fault Recorder System[J]. Power System Technology, 2003, 27 (3): 78-82.
- [9] 陈佳胜, 曾克娥, 孙扬声, 等. 大型发变组故障录波装置分析软件的研制[J]. 电网技术, 2002, 26 (5): 76-79.
CHEN Jia-sheng, ZENG Ke-e, SUN Yang-sheng, et al. Development of Analysis Software of Fault Recorder for High Power Generator-transformer Bank[J]. Power System Technology, 2002, 26 (5): 76-79.
- [10] 余黎煌, 栾新军, 张石, 等. 一种新型电力故障录波器的研究与实现[J]. 电测与仪表, 2007, 44 (8): 15-19.
SHE Li-huang, LUAN Xin-jun, ZHANG Shi, et al. Research and Application of a New Electrical Fault Recorder[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44 (8): 15-19.
- [11] 胡林献, 杜万森, 李剑新. 基于 DSP+MCU 技术的新型故障录波器[J]. 继电器, 2005, 34 (9): 54-57.

- HU Lin-xian, DU Wan-sen, LI Jian-xin. A New Fault Recorder Based on DSP+MCU Double CPUS[J]. Relay, 2005, 34 (9): 54-57.
- [12] 张延冬, 焦彦军, 张举. 基于嵌入式系统的故障录波器设计[J]. 继电器, 2005, 33 (3): 62-65.
ZHANG Yan-dong, JIAO Yan-jun, ZHANG Ju. Design of Fault Recorder Based on Embedded System[J]. Relay, 2005, 33 (3): 62-65.
- [13] 严桂, 贾存良, 黄文芳. 基于嵌入式系统的电力故障录波器[J]. 仪表技术与传感器, 2008(1): 47-49.
YAN Gui, JIA Cun-liang, HUANG Wen-fang. Power Fault Recorder Based on Embedded System[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(1): 47-49.
- [14] 罗毅. 分布式故障录波系统[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(20): 59-62.
LUO Yi. Distributed Fault Recorder System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(20): 59-62.
- [15] 鲁国刚, 刘骥, 张长银. 变电站的数字化技术发展[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 499-504.
LU Guo-gang, LIU Ji, ZHANG Chang-yin. The Technology Development of Substation Digitization[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 499-504.
- [16] 徐礼葆. 开放式数字化变电站自动化系统的讨论[J]. 继电器, 2004, 32 (6): 40-43.
XU Li-bao. Discussion of Open Digitalized Substation Automation System[J]. Relay, 2004, 32 (6): 40-43.
- [17] 刘青. 光学电流互感器对继电保护系统的影响研究[J]. 电网技术, 2005, 29 (1): 11-15.
- LIU Qing. Research on the Influence of Optical Current Transducer on Protective Relaying System[J]. Power System Technology, 2005, 29 (1): 11-15.
- [18] 梁晓兵, 周捷, 杨永标, 等. 基于 IEC 61850 的新型合并单元的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (7): 85-89.
LIANG Xiao-bing, ZHOU Jie, YANG Yong-biao, et al. Development of a New Type of Merging Unit Based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (7): 85-89.
- [19] 杨永标, 丁孝华, 黄国方, 等. 基于 IEC 61850 的数字化故障录波器的研制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (13): 58-61.
YANG Yong-biao, DING Xiao-hua, HUANG Guo-fang, et al. Development of Digital Fault Recorder Based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (13): 58-61.

收稿日期: 2009-03-20; 修回日期: 2009-10-12

作者简介:

陈昊琳 (1986-), 女, 硕士研究生, 从事光学技术及其在电力系统中应用与建筑电气方面的研究工作; E-mail: haolinchen_0@126.com

张国庆 (1969-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事光学技术及其在电力系统中应用与继电保护方面的研究工作;

郭志忠 (1961-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事光学技术及其在电力系统中应用以及电力系统分析与控制的研究工作。

(上接第 147 页 continued from page 147)

- WU Jun-ji, YANG Wei, GE Cheng, et al. Application of GSA-based Elbow Judgement on Bad-data Detection of Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(22): 23-28(in Chinese).
- [35] Korres G N, Contaxis G L. A Reduced Model for Bad Data Processing in State Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(2).
- [36] 高利军, 王辉, 张望. 个性化服务中自适应聚类算法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2007(12).
GAO Li-jun, WANG Hui, ZHANG Wang. Research on Automatically Clustering Algorithm in Web Personalize Service[J]. Microelectronics & Computer, 2007(12)(in Chinese).
- 收稿日期: 2009-00-00; 修回日期: 2009-00-00
- 作者简介:
- 刘莉 (1963-), 女, 教授, 博士后, 主要研究方向为电力系统分析与控制、配电自动化、智能技术在电力系统中的应用;
- 翟登辉 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统状态估计、智能技术在电力系统中的应用。E-mail: zdh11123@126.com