

# 暂态量保护开发平台的研究

张胜祥, 张保会, 段建东

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 介绍了一种由高速微机、信号源、高速数据采集卡、虚拟仪器开发语言 LabVIEW 与 CVI 构成的暂态量保护软硬件开发平台, 一台微机与信号源构成信号波形输出部分, 用以输出故障暂态信号; 两块采样频率为 MHz 级的数据采集卡与另一台微机构成暂态量保护部分, 用以数据采集和保护计算。EMTP 仿真数据和现场实录数据的测试表明, 该开发平台可以无畸变地再现故障暂态信号, 可以实时地进行数据采集和输电线边界保护的运算, 为暂态量保护的原理研究、算法试验、样机研制奠定了基础。

**关键词:** 暂态量保护; 高速数据采集; 实时; 软硬件平台

**中图分类号:** TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)15-0034-05

## 0 引言

目前在电力系统中广泛利用故障时工频分量的变化特征构成继电保护装置。为了快速切除输电线上任意点的故障, 普遍采用纵联保护方案, 需要比较输电线两端电气量的特征。传送和接收两端电气量特征的通信设备及通道成为继电保护装置的一个重要组成部分, 整套保护动作速度和可靠性取决于两端保护单元及通信的配合, 动作速度和可靠性难以再提高, 保护调试麻烦。

实际上, 故障暂态过程产生大量信息, 贯穿整个频域, 从直流、工频到高频, 故障暂态分量中所包含的故障信息远比工频分量多得多。如果提取暂态量中高频信号来构成保护有可能构成性能更好的保护——暂态量保护。暂态量保护就是“通过检测故障暂态产生的高频信号来实现传输线和电气设备的保护”。传统工频量保护中, 高频信号作为干扰信号滤掉, 而暂态量保护就是要利用这些高频分量。暂态量保护首先从故障信号中提取有用的高频信号, 利用专门的快速信号处理算法来进行故障判别。因此获取高频信号和从高频信号中提取所需信号特征就是暂态量保护所要解决的问题<sup>[1]</sup>。

随着微电子和计算机技术的发展, 实现高速 (MHz 级) 的数据采集和处理已不存在困难, 高速数据处理芯片 DSP 性能日益提高, 价格日益下降。小波理论和变换算法日趋成熟, 对信号进行时频谱分析、奇异性检测、多尺度边缘检测等已相当方便。提

取故障暂态信息中区内、外故障的差异不再像上世纪七八十年代那样困难, 实现仅利用单端故障暂态信息的输电线路边界保护已具备条件。要开发的硬件平台就是在本课题组的研究成果上, 利用高速数据采集及小波分析技术来构建一个暂态量保护的辅助开发、测试平台, 来进行一些保护算法测试、具体实现, 对算法进行进一步研究, 对暂态量保护硬件实现进行一些有益的探索。

## 1 硬件平台构成

该平台由两台高性能微机和信号源、两块高速同步采集卡构成: 一台微机和信号源构成故障波形输出部分, 能输出电力系统故障时某线路的三相电流、电压; 另一台微机和两块采集卡构成暂态量保护部分, 进行保护计算, 两部分构成一个保护开发系统。另外如果做一块信号调理板, 还可以采集现场中的电流电压。若加上继电器卡, 则可以模拟保护的出口信号。

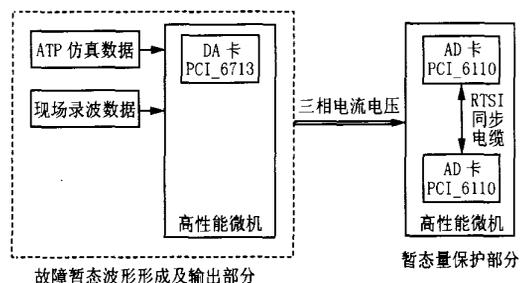


图 1 硬件平台构成示意图

Fig. 1 Configuration of the hardware platform

### 1.1 故障暂态波形形成及输出

信号源能够按照测试的要求, 输出相当于继电

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50277027); 中华电力教育基金会许继奖教金资助项目

保护安装处的三相电压、电流模拟量波形(输出模拟信号都是电压波形,电流波形也是用电压波形表示)。输出波形的原始数据可以是现场录波数据或是EMTP等工具仿真数据,用来模拟电力系统故障暂态过程。

信号源(DA卡)是NI公司生产的PCI-6713,其主要参数:精度12位;8模拟输出通道;最高数据更新率(updaterate),单通道可以达到1 M samples/s,8通道同时工作时可达到每通道750 k samples/s(即可以把750 kHz采样的数据还原为原始波形)。

故障数据存放在硬盘上,信号源控制程序把数据读入内存,进行高通滤波和数据折算,然后送给信号源输出。故障波形产生流程如图2所示。

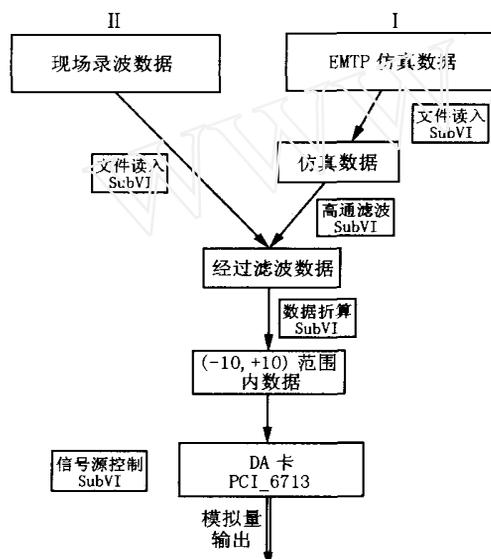


图2 故障波形产生流程图

Fig. 2 Flow chart of the fault waveform generation

高频分量一般很小,对于有些故障不很严重的情况,高频分量相对于工频及低频的谐波分量更小。因为DA精度是12位,高频分量会“湮没”在低频分量里面,而暂态量保护在分析数据时主要分析其中的高频分量,为了保证高频分量的不失真,可以先把低频信号滤除,然后送给信号源卡产生波形。而行波录波装置数据一般已经过高通滤波,所以录波数据经过信号源卡输出不需要再加滤波器。

信号源控制程序是由LabVIEW编写。LabVIEW(laboratory virtual instrument engineering workbench 实验室虚拟仪器工程平台)是美国NI公司开发的虚拟仪器开发工具,它带有大量数据采集、分析、显示、存储的函数库以及众多的程序开发工具,还通过动态链接库DLL、共享库函数、Active X等提供了大量的

外部代码接口,是一种高效的开发工具<sup>[2]</sup>。同时LabVIEW是一种数据流驱动语言,简单地说,就是只有当所有的输入数据都准备好的时候,一个节点才能执行其功能,当节点执行完后,它所有的输出端口都会产生一个数据值。用这种方式开发的程序,要充分掌握数据流向便可以开发出高效的程序。图中深颜色箭头代表数据流,箭头旁的方块代表子虚拟仪器模块(SubVI),见图2。

## 1.2 暂态量保护部分

暂态量保护部分是由一台PC机及PC机控制的两块PCI-6110(NI公司)同步采集卡构成。每块数据采集卡有4个模拟输入通道,A/D精度为12位,可以同步采样,每通道采样最高可以达到5 MHz。

因为此部分是模拟暂态量保护,要满足保护的实时性要求,PC机应选用具有较高主频的CPU。保护启动和保护计算用C语言编写;为了保证故障计算时数据采集能连续进行,需要采用多线程编程技术。选用了NI公司的CVI(C for Virtual Instrument,标准C语言内核)作为开发环境,它不仅有大量可以利用的硬件控制函数(采集卡初始化、采集卡同步、采集卡触发等函数),而且可以很好地和C语言编写的数据处理算法结合<sup>[3,4]</sup>。程序流程图参见图3。

## 2 开发平台运行实验

暂态量包含的故障信息很多,利用不同信息量可以构成不同原理的暂态量保护,本文实验的是超高压输电线路单端暂态量保护。其主要原理:故障点所产生的电压、电流行波在经过母线、故障点等波阻抗不连续点时会产生行波的透、反射,特别是超高压输电线路的两端一般都装有阻波器,其波阻抗与输电线路的波阻抗有明显不同,区内外差别体现为在不同时间段内、不同频率分量的强度(谱功率密度)以及相频特性的不同。利用其单端故障暂态分量的变化特征,构成一种能可靠区分被保护的线路内部任意点故障的线路保护——边界保护<sup>[5~7]</sup>。本次实验主要初步验证硬件平台是否满足高速采集数据并保证高频分量不失真和保护能在很短的时间内可靠启动并满足实时快速计算的要求。

EMTP仿真系统如图4所示,导线为GQ300 \* 4,地线为LHGJ - 90 \* 2,线路选用频率相关模型加以模拟。保护安装在M处,保护CT安装在阻波器内侧。设定区内故障为距离母线M 100 km处的A相高阻(300  $\Omega$ )接地短路 $F_1$ ;区外故障为距离母线N 5 km处的A、B两相金属接地短路 $F_2$ 。

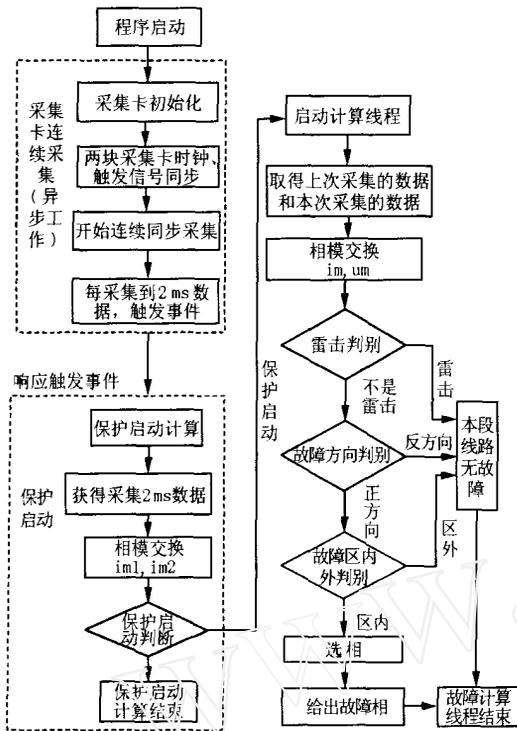


图3 数据采集及保护算法流程图

Fig. 3 Flow chart of the data acquisition and relay algorithm

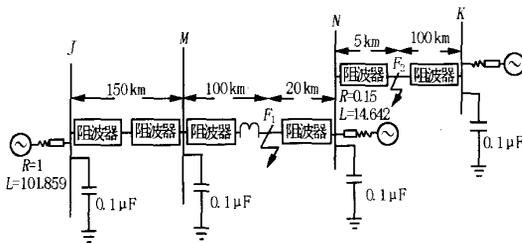


图4 EMTP 仿真 500 kV 系统接线图

Fig. 4 A 500 kV power system for EMTP simulation

EMTP 仿真数据采样率为 500 kHz, 三相电压、电流曲线如图 5 所示。仿真数据先进行 500 Hz 的高通滤波, 滤波后数据波形如图 6。经过滤波的数据进行折算, 然后以每通道 500 k/s 的速度送给信号源输出模拟波形, 采集卡以 500 k 每通道同步采集, 采集得来的数据波形如图 7 所示。

为了便于比较 EMTP 仿真数据与经过滤波和模/数、数/模转换后数据的精度。各取出 A 相电流故障时刻附近 500 点数据(见图 8, 故障前 160 点、故障后 340 点)进行频谱分析(用 LabVIEW 中 FFT Power Spectrum 分析)比较。从图 9 可以看出 EMTP 仿真数据功率谱与采集的数据(滤波后的数据与采集卡采集的数据有一个折算倍数关系, 为了比较这时采集

得来的数据, 频谱需要乘上折算的倍数)功率谱在 3 kHz ~ 125 kHz 误差小于 5%, 故障信号中的高频部分经过高通滤波和信号源输出没有失真, 可以满足保护的要求。

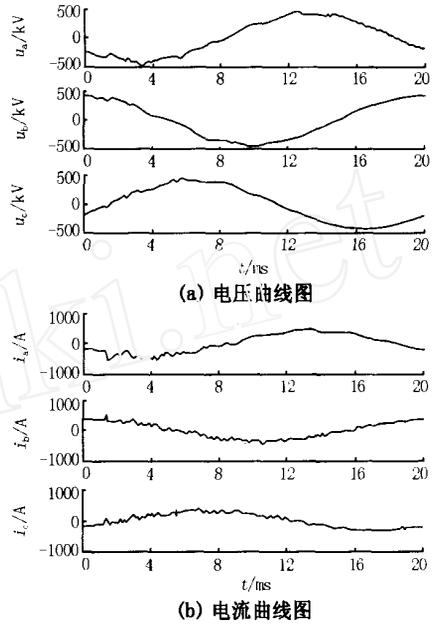


图5 A 相高阻接地故障波形

Fig. 5 Waveforms of phase A ground fault

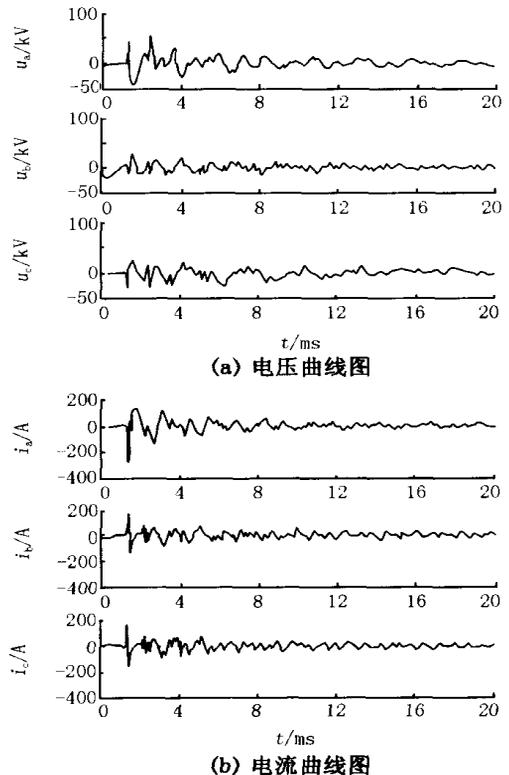


图6 滤波后的数据波形

Fig. 6 Waveforms of the filtered data

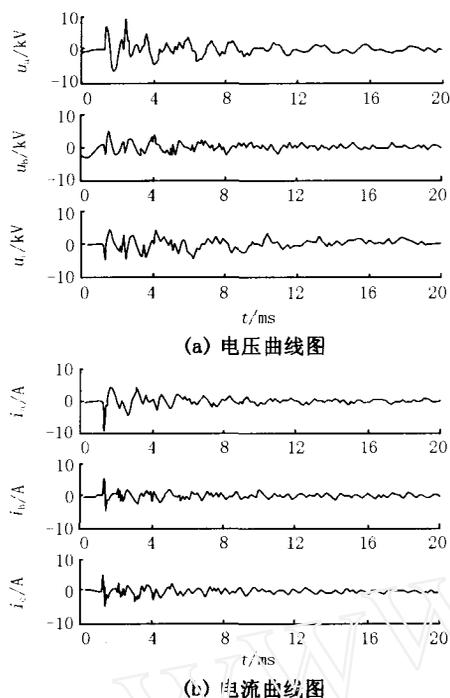


图7 采集卡采集的数据波形

Fig.7 Waveforms of the data acquired by DAQ card

保护算法的实时性试验结果表明能启动保护、能判断出线路有故障;并且采集卡在异步模式(数据采集卡工作时,计算机可以运行其他程序的一种工作模式)下进行数据采集,能在判断出故障后启动另外一个线程进行计算时不影响连续进行数据采集。试验表明本试验平台满足暂态量保护两大要求:高速数据采集和快速的信号处理与在线分析。具体保护原理和算法,请参阅文献[5~7]。

还可以用行波录波数据通过信号源来产生暂态故障信号。行波录波数据一般经过高通滤波后采集,录波数据为三相暂态电流信号。用录波数据进行暂态波形回放时不需要再进行高通滤波,其他过程与EMTP仿真数据产生暂态波形一样。

### 3 结论

本文研制了一种高速的暂态量保护研究开发平台,硬件由两台高性能微机与信号源、高速数据采集卡构成,软件部分包括信号源与采集卡的控制软件和输电线边界保护的算法程序。EMTP仿真数据和现场实录数据的测试表明,该平台可以无失真地将暂态仿真数据或故障录波数据再现成故障暂态波形,可以高速地采集故障暂态信号并实时地实现暂态量保护,为新型保护原理的深入研究、暂态量保护算法的试验与开发搭建了一个良好的原理性样机系统。

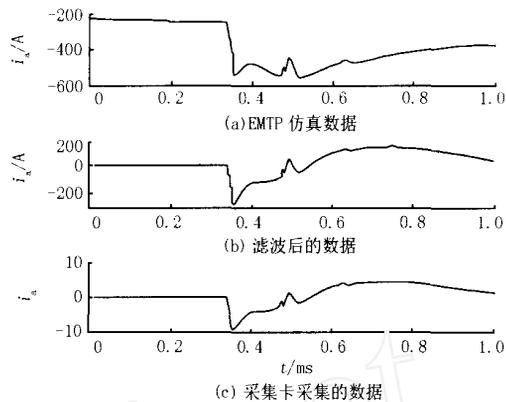
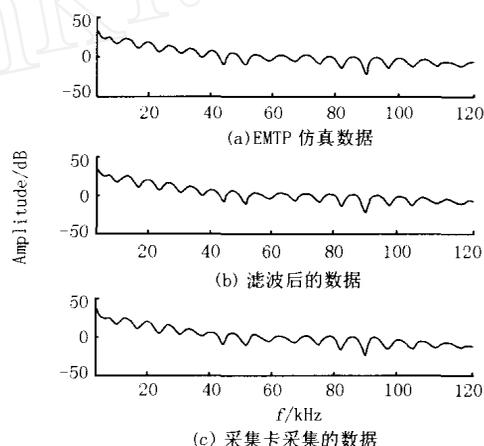
图8 故障点附近  $i_a$  波形图Fig.8 Waveforms of current  $i_a$ 

图9 三组数据功率谱图

Fig.9 FFT power spectra of three groups data

### 参考文献:

- [1] 薄志谦(BO Zhi-qian). 新一代电力系统继电保护——暂态保护(A New Generation Power System Protection——Transient Based Protection) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1996, 20(3): 34-36.
- [2] 杨乐平,李海涛,肖相生,等(YANG Le-ping, LI Hai-tao, XIAO Xiang-sheng, et al). LabVIEW 程序设计与应用(LabVIEW Program Design and Application) [M]. 北京:电子工业出版社(Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2001.
- [3] National Instruments Corporation. NI DAQ User Manual for PC Compatibles[Z]. NI Corp, 2001.
- [4] 张凤军,等(ZHANG Feng-jun, et al). LabWindows/ CVI 开发入门和进阶(LabWindows/ CVI Program Design) [M]. 北京:航空航天大学出版社(Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press), 2001.
- [5] 哈恒旭,张保会,吕志来(HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, L ÜZhi-lai). 边界保护的理论基础 第一部分:故障暂态

- 分析 (Theory of the Boundary Protection, Part One: Fault Transient Analysis) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(9): 7-10.
- [6] 哈恒旭, 张保会, 吕志来 (HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, Lü Zhi-lai). 边界保护的理论基础 第二部分: 线路边界的折、反射系数的频谱 (Theory of the Boundary Protection, Part Two: Spectrum Reflection and Refraction Coefficient) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(10): 1-4.
- [7] 哈恒旭, 张保会, 吕志来 (HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, Lü Zhi-lai). 边界保护的理论基础 第三部分: 故障暂态频谱差异 EMTP 仿真 (Theory of the Boundary Protection, Part Three: Extraction of Fault Transient Spectrum) [J]. 继电器

(Relay), 2002, 30(11): 1-4.

收稿日期: 2003-11-28; 修回日期: 2004-04-19  
作者简介:

张胜祥 (1976 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究; E-mail: zhshxiang@163.net

张保会 (1953 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护、安全稳定控制和电力通信的研究;

段建东 (1973 - ), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事电力系统继电保护的研究。

### Research on development platform for transient based protection

ZHANG Sheng-xiang, ZHANG Bao-hui, DUAN Jian-dong

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** This paper introduces a development platform for transient based protection, which involves the software (LabVIEW&CVI) and two hardware parts. One part is to output fault transient signals, which consists of a PC and a signal source card. The other part is for transient data acquiring and relay protection, which is composed of another PC and two data acquisition cards with MHz sampling rate. This proposed platform is tested with data from EMTP simulation and field recorders. Test results show that the platform is able to reproduce transient signals without distortion, to acquire transient data rapidly, and to perform the real-time protection calculation. This work is the foundation for principle researching, algorithm testing and prototype development of transient based protection.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50277027) and XI Education Bounty of China Electricity Fund.

**Key words:** transient based protection; high-speed data acquisition; real-time; software/hardware platform

(上接第 28 页 continued from page 28)

- [3] 吴玉田, 王瑞光, 郑喜凤, 等 (WU Yu-tian, WANG Rui-guang, ZHENG Xi-feng, et al). GSM 模块 TC35 及其应用 (GSM Module TC35 and Its Application) [J]. 计算机测量与控制 (Computer Measurement and Control), 2002, 10(8): 557-560.

收稿日期: 2003-11-02; 修回日期: 2004-03-31  
作者简介:

张俊芳 (1965 - ), 女, 副教授, 主要从事电力系统及其自动化的教学与研究工作; E-mail: zjf807807@sina.com

吴伊昂 (1980 - ), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统行波、电力客户服务;

吴军基 (1955 - ), 男, 教授, 主要从事电力系统及其自动化的教学与研究工作。

### Application of electrical fault management system

ZHANG Jur-fang<sup>1</sup>, WU Yi-ang<sup>1</sup>, HE Ji-feng<sup>2</sup>, WU Jur-ji<sup>1</sup>

(1. College of Electric Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Xuzhou Power Supply Corporation, Xuzhou 221005, China)

**Abstract:** Based on the geographic information system, call center, SCADA and GPS, and electrical fault management system is improved. This optimal system is composed of CTI module, GIS module, and management module. With them, trouble call management, information service, fault judgement and location, voice service and rush repair scheduling for electrical repair vehicle are realized in the system. Electrical fault management system builds up a set of service system of economy and effectiveness for power enterprises.

**Key words:** fault management system; GIS; GPS