

电力故障仿真装置硬件设计及其 USB 通信 驱动程序的工作机制

陈新军¹, 冯玉东¹, 靳建峰¹, 冯政协², 张庆伟³, 翁利民⁴

(1. 郑州电力高等专科学校, 河南 郑州 450004; 2. 河南省鹤壁市供电公司, 河南 鹤壁 458010; 3. 河南省电力职工大学, 河南 郑州 450052; 4. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 讨论了电力故障仿真装置的工作原理、硬件设计和控制原理以及 Windows 操作系统中 USB 通信驱动程序的工作机制。电力故障仿真装置由个人计算机和模拟量发生器组成, 故障仿真程序在个人计算机的计算结果通过 USB 通信驱动程序传递到模拟量发生器。在 Windows 操作系统中, USB 设备驱动程序根据 WDM (视窗驱动程序模型) 设计, 每个硬件设备至少有两个驱动程序, 一个是硬件设备驱动程序, 它了解硬件工作细节, 负责初始化 I/O 操作, 处理 I/O 操作完成时所带来的中断事件。另一个是由操作系统提供的驱动程序称为总线驱动程序, 它负责管理硬件与计算机的连接。

关键词: 故障仿真; USB; 数据通信; 驱动程序; 硬件设计

Hardware design of power system faults simulation test device and the mechanism of USB communications drivers

CHEN Xin-jun¹, FENG Yu-dong¹, JIN Jian-feng¹, FENG Zheng-xie², ZHANG Qing-wei³, WENG Li-min⁴

(1. Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China; 2. Hebi Power Supply Company, Hebi 458010, China; 3. Henan Electric Power College for Staff, Zhengzhou 450052, China; 4. College of Electric Power Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The principles and hardware design of power system faults simulation test device and the mechanism of USB function driver in Windows used in power system faults simulation test device are discussed. Power system faults simulation test device consists of PC and analog generator in Windows operating system, the calculation results of faults simulation program in PC is sent to analog generator through USB device driver. USB device driver is designed according to the model WDM (Windows Driver Model). In WDM, each hard device has two drivers at least. One of them is called function driver, usually the hard device driver. This driver knows all details of running the hardware, with responsibility for initializing I/O operation, processes the interruption events which happened when the I/O operation is completed, provides a kind of control mode adaptive to devices. Another driver coming from operating system is called bus driver, which takes charge of the connection between hard wares and computer.

Key words: fault simulation; USB; data communication; driver; hardware design

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)19-0056-04

0 引言

电力故障仿真装置用于模拟电力设备和电力系统的各种故障, 可以提供一个虚拟的故障测试环境, 以减少动模或真机测试成本。故障仿真程序计算出数字量故障结果需要通过数据通信接口传送给硬件设备, 和一般的串口通信方式相比, USB 通信接口程序在数据传输速度方面具有明显的优势, 实际可达 300KB/s; 和并口通信相比, USB 接口单一, 兼容性好。严格按照视窗操作系统 WDM 驱动程序

模型和 USB 规范开发数据通信接口, 不仅具有完善的数据传输功能, 而且具有全部即插即用功能和电源管理功能。在数据通信的正确性、快速性方面优于传统的通信方式。

1 电力故障仿真装置

1.1 电力故障仿真装置的工作原理

电力故障仿真装置由两大部分组成, 一为运行在个人计算机上的软件部分, 即故障仿真程序, 一为把故障仿真程序计算出的数字量计算结果转化为

模拟量的模拟量硬件发生装置。

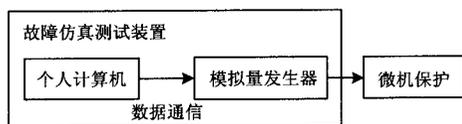


图 1 电力故障仿真装置原理图

Fig. 1 Schematic diagram of power system faults simulation test device

图 1 为电力故障仿真装置原理图。从图 1 可以看出，电力故障仿真程序在个人计算机上完成故障计算后，将生成的电气量故障数据发送给模拟量发生器，模拟量发生器按照一定的大小比例生成相应的模拟故障量，这些模拟故障量再作为输入信号接到微机保护装置上，从而完成微机保护装置功能的测试。

电力故障仿真程序运行在个人计算机上，运行的结果是生成故障数据文件，通信程序将这些故障数据文件送往模拟量发生器，模拟量发生器上的处理程序再控制模拟量发生器中的相关器件，根据这些故障数据文件所描述的波形，产生出一致的模拟量。

实现个人计算机和底层模拟量发生装置硬件的数据通信可以通过串口（RS-232）、并口或 USB（通用串行总线）来完成。

USB 通信方式具有即插即用、热插拔、标准化单一接口、可挂接上百个外设等突出的优点和特色，是中低速数据通信的上佳选择。

下面根据我们的开发实践，对电力故障仿真装置的硬件设计和 USB 通信驱动程序的工作机制进行了探讨。

1.2 电力故障仿真装置的硬件设计

图 2 是电力故障仿真装置原理框图。

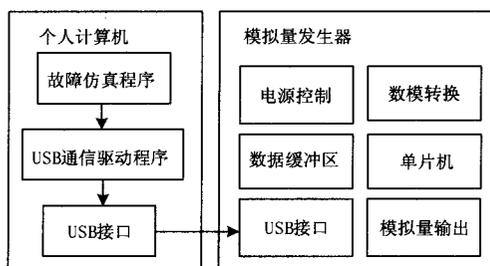


图 2 电力故障仿真装置原理框图

Fig. 2 Schematic diagram of power system faults simulation test device

模拟量发生器内部的 USB 接口芯片与个人计算机 USB 接口相联系，从个人计算机发出的故障数

据文件被模拟量发生器内置的 USB 接口芯片所接收，这些数据被存入数据缓冲区，单片机根据这些数据向模拟量输出部件发出控制指令，模拟量发生器输出相应模拟量。

个人计算机上的故障仿真程序对给定故障进行仿真计算后将输出故障文件，这些对应各路模拟量的数据文件通过 USB 接口被分别下载到模拟量发生器控制板的数据缓冲区 RAM 中，同时在个人计算机屏幕上可按用户要求显示出各路电压电流波形。

1.3 电力故障仿真装置的控制原理

控制部分由 USB 接口电路、单片机控制单元、大容量 RAM、D/A 转换器和有源低通滤波器组成，为一独立硬件单元。各部分功能联系如图 3。

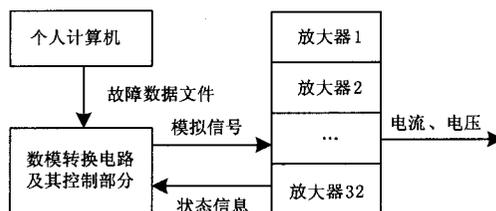


图 3 模拟量发生器控制原理框图

Fig. 3 Control schematic diagram of analog generator

控制电路以单片机和可编程逻辑电路为核心控制部分。个人计算机机上运行的控制软件发出的控制命令、数据包等，通过 USB 接口，先传送到控制板上的 USB 接口芯片中，由接口芯片完成全部的 USB 协议层完全由硬件实现而不需要固件的参与。该模块的功能包括同步模式的识别，并行/串行转换，位填充/解除填充，CRC 校验/产生，PID 校验/产生地址识别和握手评估/产生等所有 USB 物理层协议。同时由于片内集成了独立的接收/发送缓冲区，降低了对处理器接口的软件开销。内部缓冲区同时支持对片外的 DMA 操作，可以达到器件的极限速度。接口芯片的接收缓冲器在数据满后、发送缓冲器在数据空后都会产生对应中断信号，CPU 在接收到中断信号后，将数据转移到控制板的 RAM 区内。

故障数据文件下载到 RAM 后，CPU 对 RAM 中的数据进行校验，以确保输出波形的正确。CPU 等待用户发出仿真输出开始的命令，先重复输出仿真数据中前两个周波的正常电压电流，然后开始输出暂态数据。同时 CPU 检测开关量输入状态，记录下外部触点动作时间，并通过 USB 接口上传 PC 机的控制软件。

模拟量发生器设计的 32 路模拟量输出通道，

可以满足电力系统现场实际测试的广泛要求,能够胜任从几路模拟量输出直到全部通道 32 路模拟量输出。模拟量发生器内部设置的数据缓冲区容量多达 4M 字节,对电力系统现场实际测试的不同的模拟量输出精度的要求,从一般精度到高精度有着非常灵活的适应性。

2 USB 通信驱动程序的工作机制

2.1 Windows 驱动程序模型 (WDM)

电力故障仿真装置利用装有 Windows 的个人计算机进行故障仿真计算,它所要采用的 USB 通信程序在 Windows 中处于硬件设备驱动程序的地位,因此其设计和开发必须按照 Windows 驱动程序模型 WDM (Windows Driver Model) 进行。

在 Windows 操作系统中,设备驱动程序是一个包含了许多操作系统可调用例程的集合。在我们的装置中,故障仿真程序通过 USB 通信驱动程序中的功能例程可以使硬件设备执行相应的动作,它实际上就是一个软件接口,用于连接故障仿真程序和模拟量发生器。通过这样一个软件接口,故障仿真程序就可以一种规范的一致的方式访问作为硬件的模拟量发生器,从而在读写硬件时就不用再去考虑硬件控制细节了。

图 4 显示了 Windows 操作系统的分层及设备驱动程序的位置。Windows 操作系统内部设计了一个 I/O 管理器,它专门负责整个个人计算机系统的输入输出操作管理。设备驱动程序一旦装入个人计算机系统,就成为 I/O 管理器的一部分。用户程序运行在用户态,Windows 各部分组件和外部设备驱动程序运行在内核态。

2.2 电力故障仿真装置和 Windows 操作系统的关系

模拟量发生器处于图 4 硬件平台的位置,它的顶层是 USB 接口芯片,负责按照 USB 通信协议进行数据通信。USB 通信驱动程序处于设备驱动程序的地位,I/O 管理器将把作为用户程序运行的故障仿真程序的读写请求转交给 USB 通信驱动程序,USB 通信驱动程序再通过 Windows 操作系统中的硬件抽象层(对于 USB 设备这个抽象层叫作 USB 设备接口)把经过它处理的读写请求最终传递到模拟量发生器。

用户的读写请求不一定和硬件结构恰好匹配,因此一个驱动程序可能不止一层,实际上往往是多层,多层的驱动程序可以分阶段分批处理用户的请求,低层的总线驱动程序处理与硬件的所有基本通信,中间的类型驱动程序对整个一类驱动程序提供共同的功能。

Windows 操作系统提供 USB 总线驱动程序,即

USB 设备接口。USB 通信驱动程序可直接调用 USB 总线驱动程序来完成对模拟量发生器的读写操作,从而构成一个分为两层的驱动程序栈。

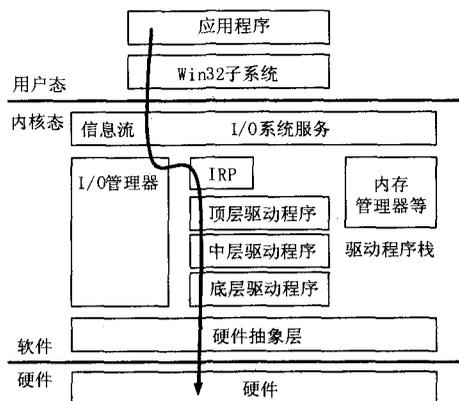


图 4 Windows 的分层设备驱动程序的位置

Fig. 4 Layered device driver's position in Windows

在 WDM 驱动程序模型中,每个硬件设备至少有两个驱动程序。其中一个驱动程序称为功能 (Function) 驱动程序,例如 USB 通信驱动程序就是这样一个硬件设备驱动程序。它应该具有驱动硬件工作的所有操作功能,负责初始化 I/O 操作,处理 I/O 操作完成时所带来的中断事件,为用户提供一种适合于硬件设备的控制方式。

另一个驱动程序称为总线 (Bus) 驱动程序。它负责管理硬件与计算机的连接。例如,PCI 总线驱动程序检测插入到 PCI 槽上的设备并确定设备的资源使用情况,它还能控制设备所在 PCI 槽的电流开关。

2.3 电力故障仿真装置的 USB 通信驱动程序设计

故障仿真测试装置的 USB 驱动程序的层次结构如图 5 所示。和图 4 相比较,驱动程序栈在图 5 中可以具体确定下来,是一个两层的驱动程序栈。故障仿真程序发出读写指令后,Windows 操作系统把它转换为一个称作输入输出请求包的数据结构 IRP,然后再把它发送到 USB 通信驱动程序,USB 通信驱动程序再调用 USB 总线驱动程序相应功能,最终完成对模拟量发生器硬件的读写操作。

USB 总线驱动程序一旦发现 USB 总线上接入了模拟量发生器,它就会通过即插即用管理器为它创建一个物理设备对象,这个对象就代表模拟量发生器,之后便开始在内存中创建如图 5 所示的结构关系。

创建完物理设备对象后,即插即用管理器参照 Windows 操作系统注册表中的信息查找与这个物理设备对象相关的过滤器和功能驱动程序并根据其中

的信息完成整个驱动程序堆栈创建。

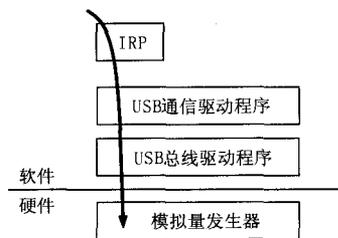


图 5 USB 通信驱动程序层次结构
Fig. 5 Hierarchy of USB device driver

从层次结构可以知道 IRP 被送到设备堆栈的最上层驱动程序，然后逐渐传递到下面的驱动程序。每一层驱动程序都可以根据设备功能以及 IRP 所携带的内容决定如何处理 IRP。

图 6 是 WDM 驱动程序一般构成情况。

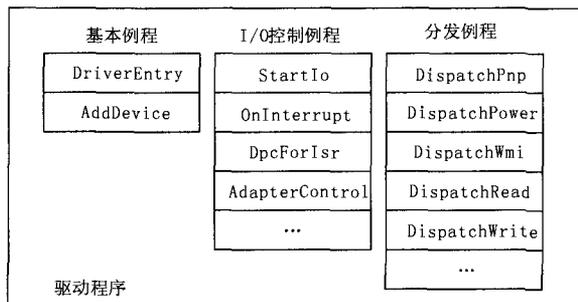


图 6 WDM 驱动程序的一般组成
Fig. 6 Structure of WDM device driver

驱动程序作为程序表现为一组功能函数集合，分为三部分：基本例程、I/O 控制例程和分发例程。基本例程必不可少，而且 DriverEntry 的函数名也不容许变更，这是 Windows 默认的驱动程序入口函数名。I/O 控制例程和分发例程都是可选的。当 Windows 得到读写等操作指令后，它就调用驱动程序中的相应例程来执行各种操作。需要对操作请求排队的驱动程序一般都有一个 StartIo 例程。生成硬

件中中断的设备，其驱动程序都有一个中断服务例程 (ISR) 和一个推迟过程调用 (DPC) 例程。驱动程序一般都有几个支持不同类型输入输出请求的分发函数，例如读、写、即插即用等。所以，开发 WDM 驱动程序的一个任务就是为这个驱动程序设计所需要的分发例程。

4 结束语

以上对电力故障仿真装置的硬件设计和 USB 通信驱动程序在 Windows 中的工作机制作了基本分析。高性能的微控制器和其它电子器件为电力故障仿真装置的硬件实现提供了基础，而 USB 是一种新兴的通信方式，具有优越的性价比，传统的串口和并口通信方式最终不可避免地要过渡到 USB 通信方式，因此在开发新产品时应优先选择 USB 通信方式。

参考文献

- [1] Don A. USB 系统体系[M].北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] Chris C. Windows WDM 设备驱动程序开发指南 [M].北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] Baker A, Lozano J. Windows 2000 设备驱动程序设计指南[M].北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] ONEY Walter. Programming Windows Driver Model[M].北京: 北京大学出版社, 2000.
- [5] 许永和. USB 外围设备设计与应用[M].北京: 中国电力出版社, 2002.

收稿日期: 2007-02-05;

修回日期: 2007-05-23

作者简介:

陈新军(1963-), 男, 硕士, 讲师, 从事电力系统及自动化的教学与研究; E-mail: zzdzzjf@sina.com

冯玉东(1971-), 女, 硕士, 讲师, 从事计算机应用软件开发与研究;

靳建峰(1963-), 男, 硕士, 副教授, 从事电力系统及自动化的教学与研究。

(上接第 55 页 continued from page 55)

收稿日期: 2007-03-10;

修回日期: 2007-05-10

作者简介:

梁志珊(1958-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统控制与稳定, 非线性控制, 特殊电源;

E-mail: lzs1960@yahoo.com.cn

谢争先(1973-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统非线性控制, 柔性交流输电系统;

张化光(1959-), 男, 博士, 教授, 研究方向为模糊控制, 自适应控制, 电力系统自动化。