

# 基于 IEC61850 的光数字继电保护测试仪的研制

冯硕<sup>1</sup>, 黄梅<sup>1</sup>, 李晓朋<sup>2</sup>

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 许昌继电器股份有限公司中试部, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 详细介绍了基于 IEC61850-9-1 的新型保护测试仪的实现原理和硬件结构, 并对数字保护的测试做了简单介绍。该装置基于 DSP 和嵌入式 ARM 微处理器, 前者完成测试数据的计算和打包, 后者负责完成与上位机的以太网通信, 测试数据的打包和发送。测试数据满足 IEC61850-9-1 的通信协议, 由上位机软件界面设定, 按照一定的试验方法, 将光纤数字量送至数字化保护, 并通过测试仪的开关量输入接点接收保护的動作信息。

**关键词:** 继电保护测试仪; 数字化保护; IEC61850; 以太网通信

## Development of fiber digital relay protection tester based on IEC61850

FENG Shuo<sup>1</sup>, HUANG Mei<sup>1</sup>, LI Xiao-peng<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Intermediate Test DPT of XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper introduces new types of relay protection tester's principle and hardware structure based on IEC61850-9-1 in detail. The device is based on DSP and embedded ARM microprocessor, the former is to complete the task of calculating and packing, the later is to complete the Ethernet communication with PC and packing and sending testing data which is according to the standard IEC61850-9-1. Set parameters on the PC's software interface, and then transmit the fiber signal to the digital protector and receives the action information through the input connector of the tester.

**Key words:** relay protection tester; digital protection; IEC61850; Ethernet communication

中图分类号: TM77; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)08-0023-03

## 0 引言

传统的电磁式互感器二次侧输出100 V和1 (5) A的模拟量给保护以及测控装置。传统的保护测试仪是模拟其输出完成保护的测试工作。随着光电传感技术的发展, 在220 kV及以上等级的变电站中, 由于其制造工艺的进步和成本的降低, 光电式互感器已逐渐代替传统的电磁式互感器。而随着光纤通信技术快速发展, 光纤数字通信技术也在逐渐代替普通金属电缆二次模拟电量传输方式。

变电站通信标准IEC61850的推出保证了不同厂家的继电保护装置的互操作性和智能电子设备的满足互换性。实现光纤通信的数字化保护装置也逐渐地在新型变电站中采用, 传统的保护测试仪不可能完成数字化保护装置的测试任务, 研究一种光纤通信的测试仪来代替传统的测试仪并能完成对数字化保护的各种测试工作, 成为亟待解决的任务。

## 1 实现原理

带光纤接口的保护装置的采样值输入设备为装置外部的数字式输出的合并单元器(OEMU), 它的作用是采集传统和非传统互感器的二次侧信号经同步处理后按标准输出。各个光电互感器将数字式采样值经内部转换后, 以光纤量形式传输至OEMU, 将各路光电互感器传送进来的二次侧数据(保护和测控)汇总后作同步处理, 再将这些数据打包校验, 发送出去。保护装置最后通过光纤接口接收前端OEMU的输出, 符合IEC61850-9-1、/2标准的数字式光纤量采样值。

光数字继电保护测试仪利用嵌入式 ARM (Advanced RISC Machines) 微处理器强大的以太网通信功能和数字信号处理器(DSP)高效快速的数据处理能力, 将12路测试信号(电压、电流量)逐点计算并按照 IEC61850-9-1<sup>[1]</sup>协议逐点打包并实时传送到被测保护装置。保护动作信号通过测试

仪的开关量输入接点输入到测试仪, 测试仪按照一定试验方式实时改变输出量的幅值和相位, 实现对保护装置的测试。

## 2 硬件设计

在测试仪的硬件设计中, 主要的功能需求就是兼容性, 可靠性, 稳定性和良好的运行性能, 有的时候还包括可测性。在产品的设计过程中, 需要特别注意的就是: 由于使用的是光以太网, 为满足兼容性的需要, 物理层接口一定要使用MII接口而不是RMII接口。

图1为测试仪的硬件框图。

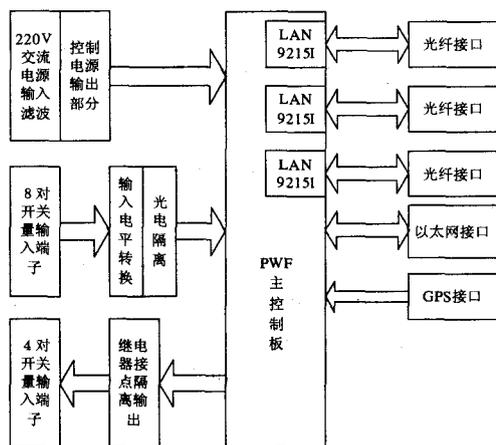


图1 测试仪硬件框图

Fig.1 Hardware of the protection tester

为了满足测试的需要, 数据处理速度和系统的柔性对CPU的选择显得非常重要。测试仪硬件是一个最基本和经典的单片机+DSP的实时系统。使用的单片机(ARM920T)具有的一个10/100 Mbps的以太网接口, 能很好的满足设计要求。而它和用来产生实时波形数据和控制实时数据流的DSP都是在工业领域得到了广泛的使用。采用这种硬件方案的原因是: 一个单片机不可能完成繁重的计算、通信和数据处理任务。并且它也无法具有像DSP那样的计算速度。

嵌入式微处理器ARM920T构成的中央处理单元实现采样数据的打包和发送, 并通过以太网与上位机进行数据交换, 通过数据总线与数据处理单元进行数据交换。

DSP构成的数据处理单元, 凭借其强大数据处理能力和高运行速度, 主要完成数值计算和按标准将测试数据打包工作。通过以太网接收上位机下传的数据和指令进行测试数据的实时计算。通过FPGA实现与中央处理单元通信。

开关量单元完成开入量和开出量的采集和转换。用于接收数字化保护的出口动作信息, 为了抗干扰, 各路外部输入均装有光电隔离, 使得外部开关量与中央处理单元之间没有直接的电联系, 增强了系统可靠性。

光纤输出模块完成测试数据的输出。光数字保护测试仪将中央处理单元的数据按IEC61850-9-1标准打包输出, 输出满足ISO/IEC8802.3标准的数据帧, 再由光口转换芯片将数据帧转换成光纤信号输出, 传送至被测数字化保护。

三路光信号接口可同时完成三路电气量的输出。三路光纤输出用以满足如三卷变高、中、低压三侧的变压器差动保护的测量, 并可保证输出数据的同步。GPS卫星同步, 可完成多台远端测试仪的同步测试。

测试仪通过100 M的以太网与上位机进行通信, 速度快、抗干扰性强, 并可实现多机同步输出。

## 3 通用协议

### 3.1 建模

IEC61850标准定义了两种抽象模型: 采样值传输(SAV)模型和通用的以对象为中心的变电站事件(GOOSE)模型。这里着重讨论SAV模型。SAV需采用单点传送采样值(USV)控制块中相关服务, 实现报文传输(SendUSVMessage)和数据值设置(SetControlValue)等服务。

9-1中的通用数据集包括12路电流、电压值及品质信息, 由于9-1仅支持报文传输服务, 而不支持对单点传送采样值控制(USVCB)块属性的读和设置服务, 故SAV模型的具体构建可以简化。

数字保护测试仪为SAV模型的具体构建提供了一种实现途径, 它可作为逻辑设备完成SAV模型中发布者的功能, 逻辑设备的作用是基于通信目的对逻辑节点和数据集进行聚集和归并。

### 3.2 映射

IEC61850标准针对变电站所有功能定义了比较详尽的逻辑节点和数据对象, 并提供了完整的描述数据对象模型的方法和面向对象的服务。这些抽象的通信服务、通信对象及参数通过特殊通信服务映射(SCSM)可映射到底层应用程序。SAV报文传输服务的SCSM比较特殊: 为保证报文传输的高实时性, 避免在通信堆栈造成延时, 应用层的PDU经表示层编码后直接映射到底层(数据链路层和物理层), 传输层和网络层均空。

#### 3.2.1 应用层

主要功能是在应用协议数据单元(APDU)置

入发送缓冲区之前,负责将一个或多个应用服务数据单元(ASDU)连接成一个APDU。如果采样率高,则应将多个ASDU连接成一个APDU。每个ASDU包括两个部份:通用数据集和状态数据集。其中通用数据集ASDU,主要是12路电流、电压信息和反映其有效性的状态信息;状态数据集ASDU包含二进制输入状态及其品质信息,主要用于开关量的输入。遵循9-1的SAV报文应为其它电流、电压信息保留相应位置,只是其对应的状态信息反映为无效。

### 3.2.2 表示层

采用ASN.1的BER对采样值缓冲区中的数据进行处理编码,编码格式为TLV,由标记、长度和值组成。9-1的APDU采用了简化的编码方式,定义标记值为0x80,表示上下文类。

### 3.2.3 数据链路层

遵循ISO/IEC8802.3协议(即以太网协议),对SAV的报文传输做了如下特殊处理:如SAV报文的以太网类型是0x88BA,这是独一无二的。这种独一无二的以太网类型有利于接收方对SAV报文的解码和优化。

## 3.3 配置

由于9-1中的采样值信息默认状态下是固定不变的,即12路电流、电压信息,且各路均明确定义,但当通用数据集(ASDU)中的DatSet使用“可配置”时,可以根据需要,配置需要的12路采样值信息。如对于一路光纤信号输入的变压器差动保护,配置成高、中、低三侧电流于一个报文上,测试仪的三路光纤信号中任一路,送至数字化变压器保护进行三卷变压器差动保护的测试。

## 4 问题与解决

利用ARM9自带的网口完成与上位机的通信,采用位于第四层——传输层的TCP协议而不是UDP协议,主要是考虑了TCP是面向连接的,有较高的可靠性,端与端建立连接通路需要进行“三次握手”,有很强的流控与差错控制,连接通路类似于电路交换或分组交换中的虚电路。

不同的继电保护厂家对IEC61850-9-1的应用有所不同。如国电南自的保护就在一个APDU里面包含了5个ASDU,而其它厂家的保护有的在一个APDU里只有一个ASDU,这样在软件设计时需要做满足APDU调用多个ASDU的程序。

另外,各个厂家的保护采样率是不同的,测试仪为了测试需要,其采样率必须要高于保护采样率,才可在试验前进行相应配置,完成保护测试。所以,对上位机软件算法要求很高,采用差值算法完成较

高采样频率的采样工作。报文发送间隔要根据保护接收的要求,不能发送过于紧密,否则保护无法正确读取;不能过于稀疏,否则保护会判断通信中断会告警。

为了解决上面的问题,软件设计的一个目标就是尽量使用可配置的模式。达到这个目标以后上位机软件就可以根据用户的需要配置网络和应用的任任务。因此,使用了一个配置文件来设置如采样率、ASDU数目以及其它的一些试验参数。为了满足不同的测试功能,提高系统柔性,软件组件会在测试前动态地下载到测试仪的存储区中。

实时输出对于测试过程来说是非常重要的。而对于单片机程序的中断优先级的灵活应用可以使得实时输出更为精确。利用设置不同优先级别的中断服务程序,保证至少三部分任务(与PC机之间的以太网通信以及与DSP之间通过HPI的通信、数据组帧和数据发送),不被其他程序干扰的。解决的方法是使DSP中断服务程序有最高的优先级,当DSP完成一次ASDU的计算后,向单片机发出中断信号,使单片机进入中断服务程序进行数据处理和发送。而其它中断不能干扰这个过程。这样,输出的实时性就得以保证。

最后,MAC地址在软件设计中可以按照组播和广播形式,而每一个合并单元和继电保护设备都有其自己的MAC地址。可自定义本机地址,而目的地址默认为全“F”以实现广播。如果需要测试一些固定的地址点,即输出到一个指定的设备上,那么就将这个参数设为可配置的方式,并进行相应的配置。这样,MAC地址的使用就非常灵活。

## 5 应用

试验之前,根据被测保护的定义,首先在测试仪应用软件上对采样率、ASDU的数目、通道、最大输出电压和输出电流的倍数等参数进行正确的配置。

然后,通过以太网接口将测试仪连接PC机上,通过光口将测试仪的输出信号传送到被测保护装置,使用测试线将保护动作信号连接到测试仪的入端子上。

最后,在PC上启动上位机软件开始保护的测试。以差动保护的测试为例,软件中差动测试模块提供了实现对变压器差动保护的测试功能,并根据保护装置有关高中低三侧电流的定义对ASDU进行了配置。

(下转第45页 continued on page 45)

程序首先对系统初始化,当 ADC 转换完毕,进入中断子程序,读取数据,并进行数据处理、缓存数据;每隔一秒钟,系统进入定时器中断子程序,对外发送数据,如此循环反复,从而实现了系统对输入模拟电压信号的实时采集。再通过 FFT 快速傅立叶算法,对电能质量的各项指标进行实时计算,已达到实时监测的目的。

## 8 结论

基于 TMS320F2812 DSP 芯片和 CPLD 的电能监测装置是结合满足电力部门监测需要,严格遵照电能质量国家标准开发的。监测装置通过对电网中的各级等级变电站和特殊点的指定线路的在线监测,精确测量出电网的电力参数,分析电网的电能质量数据信息,并通过串口实现现场数据的监测分析、实时显示,使电力部门实时、精确地了解电网的电能质量状况,在电能质量监测和分析的基础上,实现电能质量的系统化管理。

## 参考文献

- [1] TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manul[M]. Texas Instrument, 2002.
- [2] 吴金宏,倪向阳,吴昊.霍尔电流电压传感器/变压器模块的性能及应用[J].国外电子元件,2001,(1):12-15.  
WU Jin-hong, NI Xiang-yang, WU Hao. Hall Current

and Voltage Sensors/Transformer Modules and Application Performance[J]. International Electronic Elements,2001,(1):12-15.

- [3] 胡铭,张重雄,韩希.基于 DSP 和 CPLD 的电力参数监测装置[J].微机处理,2003,(3):58-59.  
HU Ming, ZHANG Chong-xiong, HAN Xi. Based on the DSP and CPLD Power Monitoring Device Parameters[J]. Computer Processing, 2003, (3) :58-59.
- [4] 黄中英,邢海瀛,邹江峰. MAX125 型模/数转换器在电能质量监控系统中的应用与设计[J].国外电子元件,2006,(16):17-19.  
HUANG Zhong-ying, XING Hai-ying, ZOU Jiang-feng. Application and Design of MAX125 ADC in the Power Quality System[J].International Electronic Element, 2006,(16):17-19.
- [5] 杨冠城.电力系统自动装置原理[M].北京:中国电力出版社,1995.  
YANG Guan-cheng. Electric Power System Automechanism Theory[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

收稿日期:2007-09-26; 修回日期:2007-10-01

作者简介:

左涛(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电能质量监测装置和 FFT 算法; E-mail:zt84622031@163.com

唐巍(1971-),女,博士,教授,研究方向为电力系统稳定分析与控制,人工智能、最优化技术在电力系统中的应用。

(上接第 25 页 continued from page 25)

测试结束后得到比率制动系数、启动电流、速断电流和动作时间等结果,同时将试验结果记录在试验报告中,完成保护试验。

## 6 结束语

本文介绍了一种光纤数字化继电保护测试仪,它采用了 ARM 嵌入式微处理器,将现代光纤通讯技术与微机继电保护测试仪相结合,大大地提高了输出数据的实时性、抗干扰性,具有更加广泛的适应性,可以满足各种数字化保护装置的测试工作。较之传统的模拟量输出的保护测试仪,本套装置结构更加简单,性能更加可靠。测试结果表明,这种测试仪能满足保护的试验要求。

## 参考文献

- [1] IEC61850-9-1,Specific Communication Service Mapping (SCSM) Sampled Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link,2003[S].
- [2] 韩笑,赵景峰,邢素娟.电网微机保护测试技术[M].北京:中国水利水电出版社,2005.

收稿日期:2007-10-24; 修回日期:2007-11-23

作者简介:

冯硕(1983-),男,硕士研究生,研究方向为微机继电保护测试技术; E-mail: sige6688@163.com

黄梅(1959-),女,教授,硕士生导师,研究方向为电力系统建模仿真及控制、继电保护和风力发电系统建模及接入系统分析;

李晓朋(1979-),女,本科,从事继电保护产品的研发测试工作。