

# 一种微机保护的光纤通讯设计

金明亮, 游大海, 李正天, 谢玉冰

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了光纤通讯的基本原理, 论述了整个系统结构及各部分功能。采用光收发集成模块和 CPLD 来完成通讯硬件电路, 并详细描述了硬件电路的工作原理。结合以 DSP 为核心的继电保护装置, 阐述了继电保护的通讯规约, 通讯内容和过程, 给出了各个部分的工作流程图并作了详细论述。

关键词: 微机保护; 光纤通讯; DSP; CPLD; 通讯规约

中图分类号: TM77; TN911 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)12-0056-06

## 0 引言

微机继电保护通讯方式有 RS232、RS485/422、以太网和光纤等, 这些通讯方式各有优缺点。RS232 接口是一种用于近距离 (最大 30 ~ 60 m)、慢速度、点对点通讯的通讯协议, 在 RS232 中一个信号只用到一条信号线, 采取与地电压参考的方式, 因而在长距离传输后, 发送端和接收端地电压有出入, 容易造成通讯出错或速度降低。RS485/422 接口采用不同的方式, 每个信号都采用双绞线 (两根信号线) 传送, 两条线间的电压差用于表示数字信号。RS485/422 允许通讯距离可达到 1200 m, 采用合适的电路可达到 2.5 MB/s 的传输速率。以太网是当今现有局域网采用的最通用的通信协议标准。该标准定义了局域网 (LAN) 中采用的电缆类型和信号处理方法。以太网在互联设备之间以 10 ~ 100 Mbps 的速率传送信息包, 双绞线电缆 10 Base T 以太网由于其低成本、高可靠性以及 10 Mbps 的速率而成为应用最为广泛的以太网技术。光纤通讯技术是 70 年代初随着世界科技进步而迅猛发展起来的新兴高效通讯技术, 该技术利用光波在由石英、超纯玻璃等材料制成的光导纤维中传输信息。光纤通讯系统是由光终端机、光纤和与之有关的电气通讯设备有机组成的统一体。光终端机是一种使光信号和电信号相互转换的设备, 由发送和接收两部分组成。近年来, 光纤技术在微机继电保护中得到了广泛的应用。

## 1 光纤通讯原理

光纤即为光导纤维的简称<sup>[1]</sup>。光纤通讯是以光波为载波, 以光导纤维为传输媒介的一种通讯方式。由于光纤通讯具有一系列优点: 传输频带宽, 传

输容量大, 损耗低, 不受电磁干扰, 线径细, 重量轻, 资源丰富, 近年来得到了飞速的发展。

基本的光纤通讯传输系统如图 1 所示。



图 1 光纤通讯系统的组成

Fig 1 Structure of fiber communication system

光发射机是电/光转换的光端机。它由两部分组成: 驱动电路和光源 (发光管 LED 或激光管 LD)。它的功能是将电信号转换为光信号, 然后将光信号耦合到光纤中传输。光接收机是光/电转换光端机。它由光监测器 (光电管 PN 或雪崩管 APD) 和放大电路组成。其功能是将光纤传过来的光信号转换为电信号, 再经放大电路放大到足够的电平范围后送往后端电路处理。光纤的作用是光信息传输的物理载体。中继机的作用有两个, 一是补偿光的衰减, 二是对失真的脉冲波形进行整形。光纤具有吸收和散射作用, 光在光纤中通过一定距离后就会出现衰减, 光纤的材料色散, 波导色散和模式色散会导致脉冲信号波形出现失真。这两个因素会使传输线路的噪声和误码率增加, 从而使信息传输质量下降, 因此需要中继机来克服该问题。微机保护装置与主机或其他装置的距离一般来说不是很大, 因此不需要增加中继机设备。

## 2 系统组成和通讯规约

保护装置系统功能结构如图 2 所示。

### 2.1 系统组成

系统由管理/保护 CPU 模板、信号输入/输出模板和电源模块共 3 个模板组成, 各功能模板间通过

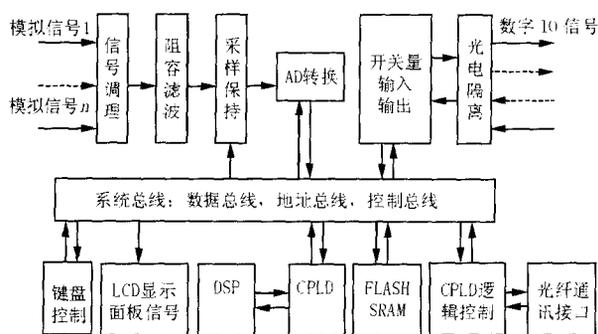


图 2 系统功能结构图

Fig 2 Structure of system functions

小型连接器连接。该模板负责采样数据的算术运算,提取数据中的特定信息,逻辑比较判断,输入保护定值,输出保护信息(包括LCD显示信息和跳闸,报警、故障等信号),远程通讯。CPU采用TI的32位浮点DSP芯片TMS320VC33。DSP通过总线方式连接其它部分,包括存放数据的SRAM,程序数据的FLASH,地址译码采用CPLD实现。对键盘的控制和LCD输出通过CPLD接口进行,由CPLD实现键盘扫描,去抖动和键值译码,CPU只需在CPLD专用口中读取键值即可。输出信息只需送到CPLD中,由CPLD硬件编程实现输出控制,从而极大程度上减轻了CPU负担。该模板负责模拟信号输入,开关量输入与输出。从图2可以看到,模拟信号(包括电压/电流通路一共可以输入16路模拟信号)从二次PT、CT出来后进入该模板,模板内设有小型PT、CT(具有I/V转换功能)对信号进行再次调理,变换到适合微机处理的电平范围(采用了运算放大器射随电路以提高负载能力),经过阻容滤波后经采样保持电路变换成数字信号交由微机处理。开关量信号(该模板可提供26路开关量输入)先经过二阶阻容滤波消除高频毛刺干扰后进入光隔,光电隔离后的信号由CPLD采集并送往CPU。CPU输出的开关信号经CPLD锁存/缓冲后驱动光隔,再使继电器动作。继电器动作回路设置了硬件闭锁控制,即所有出口继电器的电源再由一个光隔控制,如果该光隔输入端为0,即使出口继电器前置光隔有输出信号,该继电器也不能动作,从而严防误动操作。为保证电源达到要求的各项指标,在此我们采用工业厂家的标准电源模块,输入为交流220V,输出 $\pm 5V$ , $\pm 12V$ 。

## 2.2 通讯规约

为保证继电保护中数据传输的有效性和可靠性,在发送端与接收端之间需要有一系列的约定,这

就是数据传输规约或通信规约,它对通信链路的控制、通信双方的应答关系、通信内容的格式、差错控制方式以及传输速率等进行了一系列的约定。

IEC60870-5-103标准是为了实现变电站内部全部信息的和功能的的数据交换而由国际电工委员会指定的配套标准,该规约1999年已经成为我国的电力行业标准。本装置通讯系统的链路层严格遵守IEC60870-5-103规约,同时根据该标准的前言中指出的“本配套标准未必一定适用于将继电保护和测量、控制功能组合在一个装置内并共用一个通信接口的设备的信息接口”<sup>[2]</sup>而在应用层上进行了部分改进。改进的规约采用主从方式在各个子站之间通信,主站为HEA2002系统(武汉华工电气自主研发的变电站和水电站监控软件),子站为本文提到的光纤通讯接口的DSP保护装置。主站主动上传报文,采用轮询方式在各子站之间查询子站状态,子站则从动应答上传。鉴于保护系统的实时性要求,即在有限的传输带宽下要求特别短的反应时间,本规约采用增强性能结构,即只有物理层、链路层和应用层。并且链路规约数据单元不得包含多于一个的应用服务数据单元,各种数据单元之间的关系见图3。

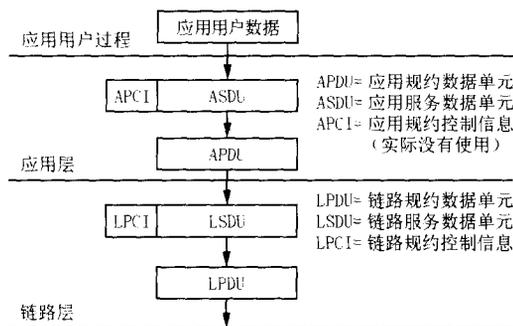


图 3 通讯规约数据结构图

Fig 3 Structure of communication protocol data

## 3 硬件设计

数据传送与接收光纤均采用多模光纤。光纤的种类:按光在物质中的传输模式可分为单模光纤和多模光纤多模物质。多模光纤传输的距离就比较近,一般只有几公里。如果需要传送更远的距离需要加中继站。单模光纤只能传一种模式的光,因此其模间色散很小,适用于远程通讯。但其色度色散起主要作用,故对光源的谱宽和稳定性有较高的要求,即谱宽要窄,稳定性要好。适合远距离通讯,但是造价高。作为微机保护通讯来说,多模光纤已经足够满足要求。

### 3.1 数据发送模块

本模块采用惠普低功耗高速发送模块 HFBR-1414。其性能指标为：

通讯速率最大值为 5 MBd；通信距离为 2 km；工作电流在通讯距离为 2 km 时，约为 42 mA；功耗约为 200 mW；工作温度为 -40 ~ +85。

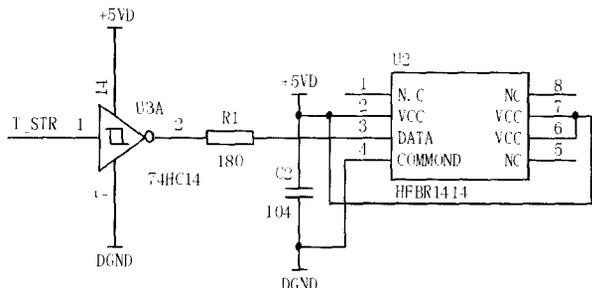


图 4 光纤数据发送电路

Fig 4 Fiber data transmitting circuit

发送数据由 CPU 写入发送缓冲区，CPLD 对该数据进行编码处理后由 T\_STR 端送入施密特触发器 74HC14 进行脉冲整形。经过脉冲整形后的数据直接送入 HFBR1414 的 DATA 端，在 HFBR1414 内部实现光电转换和发送到光纤通道中，这样就实现了数据的发送。HFBR1414 的 3 个 VCC 需要并联在一起，接到 +5VD。为防止电源纹波导致通讯误码，需要接上一个 104 的滤波电容。

### 3.2 数据接收模块

本模块采用惠普低功耗高速接收模块 HFBR-2412。其性能指标为：

通讯速率最大值为 5 MBd；工作电流在 5 V 电源供电时，最大值为 10 mA；功耗最大值仅为 40 mW；工作温度 -40 ~ +85。

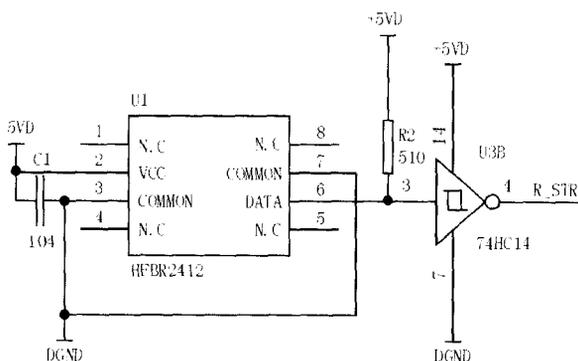


图 5 光纤数据接收电路

Fig 5 Fiber data receiving circuit

数据接收是数据发送的反过程，光纤过来的数据信息直接进入 HFBR2414 的光纤接口 (采用专用

接插件实现，不在图 5 所示的引脚之内)，在 HFBR2414 内部进行光电转换完成数据获取。随后送入施密特触发器 74HC14 进行脉冲整形，在 R\_STR 端就可以得到光纤传输过来的经过转换的电脉冲数据信号。接收集成模块 HFBR2414 的接线也很简单，VCC 接 +5VD 电源，COMMON 端并连接地。电源与地之间加 104 滤波电源，以保证模块稳定工作。R\_STR 出来的数据还不能被 CPU 直接读取，必须经过 CPLD 的解码处理才能还原成能被 CPU 识别的数据信息。

光纤通信接口中进行数据编码/解码工作的 CPLD 芯片为 Xilinx 公司的 XC9572 TQ100。其性能指标如下：

工作频率最大可至 125 MHz；芯片资源具有 72 个逻辑宏单元，可用的逻辑为 1600 门，能够实现较为复杂的控制逻辑；编程方式可进行系统在线编程；延时特性引脚间的逻辑延时为 7.5 ns；工作电流在频率达 25 MHz 时，约为 74 mA；功耗在 25 MHz 的工作频率下，约为 370 mW。

CPLD 完成的工作有如下几个方面：

1) 串行/并行和并行/串行转换。由于光纤传输的是串行数字信号，因此要转换为适合 DSP 处理的并行信号。光纤传输的速度非常高，DSP 的处理速度相比较慢，因此还必须设计一个 FIFO (先进先出) 缓冲区以防止数据丢失。接收数据先经过串—并转换后存放在 FIFO 缓冲区中，DSP 从中读取数据进行处理。发送缓冲区中的数据必须先经过并—串转换后才能由 HFBR1414 通过光纤往外发送。

2) 编码/解码。编码电路对数据按照一定的格式进行组合、编码操作。为提高数据通讯的质量和抗干扰能力，本系统的编码方案采用曼彻斯特编码，由于它具有无直流分量、信号提取方便等优点，较为适合本系统所要求的光纤数据通讯。曼彻斯特编码器在 CPLD 中构建；由于接收到的数据是经过曼彻斯特编码后的数据，因此在进行处理操作前要对数据进行解码，恢复成原有的数据格式。

上述工作由 CPLD 硬件电路来完成，保证了其高速性和可靠性。同时采用的 Verilog HDL 是接近 C 语言的一种高级硬件设计语言，具有良好的程序逻辑结构的精确的硬件描述功能，硬件设计容易，修改逻辑功能非常方便。本硬件模块经过测试，其通讯距离可以达到 2 km，误码率小于  $10^{-9}$ 。

## 4 软件设计

#### 4.1 软件全部模块简述

1) 数据采集。DSP中的定时器 Timer1 定时中断 CPU,随后由 CPU 启动数据采集子系统,通过多路开关的转换将 16路模拟量采集到 SRAM 缓冲区。与此同时,开关量也一并被采集到 SRAM 缓冲区中。

2) 中文显示字库。为节省 SRAM 区间,保护中要用到的汉字代码和 ASCII 码均存放在 FLASH 存储器中。由于显示相对系统任务来说较慢,虽然读写 FLASH 存储器需要耗费一定的时间,但是作为人机接口来说在速度上完全满足要求。

3) 显示模块。本模块跟踪键盘输入显示相应的数据信息,在保护动作或系统故障时,自动弹出相应的信息框。

4) 保护控制模块。实现了三段式电流电压方向保护,不直接接地系统零序电流保护,过负荷保护,低频减载,三相一次重合闸,PT断线和控制回路异常检测。

5) 测量模块。测量电流  $I_m$ ,  $I_m$ ,  $I_m$  有效值及其相位,系统的有功值  $P$ ,无功值  $Q$  和视在功率  $S$ 。同时实现积分电量测量功能。

6) 光纤通讯模块。

系统整体工作流程及通讯模块在系统中的位置如图 6、图 7 所示。

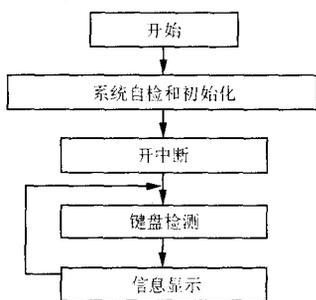


图 6 系统主流程图

Fig 6 System main flow chart

#### 4.2 光纤通讯模块

通讯接口作为系统软件一部分,必须与整个系统软件配合工作才能满足实际要求。图 6 是整个系统流程图,在主程序中,系统循环检测键盘和刷新显示屏幕,故障处理和通讯则在中断中进行。图 7 是采样中断服务流程图,除了采集模拟和开关数据之外,附加对通讯缓冲区的读写。通讯缓冲区是在内存开辟的一段单元,直接与通讯接口交换数据。这个交换的数据实际是主机与从机的交互命令,采样中断在系统上电后总是进行,而且中断频率也较高,

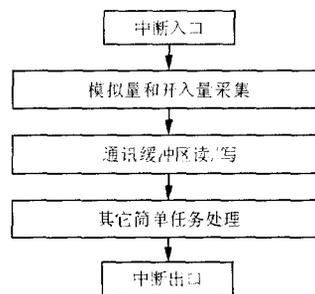


图 7 采样中断服务流程图

Fig 7 Flow chart of sample interrupting service

这样保证了主机命令的及时读取,也保证了从机向上呼唤的及时性,从而使通讯的实时性满足要求。

通讯中数据的通路流向如图 8 所示。

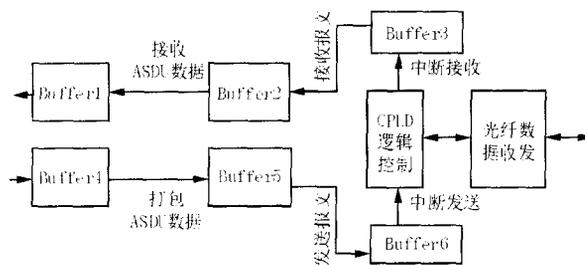


图 8 通讯数据流通路流程图

Fig 8 Flow chart of communication data path

程序中定义了六个循环缓冲区

1) Com\_B[1]. Recieve[LENG]: 中断接收缓冲区,通讯模块在其中找到报头后将数据传入 COM. uInData缓冲区。

2) COM. uInData[N]: 存放从中断接收缓冲区转移过来的数据,在此对数据帧作校验,如果错误则丢弃,正确则去掉报头并传入 InA sdu uData缓冲区。

3) InA sdu uData[N - 8]: 如果数据校验正确,此缓冲区就存放应用数据,然后对此中的 ASDU 做分析,以执行监控命令。

4) OutA sdu uData[N - 8]: 存放需要上传的应用数据,即保护系统的反馈数据,是执行 InA sdu uData中的监控命令的结果。

5) COM. uOutData[N]: 存放即将发送的数据,是对 OutA sdu uData中数据按标准打包形成 LPDU 数据帧的结果。

6) Com\_B[1]. Send[LENG]: 发送缓冲区,COM. uOutData中需发送数据首先存放在这里,中断中从此取数据依次发出。

一旦通讯开始,将一直持续到通讯结束。在微机保护装置与主机的通讯中,装置作为从机接收的

命令有: 定值查询 修改, 控制字查询 修改, 遥信量查询, 遥控 (主机可远程控制合闸/分闸), 在此称为主机命令; 主动发送的内容有: 动作故障报告, 操作记录报告, SOE事件报告, 故障录波数据, 在此称为从机命令。当装置存储的报告和故障录波数据超出存储容量时就会丢失数据, 因此必须主动向主机传送。同时在故障动作之后, 希望在主机中能及时看到这些内容。根据装置通讯在继电保护系统的功能位置, 在系统中开辟了一个毫秒级别的中断, 在这个中断中处理通讯任务。通讯任务可被采样中断打断 (采样中断优先级最高), 同时必须保证通讯任务被中断后再执行时要从被中断处开始执行, 否则通讯会发生紊乱。为此设立一个通讯标志 CommFlag, 进入通讯后 CommFlag = 1, 表示通讯已经开始。通讯结束标志清零。中断入口后用“if (CommFlag) return;”即可保证任务圆满进行。示例代码如下:

```

.....
if (CommFlag) return;
CommFlag = 1; /* 进入通讯任务      */
Comm_Task(); /* 调用通讯任务函数   */
CommFlag = 0; /* 退出通讯任务      */
.....

```

通讯任务流程如图 9 所示。

系统在初始化进程中, 保护系统首先接受复位通讯单元命令帧, 然后是复位帧记数位命令帧, 紧接着是时间同步, 一般在控制系统被初始化或者保护系统超时未对控制系统做出反应时进行系统初始化。时间同步可以是广播方式, 也可以是对其中一台装置 (此时需要确认), 时间同步不仅仅是在初始化阶段需要, 在运行中有时也需要。使用人员通过保护装置的人机接口向下层保护子系统下传数据、执行控制以及获取数据信息等操作都属于一般命令传输类的进程。保护系统接受控制系统的命令后, 如果不是广播则需要确认, 然后解析命令执行。在本装置的实际应用中, 我们将正常数据传输和扰动数据传输放在一起传送, 每次请求正常测量数据时, 通讯系统判断是不是有扰动数据, 如果有则在测量数据传送结束后开始传送扰动数据, 使用请求一级数据的固定帧作请求命令, 当有扰动数据, 一帧不能传送完毕时, 则分多帧传输。

## 5 结束语

本装置采用的浮点 DSP 保证了数据运算处理的高速性。集成光纤收发模块保证了光纤通讯的可

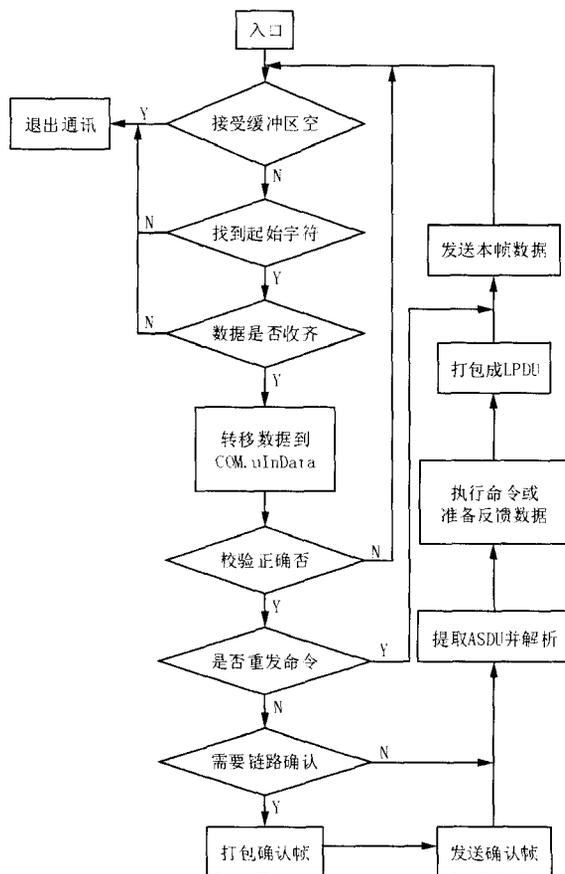


图 9 通讯模块流程图

Fig 9 Flow chart of communication module

靠性, 同时集成度较高的 CPLD 代替了传统的多个逻辑芯片并配合光纤收发模块减少了通讯误码率。本保护装置的光纤通讯接口已经与武汉华工电气自动化有限责任公司的光纤电力互感器连接成功, 试验结果表明该光纤通讯设计完全满足微机继电保护通讯要求, 能够满足继电保护通讯现场需要。

## 参考文献:

- [1] 高伟烈, 张金菊. 光纤通讯 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.  
GAO Wei-lie, ZHANG Jin-ju Fiber Communication [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunication Press, 1999.
- [2] 中华人民共和国电力行业标准, 远动设备及系统第 5 部分第 103 篇 继电保护设备信息接口配套标准 [S].  
Electric Power Industry Standard, PRC, Telecontrol Equipment and System, Part 5: Transmission Protocols Section 103 Companion Standard for the Information Interface of Protection Equipment [S].
- [3] 尹项根, 曾克娥. 电力系统继电保护原理与应用 [M].

- 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- Y N Xiang-gen, ZENG Ke-e Power System Relay Protection Theory and Application[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001.
- [4] TMS320C3x User s Guide Texas Instruments Incorporated Datasheet[Z]. 1997.
- [5] 邱大为,游大海,等.一种带光纤数字接口的继电保护装置的研究[J].继电器,2003,31(5):33-36
- Q U Da-wei, YOU Da-hai, et al Study on an Integrated Protection with Digital Optical Interface[J]. Relay, 2003, 31(5):33-36
- [6] 陈维千.光纤通信技术及其在电力系统中的应用[J].电力系统自动化,1981,5(4):35-37.
- CHEN Wei-qian Fiber Communication Technology in Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1981,5(4):35-37.
- [7] 邱培曦.电力系统中的光纤通讯[J].电力系统自动化,1990,14(6):26-28
- Q U Pei-xi Fiber Communication of Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14(6):26-28

收稿日期: 2004-09-23; 修回日期: 2004-10-27

作者简介:

金明亮(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护;E-mail: brighthust@163.com

游大海(1956-),男,教授,博士,主要从事电力系统继电保护,电力系统自动化,电力市场等方向的研究;

李正天(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

### Design of fiber communication in microcomputer relay protection

J N M ing-liang, YOU Da-hai, L I Zheng-tian, X I E Yu-bing

(School of Electrical Engineering and Electronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The theory of the optical fiber communication is introduced, and its system structure and components functions are described in detail. Optical module and CPLD are adopted to design communication hardware circuit. And the operating principle of the hardware circuit is discussed. With relay protection devices based on DSP, the paper presents the communication rules, communication content and communication process. The paper provides and expatiates flow chart of every part.

**Key words:** microcomputer relay protection; fiber communication; DSP; CPLD; communication specification

(上接第 55 页 continued from page 55)

- FAN Wen-tao, FANG Yong-jie, ZHU Kun, et al An On-line Pre-decision Emergency Control System Based on Object-oriented Processing[J]. Power System Technology, 1999, 23(8): 1-5.
- [5] 吕东晓,李勇,肖昌育,等.华中电网在线稳定控制系统的研究与开发[J].电网技术,1999,26(4):34-37.
- L ü Dong-xiao, L I Yong, X IAO Chang-yu, et al An On-line Stability Control System for Central China Power System [J]. Power System Technology, 1999, 26(4): 34-37.
- 收稿日期: 2004-09-27; 修回日期: 2004-11-24
- 作者简介:
- 代仕勇(1977-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统稳定实时决策与控制;E-mail: daishiyong77@hotmail.com
- 周良松(1967-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统稳定与控制、电力系统安全稳定控制装置;
- 张力晨(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统分析与稳定控制。

### Probing into the mode of getting real-time data from EMS in an online stability control system

DA I Shi-yong, ZHOU Liang-song, ZHANG Li-chen, WU Yong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** How to get real-time data from EMS reliably for on-line transient stability control is an important issue in power system stability control. In this paper, the method of getting real-time data from EMS database using AQL interface is described. And expert system is introduced to process EMS data and make a interface with the classical program of stability-analysis. It has been proved that the automatic running of the on-line transient stability analysis and control system based on real-time data from EMS is feasible in this way.

**Key words:** EMS; expert system; security and stability