基于Modbus协议的智能断路器通信模块设计与实现①

罗轶峰　戴瑜兴 (湖南大学 电气与信息工程学院 湖南 长沙 410082)

李　芃　王卫国 (天正集团有限公司 浙江 温州 325604)

摘　要： 针对可通信智能断路器的技术发展要求,介绍一种基于Modbus协议的智能断路器通信模块设计方案。阐述了系统的组网形式、Modbus协议通信机制以及Modbus协议栈的软件实现方法。给出了电源电路、RS485通信接口电路的设计方案。该模块有效的实现了智能断路器的远程通信和集中监控。

关键词： Modbus；现场总线；断路器；通信模块

Design and Implementation of an Intelligence Circuit Breaker Communication Module Based on Modbus Protocol

LUO Yi-Feng[1], DAI Yu-Xing[1], LI Peng[2], WANG Wei-Guo[2]

(1.College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;
2.Tengen Group Company Ltd., Wenzhou 325604, China)

Abstract: The design of Communication Module for intelligent circuit breaker based on the Modbus protocol is introduced according to the technical demands of intelligent low voltage circuit breaker with communication capability. The form of networking and mechanisms of Modbus communication, as well as Modbus protocol stack software implementation are expounded. The power circuit and RS485 interface circuit are also presented. The module is effective to achieve the centralized monitoring and long-distance communications.

Keywords: modbus; field bus; circuit breaker; communication module

1　引言

电力断路器是低压电器的基础元件，广泛应用于低压电力系统中，负责电能的分配传输、用电器的保护控制等，对电力系统的可靠运行起着举足轻重的作用。可通信智能塑壳断路器与传统的热磁式塑壳断路器相比，在采用智能和数字控制技术的基础上，增加了通信模块和上位机监控软件，使具备可通信功能。本文介绍的Modbus通信模块为可通信智能塑壳断路器的通信和组网模块，是组成Modbus网络拓扑结构的核心部件，通过对Modbus通信协议进行解析，负责智能断路器与远程监控端的数据通信，实现对现场断路器的遥测、遥控、遥讯、遥调。该模块具有可靠性、通用性强的设计特点，适用于各种不同壳架等级的断路器产品，有很高的应用价值。

2　系统构成

2.1 系统结构

基于Modbus协议的可通信智能断路器系统由远

① 基金项目:浙江省重大科技专项(2007C11072)
收稿时间:2009-06-18

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

程监控主机、RS485/232 转换器、Modbus 通信模块和终端智能断路器组成。远程监控主机主要负责对系统各节点断路器整定值的远程设置，实时电力参数和现场断路器状态的显示、管理和分析，断路器分断/闭合的控制等。RS485/232 转换器作为监控主机与 Modbus 总线的接口，完成 Modbus 总线数据电平与 RS-232 接口电平的转换。终端智能断路器以电子控制器为控制核心，额定电流和保护特性可调，负责现场电力系统状态的监测，并通过通信接口与 Modbus 通信模块进行数据交互。在该系统中 Modbus 通信模对连接上位机(远程监控主机)与终端智能断路器起到桥梁作用。如图 1 所示。该 Modbus 网路在没有中继器的情况下允许挂接设备节点最大数为 32 台，在本设计中，Modbus 通信模块的编址为 1-99，因而，通过在两个或两个以上的重负载之间使用中继器，网路的最大接入节点数可扩展至 99 个，传输距离可延长至 6-10km。

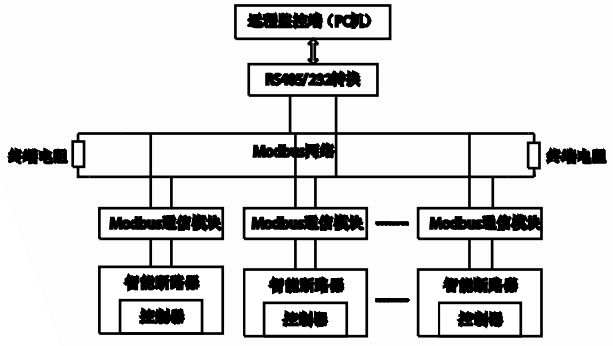

图 1 基于 Modbus 协议的可通信智能断路器系统结构框图

2.2 通信机制

从 1979 年开始，Modbus 协议已成为工业串行链路的事实标准。Modbus 是 OSI 模型第 7 层上的应用层报文传输协议，它在连接至不同类型总线或网络的设备之间提供客户机 / 服务器通信[1]。Modbus 协议现有 ASCII、RTU 及 TCP 三种传输模式，其中 TCP 模式的系统端口号为 502，从而具备了与 Internet 互联的能力。在同样的波特率下，RTU 可比 ASCII 方式传送更多的数据，因此本设计采用的是 RTU 模式。Modbus 协议定义了独立于底层通信层的简单协议数据单元(PDU)，它由一字节功能码和 n(n<253)字节数据组成，再加上头部地址和尾部校验字，构成了应用数据单元(ADU)如图 2 所示。

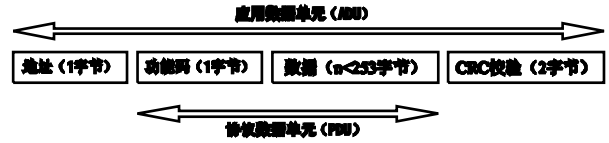

图 2 RTU 应用数据单元构成

Modbus 采用主/从通信模式，在本系统中，主设备为安装了上位机监控软件的远程监控端 PC，从设备为通信模块及现场智能断路器。主设备可采用广播方式或单独查询方式与从设备通信，从设备返回一消息作为回应，但如果是广播方式，从设备不做任何回应[2]。如图 3 所示，主设备将包含从设备地址、功能代码、数据和 CRC 校验的数据帧发送至网络，各从设备对数据帧接收并解析，与主设备请求的地址唯一对应的从设备根据功能码要求给出响应，并发送回相应的数据，其余从设备则无需响应并丢弃接收帧。当从设备检测到接收数据出错或访问功能出错时，返回相应的异常处理代码帧，主设备根据返回异常代码判断出错原因并做出相应的处理。从设备不能向主设备或其它从设备发起通信。

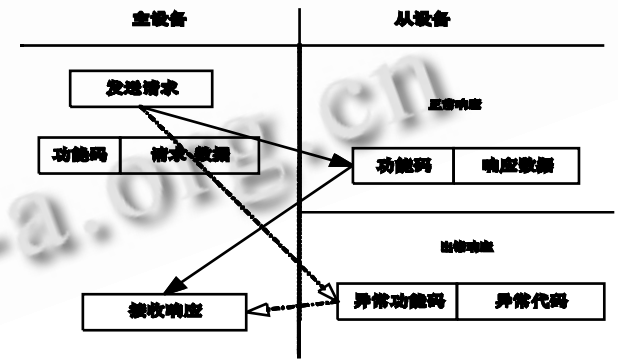

图 3 Modbus 协议通信机制

3 硬件设计与实现

3.1 总体设计

智能断路器 Modbus 通信模块的硬件结构如图 4 所示。设计采用 Atmel 公司的工业级芯片 AT91SAM 7S64 为核心，主要由电源转换电路、RS485 电路、组网接口、编码开关、状态指示灯以及扩展存储器等组成。AT91SAM7S64 是以 ARM7TDMI 为内核的 32 为高性能微处理器，具有 64K 字节的片内高速 Flash 存储器、16K 字节片内高速 SRAM，32 位实时定时器，

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

时间窗看门狗，一个 USB2.0 全速端口，两个通用同步/异步收发器(USART)，8 通道 10 位模数转换器等。其中组网接口用于网络拓扑的扩展连接，编码开关用于设置 Modbus 的硬件地址，状态指示灯用于网络通信状态和故障指示。

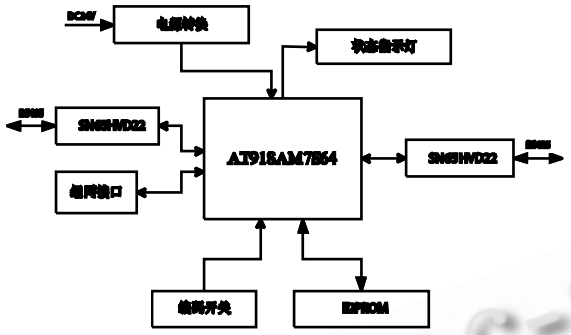

图 4　Modbus 通信模块硬件结构

3.2 电源电路

根据国家相关标准，具备可通信能力的断路器应具备辅助电源模块，在主电路被切断而无法通过互感器现场取电时，由辅助电源模块供电。在本设计中，整个系统的辅助电源由远程监控端统一供给，采用工业标准的 DC24V。供电线与通信电缆线和设备屏蔽地在同一多芯电缆中传输。辅助电源为 Modbus 通信模块供电的同时作为终端智能断路器电子控制器的第二电源。电源电路如图 5 所示。

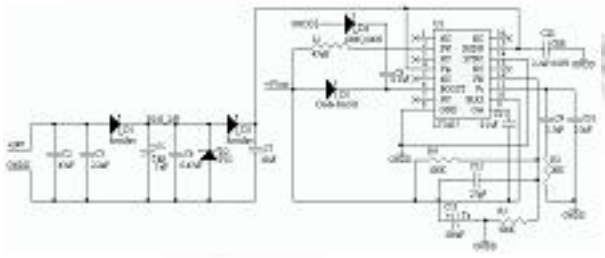

图 5　电源电路

由于系统采用远程供电，电缆间存在分布电容、电缆自身存在电阻，而外界的干扰特别是浪涌和雷电将会对供电的可靠性产生较大的影响。因而电源供电的稳定性成为首要考虑的问题。针对上述情况，本设计中电源电路的 DC/DC 芯片采用 Linear Technology 公司的耐热增强型TSSOP-16E封装的LT3437，该器件能在 3.3V 至 60V 的连续输入条件下工作，可承受高达 80V 的瞬态电压，其 500mA 内部开关在电压低至 1.25V 时提供高达 400mA 的连续输出电流。突发模式工作将无负载静态电流降至低于 100uA，最大限度地延长了接通应用的电池供电模块的工作时间。在 DC24V 的输入端并接多个 100V 耐压电容以达到去耦、消除纹波的作用，同时高速整流管及瞬态抑制二极管的接入能使电源系统在更为苛刻的工业环境和瞬态高压冲击环境中可靠运行。

3.3 通信接口电路

本模块采用 RS485 作为数据收发的底层通信接口，接口电路的附加保护措施也是必须重点考虑的环节。通信接口电路如图 6 所示。

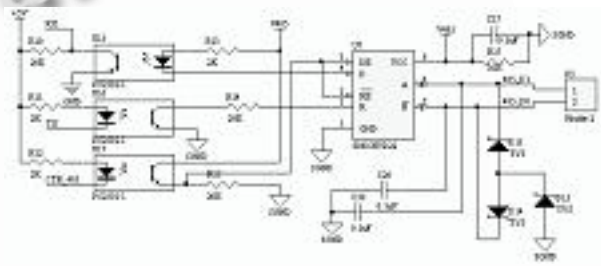

图 6　通信接口电路

本设计选用 TI 扩大共模范围的 RS-485 收发器 SN65HVD22，它具有超过 TIA/EIA-485 两倍要求的共模电压范围。该芯片针对噪声与失效情况提供保护功能，非常适用于对电气环境要求极为严格的场所和工业环境。在 500kbps 速率下最大传输距离可达 1200m，最大允许挂接 256 个节点，具有高达 16KV 的 ESD 保护、广泛的接收器磁滞以及真正的失效保护操作等特性[3]。微处理器的 UART 串口的 RXD、TXD 管脚通过光电隔离电路连接收发器的 R、D 引脚，控制信号 CTR_485 同样经光电隔离电路控制收发器的 DE 和/RE 引脚。由微处理器输出的 CTR_485 信号直接控制 SN65HVD22 的发送/接收使能：CTR_485 信号为高电平，则 SN65HVD22 芯片的发送器有效，接收器禁止，此时微处理器可以向 RS-485 总线发送数据字节；CTR_485 信号为低电平，则 SN65HVD22 芯片的发送器禁止，接收器有效，此时微处理器可以接收来自 RS-485 总线的数据字节。此电路中，任一时刻 SN65HVD22 芯片中的“接收器”和“发送器”只能够有一个处于工作状态。连接至 D0、D1 引脚分别连接 0.1uF 的电容用于保证无连接的 SN65HVD22

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

芯片处于空闲状态，提供网络失效保护，以提高 RS-485 节点与网络的可靠性。SN65HVD22 芯片本身集成了有效的 ESD 保护措施。但为了更加可靠地保护 RS-485 通信网络，确保系统安全，在电路中，钳位于 26.7V 的 TVS 管 D13、D14、D15 用来保护 RS-485 总线，避免高频瞬态干扰(雷击、浪涌)产生的高压损坏收发器，将危害性的瞬态能量旁路到大地。另外本设计使用 DC-DC 器件产生一组与 MCU 电路完全隔离的电源输出，用于向 RS-485 收发器电路提供 5V 电源，并将数字地与信号地有效隔离。

4 软件实现

远程通信操作的实现以可靠的数据传输为前提，通过 RS-485 总线的数据发送由串口中断服务程序完成。Modbus 帧必须作为一个连续的数据流传输。帧完成前如有 1.5 个字符间隔时间，接收设备会认为后续数据为下一个新消息的地址字节。同样地，如果一个新消息在小于 3.5 个字符时间内接着前一个消息开始，接收的设备将认为它是前一消息的延续。这将导致一个错误，并导致 CRC 字节校验时出错[4]。虽然 RS485 支持的最高波特率达 10Mbps，但根据实际网络数据传输量，该系统设默认波特率为 19200bps，并可由远程监控端对波特率进行设置。

作为可通信智能断路器的组网模块，本设计中软件部分的核心内容为在透彻理解 Modbus 协议的基础上，根据实际应用需要完成对协议的代码实现。程序设计中采用模块化设计思想，便于以后代码的移植和功能的扩展完善。部分程序代码如下。

(1) 相关初始化函数。在系统进入通信主循环前，进行串口配置、使能协议栈等底层配置。

```
MBErrorCode MBInit( MBMode Mode, UCHAR SlaveAddress, UCHAR Port, ULONG BaudRate, MBParity Parity );  //Modbus协议初始化函数；完成传输模式(本系统为 RTU)、串行通信端口的选择，从机地址、波特率、奇偶校验的设定，函数返回初始化状态。

MBErrorCode MBEnable(void);  //使能 Modbus协议栈；

MBErrorCode MBDisable(void);  //终止 Modbus数据帧的处理；

MBErrorCode MBSetSlaveID(UCHAR SlaveID, BOOL IsRunning, UCHAR const *pucAdditional, USHORT AdditionalLen);  //当 Modbus函数 “Report Slave ID” 使能时调用该函数，用于从机设备 ID的配置；
```

(2) 数据收发函数。串口将数据以字节形式收发后，产生收发中断，由微处理器调用 Modbus 协议栈相关函数进行解析和处理。

Modbus 数据帧的接收。

```
MBErrorCode MBRTUReceive(UCHAR * RcvAddress,UCHAR **Frame,USHORT *Length)
{
    BOOL FrameReceived = FALSE;
    MBErrorCode Status = MB_NOERR;
    DisableInterrupts ( ); //关闭中断；
    if((usRcvBufferPos>=MB_SER_PDU_SIZE_MIN)&&(MBCRC16((UCHAR *) RTUBuf, RcvBuffer-Pos) == 0 ) ) //数据帧长度和 CRC校验判断；
    {
    *RcvAddress=RTUBuf[MB_SER_PDU_ADDR_OFF]; //帧地址传递；
    *Length=(USHORT)(usRcvBufferPos-MB_SER_PDU_OFF-MB_SER_PDU_SIZE_CRC); //Mod- bus 协议数据单元(PDU)长度计算；
    *Frame = (UCHAR *) & ucRTUBuf[MB_SER_PDU_OFF]; //返回 Modbus协议数据单元(PDU)的起始地址；
    xFrameReceived = TRUE;
    }
    Else
    {
     Status = MB_errorIO; //返回端口错误；
    }
    EnableInterrupts ( ); //使能中断；
    return Status; //返回函数状态；
}
```

Modbus 数据帧的发送。

```
MBErrorCode MBRTUSend(UCHAR SlaveAddress, const UCHAR * Frame, USHORT Length)
    {
     MBErrorCode Status = MB_NOERR;
     USHORT CRC16;
     DisableInterrupts ( ); //关闭中断；
     if( RcvState == STATE_RX_IDLE ) //查询接收是否
```


© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

```
出于空闲状态;
    {
     SndBufferCur = (UCHAR *) Frame - 1; //第一个字节为从机地址;
     SndBufferCount = 1;
     SndBufferCur[MB_SER_PDU_ADDR_OFF]=SlaveAddress; //复制 Modbus 协议数据单元(PDU)送入发送缓存;
     SndBufferCount += Length;
     CRC16=MBCRC16((UCHAR *) SndBuffer- Cur, SndBufferCount ); // CRC 校验计算;
    RTUBuf[SndBufferCount++]=(UCHAR)(CRC16 & 0xFF);
    RTUBuf[SndBufferCount++]=(UCHAR)(CRC16 >> 8);
     SndState = STATE_TX_XMIT; //激活串口数据发送;
    }
    Else
    {
     Status = MB_errorIO; //返回端口错误;
    }
    EnableInterrupts ( ); //使能中断;
    return Status; //返回函数状态;
```

5 结语

本文阐述了一种基于 Modbus 工业网络的智能断路器通信模块的设计与实现。该模块组成的控制网络能实现各个节点智能断路器的分散化、网络化、智能化，通过与远程监控主机的数据交互，实现对现场断路器的遥测、遥控、遥讯、遥调。该通信模块在小于 10ms 的极限应答时间内能保证 90%的可靠信息交互，在 50-200ms 应答时间内能保证 100%的可靠通信率，长时间组网测试和试运行表明，该模块通信稳定、数据交互实时性好、抗干扰能力强并具有广泛的通用性，完全能满足实际应用中对实时性和可靠性的要求。

参考文献

1 Modbus-IDA. MODBUS Application Protocol Specification V1.1b.[2006-12] http://www.Modbus-IDA.org.

2 阳宪惠.工业数据通信与控制网络.北京:清华大学出版社, 2003.80－90.

3 Texas Instruments Incorporated. Extended Common-mode RS-485 Transceivers datasheet, www.ti.com .

4 Khawar M. Zuberi, Kang G. Shin. Design and Implementation of Efficient Message Scheduling for Controller Area Network. IEEE Transactions on Computers, 2000,49(2):183－185.

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn