

CAN 控制器, PCA82C250 作为 CAN 收发器; 高速 RS-485 设计部分以 RS-485 作为物理层的标准, 在链路层加入 HDLC 协议, 这里选用 Mitech 公司的 MT8952B HDLC 协处理器, 并采用 MAX483 芯片作为收发器。

最后对下层测控网使用 Visual C++ 语言进行应用层软件设计。由于电能质量监控系统的通信开放性是衡量一个电能质量监控系统的性能先进性的重要指标之一, 于是本文选用我国原电力部颁布的 CDT 规约作为应用层通信规约。使用 MComm 控件串行通信技术实现了下层测控网络的串行通信部分的具体流程, 并按 CDT 规约标准通信, 同时采用了一种快速简单的 CRC 校验算法。本程序在设计过程中采用了面向对象的设计思想, 各个功能模块能很方便地移植到其它平台或软件上, 同时也可以根据需要扩充其它规约程序。

关键词: 电能质量监控系统, 现场总线, CDT 规约, 高速 RS-485 总线, CAN 总线

Research of Communication Network in Power Quality Monitoring and Control System

(Abstract)

Major: Power Electronics and Electric Power Drivers

Graduate: Liu XiaoFei **Advisor:** Jin Bin

With the further development of the national economy, the demand to improve power quality is greatly needed. In the whole power quality monitoring and control system, all the controlling command, data transmission and information exchange among workstation, front-end computer and monitor and control equipment of power quality are implemented by digital communication, which needs well real-time performance and reliability. Moreover, communication network and network transmission protocols are the key factors that decide the reliability of communication system and the high speed of information transmission.

The paper studies the communication between monitor and control equipment of power quality and front-end computer in the power quality monitoring and control system, then design the dual-network communication module and the CDT protocol Program.

First, the thesis inquired into the power quality monitoring and control system in the applied present condition of the communication network and protocol, discussing to study the necessity of the exhibition thesis, introducing the fundamental mode of information transmission: serial communication. Then according to the characteristics of the ISO/ OSI seven layer reference models aim at the power energy metrical LAN to carry on the analysis, and fieldbus technology and it carried on the introduction in the application in the power quality monitoring and control system, among them, the point introduced the of the RS-485 and CAN,

and put forward "CAN+ High speed RS-485" fieldbus communication system. After the point is to take CDT protocol as an example, discussing the telecontrol protocol.

Then carry on the design to the test and control subnetwork of the power quality monitoring and control system. We combine the RS-485 to deliver the distance far and deliver the quick advantage of speed with CAN, the redundant dual of the formation "CAN+ High speed RS-485" install. Not only can raise the speed and extension the distance, but also can complete the hot-reserved function. Thus, make the function of the test and control subnetwork good. Carried on the detailed introduction to the design of hardware circuit of the dual immediately. The node of CAN mainly is responsible for the CAN net communication, among them adopting the SJA1000 to be the controller of CAN, the PCA82C250 is the transceiver of CAN; The high speed RS-485 design part is the standard of the physics layer with the RS-485, joining of HDLC protocol in the data link layer, choose the MT8952B HDLC as protocol controller, and adopt the chip of MAX483 to be the transceiver.

Finally, use the Visual C++ to design the software of test and control subnetwork. Because the openness of the power quality monitoring and control system is one of the important index signs of function, hence this paper use the CDT protocol that enacted by Ministry of Electric. Use the MScComm carried out the concrete process of the serial communication part of the test and control subnetwork, and communication with the CDT protocol standard, adopting a kind of quickly simple CRC algorithm. This procedure adopted the object-oriented method in design process, each function modules can transplant other platforms or software very expediently, also can enlarge other protocol procedures according to the demand.

Keywords: Power Quality Monitoring And Control System, Fieldbus, CDT Protocol, High Speed RS-485 Bus, CAN Bus

1 绪论

1.1 问题的提出

现代电力系统中存在大量的冲击负载、非线性负载及不可避免的线路故障，使电网电压波形发生畸变，导致电压突降、电压波动和闪变、过电压、暂态干扰等电能质量问题；同时为提高生产率及电能利用效率，变频调速设备、基于计算机的自动生产线等已大量投入使用，这些装置对电能质量的变化极为敏感，电能质量的短时变化也可能造成重大经济损失，此外，开放和鼓励竞争的电力市场运行机制也必然对电能这种商品的质量提出越来越高的要求。一方面是电网电能质量的下降，另一方面又是用户对电能质量要求的提高，因此对电能质量监控系统进行研究十分重要^[1, 2]。在参考IEC标准和IEEE标准的基础上，结合我国电力系统实际情况，我国相继颁布了有关电能质量的五项标准，即供电电压偏差、电压波动和闪变、公用电网谐波、三相不平衡以及电力系统频率偏差等，要求各级供电部门和用户按照该标准进行供用电。

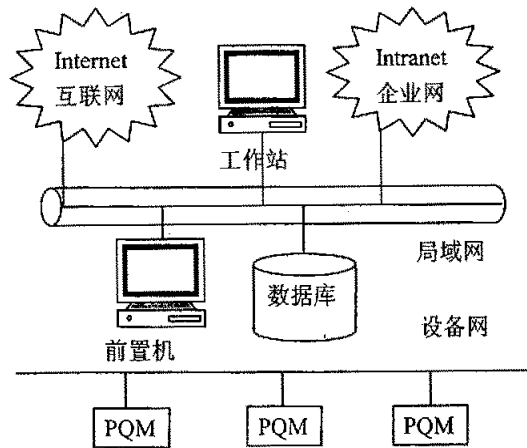


Fig1.1 system structure of power quality monitoring and control system

图 1.1 电能质量监控系统的体系结构

众所周知,只有对反映上述这五项标准的电参量进行实时准确的测量,才能为下一步判断这些测量指标是否满足国家标准以及制定必要的改善措施做好准备。如今电子技术和网络技术的飞速发展使得这种需求的实现成为可能^[3]。电能质量监测系统正在朝着在线监测、实时分析、网络化和智能化的方向发展。新一代电能质量监控系统的体系结构如图1.1所示。

在电能质量监控系统中,通信是必要的基础,这个系统的任何有机单元都是通过和其他单元通信而和系统发生联系的,没有通信这个基础就谈不上是一个系统。而且,这个系统的综合性越高,越向后面发展就越依赖于电力通信这个手段。原因如下:

从小的方面讲,电能计量、管理自动化系统各个部分要有效工作离不开通信。PQM(电能质量监测单元)所采集各种现场信号是人们非常关心的,这些信号要向上传输给各种监控系统,同时这些装置还要接受监控系统的各种控制操作和命令,也就是监控系统要下传各种命令。这些信号的上传,以及命令的下发都是因为可靠的电力通信才能进行。举例来说,电能质量监测装置常常要采集三相电流,电压等模拟量,这些信号一般采用譬如RS-485等总线上传。同时控制端的命令也是通过通信信道传给各装置,可以说,电能计量、管理自动化系统是基于通信的。

从大的方面讲,电能计量、管理自动化系统是一个功能复杂的大系统。而且功能要求这个系统必须是一个有机的整体,必须要协调一致。从系统的理论角度讲,这个系统就少不了通信,通信就是基础,而且随着人们对于系统性能要求的提高,要实现拥有某一权限的工作人员可以在数百公里甚至更远的地方实行对某一装置的远程操作,而且系统还要能对这一操作进行判断:合理与否,给出建议,这些操作的实现,以及做出这些判断所要求的大量数据都是以通信为基础^{[4][5][6]}。

所以综合这些情况,无论是从目前需要还是考虑以后发展来讲,开展电能质量监控系统的通信网络的研究都是非常重要的工作。

1.2 我国远动规约的应用现状^{[7][8][9]}

电能计量、管理自动化系统中,为了正确地传送和接收信息,必须有一套关于信息传输顺序、信息格式和信息内容等的约定,这一套约定称为规约或协议,传输规约对实现电能计量、管理自动化起着重要作用。只有采用完善、标准的规约,才能实现电能计量、管理自动化系统内设备的互联、互换。这一点对于制造厂和用户都是非常重要的,对于电能计量、管理自动化技术的发展也是非常重要的。

目前在我国应用的电力系统通信规约主要有部颁 CDT, SC1801, IEC 60870-5-101, IEC60870-5-103 和在北美地区应用较广的 DNP3.0 等。CDT 规约是 1991 年我国原电力部颁布的《循环式远动规约》,它适用于点对点通道结构,以循环字节同步方式传送远动信息。SC1801 是主站和从站通信所用的问答式(Polling)规约。DNP 3.0 是美国 IEEE 的电力工程协会(PES)在 IEC 的基础上制定的美国国家标准。DNP 为 Distributed Network Protocol(分布网络规约)的缩写。IEC 60870-5-101 是由 IEC(国际电工委员会) TC-57 技术委员会的 03 工作组于 1995 年制定的。IEC 60870-5-103 规约属于问答式(Polling)规约,是 IEC TC-57 技术委员会在 IEC 60870-5 系列标准的基础上,根据各种应用情况下的不同要求制定的配套标准。该规约对继电保护信息的传输做了详细的定义。

101, DNP3.0 两者都是面向 SCADA 系统,提供低速(最高达 64 kbit/s)连接上的高效和可靠的数据传输和控制功能,并能适应不同的拓扑结构。它们实现的基本应用功能也相同,包括数据查询、时钟同步、文件传输等。而 CDT, SC1801, 103 通常作为电能质量监控系统内部通信的传输规约。

由于以太网在电能计量、管理自动化系统中的应用,TCP/IP 协议也被应用到电能计量、管理自动化通信系统中。TCP/IP 协议是不基于任何特定硬件平台的网络协议,既可用于局域网(LAN),又可用于广域网(WAN)。对应于 ISO/OSI 七层通信模型,以太网技术规范只映射为其中的物理层和数据链路层;而在其之上的网络层和传输层协议,目前以 TCP/IP 协议为主(TCP/IP 已成为以太网之上传输层和网络层“事实上的”标准)。而对较高的层次如会话层、表示层、应用层等没有作技术规定。TCP/IP 有许多优点,它是一种已经成为国际标准且

应用十分广泛的协议,采用 TCP/IP 协议的系统可以具有良好的可扩展性, TCP/IP 还提供了一系列功能不同的协议,可以根据不同的需要来选择合适的协议来进行通信。

1.3 电能质量监控系统中通信网络的发展状况^{[10][11][12]}

通信网络是连接系统内各种智能电子设备(IED)的纽带,是电能质量监控系统的命脉,其可靠性与信息传输的快速性决定了系统的可用性。

早期的电能计量、管理自动化系统通信方式多采用RS-485方式,这种方式的优点是通信设备简单,成本低,网络连接方便、抗干扰性能好、传输距离远等。RS-485收发器采用平衡发送和差分接收,因此具有抑制共模干扰的能力,加上收发器具有高的灵敏度,能检测到低达200mV的电压,可靠通信的传输距离可达数千米。使用RS-485总线组网,只需一对双绞线就可实现多系统联网构成分布式系统,设备简单、价格低廉、通信距离长。实践的应用证明,构成RS-485总线网络时,最重要的是在满足通信指标的条件下,能够稳定可靠地运行。但也存在一些不足,如所连接的节点数一般不超过32个,通信速率低(一般在2400~9600bps),难以满足较高的实时性要求。

现场总线是二十世纪80年代末以来工业控制领域中出现的一项重要技术,现场总线技术的应用,无疑为电能计量、管理自动化系统的实现提供了很好的技术支持。按照国际电工委员会IEC标准和现场总线基金会FF(Fieldbus Foundation)的定义:现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。

现场总线均以国际标准化组织(ISO)的开放系统互连(OSI)的参考模型为基础。支持多种通信介质,满足高速可靠的技术要求,在具体技术实现上各存在优势,目前国内使用较多的现场总线有:CAN总线、基金会现场总线FF、PROFIBUS总线、Lonworks总线。

现场总线的特点是接口简单,传输速率比传统的RS-485高,传输可靠性高。CAN总线的通信速率可达1Mbps(通信距离40m),LonWorks的最高通信速率1.25Mbps(通信距离不超过130m)。但到目前为止现场总线仍没有一个完全统

一的国际标准，国内电能计量、管理自动化系统设计，由于侧重点的不同，总线的选用也不一致。

局域网技术的发展也逐渐渗透到电能计量、管理自动化领域里。以太网是目前应用最为广泛的局域网，以太网是一种流行的分组交换局域网，由Xerox公司的PARC (PaloAlto研究中心)在70年代早期发明，Xerox公司、Intel公司和DEC公司于1978年把以太网标准化，IEEE用号码802.3发布了与这个标准兼容的版本：“IEEE802.3 CSMA/CD”。之后IEEE802.3以太网标准被国际标准化组织(ISO)接收为国际标准。目前在所有的网络连接中80%是基于以太网的，以太网的销量比其它局域网的销量要多得多，以太网是目前使用最广泛的局域网技术。其特点是：硬件支持标准，硬件成本低，支持软件较多，速率高，网络拓扑结构可复杂可简单，这些已为大家所熟悉。由于以太网(Ethernet)采用CSMA/CD碰撞检测方式，当网络负荷较大时，网络传输的不确定性不能满足工业控制的实时要求，因此传统以太网技术难以满足控制系统要求准确定时通信的实时性要求。

1.4 本课题的任务和意义

本文将借鉴ISO/OSI七层参考模型的思想，采用了“CAN+高速RS-485”的双网冗余配置来构成电能质量监控系统的下层测控通信子网，完成物理连接和链路控制。并且用VC++实现CDT规约，作为应用层通信规约。

主要工作包括：

1. 结合ISO/OSI七层参考模型对电能质量监控系统中现场总线通信网络的特点进行分析。
2. 介绍电力系统中的几种常见规约，并着重以CDT规约为例对通信规约进行论述。
3. 完成“CAN+RS-485”的双网冗余通信模块的硬件电路设计。
4. 用VC++语言编写应用层通信规约软件，实现前置机与下层分布式PQM的网络通信。
5. 结论与展望。

2 电能质量监控系统中的信息传输技术

随着分布式处理思想在电能计量、管理自动化领域中的渗透，越来越多的分散式测控设备在电能质量监控系统中被广泛采用。这些设备之间的信息传输技术并不是一种全新的技术，它吸取了计算机网络中使用的通信技术。

2.1 串行通信^[13]

2.1.1 串行通信的特点

在串行通信中，传送信息只占用一条传输线，这根线既作数据线又作联络线，它是一种广泛的传输方式。使用串行通信的最大优点就是节省传输线，特别是当要传送的距离很远和传送的位数很多时，这个优点就尤为突出。对信息传输的格式有固定的要求，而且串行通信中对信息的逻辑定义与TTL不兼容，需要进行逻辑电平转换。

2.1.2 串行通信的物理层特性

(1) 机械特性和功能特性

物理层的机械特性规定了物理连接时所采用的可接插连接器的规格尺寸，连接器中引脚的数量和排列情况等。功能特性则规定了各引脚的功能分配和确切定义。

(2) 电气特性

物理层的电气特性规定了在物理连接上传输二进制位流时线路上信号电压的高低，阻抗匹配情况，传输速率和距离限制等。物理层接口的电气特性主要有两类：非平衡型、平衡型，如图2.1所示。

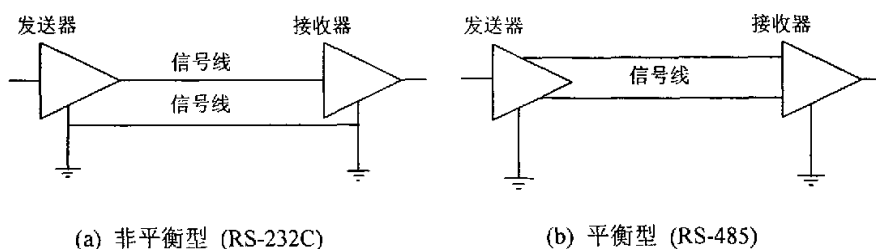


Fig 2.1 physical layer electric features of serial communication

图2.1 串行通信物理层的电气特性

非平衡型标准中,信号的发送器和接收器均采用非平衡方式工作,每个信号用一根导线传输,所有信号公用一根地线,如图2.1(a)。由于信号是单线,因此线间干扰大,传输过程中的外界干扰也很大。

平衡型标准中,发送器和接收器均以差分方式工作,每个信号用两根导线传输,整个接口无需公用信号就可以正常工作,如图2.1(b)。信号电平由两根信号线的差值表示。由于每个信号均用双线传输,因此线间干扰和外界干扰大大削弱,具有较高的抗共模干扰的能力。

(3) 数据编码

数据编码是指通信系统中以何种物理信号的形式来表达数据。二进制数据的表示方式可以分为以下两种编码方案:

用两个电平来表示两个二进制数字,称为非归零码(NRZ)。如RS-232C用负电压表示逻辑“1”,正电压表示逻辑“0”。如图2.2(a)所示。

用电平的变化来表示逻辑“0”和“1”。如局域网络传输中常用的基带信号编码方式—曼彻斯特编码(Manchester Encoding)。该编码在每一位的中间有一个跳变,该跳变既作为时钟,又作为数据。从高到低的跳变表示“1”,从低到高的跳变表示“0”。如图2.2(b)所示。

(4) 串行接口标准

(a) EIA-RS-232C接口标准

RS-232C标准(协议)广泛用于计算机与终端或外设之间的连接,是一种非平衡传输方式的串行接口标准,直接连接的最大电缆长度为15m(50英尺)。

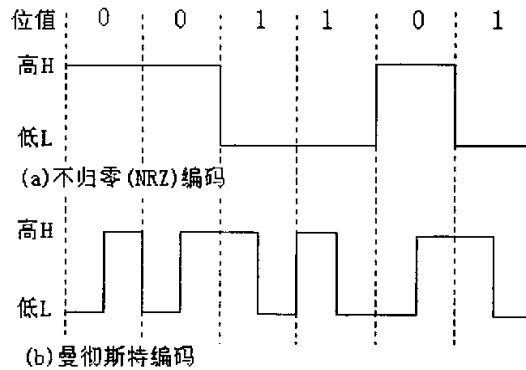


Fig 2.2 digital signal coding

图2.2 数字信号的编码

(b) RS-485接口标准

RS-485是一种平衡式传输方式的串行接口标准,它是在RS-232基础上发展起来的,并与RS-422A兼容,且允许线路中有多个发送器和多个接收器。RS-485以半双工方式通信,支持多点连接,允许创建多达32个节点的网络(最大传输距离为1200m)、传输速率快(可达200Kbit/s)等优点,用于多站互连时,便于组建成本低廉、可靠性高及分布范围较大的总线网络。

RS-485收发器采用平衡驱动和差分接收,具有抑制共模干扰能力,线路上允许带多个驱动器和接收器,可用于构建多点通信网络。许多智能仪器均配有RS-485接口,将它们联网构成分布式系统十分方便。

2.1.3 串行通信方式

在串行通信中,根据对数据流的分界、定时及同步的方法不同,有两种最基本的通信方式:异步串行通信和同步串行通信。作为串行通信,这两种方式都需要给传输的数据加上必要的成帧信号,供接收端进行识别,才能完成正确的接收。

(1) 异步串行通信

异步串行通信的基本特点是:以字符为信息单位传送。每个字符作为一个

独立的信息单位(1帧数据)，可以随机出现在数据流中，即发送端发出的每个字符在数据流中出现的时间是任意的，接收端预先并不知道。也就是说，异步串行通信方式的“异步”主要体现在字符与字符之间的通信没有严格的定时要求。

异步通信方式在发送一个字符时，必须在信息位的前面加上一个“起始位”，也叫“启动位”，而在信息位的后面加上一个或更多的“停止位”，其帧格式如图2.3所示。信息位的长度可根据需要规定，在信息位和停止位之间还可以插入奇偶校验位。

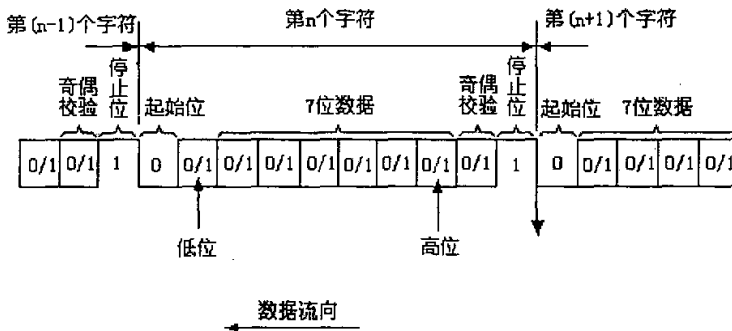


Fig 2.3 frame format of asynchronous communication

图2.3 异步通信的帧格式

在异步方式中，起始位用来通知接收器已经开始字符传送，接收器一旦接收到启动信号，就开始装配一个字符，接收器和发送器能够同步工作。加在数据位后面的停止位，能够保证下一个字符的起始位在通信线路上引起转变。采用这种通信时，从一个字符到下一个字符开始之间，没有规定固定的时间间隔长度，因此称为异步传输方式，间隔时间用停止位来填充，间隔时间虽然可长可短，但不能太长，在某些场合下规定，若超过一定的时间，接收端就认为超时故障。

异步通信的缺点是信息传输的效率差，每传送一个字符都要附加一些成帧信号，这些信号占用了许多传输时间。因此异步通信一般应用在通信速率要求

不高的场合。异步通信的传输速率在50~9600Bd之间，常用到计算机与CRT终端，字符打印机之间的通信，以及直通电报和无线电通信的数据传送等。

(2) 同步通信

在异步通信中，每一个字符都要用起始位和停止位作为字符开始和结束的标志，占用了时间，所以，在数据块传送时，为了提高速率，就要去掉这些标志，采用同步传送，同步通信方式不给每个字符加起始位和停止位，而是把字符顺序地连接起来，组成一个数据块，把这样的数据块称为一个记录。在记录的开始加有成帧字符，而在记录的末尾加有一定的差错检验字符。成帧字符就是通常熟知的同步(SYN)字符，同步字符的格式和同步字符的个数可以根据需要而定。

在同步通信方式中，同步字符被接收器用来确定数据字符的起始界限。接收器收到的字符都是首尾相连的数据串，如果在数据串的关键部分不能正确地确定数据字符的起始界限的话，那么接收到的数据将是混乱的，接收器接收数据时，首先要搜索同步字符，在得到同步字符以后，才能开始装配数据。记录末尾的校验字符用来校验整个记录在传送过程中是否出现差错，但不包括同步字符在内。

同步通信协议的特点是一次传送由若干个字符组成的数据块，并规定若干特殊字符作为这个数据块的开头与结束标志以及整个传输过程的控制信息，它们也叫做通信控制字。由于被传送的数据块是由字符组成的，故又被称为面向字符的数据格式。1帧数据格式如图2.4所示。SYN(Synchronous Character): 同步字符，每1帧开始时都有SYN，加一个SYN的称单同步，加两个SYN的称双同步。设置同步字符是起联络作用，传送数据时，接收端不断检测，一旦出现同步字符，就知道是1帧开始了。

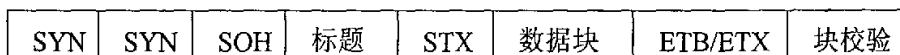


Fig 2.4 frame format of synchronous communication

图2.4 同步协议帧格式

SOH: (Start of Header): 序始字符，表示标题的开始。

标题：标题中包括源地址、目的地址和路由指示等信息。

STX(Start of Text): 正文开始字符，它标志着传送的正文(数据块)开始。数据块就是被传送的正文内容，由多个字符组成。

ETB(End of Block)/ETX(End of Text): 组终或文终字符。

同步通信协议不像异步串行通信协议那样，需要在每个字符前后附加起始和停止位，因此，传输效率提高了。同时由于采取了一些传输控制字，增强了通信控制能力和校验能力。

本文中使用的HDLC协议与CDT通信规约就是同步通信协议。

2.2 电能质量监控系统中的通信网络

串行通信系统的正规形式就是各类计算机网络、程控交换网，如远程网，大城市网及局域网络。从通信的角度来看，这些正规的串行通信系统是性能优良，相当完善的通信系统，但将这样的系统用于电能质量监控系统数据通信却不合适，特别是在性能价格比上很难被用户所接受。不过，我们在电能质量监控系统的数据通信网络设计、构建中可以借鉴网络体系结构的设计思想。

2.2.1 OSI 参考模型

1. OSI 参考模型的结构^[14]

OSI 参考模型如图 2.5 所示(省略了物理介质)。它是运用分层思想定义的一个具体模型，基于国际标准化组织(ISO)的建议，称作 ISO/OSI 开放系统互连参考模型(Open System Interconnection Reference Model)，各层功能如下。

物理层 (Physical Layer):涉及到通信在信道上传输的原始比特流。主要处理机械的、电气的和过程的接口，以及物理层下的物理传输介质等问题。

数据链路层 (Data Link Layer):主要任务是加强物理层传输原始比特流的功能，使之对网络层显现为一条无错线路。数据链路层负责数据帧(data frame)的形成(典型的帧为几百或几千字节)，并产生和识别帧边界，实现流量控制和差错控制。

网络层 (Network Layer):关系到子网的运行控制，其关键问题之一是确定分组

从源端到目的端如何选择路由。

传输层 (Transfer Layer):基本功能是根据通信子网的特性最佳的利用网络资源,并以可靠和经济的方式,为两个端系统(也就是源站和目的站)的会话层之间,提供建立、维护和取消传输连接的功能,负责可靠地传输数据。在这一层,信息的传送单位是报文。传输层是真正的从源到目标的端到端的层,而1~3层有可能是链接起来的。

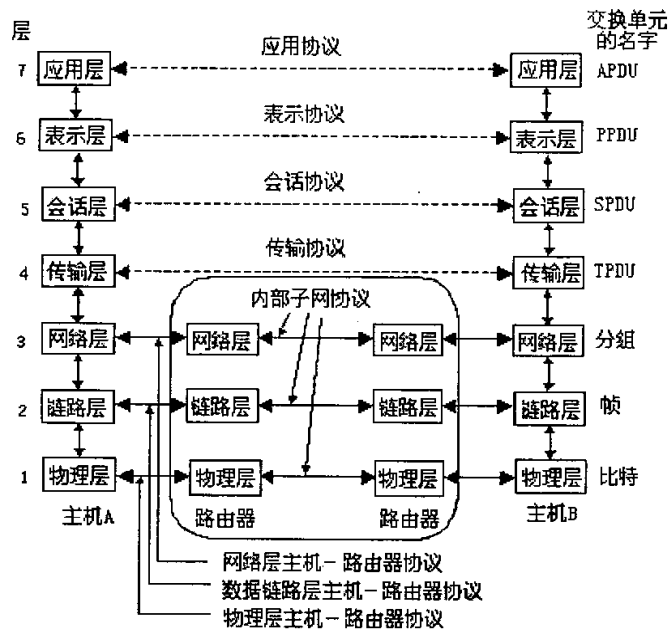


Fig 2.5 OSI reference model

图2.5 ISO/OSI 七层参考模型

会话层 (Session Layer):允许不同机器的用户建立会话(session)关系,提供了对某些应用有用的增强服务会话。

表示层 (Presentation Layer):完成某些特定功能。由于这些功能常被请求,人们希望找到通用的解决办法,而不是让每个用户来实现。表示层以下的各层只关心可靠的传输比特流,而表示层关心的是传输的信息的语法和语义。表示层负

责管理字符串、整型、浮点数或其组合构成的抽象数据结构，并按标准的方法对其编码，在计算机内部表示法和网络表示法之间进行转换。

应用层 (Application Layer): 这一层则包含了大量人们普遍需要的协议，负责解决不同类型终端系统之间的兼容问题及电子邮件等功能。

2. 网络体系结构的确定

通信协议的分层结构用N个比较简单的对等层通信协议，取代了复杂的整体通信协议，使协议的实现变得比较容易，且可以把由通信功能的扩充、变更带来的影响限制在直接有关的层内，而不必改动全部协议。采用分层结构有下面三方面的含义：

(1) 在精确定义逻辑功能全集的基础上，划分几层功能子集，每层功能子集都有相对独立性，有明确的界定。较高层次在较低层次的基础上，较低层次向较高层次提供服务。

(2) 分层结构层与层之间，通过接口相连(软件接口或硬件接口)。较低层次的功能如何实现，对较高层次是透明的，较高一层将通过层间接口原语操作来调用低层提供的服务功能。

(3) 在对等层之间建立该层通信协议。如果把功能分成N层，则有N个通信协议所谓第N层通信协议是指控制第N层对等层间进行通信的各种规则的集合。第N对等层的通信并不是实际存在的，而是一种虚拟通信，是建立在下面(N-1)层及相应(N-1)个通信协议都已得到遵守的基础上。

2.2.2 电能质量监控系统的上层网络

电能质量监控系统，通常都由电能计量局域网来构成它的上层以太网，完成工作站之间以及工作站与前置机之间的通信。电能计量局域网从通信的角度衡量，属于计算机局域网的范畴，但同时又有许多普通局域网所不具有的特点和品质。

电能计量局域网是从普通局域网发展而来的，它与普通局域网又有明显的不同。普通计算机网络是以资源共享，特别是信息资源的高度共享作为目标的，而在电能计量局域网中，资源共享则不再被强调，而对实时性、可靠性及可扩展性的要求却很高。

因此在电能计量局域网中运行的通信协议一般都表现出很强的实时性，所采用的拓扑结构具有良好的可扩展性，并且在重要部位一般都要进行双重冗余配置，从而保证系统具有高度的可靠性。

2.3 现场总线^{[15][16]}

20世纪80年代中期，随着微处理器价格的急剧降低，传统的测量控制仪表被置入了专用的微处理器，具有了数字计算与数字通信的能力，因此需要设计一种能在工业现场环境运行的、性能可靠、造价低廉的通信系统，实现底层设备之间以及生产现场与更高层控制管理网络的信息交换，于是现场总线便应运而生。

现场总线是应用在生产现场，在微机化测量与控制设备之间实现双向串行多节点数字通信的系统，也被称为开放式、数字化、多点通信的底层控制网络，一般都具有较高的通信速率(数万到数兆比特每秒)和较强的抗干扰性能。现场总线适应了工业控制系统向分散化、网络化、智能化发展的方向，它将变革传统的控制系统结构，形成新型网络集成式全分布控制系统——现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)。

2.3.1 现场总线模型

现场总线用于自动化控制系统，其数据通信不同于以传递信息为主要目标的邮电通信，也不同于一般的计算机网络通信，它十分重视实时性、可靠性和安全性。

用于信息技术和邮电通信的数据通信标准采用国际标准化组织(ISO)制定的开放系统互连(OSI)分层模型。分层的目的是将一个问题分解为多个可以管理的小问题，层的定义应努力做到使每一层的改变不要求其它各层也做改变，使十分复杂的通信问题大为简化。按ISO的OSI模型规定，共有七层。在计算机局域网中，只用物理层、数据链路层和应用层，即一、二、七层。在现场总线模型中，同样删除三层至六层，保留了一、二、七层，并考虑实际需要，增加了面向用户的第八层。如图2.6

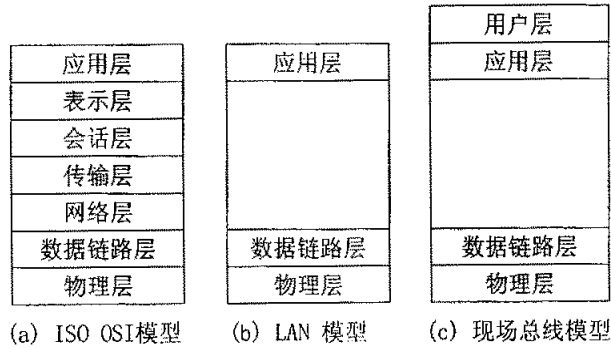


Fig 2.6 open system interconnection reference model

图2.6 开放互连模型

2.3.2 现场总线特点

现场总线技术就像是工业领域的因特网，它实现了现场设备和控制设备之间的有效连接，从而让电能计量、管理自动化控制达到了一个新的高度。通过这种技术，不同的信号或者仪表可以实现交互处理或操作。

总的来说，采用现场总线的系统具有以下特点：

- (1) 现场总线经常只负责发送或接收较小的数据报文，并且以这种数据报文作为与较高级别的控制系统实现设备数据往返传送的有效手段。
- (2) 采用现场总线的系统通常费用较低，可以用低廉的造价组成一个系统，而且与上层系统连接的费用也不高。现场总线与其他分布式系统的主要特征比较见表2.1。

Tab 2.1 compare the character of fieldbus and other distributed system

表2.1 现场总线与其它分布式系统的主要特征比较

主要特征	分布式系统的形式	
	现场总线	较高级通信网络
监视与控制能力	强	弱
可靠性与故障容限	高	高

实时响应性	好	中
报文长度	小	中, 大
实现成本	极低	中, 高
与OSI的一致性	差	中, 好
体系结构与协议的复杂性	简单	中, 复杂
与其他网络的互联能力	差, 中	强
通信功能的完备程度	中	可扩展
通信速率	中	高
对环境的要求	低	高

由于现场总线的以上特点,特别是其系统结构的简化,使其从设计、安装、投运到正常生产运行及检修维护,都体现出优越性。它不仅节省了硬件数量与投资,节省了安装费用,而且系统的维护开销也大大地降低。现场总线控制系统不仅精确度与可靠性高,在方便使用和维护方面,也非常有优势。

但由于行业与地域发展历史等原因,加上各公司和企业集团受自身商业利益的驱使,至今还未能达成一个统一的现场总线国际标准,但目前已经存在着几种较有影响的现场总线技术。它们已经拥有了大量的用户,并在一些特定的领域显示了自己的优势。如德国Bosch公司的CAN(Control Area Network)现场总线、现场总线基金会(FF, Fieldbus Foundation)的基金会现场总线、美国Echelon公司的Lon Works现场总线等,下节将详细介绍在文中使用的CAN总线。

2.3.3 CAN总线^[17]

CAN(Controller Area Networks)即控制器局域网络。最早是由德国Bosch公司推出,用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。由于其高性能、高可靠性与独特的设计,CAN越来越受到业界的重视,其在国内外的应用范围也在不断的扩展。现已形成国际标准,并被公认为几种最有前途的现场总线之一。

CAN协议也是建立在ISO/OSI模型的基础之上,但其模型结构只采用了其中的2层,即物理层和数据链路层,如图2.7所示。

数据链路层	逻辑链路子层 (LLC)
	媒体访问控制子层 (MAC)
物理层	物理信令 (PLS, Physical Signaling)
	物理媒体附件 (PMA, Physical Medium Attachment)
	媒体接口 (MDI, Medium Dependent Interface)

Fig 2.7 model of CANbus

图2.7 CAN总线模型

CAN属于总线式串行通信网络，由于采用了许多新技术和独特的设计，与一般的通信系统相比，CAN总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性、和灵活性。其特点可概括如下：

(1) CAN为多主方式工作，网络上任一节点均可在任意时刻主动的向网络上其它节点发送信息，而不分主从，通信方式灵活，且无需地址等节点信息；

(2) CAN网络上的节点信息分成不同的优先级，可满足不同的实时需要；

(3) CAN采用非破坏性总线仲裁技术，当多个节点同时向总线发送数据时，优先级较低的节点会主动的退出发送，而最高优先级的节点可不受影响的继续传输数据，从而大大节省了总线冲突仲裁时间。尤其在网络负载很重的情况下也不会出现网络瘫痪的情况；

(4) CAN可以实现点对点，一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据，无需专门的“调度”；

(5) CAN的直接通信距离最远可达10km(传输速率5kbps以下)；通信速率最高可达1Mbps(此时通信距离最长为400m)；

(6) CAN上的节点数主要取决于总线驱动电路，目前可达110个，理论值可达2000多个；

(7) CAN采用8字节的短帧传送，故传输时间短、受干扰概率低，重新发送时间短，抗干扰性强，具有极好的检错效果；

(8) CAN的每帧信息都有CRC校验及其他检错措施，保证了极低的数据出错率。节点在错误严重的情况下会自动离线，避免影响总线上其它节点；

(9) CAN的通信介质可为双绞线、同轴电缆或光纤，选择灵活。

2.3.4 电能质量监控系统中使用的 RS-485 与 CAN 总线

RS-485和CAN各有一些特点。传统RS-485总线有通信距离比较长,通信协议可任意制定,可靠性好,价格便宜等优点。同时也有通信速率相对较低的缺陷。因此本文设计一种带数据链路层功能的高速RS-485总线,距离1200米时,通信速率为200kbps。但是这种网络的缺点是从站不能主动向主站上发数据,从站只能被动回应主站的召唤命令。即这种高速RS-485网按照主站-从站模式组网。

CAN总线优点较多,应用成熟,具有优先级仲裁、多主机、支持主动上发等功能,CAN总线的这些特点正是高速RS-485网所不具备的,可以作为高速RS-485网补充。CAN总线也有缺点,就是在远距离通信时速率较低(1200米5kbps),但是高速RS-485网可以弥补CAN总线的这个缺点。

我们设计开发一种“CAN+高速RS-485”现场总线通信系统,结合RS-485传输距离远与CAN传输速度快的优势,形成双网冗余配置。这样不仅可以提高通信速度和延长通信距离,还可完成负荷平衡及热备用双重功能,在双网正常的情况下,双网以负荷平衡工作方式工作,一旦其中一个网络故障,另一个网络就完全接替全部的通信负荷,充分保证了实时系统具有较高的速率和可靠性。

2.4 常用远动规约

2.4.1 远动规约的传输模式

在电能质量监控系统中,远动信息都采用数字形式,一组数据表示一定的远动信息,称为一个远动字。遥测或遥信字的一般结构见图2.8,“用户数据”是遥测量数据或状态量数据等。“标志”用以表明该远动字的特征。为了使各远动字能相互区别,给远动字设置了“序号”,也称地址码。“监督码元”常用一定的算法,用来提高通信过程中抗干扰的能力。

序号	标志	用户数据	监督码元
----	----	------	------

Fig 2.8 structure of telecontrol word

图 2.8 远动字结构

若干个远动字组成一帧，图 2.9 是帧结构示意图。帧的开头有帧分界符，作为一帧开始的标志。控制字用于标明这一帧信息的源发站和目的站址，此外，控制字还可以用来标明这一帧信息的特征，如帧的类型是遥测还是遥信，这一帧的长度是多少字节等等。

帧分界符	控制字	远动字	……	远动字
------	-----	-----	----	-----

Fig 2.9 frame structure

图 2.9 帧结构

远动信息的传送在控制站和被控站之间有一方是主叫方，即发动通信的一方，而另一方则是被叫方。在电能质量监控系统中，按发动通信传输的模式来划分，有两种基本类型，一是循环式传输模式，一是按请求(问答或轮询)传输模式。

(1) 循环传输模式

发送站按规定的顺序，周期性地主动将远动信息送给主站。这种循环传输模式不需要主站干预。传输信息时只需使用单向信道。当传输过程中某些数据出现差错时，由于是循环传送，因而可用下一循环的数据来补救。

(2) 按请求(问答或轮询)传输模式

按请求传输模式是主站作为发动通信的一方，由它向被控方发送请求传送的命令。被控站则按主站的请求来组织、发送有关信息。这种传输模式通常以问答的方式进行通信，故也称问答式。

在问答传输模式中，主站可以请求被控站发送某一远动信息，也可以要求发送某些类型的信息等等。问答式传输模式需要双向通信，因此需要双工信道。

2.4.2 CDT 规约简介

循环式远动规约^[18] CDT (Cyclic Digital Transmission 意即循环数字传送) 规定了电能质量监控系统中循环式规约的功能、帧结构、信息字结构和传输规则, 它适用于点对点的通道结构及循环字节同步方式传送信息的现场设备和系统。功能的实现要求我们对统一的行业标准有准确而深入的了解和理解。其主要内容如下:

帧结构如图2.10所示。每帧都以同步字开头, 并有控制字, 除少数帧外均应有信息字。信息字的数量依实际需要设定, 帧长度可变。

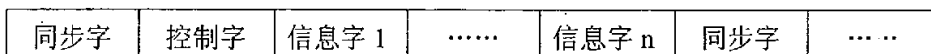


Fig 2.10 frame structure

图 2.10 帧结构

帧的同步字、控制字、信息字的排列规则: 字节由低 B_1 到高 B_n 上下排列、字节的位由高 b_7 到低 b_0 左右排列, 如图 2.11 所示。向通道发码规则为低字节先送, 高字节后送; 字节内低位先送, 高位后送。

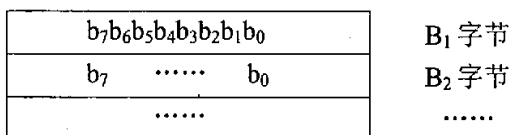


Fig 2.11 arrange in bytes

图 2.11 字节排列

同步字按通道传送顺序分为3组EB90H, 即1110、1011、1001、0000、.....。为保证通道中传送顺序, 写入串行口的同步字排列格式见图2.12。控制字共有 $B_7 \sim B_{12}$ 6个字节, 如图2.13所示。

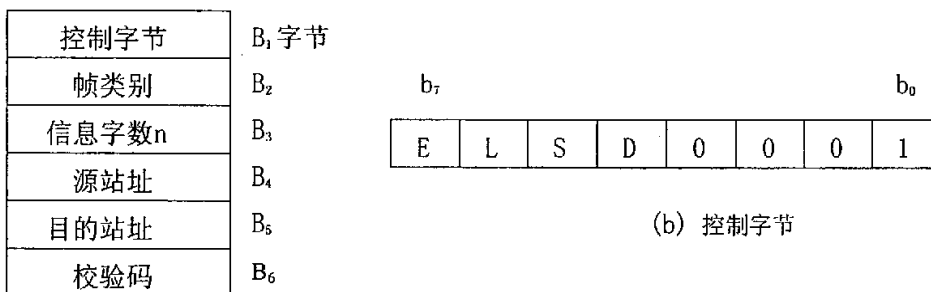
控制字节说明: E 为扩展位, $E=0$ 时使用已定义的帧类别, $E=1$ 时, 帧类别另行定义, 以便扩展功能; L: 帧长定义位, $L=0$ 时表示信息字数 n 为 0, 即本帧没有信息字; S 与 D 在上行及下行信息中的定义: 在上行信息中, $S=1$

表示控制字中源站址有内容，源站址字节即代表信息始发站的站号，即子站站号；D=1，目的站址字节代表主站站号。在下行信息中，S=1表示源站址字节有内容，源站址字节代表主站站号；D=1表示目的站址字节有内容，即代表信息到达站的站号；D=0表示目的站址字节内容为FFH，即代表广播命令，所有站同时接收并执行此命令。以上所述的上行信息和下行信息中若同时S=0，D=0，则表示源站址和目的站址无意义。

B ₇	B ₀	
D7H(11010111B)		B ₁ 字节
09H(00001001B)		B ₂
D7H(11010111B)		B ₃
09H(00001001B)		B ₄
D7H(11010111B)		B ₅
09H(00001001B)		B ₆

Fig 2.12 arrange in synchronous word

图2.12 同步字排列格式



(a) 控制字组成

Fig 2.13 control word

图2.13 控制字

5.生成多项式和中间余式表

本规约采用CRC校验，控制字和信息字都是(n、k) = (48, 40)码组，生

成多项式为 $G(X)=X^8+X^2+X+1$ ，陪集码为FFH。按通道发码规则的顺序以 $G(X)$ 模2除前5个字节，生成余式 $R(X)$ 。以 $\overline{R(X)}$ 作为校验码。若用查表法，信息字、控制字基本码元的中间余式见表2.2。

表2.2 中间余式表

Tab 2.2 intermediate residue

信息字、控制字的码元	查表法中间余式
01H	11100000B
02H	01110000B
04H	00111000B
08H	00011100B
10H	00000111B
20H	00000111B
40H	11100011B
80H	10010001B

帧类别:CDT规约定义的帧类别码及其含义见表2.3。

表2.3 帧类别代号定义表

Tab 2.3 The definition of frame categories

帧类别代号	定义	
	上行E=0	下行E=0
61H	重要遥测 (A帧)	遥控选择
C2H	次要遥测 (B帧)	遥控执行
B3H	一般遥测 (C帧)	遥控撤消
F4H	遥信状态 (D1帧)	升降选择
85H	电能脉冲数值 (D2帧)	升降执行
26H	事件顺序记录 (E帧)	升降撤消
57H		设定命令

A8H		
D9H		
7AH		设置时钟
0BH		设置时钟校正值
4CH		召唤子站时钟
3DH		复归命令
9EH	遥控返校	广播命令
EFH		

信息字结构: 每个信息字由 $B_n \sim B_{n+5}$ 6个字节构成: 功能码一个字节、信息、数据码4个字节和校验码一个字节, 其通用格式如图2.14。

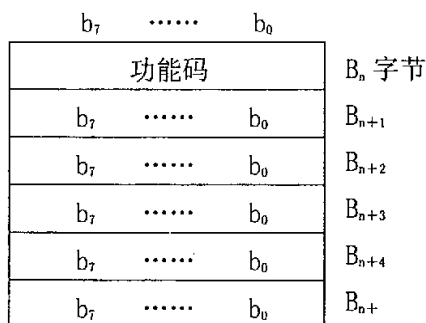


Fig 2.14 general format of information word

图 2.14 信息字通用格式

功能码: 功能码有 256 个 (00~FFH), 分别代表不同信息用途, 具体分配如表 2.4。

表 2.4 功能码分配表

Tab 2.4 distribution sheet of function code

功能码代号	字数	用途	信息位数	容量
00H~7FH	128	遥测	16	256
80H~81H	2	事件顺序记录	64	4096
82H~83H	2	备用		
84H~85H	2	子站时钟反送	64	1
86H~89H	4	总加遥测	16	8
8AH	1	频率	16	2
8BH	1	复归命令（下行）	16	16
8CH	1	广播命令（下行）	16	16
8DH~92H	6	水位	24	6
93H~9FH	13	备用		
A0H~DFH	64	电能脉冲计数值	32	64
E0H	1	遥控选择（下行）	32	256
E1H	1	遥控返校	32	256
E2H	1	遥控执行（下行）	32	256
E3H	1	遥控撤消（下行）	32	256
E4H	1	升降选择（下行）	32	256
E5H	1	升降返校	32	256
E6H	1	升降执行（下行）	32	256
E7H	1	升降撤消（下行）	32	255
E8H	1	设定命令（下行）	32	256
E9H	1	备用		
EAH	1	备用		
EBH	1	备用		
ECH	1	子站状态信息	8	1

EDH	1	设置时钟校正值（下行）	32	1
EEH~EFH	2	设置时钟（下行）	64	1
FOH~FFH	16	遥信	32	512

2.5 小结

本章内容首先介绍了电能质量监控系统中信息传输的基本方式：串行通信。并从其物理层特性和通信方式两个方面，对如何保证二进制数据比特流在系统中的正确传输进行了讨论。

接着参照 ISO/OSI 七层参考模型针对电能计量局域网不同于普通计算机局域网的特点进行了分析，指出实时性与可靠性是电能计量局域网中的首要问题。并就目前工业控制局域网中的热门话题—现场总线技术及其在电能质量监控系统中的应用进行了介绍，其中重点介绍了 RS-485 总线 CAN 总线，并提出本文所设计的“CAN+高速 RS-485”现场总线通信系统。最后介绍了常见的远动规约，并重点以 CDT 规约为例，对远动规约进行了论述。

3 双网通信模块的设计

3.1 模块的总体设计

3.1.1 总体方案的确定

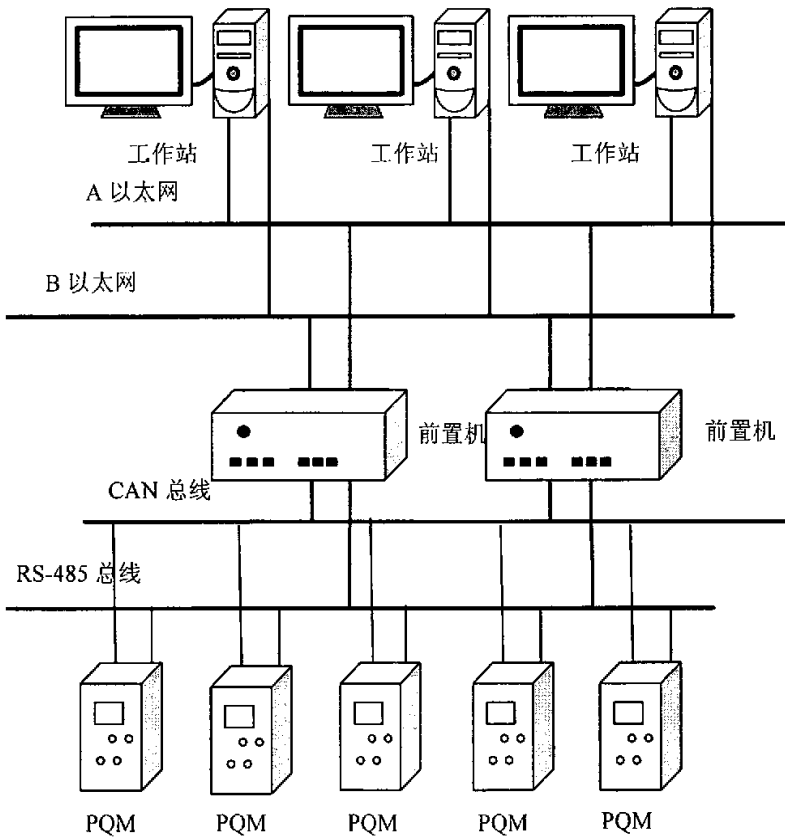


Fig 3.1 overall structure of power quality monitoring and control system

图3.1 电能质量监控系统的总体结构

目前电能质量监控系统大多采用总线式拓扑结构,如图3.1所示。上层网络叫管理信息网,管理信息网一般用同轴电缆或双绞线构成10Mb/s(100Mb/s)的以太网(Ethernet, IEEE802.3),并采用TCP/IP通信协议,以关系型数据库为核心,来完成各工作站之间的数据交换。下层网络叫做下层测控通信子网,则一般以各设备制造厂家的通信协议为主,采用双绞线构成RS-485或CAN总线等的现场网络。通信前置机是上层以太网和下层现场总线之间的规约转换器,实现不同性质的网络之间的信息转发、翻译任务,是整个网络通信的枢纽环节,对整个网络的稳定性、可靠性影响很大。

其中前置机系统与上层管理信息网之间的接口,已经商业化。可以购买现成的以太网网卡,并利用高级语言提供的网络编程接口实现与数据库服务器之间的网络数据交换。所以上层管理信息网是采用标准网络通信技术,研究重点是围绕数据库的高层软件编程技术。

而前置机系统与底层现场设备之间的通信,可以有两种方案:(1)工控机方案,采用通用工控机,安装特定软件来实现;(2)嵌入式系统方案,采用微处理器,开发相应软件和嵌入式装置实现。采用这两种方案各有利弊。

采用通用工控机实现具有软件维护方便,而二次开发容易等优点。但是,一般来说这种方案存在价格昂贵,可靠性低的缺点。

这是因为,这个通信前置机要管理的现场智能装置非常多,而工控机的通信口很少,所以采用这种方案必须购买额外的通信扩展卡,这样一来,通信扩展卡,工控机,软件的总费用是比较大的。而且,这个通信前置机是要放置于现场,而电力系统现场的各种干扰非常厉害,进现场所要做的电力系统电磁兼容实验,工控机难以通过电磁兼容测试,这是工控机方案最致命的弱点。虽然软件上这种方案容易维护,但是硬件接口上难度大增,几乎是每添加一种接口方式都要重新购买接口卡。

而采用嵌入式系统实现则有具备这样一些优点:成本较低,可靠性较高,由于采用专用方案实现,接口上容易实现多样化。而且如果采用合适的开发工具,软件的可维护性也有保障。所以采用工控机的方案并不理想,最好的方式还是嵌入式系统实现。

本论文的研究重点是下层测控通信子网,即现场总线部分,而且采用性

能价格比较高的嵌入式系统方案。

3.1.2 下层测控通信子网设计方案

当前下层测控通信子网的设计方案有：低速率RS-485总线^[19]（速率为9600bps）；现在开展研究比较多，也比较成熟的现场总线，如CAN；工业以太网。

这几种网络各有一些特点，在第二章对它们进行了描述。RS-485总线^{[20][21]}在现场装置中用的比较多，也可以满足电力系统现场需要，在以后一段时间还会很广泛采用，所以这种总线必须考虑，传统的RS-485总线的缺点在于速度慢，没有查错、纠错机制，因此本文设计一种带数据链路层功能的高速RS-485总线，距离1200米时，通信速率为200kbps。但是这种网络的缺点是从站不能主动向主站上发数据，从站只能被动回应主站的召唤命令。即这种高速RS-485网按照主站-从站模式组网。

CAN总线^{[23][24]}优点较多，应用成熟，具有优先级仲裁、多主机、支持主动上发等功能，CAN总线的这些特点正是高速RS-485网所不具备的，可以作为高速RS-485网补充。CAN总线^{[25][26]}也有缺点，就是在远距离通信时速率较低（10km米时5kbps），但是高速RS-485网可以弥补CAN总线的这个缺点。

CAN总线在电力系统应用较广，被众多电力设备厂家采用，本文采用CAN总线有利于我们的设备与其他厂家设备互联。因此，在本文的下层测控子网中采用CAN总线与高速RS-485总线结合。这样两种网络可以取长补短，优势互补，双网冗余热备用，大大提高网络的可靠性，并且使下层测控总线的功能趋于完备。

有专家这么说，工业以太网^{[27][28]}在将来的电力系统中这是必然的通信方式，这主要考虑到工业以太网的通用性和互联方便。但是由于以太网(Ethernet)采用CSMA/CD载波监听/碰撞检测方式，网络延时存在不确定性，目前依然难于被工业界广泛接受，所以工业以太网虽然是个趋势，但是实行起来还要一段时间，而且开发这个接口现在来说难度太大，成本也比较高，实验条件也不是完全具备。所以以太网接口在论文里不考虑。

本文中的通信模块,采用了“CAN+高速RS-485”的双网冗余配置,如图3.2原理框图。测控通信子网采用这样的配置可完成负荷平衡及热备用双重功能,在正常的情况下,双网以负荷平衡工作方式工作,一旦其中一个网络故障,另一个网络就完全接替全部的通信负荷,充分保证了此实时系统具有较高的可靠性。

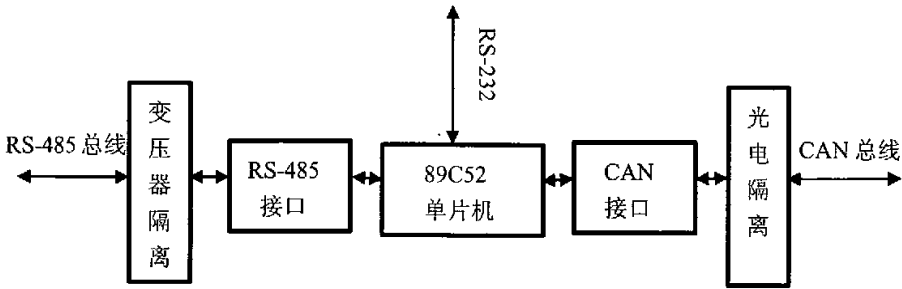


Fig 3.2 schematic diagram of dual-network communication module

图3.2 双网通信模块原理框图

3.2 CAN 总线节点的硬件设计

节点是组成CAN总线网络的基本单位。在基于CAN总线的电能质量监控系统中,每个测控单元或者通信前置机都是一个独立的CAN总线节点。CAN节点设计采用SJA1000作为CAN控制器,并使用PCA82C250作为CAN收发器。

这部分电路主要负责CAN网通信,当微控制器AT89S52根据前置机或者测控模块发送来的命令把数据和控制字送给SJA1000的发送缓冲器时,SJA1000^[29]可由硬件完成一帧数据的发送和接收。同时,SAJ1000接收的一帧数据可以并行的传给AT89S52,再由AT89S52将数据传给前置机或者测控模块。

这部分电路的电路原理图如图3.3所示。

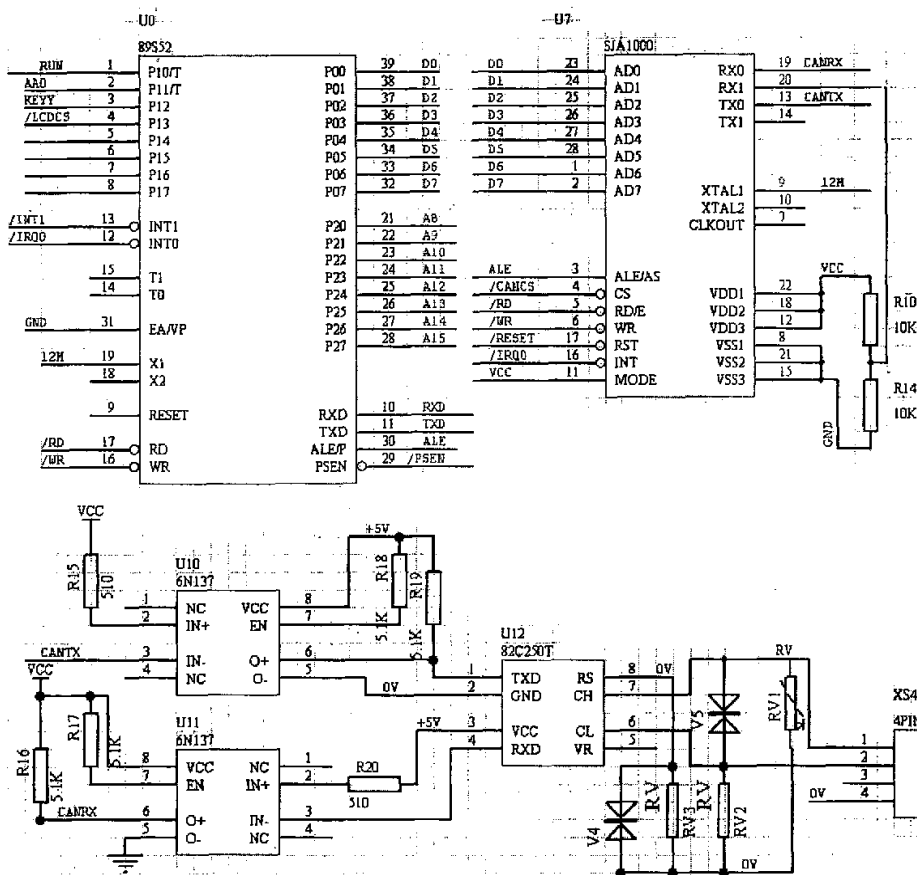


Fig 3.3 circuit diagram of CANbus

图3.3 CAN 通信的电路原理图

图中6N137起光电隔离作用，CAN总线两端的电阻起匹配总线阻抗的作用，忽略掉它们会使数据通信的抗干扰性及可靠性大大降低，甚至无法通信。

PCA82C250是CAN协议控制器和物理总线的接口芯片，这个器件对总线提供不同的发送能力和对CAN控制器提供不同的接收能力。PCA82C250的第8脚与地之间的电阻RV3决定系统处于高速工作方式还是斜率工作方式，该引脚直接与地相连，系统将工作于高速工作方式。SJA1000的TX1悬空不用，则RX1脚的电压必须维持在 $0.5V_{cc}$ 以上，否则，将得不到CAN协议所要求的电

平逻辑。

PCA82C250具有限定的电流保护接收器输出级,避免阳极和阴极的短路,尽管默认的条件下功率消耗是增加的,这个特征值将防止发送器输出级的毁坏。

如果仪表温度超过大约160°C,发送器限定的电流值输出被降低,因为发送器占去大部分的功率消耗,当总线短路的时候,热保护非常需要。

PCA82C250对CANH, CANL线也起保护作用,防止在自动运作过程中电流的瞬变。

管脚8 (R_S)有三种不同的工作模式可被选择:高速,备用,斜率控制。

对于高速工作模式,发送器输出级晶体管被尽可能快地启动和关闭,在这种模式下,没有用于限制上升和下降斜度的措施。建议使用屏蔽电缆,可避免射频干扰(RFI)这种问题,通过把管脚8接地选择这个模式。

对于低速或较短的总线长度,可使用一种没有屏蔽的双绞线或平行线,对于降低RFI,上升和下降的斜率是个限定值,上升和下降的斜率能够被编程,通过从管脚8接一个电阻至地,这个斜率和管脚8的电流输出成正比。

如果高电平被接至管脚8,电路进入低电流保护模式,在这种模式下,发送器被关闭,接收器开至低电流,如果控制位被检测(不同的总线电压 $<0.9V$)RXD将被开至低电平。

3.2.1 CAN 控制器 SJA1000^{[30][31]}介绍

目前广泛流行的CAN总线器件有两大类:一类是独立的CAN控制器,如82C200, SJA1000及Intel82626/82527等;另一类是嵌入CAN控制器的微控制器,如P8XC592及16位微控制器87C196CA/CB等。本系统采用的是独立CAN控制器SJA1000。SJA1000 CAN控制器是这部分电路中最重要的一块集成芯片。下面对其特性及其工作原理作详细的分析。

1. SJA1000 CAN控制器的主要特性及特点

SJA1000是Philips公司生产的第二代总线控制器,是PCA82C200的替代产品,同时支持CAN 2.0A(基本模式)及CAN 2.0B协议(增强模式),是应用于汽车和一般工业环境的独立CAN总线控制器。SJA1000执行CAN协议分层结

构中数据链路层和物理信号子层的功能，具有完成CAN通信协议所要求的全部特性，经过简单的连接即可完成CAN总线物理层和数据链路层的所有功能。

它内部包含接口管理逻辑IML、发送缓冲器TXB、接收缓冲器RXB与RXFIFO、接收过滤器ACF、位流处理器BSP、位时序逻辑BTL、错误管理逻辑EML等部分。

(1)接口管理逻辑解释来自CPU的命令，控制CAN寄存器的寻址，向主控制器提供中断信息和状态信息。

(2)发送缓冲器(TXB)是CPU和BSP(位流处理器)之间的接口，能够存储发送到CAN网络上的完整信息。缓冲器长13个字节，由CPU写入，BSP读出。

(3)接收缓冲器(RXB, RXFIFO)是接收过滤器和CPU之间的接口，用来储存从CAN总线上接收的信息，接收缓冲器(RXB长13个字节)作为接收FIFO(RXFIFO长64个字节)的一个窗口，可被CPU访问。

(4)接收过滤器(ACF)把它其中的数据和接收的识别码的内容相比较，以决定是否接收信息，在纯粹的接收测试中，所有的信息都保存在RXFIFO中。

(5)位流处理器(BSP)是一个在发送缓冲器、接收缓冲器RXFIFO和CAN总线之间控制数据流的程序装置，它还执行错误检测、仲裁、总线填充和错误处理。

(6)位时序逻辑(BTL)监视串口的CAN总线和处理与总线有关的位时序，它在信息的开头“弱势—支配”的总线传输时同步CAN总线位流(硬同步)，接收信息时再次同步下一次传输(软同步)。BTL还提供了可编程的时间段来补偿传播延迟时间:相位转换(例如，由于振荡漂移)和定义采样点和每一位的采样次数。

(7)错误管理逻辑(EML)负责传输层中调制器的错误管制，它接收BSP的出错报告，促使BSP和IML进行错误统计。

SJA1000 CAN控制器的主要特点:

SJA1000 CAN控制器和PCA82C200独立CAN控制器不仅引脚兼容，而且电气兼容;不同之处在于PCA82C200只有BasicCAN模式，但SJA1000除兼容BasicCAN模式外，还具有PeliCAN模式扩展功能:能读/写可被访问的错误计数

器；可编程的错误报警限制；最近一次错误代码寄存器；对每一个CAN总线错误都有相应的错误中断；具体控制位控制的仲裁丢失中断；单次发送(无重发)；只听模式(无确认、无错误的出错标志)；支持热插拔(软件位速率检测)；接受过滤器扩展(4字节代码，4字节屏蔽)；自身信息接收(自接收请求)；24MHz 时钟频率；对不同微处理器的接口；可编程的CAN输出驱动器配置；增强的温度适应(-40—+125℃)。此外，SJA1000具有扩展的接收缓冲器(64字节先进先出FIFO)；SJA1000还和CAN2.0B协议兼容，它同时支持11位和29位识别码，位速率可达1Mbit/s。

2.SJA1000 CAN 控制器的工作原理

要使 SJA1000 CAN 控制器正常工作，最主要的是要对 SJA1000 的工作模式及其各寄存器要进行正确的初始化。要对寄存器作出正确的初始化，首先要了解各寄存器的功能及结构。下面对 SJA1000 CAN 控制器的各寄存器作详细的说明。SJA1000 有两种工作模式：BasicCAN 模式(基本模式)和 PeliCAN 模式(扩展模式)。由于这里 SJA1000 工作在 PeliCAN 模式下，因此主要对 PeliCAN 模式介绍。在 PeliCAN 模式下各寄存器名称与 CAN 地址分配如下：

表 3.1 PeliCAN 模式下的 CAN 地址
Tab 3.1 CAN address of PeliCAN mode

CAN 地址	寄存器	符号	复位值	
			硬件复位	软件或总线关闭复位
0	模式寄存器	MOD	00000001	0000xxx1
1	命令寄存器	CMR	00000000	00000000
2	状态寄存器	SR	00001100	xx00x100
3	中断寄存器	IR	00000000	00000x00
4	中断使能寄存器	IER	xxxxxxxx	xxxxxxxx
5	保留			
6	总线时序 0	BTRO	xxxxxxxx	xxxxxxxx
7	总线时序 1	BTR1	xxxxxxxx	xxxxxxxx
8	输出控制寄存器	OCR	xxxxxxxx	xxxxxxxx
11	仲裁丢失捕捉寄存器	ALC	00000000	xxxxxxxx
12	错误代码捕捉寄存器	ECC	00000000	xxxxxxxx
13	错误报警限制寄存器	EWLR	10010110	xxxxxxxx

14	RX 错误计数寄存器	RXERR	00000000	XXXXXXXX
15	TX 错误计数寄存器	TXERR	00000000	XXXXXXXX
16-28	发送缓冲器(写) 接收缓冲器(读)	TXB RXB	XXXXXXXX	XXXXXXXX
16-19	接收代码寄存器	ACRO- ACR3	XXXXXXXX	XXXXXXXX
20-23	接收屏蔽寄存器	AMRO- AMR3	XXXXXXXX	XXXXXXXX
29	RX 信息计数器	RMC	00000000	00000000
30	RX 缓冲器起始地址	RBSA	00000000	XXXXXXXX
31	时钟分频器	CDR	00000000(Intel) 00000101(Motorola)	XXXXXXXX

下面对各个寄存器的位功能作详细说明：

(1) 模式寄存器

检测到模式寄存器的复位模式设置位后，忽略当前发送/接收信息而进入复位模式。当向复位模式位传送“1-0”的下降后，CAN 控制器回到模式寄存器所定义的模式。模式寄存器各位功能如下所示：

MOD. 7	MOD. 6	MOD. 5	MOD. 4	MOD. 3	MOD. 2	MOD. 1	MOD. 0
-	-	-	SM	AFM	STM	LOM	RM

MOD. 7-MOD. 5 为保留位。

SM 为睡眠模式设置位；SM=1，睡眠，没有 CAN 中断等待和总线活动时，CAN 控制器进入睡眠模式；SM=0，唤醒，从睡眠状态唤醒。

AFM 为接受过滤器模式位；AFM=1，单，选择单个接受过滤器(32 位长度)；AFM=0，双，选择两个接受过滤器(每个有 16 位激活)。

STM 为自检测模式位；STM=1，自检测，此模式可以检测所有仪表，没有任何活动的仪表使用自接收命令，即使没有应答，CAN 控制器也会成功发送；STM=0，正常模式，成功发送时，必需应答信号。

LOM 为只听模式位；LOM=1，只听，这种模式中，即使成功接收信息，CAN 控制器也不向总线发应答信号，错误计数器停止在当前值；LOM=0，正常模式。

RM 为复位模式位；RM=1，复位，检测到复位模式位被置位，忽略当前正在接收/

发送的信息，进入复位模式。RM=0，正常，复位模式位接收到“1-0”的传送后，CAN 控制器回到工作模式。

(2) 命令寄存器 (CMR)

命令寄存器初始化 CAN 控制器传输层的一个动作，这个寄存器是只写的，所有位的读出值都是逻辑 0，因处理的需要，两条命令之间至少有一个内部时钟周期—内部时钟频率是外部振荡器的一半。各位功能如所示：

CMR. 7	CMR. 6	CMR. 5	CMR. 4	CMR. 3	CMR. 2	CMR. 1	CMR. 0
-	-	-	SRR	CDO	RRB	AT	TR

除 CMR: 4 外其它位与 BasicCAN 模式下的命令寄存器各位功能相同。CMR. 4 即 SRR 位为自接收请求位；SRR=1，当前，信息可被同时发送和接收；SRR=0，空缺。

(3) 状态寄存器 (SR)

各位功能与 BasicCAN 模式下的状态寄存器各位功能相同。

(4) 中断寄存器 (IR)

IR. 7	IR. 6	IR. 5	IR. 4	IR. 3	IR. 2	IR. 1	IR. 0
BEI	ALI	EPI	WUI	DOI	EI	TI	RI

BEI 为总线错误中断位；BEI=1，置位，当 CAN 控制器检测到总线错误且中断使能寄存器中的 BEIE 被置位时此位被置位；BEI=0，复位。

ALI 为仲裁丢失中断；ALI=1，置位，当 CAN 控制器丢失仲裁，变为接收器和中断使能寄存器的 ALIE 被置位时，此位被置位；ALI=0，复位。

EPI 为错误中断消极中断；EPI=1，置位，当 CAN 控制器到达错误消极状态（至少一个错误计数器超过协议规定的值 127）或从错误消极状态又进入错误活动状态以及中断寄存器的 EPIE 位被置位时此位被置 1；EPI=0，复位。

WUI 位，DOI 位，EI 位，TI 位，RI 位这几个位与 BasicCAN 模式下中断寄存器的位功能相同，请参阅前面对中断寄存器的位功能说明。

(5) 中断使能寄存器 (IER)

IER. 7	IER. 6	IER. 5	IER. 4	IER. 3	IER. 2	IER. 1	IER. 0
BEIE	ALIE	EPIE	WUIE	DOIE	EIE	TIE	RIE

BETE 总线错误中断使能位: BETE=1, 使能, 如果检测到总线错误, 则 CAN 控制器请求各自的中断; BETE=0, 禁能。

ALIE 仲裁丢失中断使能位: ALIE=1, 使能, 如果 CAN 控制器已丢失了仲裁, 则请求各自的中断; ALIE=0, 禁能。

EPIE 错误消极中断使能位: EPIE=1, 使能, 若 CAN 控制器的错误状态改变(从消极到活动或反之), 则请求各自的中断; EPIE=0, 禁能。

WUIE 唤醒中断使能位: WUIE=1, 使能, 如果睡眠模式中的 CAN 控制器被唤醒, 则请求各自的中断; WUIE=0, 禁能。

DOIE 数据溢出中断使能位: DOIE=1, 使能, 如果数据溢出状态被置位(见状态寄存器), CAN 控制器请求各自的中断; DOIE=0, 禁能。

HE 错误报警中断使能位: HE=1, 使能, 如果错误或总线状态改变(见状态寄存器), CAN 控制器请求各自的中断; HE=0, 禁能。

TIE 发送中断使能位: TIE=1, 使能, 当信息被成功发送或发送缓冲器又可访问(例如, 忽略发送命令后)时, CAN 控制器请求各自的中断; TIE=0, 禁能。

RIE 接收中断使能位: RIE=1, 使能, 当接收缓冲器状态是“满”时, CAN 控制器请求各自的中断; RIE=0, 禁能。

(6) 仲裁丢失捕捉寄存器

这个寄存器包括了仲裁丢失的位置的信息。仲裁丢失捕捉寄存器对 CPU 来说是只读存储器。保留位的读出值为 0。各位功能如表 3.2 所示:

表 3.2 仲裁丢失捕捉寄存器的位功能

Tab 3.2 Functions of genesis error's segment

位	符号	名称	值和功能
ALC. 7-5	—	保留	
ALC. 4	BITN04	第四位	当读出值为 0--10 时, 仲裁丢失在识别码的 bit1--bit11;
ALC. 3	BITN03	第三位	
ALC. 2	BITN02	第二位	当读出值为 11 时, 仲裁丢失在 SRTR 位;
ALC. 1	BITN01	第一位	当读出值为 12 时, 仲裁丢失在 IDE 位;
ALC. 0	BITN00	第零位	当读出值为 13-30 时, 仲裁丢失在识别码的

			bit12-bit29; 当读出值为 31 时, 仲裁丢失在 RTR 位。
--	--	--	--

(7) 错误代码捕捉寄存器 (ECC)

这个寄存器包含了总线错误的类型和位置信息。错误代码捕捉寄存器对 CPU 来说是只读内存。各位说明如下:

ECC. 7	ECC. 6	ECC. 5	ECC. 4	ECC. 3	ECC. 2	ECC. 1	ECC. 0
ERRC!	ERRCO	DIR	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0

ERRC1 和 ERRCO 是错误代码位;其功能说明如表 3.3:

表 3.3 错误代码的功能

Tab 3.3 Functions of error code

位 ERRC1	位 ERRCO	功能
0	0	位错
0	1	格式错
1	0	填充错
1	1	其它错误

DIR 是方向位, DIR=1, RX, 接收时发生错误;DIR=0, TX, 发送时发生错误。
SEG4-SEG0 是错误发生的区段位;位功能如表 3.4 所示:

表 3.4 错误发生的区段位功能

Tab 3.4 Functions of error code

SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0	功能
0	0	0	1	1	结构开始
0	0	0	1	0	ID. 28-ID. 21
0	0	1	1	0	ID. 20-ID. 18
0	0	1	0	0	SRTR 位

0	0	1	0	1	IDE 位
0	0	1	1	1	ID. 17-ID. 13
0	1	1	1	1	ID. 12-ID. 5
0	1	1	1	0	ID. 4-ID. 0
0	1	1	0	0	RTR 位
0	1	1	0	1	保留位 1
0	1	0	0	1	保留位 0
0	1	0	1	1	数据长度代码
0	1	0	1	0	数据区
0	1	0	0	0	CRC 序列
1	1	0	0	0	CRC 定义符
1	1	0	0	1	应答通道
1	1	0	1	1	应答定义符
1	1	0	1	0	结构结束
1	0	0	1	0	中止
1	0	0	0	1	活动错误标念
1	0	1	1	0	消极错误标志
1	0	0	1	1	支配(控制)位误差
1	0	1	1	1	错误定义符
1	1	1	0	0	溢出标志

(8) 错误报警限制寄存器 (EMLR)

这个寄存器中定义错误报警限制数, 硬件复位时默认值是 96; 复位模式中, 此寄存器对 CPU 来说是读/写的, 工作模式中是只读的。

(9) RX 错误计数寄存器 (RXERR)

这个寄存器反应了接收错误计数器的当前值。硬件复位后寄存器被初始化为 0; 工作模式中, 对 CPU 来说是只读的: 只有在复位模式中才可以写访问此寄存器。

(10) TX 错误计数寄存器 (TXERR)

反应了发送错误计数器的当前值，工作模式中，这个寄存器对 CPU 是只读内存，复位模式中才可以写访问这个寄存器。硬件复位时，寄存器被初始化为 0。

(11) 发送缓冲器

发送缓冲器分为描述符区和数据区，描述区的第一个字节是结构信息字节(结构信息)。它说明了结构格式(SFF 或 EFF)、远程或数据结构和数据长度。SFF 有两个字节的识别码，EFF 有四个字节的识别码，数据区最多长 8 个数据字节，发送缓冲器长 13 个字节，在 CAN 地址的 16-28。

对 SFF 格式，发送缓冲器的地址如表 3.5 所示：

表 3.5 SFF 格式下发送缓冲器的地址
Tab 3.5 Address of transmit buffers for SFF frame

CAN 地址	区	名称	位							
			7	6	5	4	3	2	1	0
16	描述符	信息结构	FF	RTR	X	X	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
17		描述符 1	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
18		描述符 2	ID.20	ID.19	ID.18	X	X	X	X	X
19	数据	TX 数据 1	发送数据字节 1							
20		TX 数据 2	发送数据字节 2							
21		TX 数据 3	发送数据字节 3							
22		TX 数据 4	发送数据字节 4							
23		TX 数据 5	发送数据字节 5							
24		TX 数据 6	发送数据字节 6							
25		TX 数据 7	发送数据字节 7							
26		TX 数据 8	发送数据字节 8							

		8	
--	--	---	--

其中:FF 位为结构格式位;FF=1, EFF 格式, CAN 控制器将发送扩展结构格式;FF=0, SF 格式, CAN 控制器将发送标准结构格式。

RTR 位为远程发送请求位;RTR=1, 远程, CAN 控制器将发送远程结构;RTR=0, 数据, CAN 控制器将发送标准结构格式。

DLC. 3-DLC. 0 数据长度代码位, 同 BasicCAN 模式下位 DLC. 3-DLC. 0 功能相同。ID. 28-ID. 18 为标准发送格式的 11 位标识符位。

对 EFF 格式发送缓冲器的地址如表 3.6 所示:

表 3.6 EFF 格式下发送缓冲器的地址
Tab 3.6 Address of transmit buffers for EFF frame

CAN 地址	区	名称	位							
			7	6	5	4	3	2	1	0
16	描述符	信息结构	FF	RTR	X	X	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
17		描述符 1	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
18		描述符 2	ID.20	ID.19	ID.18	ID.17	ID.16	ID.15	ID.14	ID.13
19		描述符 3	ID.12	ID.11	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5
20		描述符 4	ID.4	ID.3	ID.2	ID.1	ID.0	X	X	X
21	数据	TX 数据 1	发送数据字节 1							
22		TX 数据 2	发送数据字节 2							
23		TX 数据 3	发送数据字节 3							
24		TX 数据 4	发送数据字节 4							
25		TX 数据 5	发送数据字节 5							

26	TX 数据 6	发送数据字节 6
27	TX 数据 7	发送数据字节 7
28	TX 数据 8	发送数据字节 8

其中, FF 位, RTR 位与 DLC. 3-DLA. 0 位功能同 SFF 格式。

ID. 28 — ID. 0 为扩展发送格式的 29 位标识符位。

对于这两种发送格式, 发送的字节数取决于数据长度代码, 最先发送的是发送数据字节 1 的最高位。

(12)接收缓冲器

接收缓冲器的列表与前面讲述的发送缓冲器很相似, 接收缓冲器是 RXF 工阳的可访问部分位于 CAN 地址的 16-28。

(13)接受过滤器

在接受过滤器的帮助下, 只有当接收信息中的识别位和接受过滤器预定义的值相等时, CAN 控制器才允许将已接收信息存入 RXFIFO。

接受过滤器由接受代码寄存器 (ACRn) 和接收屏蔽寄存器 (AMRn) 定义。

有两种不同的过滤模式可在模式寄存器中选择 (MOD. 3 AFM): 单过滤模式 (AFM=1) 和双过滤模式 (AFM=0)。

单过滤模式配置: 对于标准结构, 在接收过滤中只使用前两个数据字节来存放包括 RTR 位及 ID. 28-ID. 18 的完整的识别码, 如果由于置位 RTR 位而导致没有数据字节, 信息也会被接收; 对于扩展结构, 包括 RTR 及 ID. 28-ID. 0 的全部识别码将被接受过滤使用。

双过滤模式配置: 这种配置可以定义两个短过滤器, 对于标准结构, 被定义的两个过滤器是不一样的, 第一个过滤器比较包括 RTR 位整个标准识别码和信息的第一个数据字节, 第二个过滤器只比较包括 RTR 位的整个标准识别码; 对于扩展结构, 定义的两个过滤器是相同的, 两个过滤器都只比较扩展识别码的前两个字节。

(14) RX 信息计数器(RMC)

RMC 寄存器反映了 RXF 工 FO 中可用的信息数目。其值每次接收时加 1, 每

次释放时接收缓冲器减 1。每次复位后，该寄存器清 0。此寄存器只读，不能被写。

(15) RX 缓冲器起始地址寄存器(RBSA)

RBSA 寄存器反映了当前可用来存储位于接收缓冲器窗口中的信息的内部 RAM 地址。这条信息可以帮助说明内部 RAM 的内容。起始于 CAN 地址 32 的内部 RAM 地址区可以被 CPU 读/写访问(复位模式只能写)。

(16)总线时序寄存器 0，总线时序寄存器 1，输出控制寄存器，时钟分频器与 BasicCAN 模式下功能相同。

上面对由 AT89C52 与 SJA1000 及其 PCA82C250 组成的电路原理图作了详细的介绍，其软件设计内容将在后面软件部分作详细的阐述。

3.2.1 CAN 收发器 PCA82C250^[32]

PCA82C250 是 CAN 控制器和物理总线之间的接口，用以对总线提供不同的发送能力和对 CAN 控制器提供不同的接收能力。PCA82C250 执行 CAN 协议分层结构中物理媒体附属子层的功能，完全和 IS011898 标准兼容。

PCA82C250 具有以下特性：

- 1)高速(达 1M bps);
- 2)在自动化环境中总线保护瞬变;
- 3)斜率控制降低射频干扰(RFI),不同的接收器都具有宽共模范围有很强的抗电磁干扰 EMI 的能力;
- 4)热保护,对电池和地的短路保护;
- 5)低电流备用模式;
- 6)一个没有上电的节点不干扰总线;
- 7)至少可挂 110 个节点。

PCA82C250 可工作于 3 中模式，由第 8 脚 Rs 选择：

- 1)Rs 接低电平，工作于高速模式

高速模式能使 CAN 应用系统达到给定距离下最大的传输速率或给定速率下最远的传输距离，适合于高速率或远距离的应用场合。高速模式是以减少有效回路传输延时时间 $t_{loop,eff}$ 来换取高速率或远距离，使 $t_{loop,eff} \leq 145ns$

高速模式要求 $V_{R_s} \leq 0.3V_{cc}$ ，通信电缆要求屏蔽以减少干扰。

2) R_s 接斜率电阻入地，工作于斜率控制模式

斜率控制模式适合于通信电缆非屏蔽的应用场合，收发器的转换速率受接地电阻的控制，转换速率与该引脚输出的拉电流 $-I_{R_s}$ 基本上成正比，故称斜率控制模式。收发器转换速率的降低意味着 $t_{loop,eff}$ 的增加，从而使给定距离下的传输速率或给定速率下的传输距离减少。通常，在斜率控制模式下 $t_{loop,eff} \geq 520$ ns。由此可见，斜率控制模式是以降低速率或缩短距离来换取低成本。

斜率控制模式要求 $10 \mu A \leq -I_{R_s} \leq 200 \mu A$ ，即要求接地电阻 $16.5k\Omega \leq R_{xt} \leq 200k\Omega$ 。

3) R_s 接高电平，工作于待机模式

待机模式适合于对系统功耗很严格的场合，如电池供电系统。在此模式下，芯片进入低电流保护模式。当总线发送信息时，重新激活收发器回到正常模式。待机模式要求 $V_{R_s} \geq 0.7V_{cc}$ 。

3.2.3 光电隔离电路的设计

为了进一步抑制干扰，CAN 总线接口中往往采用光电隔离电路^[33]。光电隔离器一般位于 CAN 控制器与收发器之间。本模块的 CAN 总线接口中采用了高速光耦 6N137。光电隔离器的使用应注意以下几点：

1. 光电隔离电路增加了 CAN 总线有效回路信号传输延时时间，其结果是减少了速率距离积。集成收发器(如 820250/251 等)本身具有瞬间抗干扰能力、保护总线、降低射频干扰(RFI)以及实现热防护的能力。因此，在干扰不严重的应用场合，可以考虑不加光电隔离，以使系统达到最大的通信速率或距离。如果要使用光耦电路，也要尽量选用高速光电隔离器件，以减少 CAN 总线有效回路信号传输延时时间 t_{PROP} 。

2. 如果使用了光电隔离，82C250 的发送信息输入脚 TXD(第 1 脚)必须接上拉电阻，这是由 82C250 的特性决定的，原因如下：

图 3.4 为 82C250 的内部框图。图中，82C250 的输出电路包括一个拉电流电路和一个灌电流电路，其中 CANH 引脚接拉电流输出电路，CANL 引脚接灌电流输出电路。发送数据输入端 TXD 引脚决定着 CANH 和 CANL 的状态，

如表 3.7 所示。

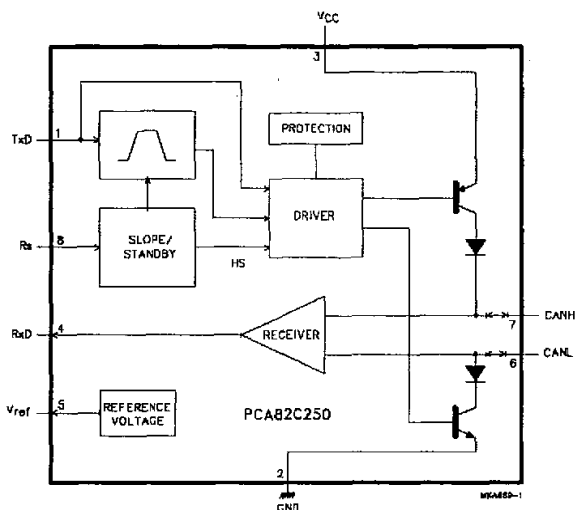


Fig 3.4 internal schematic diagram of 82C250

图 3.4 82C250 的内部原理框图

表3.7 TXD与CANH、CANL的电平关系

Tab 3.7 level relation between TXD and CANH,CANL

TXD	CANH (伏)	CANL (伏)	CAN 总线状态
1	2.5	2.5	隐性 (逻辑 1)
0	3.5	1.5	显性 (逻辑 0)

当 TXD 为逻辑 0 时, 82C250 的内部驱动电路使 CANH=3.5V, CANL=1.5V, 此时两个三极管均饱和导通, 总线呈显性。当多个 82C250 通过双绞线连成 CAN 网时, 由数字电路的知识可知, CANH 构成的网络组成或门电路(线或), CANL 构成的网络组成与门电路(线与)。因此, 当 CAN 网络中有一个节点的 TXD 为 0 时, CANH 由于线或的关系使网络中所有的 CANH 强行拉至高电平 3.5V, 同理, CANL 由于线与的关系使网络中所有的 CANL 强行拉至低电平 1.5V。

当 TXD 为逻辑 1 时, 82C250 的内部驱动电路使 CANH=2.5V, CANL=2.5V, 此时驱动电路的两个三极管都没有饱和导通, 因此 CAN 网络中 CANH, CANL 的线或、线与关系均不成立, 总线呈隐性。

由以上的论述可知, 当 CAN 网络中隐性位与显性位同时发送时, 最后总线数值将为显性位。CAN 总线规定, 在总线空闲期间应呈隐性电平。因此, CAN 网络中节点的缺省状态应是隐性, 即 82C250 的发送数据输入端 TXD 的缺省值应为逻辑 1。为了达到这一要求, 图 3.3 中上拉电阻 R19 是必不可少的。因为光隔 6N137 两边分别由不同的电源供电, 当 6N137 的输入端一侧出现供电失败等异常情况时, 上拉电阻 R19 确保 82C250 的 TXD 为高电平, 从而使 CAN 网络中其它节点不受影响。

3.3 CAN 总线节点的软件设计

CAN总线软件设计的指导思想: 上电时, 对SJA1000进行初始化, 对89C52的串口初始化, 然后开中断, 在中断程序中对数据进行处理。主程序流程图见图3.5。

其中, SJA1000 的初始化是 CAN 通信的基础。所谓对 CAN 控制器进行初始化, 实际上就是对 SJA1000 的相关控制寄存器进行设置。SJA1000 初始化流程如图 3.6 所示。

由图可知, 与 SJA1000 初始化有关的寄存器有:

(1) 时分频寄存器 CDR。对 CDR 进行写操作, 可以选择 SJA1000 的 BasicCAN 或 PeLiCAN 模式, 接收输入比较器的旁路与否 (CBP 位) 以及 CLKOUT 引脚输出的时钟频率。在此系统中, SJA1000 工作于 PeLiCAN 模式, 采用 24 MHz 晶振, 经二分频后 CLKOUT 输出频率为 12 MHz 的波形, 为 89S52 提供工作时钟。

(2) 验收码寄存器 ACRO~ACR3 和验收屏蔽寄存器 AMR0~AMR3。对 ACR、AMR 进行写操作示要界定对什么样的报文予以接收。由前面的论述可知, 作为分布式系统的主机, 主集中器的 AMR 全为 1, ACR 的值可以任意。从集中器的 AMR 全为 0, 而 ACRD、ACR1 构成一个 16 位的编号作为从集中器的 16 位点名地址, 其中 ACRO 是高 8 位, ACR1 是低 8 位; ACR2、ACR3 也构成一个 16 位的编号作

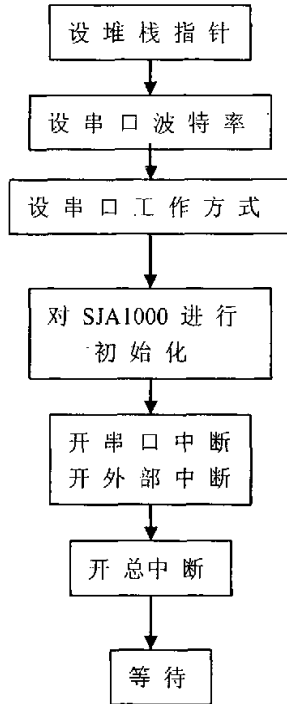


Fig 3.5 flow chart of main program

图 3.5 主程序流程图

为从集中器的广播地址。因此，从集中器的点名地址范围是：0002H~FFFEH，广播地址是：FFFFH。

(3) 位定时寄存器 BTR0、BTR1。对 BTR0 进行写操作，可以决定波特率预分频器 BRP 和同步跳转宽度 SJW 的数值；对 BTR1 进行写操作，可以决定位周期的宽度、采样点的位置及在每个采样点进行采样的次数。值得一提的是，一个系统的所有节点的 BTR0，BTR1 都应相同，否则无法通信。

(4) 输出控制寄存器 OCR。对 OCR 进行写操作，可以确定 CAN 控制器的输出方式，并建立器 CAN 总线要求的电平逻辑所需输出驱动器的配置。

(5) 中断允许寄存器 IER。IER 是 PeLiCAN 模式所特有的，它控制了诸如

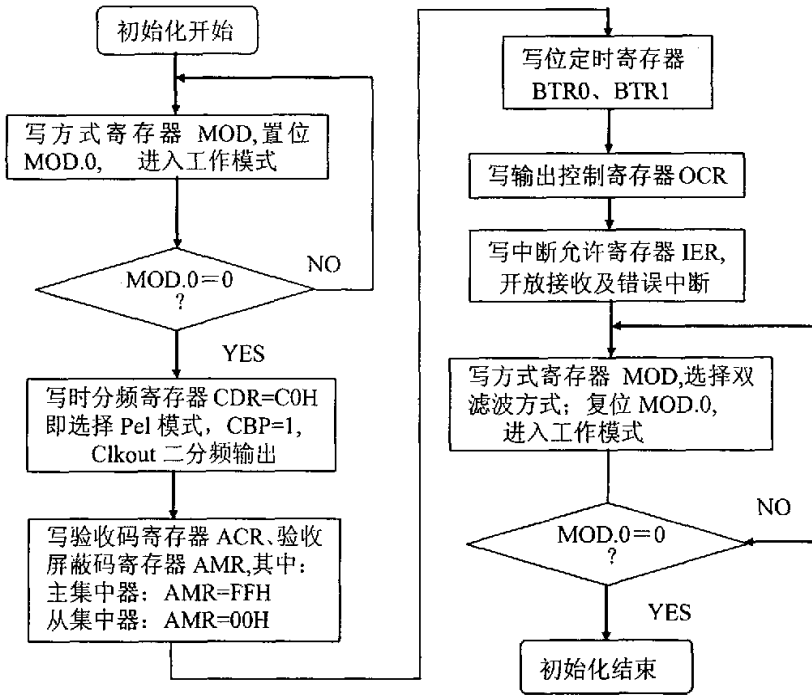


Fig 3.6 flow chart of Initialization

图 3.6 SJA1000 初始化流程图

错误、仲裁丢失、唤醒、数据溢出、发送及接收等中断的使能与否。

(6) 方式寄存器 MOD。MOD 是用来改变 SJA1000 的行为的。其中 MOD.0 是复位/工作模式的控制位, 对 MOD.0 写 1, 即进入复位模式。对上述所有寄存器的写操作都必须在复位模式中才能进行, 因此初始化 SJA1000 前必须确保它已进入复位模式。验收滤波方式可通过 MOD 的验收滤波方式位 AFM (MOD.3) 设置, 为 1, 表示单滤波; 为 0, 表示双滤波。而信息的帧格式的设置则要通过发送信息帧的第 1 个字节的最高位 FF 来完成。

3.4 高速 RS-485 总线硬件设计

RS-485 标准只对接口的电气特性做出规定,而不涉及通信协议,在此基础上用户可以建立自己的高层通信协议。很多著名的总线,如 PROFIBUS、CANBUS 都是在差分传输的基础上加入链路层协议和应用层协议来提高通信的可靠性和速率。

为了构筑一种简单、实用、可靠、高效的现场总线,本文以 RS-485^[34]作为物理层的标准,在链路层加入 HDLC(High level Data Link Control,高级数据链路控制)协议,为了实现硬件 HDLC 的控制,我们选用 Mitel 公司的 MT8952B HDLC 协处理器,并采用 MAX483 芯片作为收发器,作为可靠性保护措施,本文采用高频变压器隔离印制板和传输线路。因为存在变压器隔离,必须对收发的串行信号做曼彻斯特编码,使传输的信号每位都有跳变,才能通过隔离变压器收发。因此本文采用 CPLD 芯片 EPM7128S 作为曼彻斯特编码器,工作原理图如图 3.7 所示。

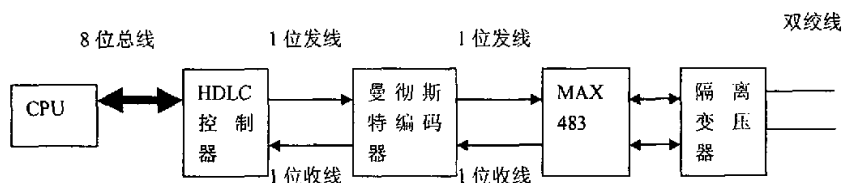


Fig 3.7 schematic diagram of high speed RS-485 bus

图 3.7 高速 RS-485 总线工作原理图

3.4.1 数据链路层控制器 MT8952B^[35]

在目前的网络设计中,普遍采用了 HDLC(高级数据链路控制协议)。HDLC 协议不依赖于任何一种字符编码集;数据报文可透明传输,用于实现透明传输的“0 比特插入法”易于硬件实现,全双工通信,不必等待确认便可连续发送数据,有较高的数据链路传输效率;所有帧均采用 CRC 校验,对信息帧进行

顺序编号，可防止漏收或重分，传输可靠性高；传输控制功能与处理功能分离，具有较大的灵活性。

MT8952B HDLC协议控制器有以下特点：符合X.25第二层标准数据格式，前向序列的产生和检测，单字节地址识别，具有微处理器接口，灵活操作和控制寄存器，发送和接收分别有19个字节的FIFO缓冲区，多路数据链路握手信号，高速串行时钟输出(2.5Mbps)，符合ST-BUS的可编程的通道选择和时隙控制，独立的看门狗定时器，灵活的协议控制功能，低功耗ISO-CMOS技术。其适用的主要领域包括：数据链路控制和协议产生，数字设备，PBX和专用数据网，ISDN基本时间的D通道控制器，数据网络接口电路(典型的MT8952)的C通道控制器，内部通信处理等。内部结构见图3.8

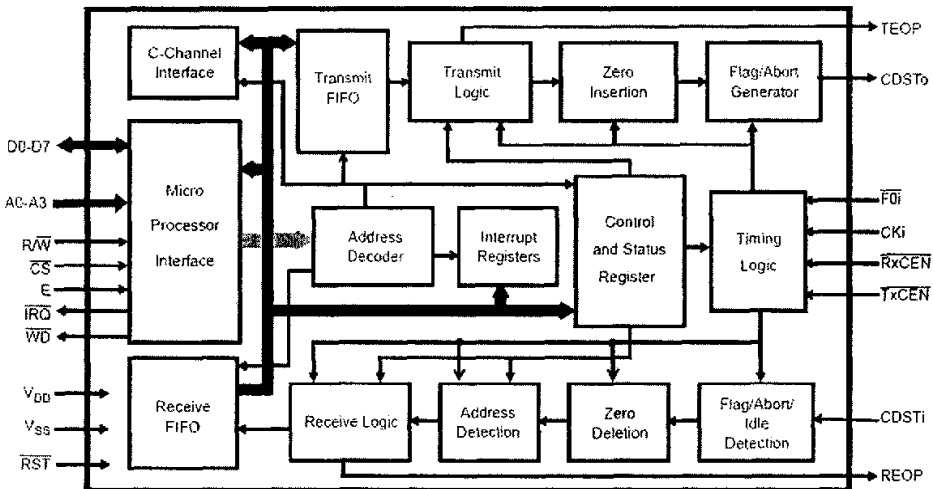


Fig 3.8 functional block diagram

图3.8 MT8952B内部结构图

MT8952B电路的基本原理

MT8952B HDLC协议控制器，通过零位插入和删除技术获得数据传输的透明性。在发送数据的过程中，自动产生HDLC帧标志(0111110)和FCS(frame check sequence)字段以及帧异常中止、信道空闲和其他接收状态，因而MT8952B将准备发送的数据自动地构成HDLC帧。在接收端，把来自远方的HDLC帧进行FCS

校验，并恢复原始数据。

MT8952B HDLC的帧格式

在HDLC中，数据和控制报文均以帧的标准格式传送。HDLC中命令和响应以统一的格式按帧传输。完整的HDLC帧由标志字段(F)、地址字段(A)、控制字段(C)、信息字段(I)、帧校验序列字段(FCS)等组成，其格式如表3.8。

表 3.8 HDLC 帧格式
Tab 3.8 HDLC frame format

标志	地址	控制	信息	帧校验序列	标志
F	A	C	I	FCS	P
01111110	8 位	8 位	N 位	16 位	01111110

标志字段(F)：标志字段01111110的比特模式，用以标志帧的起始和前一帧的终止。通常，在不进行帧传送的时刻，信道仍处于激活状态。标志字段也可以作为帧与帧之间的填充字符。在这种状态下，发送方不断地发送标志字段，而接收方则检测每一个收到的标志字段，一旦发现某个标志字段后面不再是一个标志字段，便可认为一个新的帧传送已经开始。采用“0比特插入法”可以实现数据的透明传输，该法在发送端检测除标志码以外的所有字段，若发现连续5个“1”出现时，便在其后添插1个“0”，然后继续发送后面的比特流；在接收端同样检测除标志码以外所有字段，若发现连续5个“1”后是“0”，则将其删除以恢复比特流的原貌。

地址字段(A)：地址字段的内容取决于所采用的操作方式。在操作方式中，有主站、从站、组合站之分，每一个从站和组合站都被分配一个惟一的地址。命令帧中的地址字段携带的地址是对方站的地址，而响应帧中的地址字段所携带的地址是本站的地址。某一地址也可分配给不止一个站，这种地址称为组地址，利用一个组地址传输的帧能被组内所有拥有该组地址的站接收，但当一个从站或组合站发送响应时，它仍应当用它唯一的地址。还可以用全“1”地址来表示包含所有站的地址，这种地址称为广播地址，含有广播地址的帧发送给链路上所有的站。

控制字段(C): 控制字段用于构成各种命令和响应, 以便对链路进行监视和控制。发送方主站或组合站利用控制字段来通知被寻址的从站或组合站执行约定的操作, 相反, 从站用该字段作为对命令的响应, 报告已完成的操作或状态的变化。

信息字段(I): 信息字段可以是任意的二进制比特串。HDLC协议比特串长度未做严格限定, 但MT8952B的FIFO只有19个字节, 所以每次发送不超过19个字节; 而下限可以为0, 即无信息字段。

帧校验序列字段(FCS): 帧校验序列字段可以使用16位CRC, 对两个标志字段之间的整个帧的内容进行校验。

MT8952B 寄存器

MT8952B有两个端口, 一个是串行通信端口用来发送和接收串行数据包, 另一个是并口, 用于连接单片机系统, 通过并行总线传输数据。这个接口包括数据总线(D0—D7), 地址总线(A0—A3), E允许时钟输入, 片选(CS)和读写控制, 单片机可以读写协议处理器的各个寄存器。表3.9给出这些寄存器的地址, 寄存器的详细描述可参考MT8952B的数据手册。A3~A0为协议控制器的寄存器地址选择, 单片机可以读写这些寄存器实现对MT8952B的初始化操作, 输入、输出数据, 判断MT8952B的工作状态。

表3.9 寄存器地址
Tab 3.9 register addresses

Address Bits				Registers	
A3	A2	A1	A0	Read	Write
0	0	0	0	FIFO Status	-
0	0	0	1	Receive Data	Transmit Data
0	0	1	0	Control	Control
0	0	1	1	Receive Address	Receive Address
0	1	0	0	C-Channel Control (Transmit)	C-Channel Control (Transmit)
0	1	0	1	Timing Control	Timing Control
0	1	1	0	Interrupt Flag	Watchdog Timer
0	1	1	1	Interrupt Enable	Interrupt Enable
1	0	0	0	General Status	-
1	0	0	1	C-Channel Status (Receive)	-

如图3.9所示，为高速RS-485的硬件连接电路图，通过MT8952B进行数据的发送和接收。由于MT8952B中有19 BYTE的FIFO所以可以提高单片机的工作效率，并且使MT8952B的最高达到2.5Mbps，并且通过HDLC中的CRC校验字判断通信是否出错，出错则申请重发。

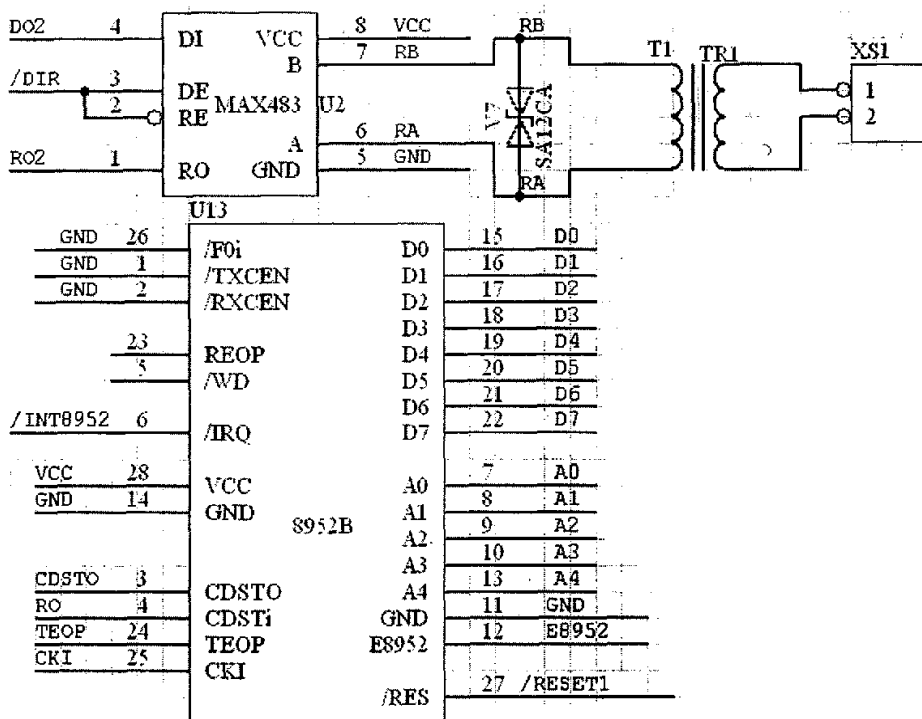


Fig 3.9 microcontroller and MT8952B circuit conjunction diagram

图 3.9 单片机与 MT8952B 连接电路图

3.4.2 高速 485 网物理层设计

传统的RS-485网的物理层采用MAX483芯片实现TTL电平转换为485电平。在本文的设计中考虑到克服传输线路上的电测干扰对电路的影响，采用了变压器隔离技术，以太网、ISDN等许多著名网络都采用了这种技术。

采用了变压器隔离技术，就必须采用曼彻斯特编码技术，因为在通信过程中有可能长时间发0，或者发1，会导致变压器原边信号没有跳变，信号就不会

传递到副边，而增加了曼彻斯特编码，可以使每一位，不管是0、或1都会发生跳变，使信号顺利通过变压器。

图3.10所示为曼彻斯特编码原理。在每一个码元时间间隔内，当发0时，在间隔的中间时刻电平从低向高跳变；当发1时，在间隔的中间时刻电平从高向低跳变。这类码元的特点是在每一码元的时间间隔内，至少有一次跳变。既传输数据又传输时钟。

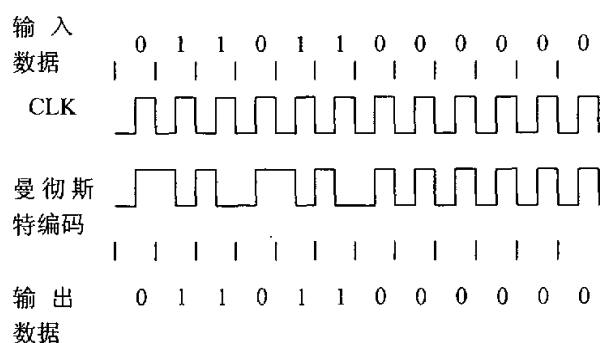


Fig 3.10 manchester code principles

图3.10 曼彻斯特编码原理

从图3.10可以看出曼彻斯特编码输出实际上为输入信号和时钟信号的异或。曼彻斯特的编解码在CPLD中完成，如图3.11所示。

经过曼彻斯特编解码后的串行信号（为TTL电平），经过MAX483^[37]变为差分信号直接输入隔离变压器。MAX483与CPLD的接口电路如图3.12所示。CPLD的R01脚设定为数据接收脚(RXD)，D01脚设定为数据发送脚(TXD)，DIR为控制脚。当DIR为低电平时，允许CPU发送数据给系统主机；当DIR为高电平时，CPU可接收前置机发来的数据。为了保证数据的正确传送，防止误报警，除采用奇偶校验外，还发送数据的累加和，前置机接收完数据后，必须检查接收到数据的累加和与发送的累加和是否相等，如不相等，则表示传输出错。另外，CPU发送完所有数据后，要接收前置机的应答信息，此应答信息即为数据的累加和，只有当发送与接收的累加和一样时，才表示传输正确。

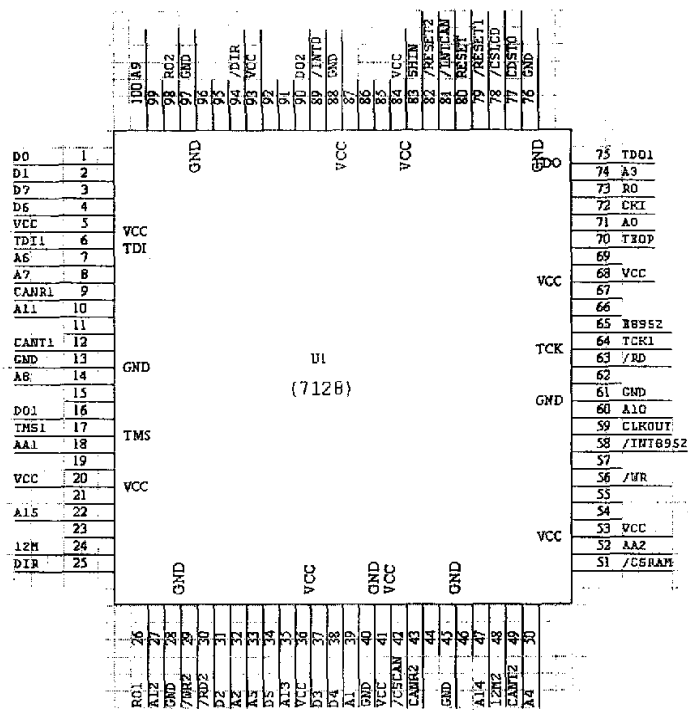


Fig 3.11 schematic diagram of CPLD

图3.11 CPLD原理图

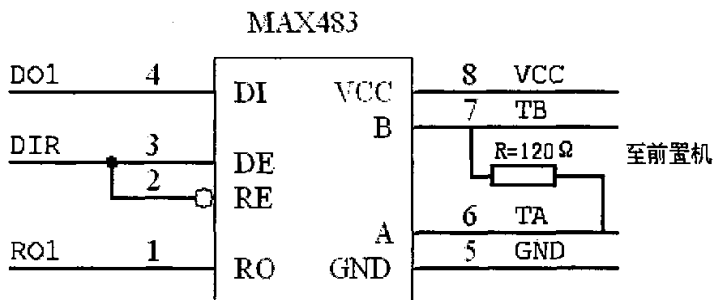


Fig 3.12 interface circuit between MAX483 and CPU

图3.12 MAX483与CPU的接口电路

3.5 小结

本章详细研究了电能质量监控系统的通信网络结构，重点对下层测控通信子网进行设计。采用了一种“CAN+高速 RS-485”的双网冗余配置，并对双网通信模块的硬件电路设计进行了详细的介绍。CAN 节点主要负责 CAN 网通信，其中采用 SJA1000 作为 CAN 控制器，PCA82C250 作为 CAN 收发器；高速 RS-485 设计部分以 RS-485 作为物理层的标准，在链路层加入 HDLC 协议，这里选用 Mitel 公司的 MT8952B HDLC 协处理器，并采用 MAX483 芯片作为收发器。

这种“CAN+高速 RS-485”的双网冗余配置，使两种网络取长补短，优势互补，双网冗余热备用又可大大提高网络的可靠性，使下层测控总线的功能趋于完备。

4 下层测控网应用层规约的软件设计

4.1 系统中的通信规约

本前置机系统中的规约主要有两个部分：一是前置机与现场电能质量监控设备 PQM 之间的通信规约。二是前置机与上级工作站之间的通信规约。其中前置机与 PQM 之间的通信规约是根据 PQM 所能支持的运动传输规约确定的，而前置机与上级工作站之间的通信规约则一般取决于上级调度工作站的具体要求。考虑到这两部分规约的不确定性，本前置机系统在设计时，将系统中的规约处理部分尽量模块化，方便了将来规约的扩充及更改，以实现与多种运动通信规约的接口。

目前本前置机系统对底层 PQM 的通信规约采用的是 CDT 规约，而与上层工作站之间的通信规约也可以使用 CDT 规约，或者使用可以运行于 TCP/IP 网络协议之上的通信规约。由于 CDT 规约是一种通用性的规约，适用面大，要想实现其全部功能是不现实也没有必要的。本文只是根据实际需要，采用了 CDT 的部分功能来完成电能质量监控系统中各种监控信息的传输。

4.2 MSComm 控件进行串口通信的开发原理及实现^[39]

应用 Visual C++ 开发串行通信目前通常有如下几种方法：

一、是用 Windows API 通信函数，这种方法使用面较广，但由于比较复杂，专业化程度较高，使用困难；

二、是利用 Visual C++ 的标准通信函数 `_inp`、`_inpw`、`_inpd`、`_outp`、`_outpw`、`_outpd` 等直接对串口进行操作，这种方法需要了解硬件结构原理；

三、是利用第三方编写的通信类，这种方法是利用一个专门针对串行通信的 `Cserial` 类(这种类是由第三方提供)，只要理解这种类的几个成员函数，就能方便的使用；

四、是使用 Microsoft Visual C++ 的通信控件(MSComm)，这种方法只需要

对串口进行简单配置，在串口编程时也非常方便，程序员不必花时间去了解较为复杂的 API 函数。

根据以上比较及实际的设计特点，上位机站点通信连接模块选择使用 MSComm 控件。

4.2.1 MSComm 控件的操作模式方法

MSComm 控件通过串行端口传输和接收数据，为应用程序提供串行通信功能。MSComm 是 Microsoft Communications Control 的简称，它不是工具箱控件，在 VC 中如果要使用 MSComm 控件，首先应该将这个控件插入到一个 Project 中，然后才能在这个上程中使用它。它提供了两种处理通信问题的方法，即事件驱动(Event-drive)方法和查询法。

对于事件驱动方法，在编程过程中，就可以在 OnComm 事件处理函数中加入自己的系统需要实现功能的代码。这种方法的优点是程序响应及时，可靠性高。每个 MSComm 控件对应着一个串行端口。如果应用程序需要访问多个串行端口。必须使用多个 MSComm 控件。

查询方式实质上还是属于事件驱动，但在有些情况下，这种方式显得更为便捷。在程序的每个功能之后，可以通过检查 CommEvent 属性的值有没有变化来查询事件和错误。若有变化，则表明一个通信事件或者一个错误发生。

完成 MSComm 控件的通信功能的 API 函数是由 Comm. drv 解释并传递给设备驱动程序进行的。

4.2.2 MSComm 控件的属性设置

MSComm 控件有很多属性，但在进行串口通信编程时，必须对以下几个属性进行操作：

1) CommPort 属性

可以通过 void SetCommPort(short nNewValue)来设置 DCE 所连接的串行通信端口号，同时也可以应用 short GetCommPort()来得到其串口号。其中 nNewValue 默认值为 1,可以设置成 1-16 之间的任何整数。当一个并不存在的

端口在通信中被 PortOpen 属性试图打开时, MSComm 将会产生设备无效的错误号(68)。

2) Settings 属性

本属性的操作函数为有 void SetSettings(LPCTSTR lpszNewValue); String GetSettings(); 该属性以字符串的形式设置并且返回数据传输速率、奇偶校验、数据比特、停止比特等参数。当端口打开时, 如果 value 非法, 则 MSComm 控件产生错误 380(非法属性值)。在实际的串行通信的设计开发中, 我们必须注意只有当通信的双方的 Settings 属性值都一样时, 通信连接才能生效。

3) Rthreshold 属性

在 MSComm 控件设置 CommEvent 属性为 comEvReceive 并产生 OnComm 之前, Rthreshold 属性设置并返回的要接收的字符数。可以利用 void SetRThreshold(short nNewValue) 及 short GetRThreshold() 进行设置, 这里 nNewValue 是 short 型参数, 说明在产生 OnComm 事件之前要接收的字符数。

4) InputMode 属性

该属性用于设置或者返回传输数据的类型, 应用 void SetInputMode(long nNewValue) 来设置其属性, 应用 long GetInputMode() 返回传输数据的类型。其取值和基本含义如表 4.1 所示。

表 4.1 InputMode 属性及其含义

Tab 4.1 attribute and Implication of InputMode

设定值	值	意义描述
ComInputModeText (缺省)	0	通过 Input 属性以文本方式取回数据
ComInputModeBinary	1	通过 Input 属性以二进制方式取回数据

5) 其它必须设置的属性

InputLen 属性: 设置并返回 Input 属性从接收缓冲区读取的字符数。在使用 Input 前, 用户可以选择检查 InBufferCount 属性来确定缓冲区中是否已有需要数目的字符。该属性在从输出格式为定长数据的机器读取数据时非常有用。

InBufferSize 属性：设置或者返回输入缓冲区的大小，默认值为 1024 字节。

InBufferCount 属性：用于返回输入缓冲 Ix_ 内的等待读取的字节个数，可以通过该属性值为 0 来清除接收缓冲区。

PortOpen 属性：用于打开或者关闭端口。

OutBufferSize 属性：用于设置或者返回发送缓冲区的大小，值为整型表达式，

表示传输缓冲区内的字节数，默认值为 512 字节。

OutBufferCounter 属性：用于返回发送缓冲区内等待发送的字节数，可以用来清空发送缓冲区。

CommEvent 属性：如果在通信过程中发生错误或者事件，将会引发 OnComm 事件并且改变其属性值。

以上各种属性的设置方法是，在 ClassWizard 中为新创建的通信控件定义成员对象(如定义其为 m_Serial)，再通过以下程序对其进行设置：

```
BOOL CSampleDlg::PortOpen()
{
    BOOL m_Opened;
    .....
    m_Serial.SetCommPort(2);           //指定串口号
    m_Serial.SetSetSettings(“9600,N,8,1”); //通信参数设置
    m_Serial.SetInBufferSize(1024);    //指定接收缓冲区大小
    m_Serial.SetInBufferCount(0);      //清空接收缓冲区
    m_Serial.InputMode(1);             //设置数据获取方式
    m_Serial.SetInputLen(0);           //设置读取方式
    m_Opened=m_Serial.SetPortOpen(1);  //打开指定的串口
    return m_Opened;
}
```

4.2.3 MSComm 控件的事件

MSComm 控件只有一个事件，即 OnComm 事件。在串行通信软件的开发

中, 利用 `MSComm` 控件编写的应用程序在通信时如果发生错误或者事件, 将会引发 `OnComm` 事件并改变其属性值, 通过 `GetCommEvent()` 可获得 `OnComm` 产生事件或者错误的代码。在通信程序的设计中可以根据 `CommEvent` 属性值来执行不同的操作。

4.2.4 基于 `MSComm` 控件的串口通信实现

在本设计的通信程序中, 首先应用 MFC 生成一个基于对话框的程序, 然后再按下述方法进行基于 `MSComm` 控件的串口通信程序的设计。

一、在当前 Project 中插入 `MSComm` 控件

将 `MSComm` 插入到当前工程中, 此时在工程文件中就添加了 `MSComm`。而且类 `MSComm` 的相关文件 `mscomm.h` 和 `mscomm.cpp` 也一并加入到 Project 中。

然后在对应的对话框窗体中插入 `MSComm` 控件, 再在视类的 `ClassWizard` 中为该控件声明一个变量, 在我们的系统中设为 `MSComm mscom1`。这样在程序运行中, 该 `MSComm` 控件都将是有效的。

二、初始化并打开串口

对串口进行初始化一般说来要完成以下几个设置:

- 1) 设定通信端口号, 即 `CommPort` 属性。
- 2) 设定通信协议, 即 `Handshaking` 属性。
- 3) 设定传输速率等参数, 即 `Settings` 属性。
- 4) 设定其它参数, 有必要时再加上其它的属性设定。
- 5) 打开通信端口, 即将 `PortOpen` 属性设置为 `TRUE`。

再接前节所述的方法即可对串口进行初始化并打开串口。

三、串口读写

完成上述设计后, 就可根据按串口事件来进行接收口中的数据了。完成串口读写的两个函数的原型是: `VARIANT GetInput()` 以及 `void SetOutput(const VARIANT& newValue)`。都要使用 `VARIANT` 类型。无论是在 PC 机读取上传数据时还是在发送下行命令时, 习惯于使用字符串的形式(也可以说是数组形式)。查阅 `VARIANT` 文档知道, 可以用 `BSTR` 表示字符串, 但遗憾的是所有的 `BSTR` 都包含宽字符, 即使我们没有定义 `_UNICODE_UNICODE` 也是这样! Windows NT

支持宽字符，而有些操作系统并不支持。为解决上述问题，可以使用 CbyteArray，相应的实现程序此处略。

四、关闭串口

在使用完 MSComm 通信对象后，需要将通信端口关闭。当然如果窗体注销时，MSComm 控件注销同样可以完成这一功能。可以用下面的语句来实现这个功能：

```
m_Com.SetPortOpen(FALSE);
```

通过以上程序的设计后，即可实现串口通信的基本功能。此时可以通过串口调试助手，在两台 PC 机上进行通信测试。

4.3 CRC 校验原理及校验码算法^{[40][41]}

通信传输中，由于线路噪声或者其它干扰，极易使传输的信息码产生错误，接收端应识别这些错误码，将误码舍弃。如何识别误码并将其舍弃呢？这就用到了校验。在发端，根据 CDT 通信规约，将传送的信息计算出一个称为 CRC 值，附加在数据尾部一并传送。在接收端，用同样方法生成一个 CRC 值，与收到的 CRC 值进行比较，若两个值相同，信息传输正确，否则信息有错误，将这些错误信息舍弃。

根据 CDT 规约我们知道，无论传输控制字，还是信息字，它们字结构相同，后 8 位均为校验码。按照规约，码制采用(48,40)码，这种码有两个特点：(1) $n-k=8$ ，比较小；(2) $k=40$ ，是 $n-k$ 的整数倍。这样，编码和算法会相对容易实现。这种(48,40)码组生成多项式为 $G(X)=X^8+X^2+X+1$ 或 $G(X)=107H$ ，陪集码为 FFH 。CDT 规约中，字节和位的排列规则是：字节由低到高上下排列，字节的位由高到低左右排列。按照这个规则，假设有一个 K 位信息字，对应多项式为 $K(X)$ ，它的 CRC 值计算方法是：用一个 $r(r=8)$ 次多项式即 $G(X)$ 做除数，把在信息字尾部增加 $r(r=8)$ 个 0 所构成的信息字对应的多项式作为被除数，二者做模 2 除法，最后得到 r 位余数，给余式 $R(X)$ ，就是 $K(X)$ 的 CRC 值校验码。

CRC 校验码生成多项式 $G=[100000111]$ ，用多项式表示为 $G(X)=X^8+X^2+X+1$ ，它产生的校验码 R 的二进制位数是 8 位 (1 个字节)。

用字节构成的二进制序列被称为“字节序列”，显然数据序列、校验码以

及二者组成的序列 M 都是字节序列，或者说是“多字节序列”。

1. 多字节序列运算规律

首先设一个由 i 个字节 m_1 、 m_2 、 m_3 、…… m_{i-1} 、 m_i 构成 $8 \times i$ 位二进制序列，用字节形式表示为 $M_i = [m_1 m_2 m_3 \dots m_{i-1} m_i]$ ，然后再截取 M_i 的前 $(i-1)$ 个字节构成一个 M_{i-1} 序列，即 $M_{i-1} = [m_1 m_2 m_3 \dots m_{i-1}]$ ，这两个序列间的关系用多项式表示为 $M_i(x) = x^8 M_{i-1}(x) + m_i(x)$ ，其中 $m_i(x)$ 是字节 m_i 的二进制多项式表示形式，而 $x^8 M_{i-1}(x)$ 表示将 M_{i-1} 序列左移一个字节。对于序列 M_{i-1} 来说，

如果

$$\frac{M_{i-1}(x)}{G(x)} = Q_{i-1}(x) + \frac{R_{i-1}(x)}{G(x)} \quad (4-1)$$

对于 M_i 序列，得

$$\frac{M_i(x)}{G(x)} = \frac{x^8 M_{i-1}(x) + m_i(x)}{G(x)} = x^8 Q_{i-1}(x) + \frac{x^8 R_{i-1}(x) + m_i(x)}{G(x)} \quad (4-2)$$

上式中前一项为整数，与余式无关，余式只可能出现在后一项中。因此对式 $x^8 R_{i-1}(x) + m_i(x)$ 取余式运算等价于对 $M_i(x)$ 取余式运算，由此对多字节取余运算可由递推运算进行，递推运算规律如图 4.1。每次递推运算都是对一个两字节计算余式，所以如何快速对两字节序列计算成为关键。

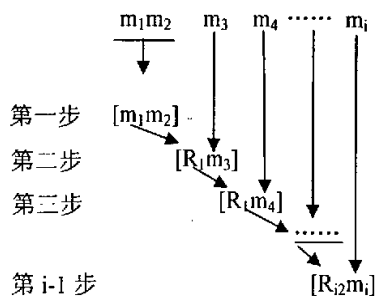


Fig 4.1 modular recursive algorithm law

图 4.1 取余递推运算规律

2. 多字节序列计算

设一个两字节序列 $T_{ab}=[cd]$ 可由一个 $T_{a0}=[c0]$ 和一个单字节序列 $T_b=[d]$ 相加表示即 $T_{ab} [cd]=T_{a0} [c0]+T_b [d]$, 对于 T_{a0}

$$\frac{T_{a0}(x)}{G(x)} = Q_{a0}(x) + \frac{R_{a0}(x)}{G(x)} \quad (4-3)$$

对于 T_{ab}

$$\frac{T_{ab}(x)}{G(x)} = \frac{T_{a0}(x)+T_b(x)}{G(x)} = Q_{a0}(x) + \frac{R_{a0}+T_b(x)}{G(x)} \quad (4-4)$$

式中 Q_{a0} 是整数, 与余式无关; 而 R_{a0} 与 T_b 都是单字节序列, 它们的模二和仍然是单字节序列, 就是 T_{ab} 的余式 R_{ab} , 即

$$R_{ab}(x) = \text{Re} \left[\frac{T_{ab}(x)}{G(x)} \right] = \text{Re} \left[\frac{R_{a0}(x)+T_b(x)}{G(x)} \right] \quad (4-5)$$

求余式方法有两种, 第一种是利用模 2 除法的算法, 它移位太多, 用时太长, 不利于实时性处理; 第二种是查表法, 它速度快、效率高, 可以迅速查出余式。本系统采用第二种方法。

第二种方法具体算法是:

- a. 将 40 个码字分为 5 个 8 位消息段 m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 ;
- b. 查出 m_1 对应部分的余式 R_1 ;
- c. 用第二段 $m_2+R_1= m_2$, 再查出 m_2 对应部分的余式 R_2 ;
- d. 以此类推推出余式 R_5 ;
- e. R_5 再与陪集码 FFH 相加即得到最后的校验码 $\overline{R(x)}$ 。

按上述步骤计算的由 00H 至 FFH 这 256 个中间余式校验码如下所示:

BCHCOD: DB 000H, 007H, 00EH, 009H, 01CH, 01BH, 012H, 015H
 DB 038H, 03FH, 036H, 031H, 024H, 023H, 02AH, 02DH
 DB 070H, 077H, 07EH, 079H, 06CH, 06BH, 062H, 065H
 DB 048H, 04FH, 046H, 041H, 054H, 053H, 05AH, 05DH
 DB 0E0H, 0E7H, 0EEH, 0E9H, 0FCH, 0FBH, 0F2H, 0F5H

DB 0D8H, 0DFH, 0D6H, 0D1H, 0C4H, 0C3H, 0CAH, 0CDH
DB 090H, 097H, 09EH, 099H, 08CH, 08BH, 082H, 085H
DB 0A8H, 0AFH, 0A6H, 0A1H, 0B4H, 0B3H, 0BAH, 0BDH
DB 0C7H, 0C0H, 0C9H, 0CEH, 0DBH, 0DCH, 0D5H, 0D2H
DB 0FFH, 0F8H, 0FIH, 0F6H, 0E3H, 0E4H, 0EDH, 0EAH
DB 0B7H, 0B0H, 0B9H, 0BEH, 0ABH, 0ACH, 0A5H, 0A2H
DB 08FH, 088H, 081H, 086H, 093H, 094H, 09DH, 09AH
DB 027H, 020H, 029H, 02EH, 03BH, 03CH, 035H, 032H
DB 01FH, 018H, 011H, 016H, 003H, 004H, 00DH, 00AH
DB 057H, 050H, 059H, 05EH, 04BH, 04CH, 045H, 042H
DB 06FH, 068H, 061H, 066H, 073H, 074H, 07DH, 07AH
DB 089H, 08EH, 087H, 080H, 095H, 092H, 09BH, 09CH
DB 0BIH, 0B6H, 0BFH, 0B8H, 0ADH, 0AAH, 0A3H, 0A4H
DB 0F9H, 0FEH, 0F7H, 0F0H, 0E5H, 0E2H, 0EBH, 0ECH
DB 0CIH, 0C6H, 0CFH, 0C8H, 0DDH, 0DAH, 0D3H, 0D4H
DB 069H, 06EH, 067H, 060H, 075H, 072H, 07BH, 07CH
DB 051H, 056H, 05FH, 058H, 04DH, 04AH, 043H, 044H
DB 019H, 01EH, 017H, 010H, 005H, 002H, 00BH, 00CH
DB 021H, 026H, 02FH, 028H, 03DH, 03AH, 033H, 034H
DB 04EH, 049H, 040H, 047H, 052H, 055H, 05CH, 05BH
DB 076H, 071H, 078H, 07FH, 06AH, 06DH, 064H, 063H
DB 03EH, 039H, 030H, 037H, 022H, 025H, 02CH, 02BH
DB 006H, 00IH, 008H, 00FH, 01AH, 01DH, 014H, 013H
DB 0AEH, 0A9H, 0A0H, 0A7H, 0B2H, 0B5H, 0BCH, 0BBH
DB 096H, 091H, 098H, 09FH, 08AH, 08DH, 084H, 083H
DB 0DEH, 0D9H, 0D0R, 0D7H, 0C2H, 0C5H, 0CCH, 0CBH
DB 0E6H, 0E1 H, 0E8H, 0EFH, 0FAH, 0FDH, 0F4H, 0F3H

4.4 CDT 规约解释程序实现

CDT 规约解释程序分为两个部分，一是监视 PQM，将其按 CDT 规约的方式传送过来的数据转换为实际的工程量。另一部分是将控制命令进行解释、编码，并发送到 PQM。这部分涉及到读取数据和发送数据的两个部分，本文中都在串口通信模块中实现。

4.4.1 接收 PQM 数据模块设计

本模块主要通过串口完成从 PQM 接收数据，并按 CDT 规约提取信息。其流程图如图 4.2 所示。当有串口事件发生时，首先接收数据，按规约搜索同步字，直到收到连续 6 个同步字节，表示收发两端建立了同步，可以进行数据通信。同步字节后是控制字节，应该对收到的控制字节进行 CRC 校验，如果校验失败，表示这一帧有错误，丢弃这一帧数据，重新开始搜索同步字，等待下一次同步。如果校验正确，调用控制字解释，获取该帧的字数 N，帧类别，源站址和目的站址信息。剩下的都是该帧的信息字了，一共是 N 个字，从 1 到 N 进行循环，每次从缓冲区接收 6 个字节，进行 CRC 校验，如果失败，该帧的信息都丢弃，进入搜索同步字。如果校验正确，根据每个字的功能码调用不同的解释函数，如遥测字，遥信字，事件顺序记录等，并将解释出来的数据保存以备后续处理。

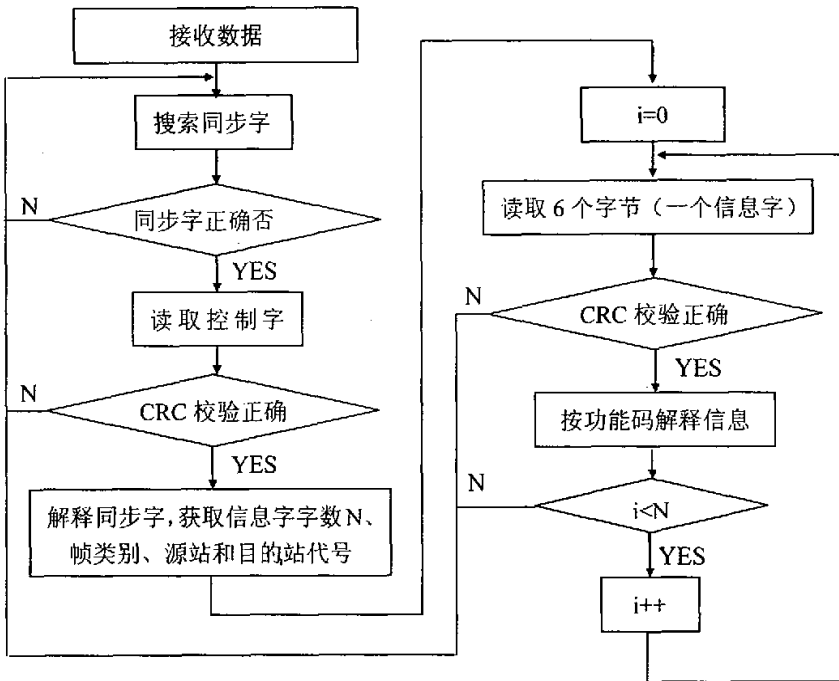


Fig 4.2 flow chart of receive PQM data Module

图 4.2 接收 PQM 数据模块流程图

4.4.2 PQM 数据发送模块设计

本模块主要功能是：按照 CDT 规约将要发送的数据量“打包”成帧并发送。发送数据的流程图如图 4.3 所示。一旦有命令下达，就按要求确定帧类别、目的地址和功能码，然后读取要发送的信息，并按格式生成控制字，再按格式将信息和功能码组装成信息字。最后，将同步字，控制字，信息字按帧结构组成一帧，再按帧类别进行发送。

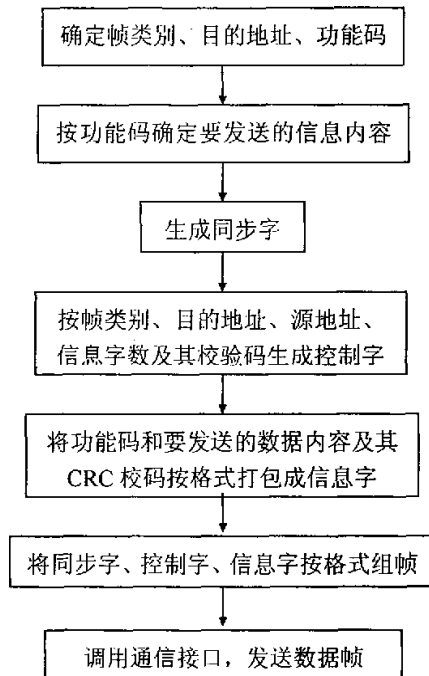


Fig 4.3 flow chart of PQM Transmitting Data Module

图 4.3 PQM 数据发送模块流程图

4.5 CDT 规约测试程序设计

经过上述各节子模块的分析与设计，已基本能实现各部分的功能。本节通过将按 4.4 节所分析的 CDT 规约程序设计方法再结合 4.2.4 所完成的串口通信程序，实现对 CDT 规约的基本功能的测试。现以两台 PC 机模拟前置机和终端电能质量监测设备进行通信，以完成程序运行测试。

4.5.1 CDT 规约类设计

在本测试程序设计中，为方便以后 CDT 规约程序的移植及其它规约的扩充，采用了面向对象的程序设计思想方法，按 CDT 规约的规定，将其封装成一个类，如下列代码所示：

```
class Cdt //按 CDT 规约的规定定义的 Cdt 类,此处为部分关键代码
{
//.....此处省略部分代码.....//
    struct stBitDefine //控制字节 BitDefine
    {
        unsigned E_bit:1;//0 为已定义帧类别，1 为扩展功能
        unsigned L_bit:1;//0 表示没有信息字，1 表示有信息字
        unsigned S_bit:1;//1 表示源站有内容
        unsigned D_bit:1;//1 表示目的站有内容，下行信息中，为 0 表示广
播命令

        unsigned Low_4bit:4;
    }stBitDefine1;
    struct stKongZhiZi //控制字 YCKZhZ
    {
        struct stBitDefine ControlByte; //控制字
        unsigned char FrameClass; //帧类别
        unsigned char InfoWordLength; //信息字数
        unsigned char SourceAddress; //源站址
        unsigned char DestinationAddress;//目的站址
        unsigned char CRCJY; //校验码
    }stKongZhiZi1;
    struct stInforWord //信息字 stInforWord1
    {
        unsigned char FuctCode; //功能码
```

```

        unsigned char InfoData[4];    //4 个信息字
        unsigned char JiaoYan;       //校验码
    }stInforWord1;
    struct stFrame //帧结构 Frame
    {
        unsigned char SynWord[6];    //={0xeb,0x90,0xeb,0x90,0xeb,0x90};
        struct stKongZhiZi ContrWord; //控制字
        unsigned char InfoWord[6];   //信息字
    }stFrame1;
    //定义 CDT 类成员函数
    void CreatYcInforWord(Cdt::stInforWord &stInforWord1,unsigned char
    FunctCodeSel,int a1,int a2); //信息字生成函数。
    void EditFrame(Cdt::stFrame &stFrame1,unsigned char
    FrameClassSel,unsigned char InforWordLen,unsigned char SourceAdd,unsigned
    char AimAddr); //帧生成函数
    unsigned char JiaoYan(unsigned char m[]); //生成 RC 校验码
};

```

在上述程序中，按 CDT 规约帧中的同步字、控制字、信息字等都定义成结构体，而具体信息字、帧数据的创建，由信息字生成函数与帧生成函数来完成。信息字的生成，由信息字生成函数将读取过来的数据（a1,a2 共 4 个字节），按功能码（FunctCodeSel 一个字节）、信息字（4 个字节）再加 4 个校验码（一个字节）组成。生成信息字后，就可按图 4-4 创建一个帧数据。

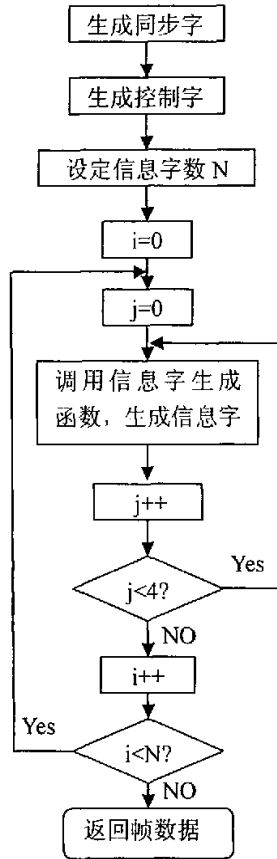


Fig 4.4 frame generation flow chart

图 4.4 帧生成流程图

在使用时，只需将其加载到串口通信程序的工程中，再定义相应的对象，即可访问 CDT 规约类的成员函数和变量。

4.5.2 测试程序实现与测试

将上节的 Cdt 类加到串口通信工程类中，并在其头文件上定义一个 Cdt 对象，并按 4.4 节的原理，在串口接收程序中将接收到的数据解包成需要的数据，

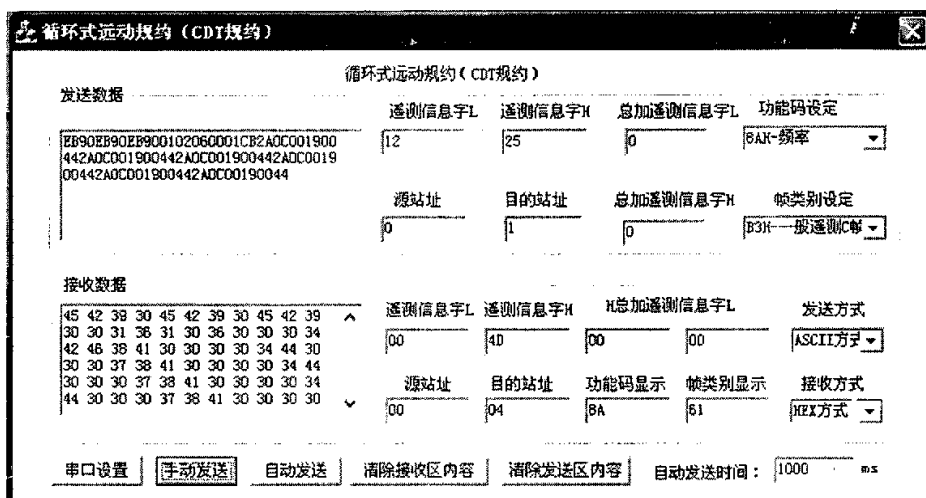


Fig 4.5 software operation chart of front-end microcomputer

图 4-5 前置机软件运行图

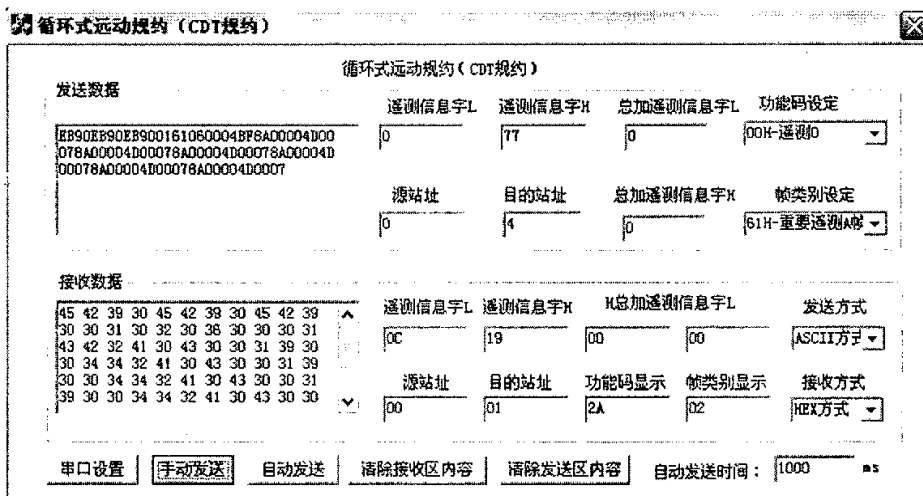


Fig 4.6 software operation chart of PQM

图 4-6 PQM 软件运行图

在串口发送程序中将打包好的数据发送出去，即可完成 CDT 规约测试程序的设计。如图 4.5 所示，为通信前置机的运行状况，图 4.6 为 PQM 运行状况

在本测试程序中，遥测信息字，总加控制字，源站与目的地址等从编辑框中输入，在这里仅设置了一个信息字（4个字节），而功能码、帧类别设定由组合框选择生成，从运行图可以看出，本程序可以正确地生成由同步字、控制字、信息字等组成的帧数据，而且接收到数据后也能正确的将数据帧解包成所需要的数据并显示出来。

4.6 小结

本章首先对串行通信软件设计的基本方法，即基于 MSComm 控件的程序设计思想进行了比较详细的说明，接着对本文中的要使用的校验方法 CRC 校验的原理进行分析并编写了 CRC 校验程序，然后对本文的核心内容 CDT 规约的实现原理和方法进行了详细的说明并给出了详细的程序流程图。最后结合以上所有程序模块，在一个基于对话框的程序中实现了对 CDT 规约测试程序的设计。通过实验可以看出，本设计思想是可行的，而且本程序在设计过程中采用了面向对象的设计思想，各个功能模块很方便地移植到其它平台或软件上，同时也可以根据需要扩充其它规约程序。

5 结论与展望

5.1 结论

本文首先介绍了电能质量监控系统中信息传输的基本方式：串行通信。并从其物理层特性和通信方式两个方面，对如何保证二进制数据比特流在系统中的正确传输进行了讨论。然后参照 ISO/OSI 七层参考模型针对电能计量局域网不同于普通计算机局域网的特点进行了分析，并就现场总线技术及其在电能质量监控系统中的应用进行了介绍，其中重点介绍了 RS-485 总线与 CAN 总线，并提出本文所设计的“CAN+RS-485”现场总线通信系统。之后重点以 CDT 规约为例，对远动规约进行了论述。

接着对电能质量监控系统的下层测控通信子网进行设计。采用了一种“CAN+高速 RS-485”的双网冗余配置，并对双网通信模块的硬件电路设计进行了详细的介绍。CAN 节点主要负责 CAN 网通信，其中采用 SJA1000 作为 CAN 控制器，PCA82C250 作为 CAN 收发器；高速 RS-485 设计部分以 RS-485 作为物理层的标准，在链路层加入 HDLC 协议，这里选用 Mitel 公司的 MT8952B HDLC 协处理器，并采用 MAX483 芯片作为收发器。这种“CAN+高速 RS-485”的双网冗余配置，使两种网络取长补短，优势互补，双网冗余热备用又可大大提高网络的可靠性，使下层测控总线的功能趋于完备。

最后对下层测控网用 VC++ 语言进行应用层软件设计。应用 MSComm 控件串行通信技术实现了下层测控网络的串行通信部分的具体流程，并按 CDT 规约标准通信，同时采用了一种快速简单的 CRC 校验算法，减少了 CPU 的负担，大大提高了传输准确性及传输效率。本程序在设计过程中采用了面向对象的设计思想，各个功能模块很方便地移植到其它平台或软件上，同时也可以根据需要扩充其它规约程序。

实际的运行表明，该通信系统可完成预期功能：系统中的“CAN+高速 RS-485”双网通信模块可以和其他采用此模块的标准装置以 CDT 规约正常通信，

运行可靠、性能稳定，具有很好的实时性。并且系统中各部分的分工明确，功能模块化，使整个系统具有很好的可扩展性。

5.2 后续工作展望

一方面限于时间论文没有完成电能质量监控系统的上层网络的设计，另一方面，目前的技术发展很快，有许多新的工作值得我们去。总结如下：

(1) 模块设计距离产品化还有不少工作可以做，如完善用户接口，以使工程使用更加方便；以及电磁兼容实验。

(2) 集成以太网接口。如果系统具备了这种接口，那么产品将在未来较长时间内具有竞争力。

(3) 本通信程序只做了 CDT 一种规约，但目前电能质量监控系统中 PQM 使用的通信规约往往有多种，这就要求通信系统能支持多种通信规约，需要不断丰富规约库。

由于作者水平有限，文中不妥与错误之处在所难免，恳请各位专家、老师和同学们批评指正。

6 参考文献

- [1] 肖湘宁, 徐永海. 电能质量问题剖析[J]. 电网技术, 2001, 25(3): 56~59.
- [2] McGranaghan M. Trends in power quality monitoring[J]. IEEE Power Engineering Review, 2001, 21(10): 3~9.
- [3] 林海雪. 电能质量技术丛书. 北京: 中国电力出版社, 1998
- [4] 李爱芝, 王丽平等. 电力通信的现状与展望. 电力情报, 2000年4月
- [5] 乐秀潘, 沈琴. 电力通信中异构网络实时通信的研究. 计算机与现代化, 2002年第一期
- [6] 石松奇, 葛敏辉. 电力自动化技术的新发展. 电力系统及其自动化学报, 1999年12月第11卷第5~6期
- [7] DL/T667-1999. 远动设备及系统第5部分 传输规约. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [8] 李庆良. 综合自动化变电站中通讯规约的规范化[J], 山西电力, 2003, (2):40~41.
- [9] 刘永泰. TCP/IP体系结构[J], 科技情报开发与经济, 1998, (3):23~24.
- [10] 白焰. 分散控制系统与总线控制系统: 基础、评选、设计、和应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [11] 丁书文. 数字化变电站自动化系统的网络选型[J]. 继电器, 2003, 31(7): 37~40.
- [12] 王荣莉, 雷斌. 工业以太网技术的现状与发展[J]. 四川工业学院学报, 2004, (3):63~65
- [13] 王保义, 张少敏. 接口与通信. 北京: 中国电力出版社, 2005年4月: 108~114.
- [14] Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks(Third Edition). 1998
- [15] 甘永梅, 李庆丰, 刘晓娟等. 现场总线技术及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2004年6月
- [16] 谢清荣. 总线技术概览. 中国计算机报, 2000
- [17] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996年11月
- [18] DL451-91. 中华人民共和国电力行业标准 循环式运动规约[S], 中国电力出版社, 1991

- [19] 李兴兰, 张友根等。基于RS-485/422网络的远程数据传输系统。电子技术, 2001年2月
- [20] 刘瀛。基于RS485通讯有关问题的分析。中国科技信息, 2005年17期
- [21] 靳越。提高RS-485总线工控网络通信可靠性的措施。张家口职业技术学院学报, 2005年3月
- [22] 张喜平。调度自动化系统搬迁的基本思路。广东电力, 2005年6月, 76~77
- [23] 陈杨。基于CAN总线的数据通信系统研究。测控技术, 2000年19卷第10期
- [24] 袁爱进。CAN现场总线通信系统的研究。计算机工程, 2001年第9期
- [25] 周风余。CAN总线系统智能节点设计与实现。微计算机信息, 2000年第15卷第6期
- [26] 徐文尚。CAN总线点对点通讯应用研究。电测与仪表, 2001年第1期
- [27] 苟建兵。工业网络中以太网可靠性探讨。自动化博览, 26~31
- [28] 徐恺冬, 王宏, 杨志家。基于以太网的工业控制网络。信息与控制, VOL:29, NO:2, 182~186
- [29] Philips Semiconductors: SJA1000 Stand-alone CAN controller AN97097. 1997
- [30] Philips Semiconductors: SJA1000 Stand-alone CAN controller DATA SHEET. 2000
- [31] 萧海龙等。基于SJA1000的CAN总线系统智能节点设计。计算自动测量与控制, 2001年第2期
- [32] Philips Semiconductors: Data Sheet PCA82C250, September 1994
- [33] Philips Semiconductors: Determination of Bit Timing Parameters for the CAN Controller SJA1000, Application Note AN96116, 1996
- [34] 刘瀛。基于RS485通讯有关问题的分析。中国科技信息2005年第17期, 2005年9月
- [35] MITEL: MT8952B HDLC Protocol Controller. ISSUE6, March 1997
- [36] 周学义, 卢炜。HDLC协议处理芯片MT8952B在数字程控交换机中的应用。电子设计应用, 2003年4月
- [37] MAXIM: Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers. Rev5;2/96
- [38] 黄再银, 李丽。视频监控系统中报警分接器的设计。半导体技术第28章第4期, 2003年4月
- [39] 求是科技编著。Visual C++ 串口通信技术与工程实践(第二版)。北京: 人民邮电出版社, 2004. 7

- [40] 欧健伟, 王为。远动通讯规约CDT中间余式与校验码算法的研究[J]。遥测遥控, 2001年5月: 47~52
- [41] 赵志辰, 王津。关于部颁CDT规约中校验码的算法。电力系统通信, 2001年第2期: 42~44
- [42] 李予洲, 杨宛辉等。部颁CDT规约的VC++程序实现[J]。继电器, 2001年4月: 32~35
- [43] 贺德全。CDT/MODEM 数字远动通信。广西工学院学报, 第11卷 第1期, 2000年3月: 35~38
- [44] 程栩, 黄强。OASYS系统中CDT通信规约接口的开发。安徽电力, 1998年第1期: 36~38
- [45] 杨瑞江, 于秀丽。CAN的特点及应用, 甘肃科技, 2004年5月
- [46] 王华等。VC++6.0编程实例与技巧。北京: 机械工业出版社, 1999.4
- [47] 龚建伟, 熊光明编。Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践。电子工业出版社, 2004.10
- [48] 孙雄勇。Visual C++6.0 入门与提高实用教程。北京: 中国铁道出版社, 2003.9
- [49] 杨明军, 董亚卓, 汪黎。C++实用培训教程。北京, 人民邮电出版社, 2002.12

7 作者在校期间科研成果简介

1、发表论文《色谱仪热导检测器电桥自动调衡的方案研究》于《中国仪器仪表》2006年2月。

2、发表论文《基于RS485的高速现场总线研究，西华大学学报，自然科学版》2005年12月。

3、发表论文《ADS8364在高精度电能质量分析仪中的应用》于《中国仪器仪表》2006年1月。

4、设计并调试通过“电能质量监控系统的通信网络”。其中包括对电能质量监控系统的下层测控通信子网进行设计,形成“CAN+高速RS-485”的双网冗余配置;并对下层测控网使用Visual C++语言按CDT规约进行应用层软件设计。实际运行表明,系统运行可靠、性能稳定,具有很好的实时性。

8 申明

本人申明呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注的和致谢的地方外,论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果,也不包含为获得西华大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示感谢。

本学位论文成果是本人在西华大学读书期间在导师指导下取得的,论文成果属西华大学所有,特此申明。

作者签名: 刘峰 06年 5月 26日

导师签名: 靳斌 06年 5月 26日

9 致谢

本文是在导师靳斌副教授的悉心指导下完成的。导师严谨求实的治学态度、孜孜不倦的敬业精神、循循善诱的教学风格和正直坦荡的为人风范使学生受益匪浅，并将成为学生未来人生道路上的明灯，谨此向导师致以崇高的敬意和衷心的感谢！

借此机会也向给予我无私帮助的学校、院、系的各位老师、同学和朋友们表示由衷的感谢。感谢2003级同窗好友的热情帮助！

衷心感谢评审论文的各位专家、教授为本文提出宝贵的意见。

感谢我的家人，正是他们默默地给我支持，深深地为我祝福，用无边的关爱和理解让我走过人生的每一个驿站。能够和家人一起分享成功的喜悦，是我最大的快乐和幸福。

感谢所有关心我的人。谢谢！

刘晓飞
二零零六年五月于西华大学