

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2018.01.012

基于 MDT 单片机的 Modbus 远程控制器设计

包琴^{1,2}

(1.福建工程学院 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建 福州 350118;
2.福建省北斗导航与智慧交通协同创新中心, 福建 福州 350118)

摘要: 针对节能监管系统数据采集网关对现场设备控制能力有限的问题,设计基于 MDT 单片机的 Modbus 远程控制器,实现了采集网关对现场设备的协作控制,以提高节能监管系统的监控效果。远程控制器以 MDT 单片机为核心,整合了 Modbus 通信协议,并通过 RS485 总线与数据采集网关的下行 RS485 主机接口互联,实现对现场控制量的监测和控制。通过实践验证,远程控制器能够可靠地实现状态量的采集和切换控制,工作稳定可靠。

关键词: MDT 单片机; Modbus 协议; RS485; 远程控制器

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2018)01-0061-05

Design of Modbus remote controller based on MDT MCU

BAO Qin^{1,2}

(1. Fujian Key Laboratory of Automotive Electronics and Electric Drive,
Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Beidou Navigation and Smart Traffic Innovation Center of Fujian Province, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Aiming at a Modus remote controller based on MDT MCU was designed to solve the problem that the data acquisition gateway of the energy supervision system had limited ability to control the field equipment. The controller realized the gateway's cooperative control of the field equipment, thus improving the monitoring effect of the energy supervision system; it integrated the Modbus communication protocol with the MDT MCU as the core, and realized the monitoring and control of the field control variables by the interconnection of the RS485 bus and the interface of the downlink RS485 host computer. Engineering practice verifies that the remote controller can realize reliable and stable acquisition and switching control of the state variables in the field control and monitoring.

Keywords: MDT MCU; Modbus protocol; RS485; remote controller

公共建筑电力能耗监测与管理系统有效地提高了后勤部门用电监管的自动化程度,为节能管理提供了一个有效手段^[1]。针对当前能耗监管系统的数据采集网关对现场用电控制能力有限的现状,设计一种基于 MDT 和 Modbus 协议的控制器,实现对现场用电设备开关状态的读取和切换,

以提高能耗监管系统对用电设备的控制水平,特别是对违规用电设备的实时监视和处理能力。

MDT10P73 单片机功能兼容 PIC16F73,片上资源丰富,使用温度宽,抗干扰能力强,适合于工业现场使用,其采用的高性能 RISC 指令集,在 20 MHz外部时钟晶体时单周期指令为 200 ns,执行

收稿日期: 2017-12-14

基金项目: 福建工程学院科研项目 (GY-H-17035、GY-H-17040、GY-Z13005、GY-Z13125); 福建省教育厅科技项目 (JB13140)

作者简介: 包琴(1980-),女,福建屏南人,工程师,研究方向:电气工程与仪器仪表。

效率高,编程方便^[2-3]。

Modbus 协议是由 Modicon 公司推出并真正应用于工业现场的总线协议^[4]。通过此协议,能够由通信网络实现控制器之间、控制器和其它设备之间进行可靠地通信,目前 Modbus 已经成为一种通用的工业标准^[5-6]。

1 控制器硬件设计

1.1 硬件总体设计

MDT10P73 单片机具备 4K×14 位 EPROM 程序存储器、192 字节的 RAM 存储器、22 个 GPIO 接口、3 个定时器、11 个中断、5 通道 8 位 ADC、1 个 I2C 接口和 1 个 UART 通用串口等多种外设,为小型控制系统提供了十分便利的解决方案^[7]。

基于 MDT 单片机和 Modbus-RTU 的远程控制器主要由 MDT10P73 单片机最小系统、RS485 通信电路、输入输出 IO 电路和供电电源组成,远程控制器硬件总体框图如图 1 所示。

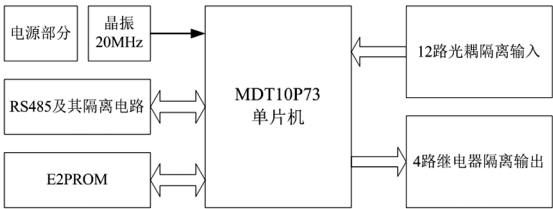


图 1 远程控制器硬件总体框图

Fig.1 Hardware diagram of the remote control unit

1.2 硬件详细设计

远程现场控制器选用 28 引脚窄型 DIP 封装的 MDT10P73,共设计 4 路状态量继电器输出控制接口、12 路光耦隔离的状态量采集输入接口、1 个半双工隔离型 RS485 接口。

将 MDT10P73 的 GPIO 接口 PB2-PB7 配置为 6 路输入状态并使能端口弱上拉电阻;PA0-PA5 配置为 6 路输入状态;PC0-PC3 配置为 4 路输出状态;PB0-PB1 预留给 I2C 总线。远程现场控制器核心部分的电路原理如图 2 所示,其中 24C02 为外置 E2PROM。

为保护远程控制器输入端口,12 路状态量采集电路,采用光耦器件与主 MCU 进行隔离,图 3 是其中一路状态量采集的原理设计电路。

为实现输入端口的保护功能,图 3 使用插件高速光耦 TLP781 进行光电隔离,并由独立的模

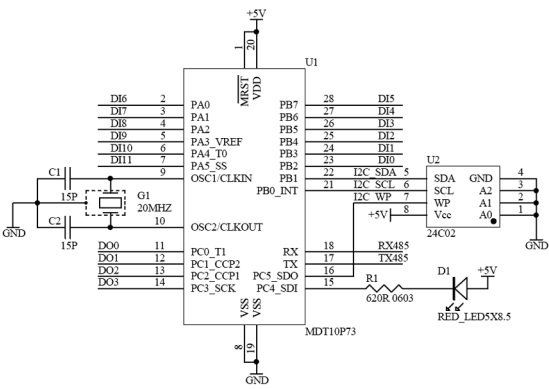


图 2 MDT10P73 核心部分的原理图

Fig.2 Schematic circuit of the MDT10P73's core board

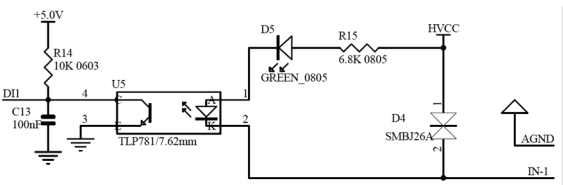


图 3 带隔离保护的状态量采集电路

Fig.3 State variable acquisition circuit with isolation

拟电源 HVCC=24 V 提供供电。TVS 瞬变抑制二极管 SMBJ26A 能够削减高压带来的冲击。在 IN-1 端口闭合/断开的情况下,能够控制光耦器件 TLP781 工作状态的改变,实现了输入信号的隔离交换。

远程控制器的 4 路状态量控制输出接口,直接由 MDT10P73 MCU 的 PC0-PC3 输出口,在隔离光耦的配合下,驱动常开继电器的开/闭操作,其继电器隔离驱动电路如图 4 所示。

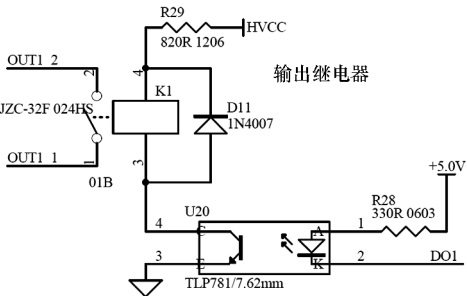


图 4 远程控制模块状态输出电路

Fig.4 State output circuit of the remote control module

为实现与智能网关的远程互联,现场控制器内实现了 1 路带隔离功能的高速 RS485 接口,并设计静电、雷击和抗交流~220 V 误接入的保护

功能。

ADM2587E 是一款内部采用 isoPower™ 集成式隔离 DC/DC 技术的 RS-485/RS-422 收发器,可配置成半双工或全双工模式,其 RS-485 输入/输出引脚上具有 ± 15 kV ESD 保护功能^[8]。带隔离保护的高速 RS485 接口设计如图 5 所示,其中 RS485 模拟部分 5.0 VCC 的供电电源,直接由 ADM2587E 芯片内部的隔离 DC-DC 提供,实现了与数字部分 +5 V 电源的完全隔离。

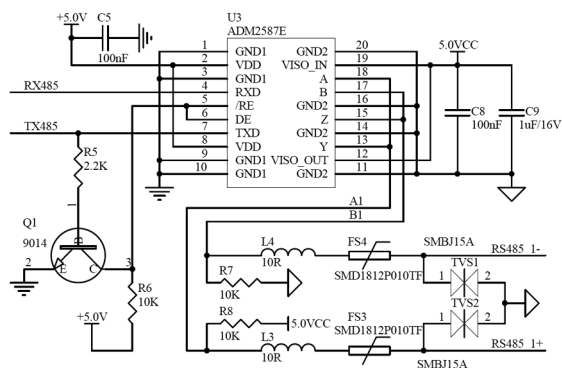


图 5 带隔离保护的高速 RS485 接口

Fig.5 High speed RS485 interface with isolation

ADM2587E 的通信速率高达 500 kbps, 工作温度 $-40 \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2.5 kV 隔离电压, $\pm 15\text{ kV}$ 的 ESD 保护, 完全满足远程控制器在复杂现场的高速通信需求^[9]。

2 控制器软件设计

MDT10P73 片上 RAM 存储器有限,堆栈深度固定 8 级,因此,远程控制器软件采用前后台系统的模式,并直接由汇编语言实现控制器的采集、控制、存储和通信功能。考虑到 MDT10P73 指令单周期 200 ns 快速高效的性能,为增加系统的抗干扰能力,UART 串口和 GPIO 的工作状态,均采用轮询方式进行确认。

2.1 软件总体设计

远程控制器前台程序是一个无限的轮询循环,软件总体设计如图 6 所示。

后台软件主要涉及 12 路状态量的 GPIO 输入电平监控、4 路状态量输出、UART 串口接收、UART 发送和 Modbus-RTU 协议处理 5 个任务。

2.2 GPIO 输入/输出控制

远程控制器的 GPIO 输入/输出控制的核心是 12 个输入状态量的电平监控。为提高状态量

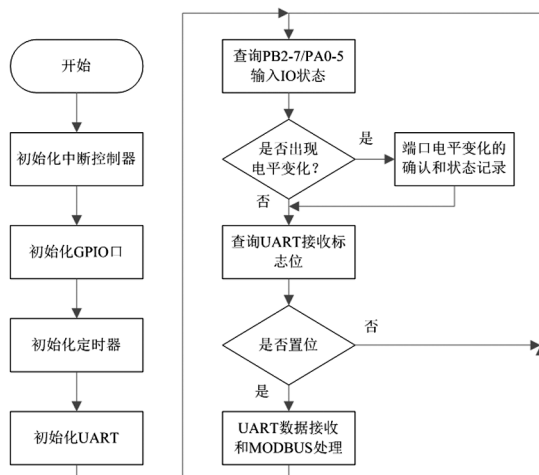


图 6 远程控制器前台软件流程图

Fig. 6 Flowchart for the foreground software of the remote control unit

读取的可靠性,GPIO 输入电平监控采用轮询方式,并对噪声干扰进行一定的滤波处理。

输入状态量的电平扫描流程图如图 7 所示。

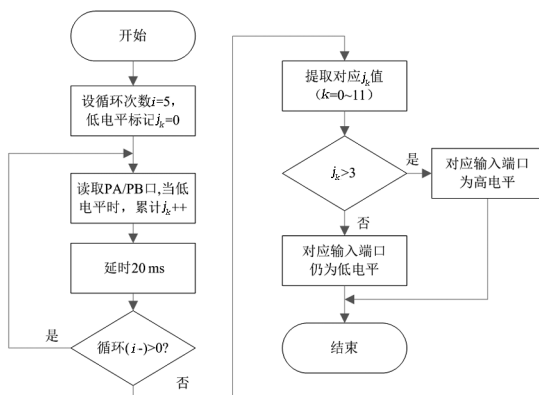


图 7 输入端口电平轮询流程图

Fig.7 Flowchart of the level polling of input ports

在输入端口 100 ms 的扫描周期内,汇编后台程序对控制器的 12 路输入状态量 $DI[0 \sim 11]$ 进行 5 次扫描,将扫描的低电平次数,累计到 j_k 变量内,其中 $k=0 \sim 11$ 。若 5 次扫描,有 3 次以上为低电平,将认为该 $DI[k]$ 端口出现低电平。

2.3 UART 的数据收发

UART 初始化成 8 bit 数据, 1 停止位, 无奇偶校验的格式, 并设计波特率为 1 200 ~ 115 200 bps。UART 数据收发按 Modbus-RTU 协议约束, 其帧间间隙应有大于 3.5 个字符的空闲时间, 帧内字节间隙不超过 1.5 个字符时间^[10]。

图 8 是 Modbus-RTU 协议帧的发送流程,其中指针寄存器 FSR 指向协议帧的起始地址,协议帧的长度信息暂存于 temp_i 临时寄存器中,RTU 协议帧报文字节发送完成后,即 temp_i 为 0 时退出。

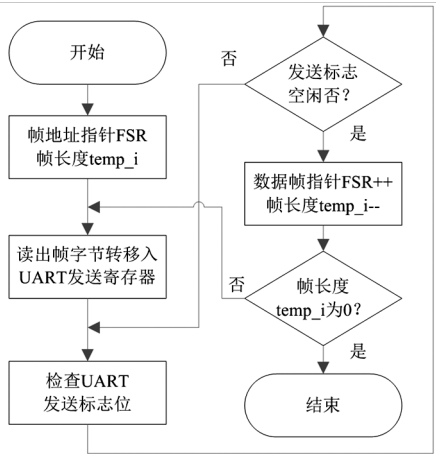


图 8 Modbus-RTU 数据帧发送流程
Fig. 8 Flowchart of the transmission of Modbus-RTU data frame

3 控制器 Modbus 协议设计

Modbus 是 OSI 模型第 7 层上的应用层报文传输协议,它可在不同类型总线的设备之间,提供客户机/服务器通信^[11]。表 1 所示的是一个典型的 Modbus-RTU 协议帧结构。

表 1 Modbus-RTU 协议帧的基本结构

Tab.1 Basic structure of Modbus-RTU protocol frame

开始	地址	功能码	数据	CRC	终止
T-T-T-T	8 位 S	8 位 S	N×8 位 S	16 位 S	T-T-T-T

注: T 为一个字节的通信时间, S 为 1 个停止位

Modbus-RTU 模式在总线上进行通讯时,协议帧报文中的每 8 位的字节被分成 2 个 4 位的 16 进制的字符,该模式的主要优点是在相同波特率时传输的密度高于 ASCII 模式^[12]。

远程控制器通过扩展 Modbus-RTU 协议帧的“N×8 位”的数据内容为“Modbus 寄存器+数据内容”,定义了 Modbus 对控制器的操作寄存器,主要约定了对控制器的参数设置/获取和端口数据读/写操作。

控制器 Modbus 寄存器的定义如表 2 所示。

表 2 远程控制器的 Modbus 寄存器列表

Tab.2 List of Modbus registers for the remote control unit

协议帧	功能码(H)	Modbus 寄存器	数据内容	操作
参数	03	DI:00 H-0B H	0/1→低/高	只读
类型	03/10/06	DO:10 H-13 H	0/1→低/高	读写
通讯参数	03/10/06	40 H	通讯地址	读写
	03/10/06	41 H	通讯波特率	读写
	03/10/06	42 H	奇偶校验位	读写

控制器 8 Bit 的 Modbus 从设备地址存储于 MCU 外扩的 24C02 E2PROM 内,协议帧通过扩展的 40 H Modbus 寄存器进行访问。

远程控制器作为 RS485 总线的从设备,其 Modbus-RTU 协议帧的处理流程如图 9 所示。

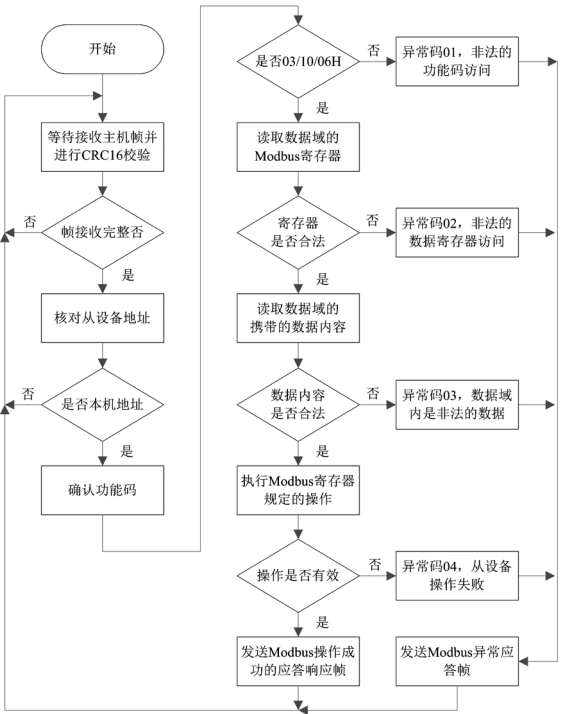


图 9 控制器 Modbus-RTU 协议帧的处理流程
Fig.9 Processing flow of the Modbus-RTU protocol frame of the control unit

控制器首先等待主机发送的 Modbus-RTU 协议帧,若 MDT10P73 前台软件流程收到主机发送的协议帧并通过了 CRC16 检验,则逐项核对协议帧的从机地址码、功能码、扩展的 Modbus 操作寄存器和数据内容。如经核对全部有效,则协议处理流程将执行主机的操作命令并向主机做出应答

帧响应;如果核对的对应码与协议处理流程不一致,以及操作失败,则向主机返回一个异常帧应答。

4 测试与验证

远程控制器出厂默认波特率:57 600 bps;字符格式:1 位起始位/8 位数据位/无校验位/1 位停止位;Modbus 地址:0x01。图 10 是远程控制器的地址、通信波特率和校验位修改的命令与应答协议帧的报文,其中新配置的控制器的从机地址为 0x08,通信波特率为 38 400 bps,校验位为偶校验。

```
[发送] 01 10 00 40 00 01 02 00 08 A9 56
[接收] 01 10 00 40 00 01 00 1D
(a) 出厂默认下 Modbus 地址修改为 0x08-DATA:0008H
[发送] 08 10 00 41 00 01 02 03 84 C3 82
[接收] 08 10 00 41 00 01 51 44
(b) 默认通信波特率修改为 38 400 bps-DATA:0384H
[发送] 08 10 00 42 00 01 02 00 02 42 E3
[接收] 08 10 00 42 00 01 A1 44
(c) 默认通信校验位修改为偶校验-DATA:0002H
```

图 10 通讯参数配置与应答的测试响应

Fig.10 Test responses of the configuration and response rames of the communication parameter

将初始化配置后的远程控制器,挂载于主网关的下行 RS485 总线,并在该总线上并行接入 RS232-485 监视模块,以便上位机能够实时监测

RS485 总线上的通信数据。

图 11 是对 12 路 DI 端口的采集与应答协议帧的监视情况,其中 DI0、DI4-7 和 DI11 处于闭合状态,DI1-DI3 和 DI8-DI10 处于断开状态。

```
[接收] 08 03 00 00 00 0C 45 56
[接收] 08 03 18 00 01 00 00 00 00 00 01 00 01 00 01
00 01 00 00 00 00 00 00 01 AB 90
```

图 11 状态采集端口的测试响应

Fig.11 Test response of the state acquisition port

图 12 是对 4 路 DO 端口的控制与应答协议帧的监视情况,其中 DO1、DO3 和 DO4 处于闭合状态,DO2 处于断开状态,与实际的控制要求相一致。

```
[接收] 08 10 00 10 00 04 08 00 01 00 00 00 01 00 01 3E 43
[接收] 08 10 00 10 00 04 C0 96
```

图 12 状态控制端口的测试响应

Fig.12 Test response of the state control port

5 结论

根据企业实际需求所开发的基于 RISC 单片机 MDT10P73 的远程现场控制器,整合并扩展了 Modbus-RTU 通信协议,能够可靠地实现了 12 路状态量的采集和 4 路控制量的输出。经过现场测试和运行,所设计的现场控制器响应正常,工作稳定可靠。由于 Modbus 协议和 RS485 均支持多从机部署,故该控制器可以为现场采集网关或 RS485 控制主机提供简便和经济的多机扩展能力。

参考文献:

[1] 唐桂忠,张广明.公共建筑能耗监测与管理关键技术[J].建筑科学,2009,25(10):27-30.

[2] 钟晓伟,宋蛰存.基于 PIC16F73 单片机的电动自行车控制器设计[J].自动化技术与应用,2010,29(7):99-103.

[3] 陈畅然.基于 PIC16C73 单片机的智能热量计量表设计[J].电子设计工程,2015(11):170-172.

[4] 王书根,王振松,刘晓云. Modbus 协议的 RS485 总线通讯机的设计及应用[J].自动化与仪表,2011,26(5):25-28.

[5] 李伟.基于 Modbus 协议的工控节点设计与实现[J].计算机工程,2010,36(6):226-228.

[6] MORRIS T, VAUGHN R, DANDASS Y. A retrofit network intrusion detection system for Modbus RTU and ASCII industrial control systems[C]// 45th Hawaii International Conference on System Science. Hawaii: IEEE, 2012: 2338-2345.

[7] MICON Inc. MDT10P73 Datasheet [EB/OL]. [2017-12-02]. [http:// pdf1.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/view/133613/ETC1/MDT10P73.html](http://pdf1.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/view/133613/ETC1/MDT10P73.html).

[8] 北京晶圆智通科技有限公司.浅谈 ADM2587E 在 RS485/422 接口隔离中的应用[J].单片机与嵌入式系统应用,2012,12(5):86-87.

[9] 吴志杰,王新霞,孔凡敏,等.多路隔离的 Modbus 协议转换器的设计[J].电子技术应用,2016,42(10):77-79.

[10] 刘生辉,王克英,廖颜深.智能开关柜操控装置 Modbus-RTU 通讯协议的设计[J].电测与仪表,2010,47(7):77-80.

[11] 李勇,黄健.一种用低成本实现的 Modbus/TCP 转换器[J].单片机与嵌入式系统应用,2010(9):70-72.

[12] 刘玲玲,刘德平,李保强,等.基于 Modbus 协议的变频器远程控制器的研究[J].仪表技术与传感器,2010(6):33-35.

(特约编辑:黄家瑜)