

基于 Modbus 协议的智能仪表自动检测系统

杜佳良,刘美俊,李俊蒂,汤宗清

(厦门理工学院 电气工程与自动化学院,福建 厦门 361024)

摘要:智能仪表广泛应用于配电监控系统,仪表自动检测系统是确保其安全可靠运行的重要保证。为解决传统检测系统效率低、易出错、操作步骤多等问题,采用 Modbus-RTU 总线协议,设计了一种软硬件结合的智能仪表调试与检验系统,将 Modbus 通信协议与 32 位微处理器 STM32F103VBT6 相结合,实现了仪表的功能测试与精度校准。测试结果表明,仪表检测系统运行稳定、可靠性好、使用方便,大大提高生产效率与产品质量,可在相关行业广泛推广。

关键词:智能仪表;Modbus 协议;通信调试;功能测试

中图分类号:TM933 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)03-0050-06

随着智能电网建设在我国的推进,中低压配电系统对智能化设备的需求越来越大。智能电力仪表集保护、监视、控制、测量与谐波监测功能为一体,可远程监控中低压开关柜运行情况,实现遥控、遥测、遥信等功能。智能仪表功能多,技术含量高,其工作性能是否稳定、准确度是否够高是摆在各大智能设备生产企业面前的巨大挑战。每台仪表在出厂前都要由专业人员进行测试与调试。在进行手工测试时不仅要设置标准信号源的标准输出值,还要在仪表的面板上进行各种手工操作与数据记录,这种手工方式主要存在以下几个问题:(1)智能仪表的测量精度不够,影响实际应用的测量结果;(2)测试结果因手动测试存在误差,难以保证数据的准确性;(3)人工操作可能会因测试人员的失误导致某些功能未测试、或不合格的产品出厂。因此改进对智能仪表的校准与测试方法能有效发现潜在故障,提高设备利用率,进而提高配电网供电的可靠性和运行效率,从而对提高配电网安全预警及应对能力,具有十分重要的意义。

本文结合计算机信息处理技术、自动控制技术及智能仪表的设计原理提出一种全新的基于 Modbus 协议的测试系统,介绍其整体硬件结构原理与 Modbus 协议软件的实现。

1 自动测试系统整体方案

本文提出的自动测试系统主要由以下 3 部分组成:标准信号源、智能 IO 模块、自动调试与检测软件,系统整体方案如图 1 所示。后台主机通过因特网与通信模块相连;智能 IO 模块通过 RS-485 的方式与通信模块相连;每台被测智能仪表分别连接标准信号源、标准功率源和通信模块,各智能仪表通过 RS-485 通信接口与通信模块连接。

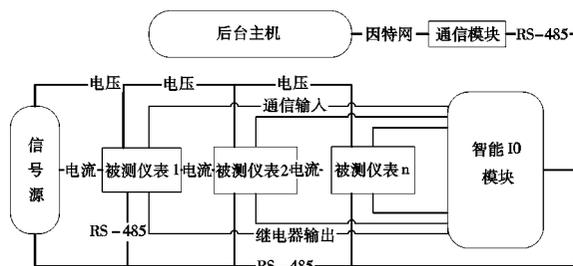


图 1 自动测试系统整体方案

Fig. 1 Automatic test system overall scheme

标准信号源采用三相程控标准源,可在计算机的控制下通过串口输出符合项目标准的标准信号,如一定功率的交流电压、交流电流信号,准确度等级为 0.03%,并且具备一定的谐波输出能力。

通信模块主要负责智能 IO 模块与上位机通讯的中转,完成上行与下行数据的接收与转发,接收来自智能 IO 模块的 Modbus-RTU 数据,向后台主机转发 IEC870-5-104 通讯规约数据。

智能 IO 模块具有多路开关量输入与继电器输出,能接收来自后台主机的指示进行自动切换,其主要功能为采集遥控信号、输出遥控信号、采集电压电流信号。

2 智能 IO 模块硬件设计

智能 IO 模块硬件部分主要包括微控制器模块、储存模块、串口通信模块、电源模块、电源继电器组、升级校准继电器组、测试继电器组、开关量继电器组、开关量采集模块,如图 2 所示。

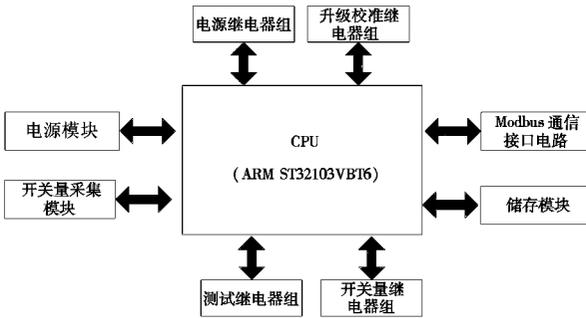


图 2 智能 IO 模块电路整体设计

Fig. 2 The overall design of hardware circuit

(1)微控制器是核心部件,鉴于 Modbus 通信协议对嵌入式处理器的适用性,选择基于 ARM 架构的 STM32103 VBT6 芯片。该芯片使用高性能的

ARM Cor-texTM-M3 32 位的 RISC 内核,工作频率为 72 MHz (执行速度为 1125 DMips M/Hz, ARM7、ARM9 为 019 DMips M/Hz,效率高出 30%)^[1],其片内 64K 数据存储器、片外 512K 程序存储器及丰富的 IO 口完全满足系统开发要求。为了提高运作效率,串口通信使用 DMA 方式发送和接受数据。STM32 以类似外设方式添加的 DMA 控制器可以摆脱 CPU 控制实现外设与内存之间的信息传递,大大加快了串口通信的效率^[2];采用 8 MHz 的外部时钟源外加 2 个 22pF 的电容配合产生振荡输入内部 PLL 时钟,经倍频产生 72 MHz 系统时钟。

(2)Modbus 通信模块电路主要负责上位机软件与底层控制电路的数据通信。数据链路层采用 RS-485 通信接口,通用性强、可靠性高;外部端子采用具有屏蔽功能的 RJ45 接口,主要由 RS485 总线电路、电源转换电路、RS485 地址编码器、使能控制开关、状态指示灯等组成。电源转换电路通过 DC-DC 整流将 24 V 直流转换成 5 V 直流,为 485 芯片供电;地址编码器用来设置串行通信的硬件地址;状态指示灯用来反应通信是否正常。Modbus 通信接口电路如图 3 所示,485 通信接口电路采用具有噪声与失效保护功能且抗干扰能力强的 SN65HVD22 芯片;485_D0、485_D1 为共模扼流圈,能滤除共模干扰;D6、D7、D8 为 26.7 V 的 TVS 二极管,能在高频瞬态干扰下保护前端电路。

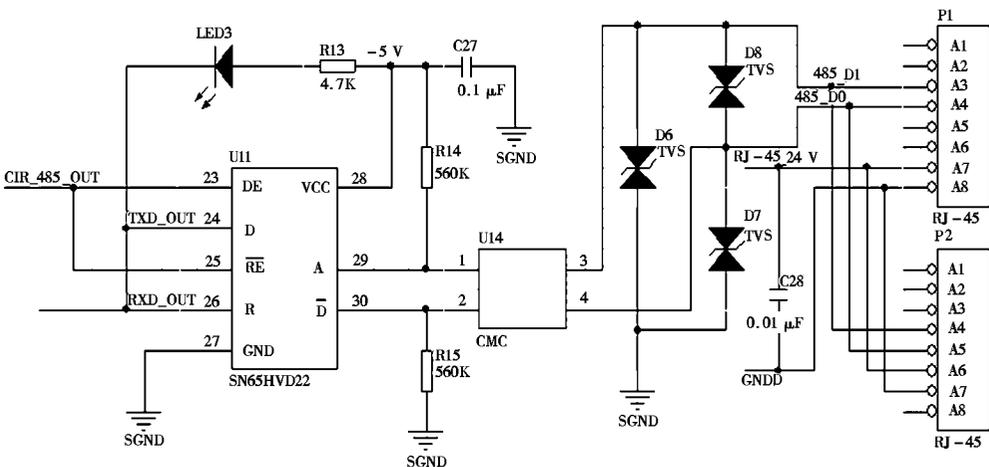


图 3 Modbus 通信接口电路

Fig. 3 Modbus protocol communication interface circuit

(3)电源模块提供了整个 IO 模块的供电电源,其硬件设计如图 4 所示。外部 24 V 的电压通过 DC-DC 电源隔离 B2405LS-1WR2 整流及滤波,得到 5 V 稳定的输出电压,然后通过 AMS1117 电压转换芯片将电压转换成 3.3 V 为控制器供电。

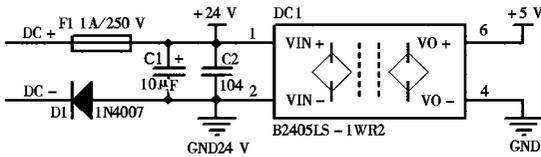


图 4 电源模块电路

Fig. 4 The power supply circuit

(4) Modbus 通信系统在运行时需要对一些不经常修改的数据参数值进行配置,如模块名、硬件版本、软件版本、序列号、Modbus ID、串口设置、继电器测试脉宽等,以便需要时进行调用。系统采用具有 8K 存储空间且占用 IO 资源少的 FM24CL16 芯片实现 EEPROM 功能,以 2 条数据总线 SDA、SCL 为传输媒介,采用扩展性强、可靠性高、硬件要求低的 IIC 协议,实现存储器与微控制器的数据存储。例如继电器的输出方式根据测试需要可设置为脉冲式或保持式,这实际上是设置输出脉宽的区别,继电器的脉宽值就储存在 FM24CL16 中,在程序编写时参数值用宏定义与地址对应,在初始化时读写进芯片,需要时调用即可。

(5)开关量采集模块。开关量采集模块利用绝缘能力与抗干扰能力强的 TLP181 光耦合器实现外部输入与 STM32 间的电气隔离,在此基础上采集被测仪表的继电器输出信号,实现遥控功能测试。

3 测试系统 Modbus 协议的实现

3.1 Modbus 协议通讯过程

Modbus 协议是 OSI 模型第七层应用层报文协议,广泛应用于工业现场的控制与通信系统中,也广泛应用于变电站及开闭所的监控系统中,其特点是具有开放性,能组成分布式的主/从机通信网络。该协议定义了一种数据传输格式,其发送与接收的 PDU 主要有地址码、功能码、数据区与校验码组成;规定了 2 种传输方式: ASCII 码和 RTU(remote terminal unit)模式。ASCII 码模式规定了消息中的每个字节作为 2 个 ASCII 码字符传送,数据校验方式采用 LRC(逻辑冗余校验);而

RTU 模式则规定消息中的每个字节包含两个 4 bits 的 16 进制字符^[3-4],数据校验采用 CRC(循环冗余校验),其传输相同的信息相比于 ASCII 模式需要较少的数据位。本系统的 Modbus 协议采用 RTU 模式,通信报文由地址码、功能码、数据区、CRC 校验码组成。地址码是信息帧传送的首个字节数据,规定了接收来自主机信息的从机地址;功能码是从机接收数据的第 2 个字节,从机根据不同的功能码执行不同的任务;数据区的内容根据功能码的不同而不同,由 2 个字节组成,从低位到高位依次填充,包含实际数值、地址信息、设置点等^[5-6]。

主机与从机的通信主要分为 2 个过程:主机指令帧的报文组合与发送、从机报文解析及从机报文发送,通讯过程如图 5 所示。主站根据用户所需要的功能进行串口初始化,将从机地址、功能码、寄存器数量、寄存器初试地址组合成初始报文,然后根据 CRC 校验算法生成的 2 字节校验码,将组合的消息发送出去;从机接收到消息后将验证其有效性,如果消息指令无误将根据对应功能码执行动作,并由 ARM 处理器计算 CRC 校验码,组装报文返还给主机;主机收到报文后首先进行 CRC 校验码计算,并与接收到的 CRC 码比较,若无误则取出报文数据作为输出结果。

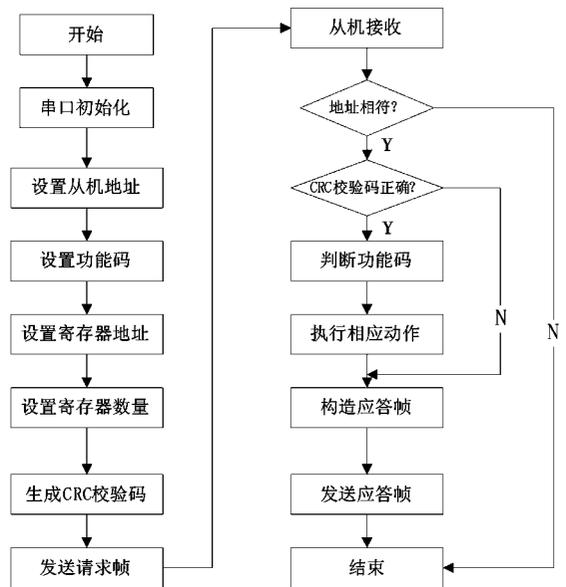


图 5 Modbus 协议通信过程

Fig. 5 Design flow of Mosbus RTU

本测试系统以 ARM 硬件平台与 PC 机(后台主机)构成 Modbus - RTU 通信系统,主站为 PC

机,负责各个功能测试的命令发送与测试数据的接收,从站为智能 IO 模块。根据主站向智能 IO 模块发送一定信息格式的查询命令,硬件装置按查询要求向主站发送信息,主要用于组装模拟测试电路,分为以下几个方面。

(1) 按照预定的测试流程,通过对电流继电器组与电压继电器组的投切实现不同仪表电流与电压的施加,避免了标准功率源频繁的切换与手工更换接线。

(2) 按照预定的测试流程,通过控制升级校准继电器组的投切,将仪表与后台主机相连接,实现仪表的升级与校准;通过控制测试继电器组的投切,将仪表与后台主机相连接实现模拟量测试。

(3) 按照预定的测试流程,通过控制开关量继电器组的通断,模拟遥信合位,将遥信分位信号输入至仪表完成仪表遥信采集功能测试。

(4) 智能 IO 模块的开关量采集模块负责采集仪表遥控继电器的通断信号,以配合后台主机完成仪表遥控输出功能测试。

在测试过程中后台主机必须收到各个继电器的闭合、断开信号以及采集的开关量信号,从而判断各个步骤条件是否满足,若满足即可开始测试。以 03H 功能码为例(读寄存器数据)说明开关量读取过程。读取节点输出的分/合(OFF/ON)状态、地址类型(0X)、不支持广播命令,子站返回数据中,输出状态按位表示,1 = ON,0 = OFF;起始序号从第 1 个数据的最低位开始排列,由低到高,字节顺序也是由低到高排列;如果返回的数据不是 8 的倍数,则最后字节的其他位均填零。

读取开关输入点 DI1 ~ DI8:

遥信查询(40201;DI1 ~ DI8)

主站询问:01 03 00 C9 00 01 54 34

子站回答:01 03 02 00 04 B9 87

根据子站返回报文,DI3 状态为 ON,其余为 OFF

以 05H(写单个线圈)为例说明单路继电器输出过程,代码 FF00 表示合命令,0000 表示分命令,遥控输出方式为自保持型。

遥信查询(40201;DI1 ~ DI8)

主站询问:01 05 00 0C 00 00 0D C9

子站回答:01 05 00 0C 00 00 0D C9

对继电器 RL3 执行分命令,并返回执行命令。

3.2 Modbus 协议软件设计

智能 IO 模块内基于 ARM 架构的 STM32103VBT6 芯片的驱动程序由 C 语言编写。Modbus 程序的编写要先从变量入手,其协力数据传输以帧为单位,需要设置 2 个缓冲区,分别是数据发送缓冲区与数据接收缓冲区,并以数组来储存数据,编写相应的报文发送函数,如下所示:

函数原型:RS485_Send(TxBuf, p-TxBuf)

报文发送时将组装好的 8 位数据的报文写入发送缓冲区 TxBuf[TXBUF_SIZE],启动串口 DMA 发送,数据由 TXD 端发出。

有了发送缓冲与接收缓冲后,就可以配置中断函数了。进入中断后函数首先将数据存入接收缓冲区 RxBuf[RXBUF_SIZE],随后进行数据有效性判定,若无效则返回错误,然后进行地址与功能码的识别,如下所示:

```
for (i = 0; i < RxBufIdx; i + + )
{
    if(( RxBuf[ i ] == ( vu8 ) Sys_Cofig. sys_slaveAddr) \&&(( RxBuf[ i + 1 ] == 0x3) || ( RxBuf[ i + 1 ] == 0x5) || ( RxBuf[ i + 1 ] == 0x6) || ( RxBuf[ i + 1 ] == 0x10)))
    break;
}
```

经上述判定后,不同的功能码将调用不同的函数。本文用到 4 种功能码,分别如下:

```
process_Func0x3(( const u8 * )&RxBuf[ i ])
process_Func0x5(( const u8 * )&RxBuf[ i ])
process_Func0x6(( const u8 * )&RxBuf[ i ])
process_Func0x10(( const u8 * )&RxBuf[ i ])
```

上述只说明了对一帧信息的外围解析与判断,具体的过程还需功能函数去解析与返回,包括 3 个步骤:参数解析、功能执行、返回响应。

4 系统自动测试功能实现

本测试系统采用 Java 平台编写后台测试软件,主要任务:(1)检测系统运行控制、相关检测参数录入与输出的人机交互模块;(2)负责组装发送报文与解析接收报文的通讯规约解析模块;(3)负责检测数据保存、读取、删除的数据库模块。系统程序开始运行后,按照预先设置的时序,通过 Modbus-RTU 协议控制智能 I/O 模块的升级校准继电器组的切换,完成对仪表程序的升级;然后根据设定好的测试参数模板控制标准信号源向

被测仪表输出交流电压、电流、功率等信号,通过 485 端口向主机传送仪表的电流、电压模拟量,并同信号源输出值进行比较,完成校准计算,最后将校准结果输入智能仪表的存储器;校准完成后依次进行开关量采集测试、继电器输出测试、模拟量功能测试,如果测试中有一环节测试失败,则会语音提示测试失败。主程序流程如图 6 所示。

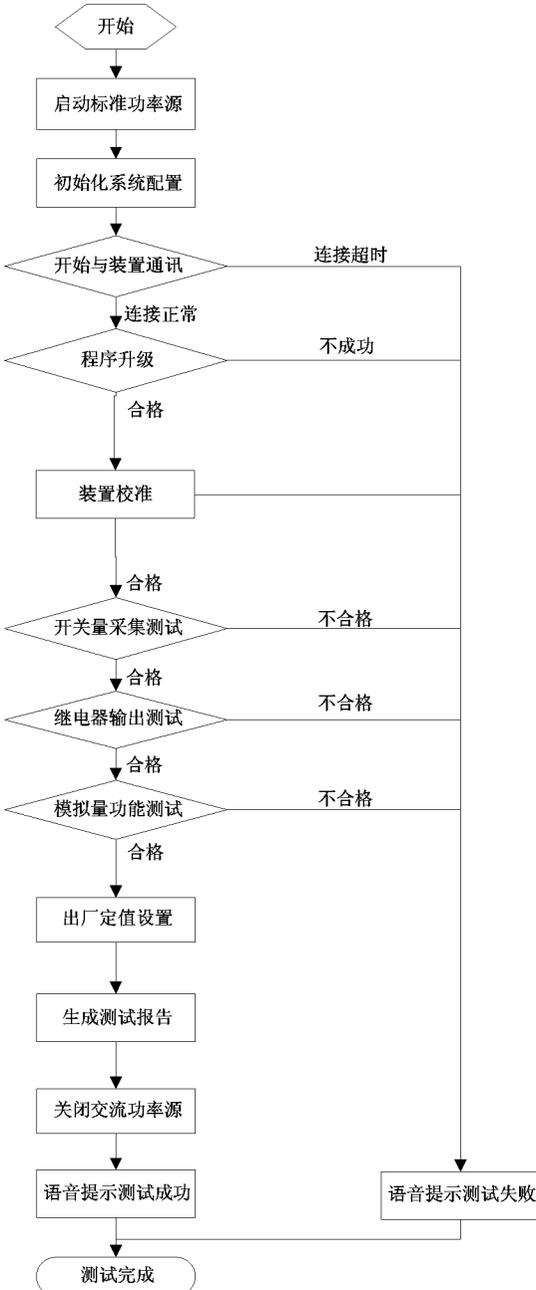


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Flow chart of the main program

软件设计界面如图 7、图 8 所示。图 7 主要提供被测仪表类型及相关测试内容;图 8 为主测试界面,显示测试进展程度,并提供测试信号查看界面、控制信号查看界面、电源控制界面与通信报文查看界面。



图 7 登陆界面

Fig. 7 System login interface



图 8 主测试界面

Fig. 8 The main test interface

测试完成之后将自动生成 EXCEL 格式的测试报告,如表 1 及表 2 所示。表 1 显示了遥信功能的检验、继电器输出功能的检验及通讯功能检验结果,表 2 给出了模拟量测试(包括满量程测试、不平衡测试与最小值测试)中满量程测试结果。由表 2 可知 A、C 相输出电压与输入电压一致,B 相输出电压与输入电压有偏差,但在 0.05 级精度范围内,符合要求;B、C 相输出电流与输入电流一致,A 相输出电流与输入电流有偏差,但在 0.05 级精度范围内,符合要求。

表1 测试结果
Table 1 Test Results

项目	内容	结果
遥信功能检验	DI1	合格
	DI2	合格
继电器输出功能检验	RL1	合格
	RL2	合格
通讯功能检验	对时设置	合格
	地址设置	合格

表2 满量程测试结果
Table 2 Full range of test results

电参量	A相	B相	C相	A精度	B精度	C精度
输入电压/V	220.0	220	220.0	-	-	-
输入电流/A	5.0	5	5.0	-	-	-
输入电容/pF	1.0	1	1.0	-	-	-
显示电压/V	220.000	219.9	220.000	0.00	0.045	0.000
显示电流/A	4.999	5	5.000	0.020	0.000	0.000

5 结论

本文将 Modbus 通信技术运用到智能仪表自动测试领域,后台主机通过基于 ARM 硬件平台的智能 IO 模块实现遥信量输入采集和继电器输出,并通过控制继电器的开断与闭合代替复杂/繁

琐的手工接线;通过控制继电器的切换即可切换信号通道,避免了信号源的频繁切换,提高了信号源的使用寿命。实验结果表明经测试的智能仪表完全符合应用需求,校准结果完全满足仪表精度要求。该系统功能强大,同时操作界面简洁明了,完全符合技术要求,可在相关行业广泛推广。

参考文献:

- [1] 孙启富,孙运强,姚爱琴. 基于 STM32 的通用智能仪表设计与应用[J]. 仪表技术与传感器,2010(10):34-36.
- [2] 刘火良. STM32 库开发实战指南[M]. 北京:机械工业出版社,2013:124.
- [3] Ding X W, Zheng J, Yuan J, et al. Automatic Test System of Intelligent Low Voltage Apparatus Based on Modbus Protocol [J]. Low Voltage Apparatus, 2013(3):47-49.
- [4] 王兆华,孟文,王文玺. Modbus 协议在变电站监控组态软件中的实现[J]. 自动化与仪表,2007,22(3):46-50.
- [5] 宋磊,彭道刚,赵斌斌,等. 基于嵌入式 STM32 的 Modbus RTU 协议实现[J]. 仪表技术,2014(11):33-36.
- [6] 程雪婷,王海峰. 解析 Modbus-RTU 协议关键内容及其在智能电器中的应用[J]. 电器与能效管理技术,2010(1):23-25.

The Automatic Detection System of Intelligent Apparatus Based on Modbus Protocol

DU Jialiang, LIU Meijun, LI Jundi, TANG Zongqing

(School of Electrical Engineering and Automation, Xiamen University of Technology, Fujian Xiamen 361024, China)

Abstract: Intelligent Apparatus is widely used in power distribution monitoring system. The instrument automatic detection system is an important guarantee to ensure its safe and reliable operation. To solve the low efficiency of traditional detection system, error-prone, operation steps, this paper adopts the Modbus RTU bus protocol, we design a combination of hardware and software debugging and testing system, intelligent instruments will be Modbus communication protocol combined with a 32-bit microprocessor STM32F103VBT6, realized the function test and precision of the instrument calibration. Test results show that the instrument test system running is stable, good reliability, easy to use, greatly improve production efficiency and product quality.

Keywords: intelligent apparatus; modbus protocol; communications debugging; functional testing

(责任编辑:张英健)