

文章编号: 2095-4980(2017)02-0333-05

一种抗辐照试验测试系统中 RS485 总线 IO 卡设计

李 超, 庄 伟, 颜 敏

(中国电子科技集团公司 第 24 研究所, 重庆 400060)

摘 要: 介绍了基于 RS485 总线的远程 IO 卡在抗辐照测试系统中的实现(主要用于瞬时剂量率抗辐照试验、总剂量抗辐照试验等), 包括 USB 转 RS485 接口模块、RS485 转 IO 卡控制模块。采用 FT232 与隔离型 RS485 驱动器实现 USB 转 RS485; 使用 32 位控制器 STM32 与 RS485 隔离型驱动作为远程端 IO 输出设备。研制的 RS485 总线 IO 卡作为抗辐照测试系统的重要组成部分, 完成了瞬态剂量率、总剂量试验和中子试验, 并得到了测试数据。通过实际抗辐照试验环境验证, 该模块具有现场布线要求低, 可靠性高的特点, 满足应用需求。

关键词: RS485 总线; 抗辐照测试; 单片机; IO 卡

中图分类号: TN402; TP336

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201702.0333

Design of a RS485 bus IO card applied in measurement system of anti-radiation experiment

LI Chao, ZHUANG Wei, YAN Min

(Sichuan Institute of Solid-State Circuits, CETC, Chongqing 400060, China)

Abstract: A remote IO card based on RS485 bus is designed for the measurement system used in anti-radiation experiment(transient dose rate, the total dose rate etc.), which consists of USB to RS485 interface module and RS485 to IO control module. The FT232 and isolating type RS485 driver are utilized for conversion from USB to RS485; the 32 bit MCU STM32 and isolating type driver are adopted to control remote IO. As an important part of the whole measurement system for anti-radiation experiment, the IO card is adopted to finish the transient dose rate experiments, the total dose rate and the neutron experiment, and the data is obtained. According to a series of experiments, the IO card is proved to be of low requirements of field wiring, high reliability and satisfying the actual application.

Keywords: RS485; anti-radiation experiment; Micro Controller Unit(MCU); IO card

目前对于电子器件的抗辐照试验项目要求越来越高。需要同时测试试验的电子器件也越来越多, 而且对测试系统性能也提出了更高的要求。在实际测试中通常选用继电器切换实现多路器件的监测, 控制继电器所需要的 IO 数量较大, 不可能将数量巨大的 IO 电缆由外部监控室传入辐照环境, 因此设计一种稳定可靠、操作便捷的远程 IO 模块用于切换信号继电器等功能十分必要。

实际的抗辐照试验环境干扰因素多, 现场走线多而复杂, 并且需要进行长线传输, 因此, 目前比较常用的总线在辐照试验环境中的应用存在诸多问题: 如 USB 总线传输距离短, 需单独布线; 串行接口为点对点非差分传输, 传输距离 < 15 m, 易受干扰; 局域网(Local Area Network, LAN)总线接口电路设计较为复杂, 辐照环境下可靠性较低, 且不少辐照现场未敷设网线。RS422 总线为一主多从结构, 采用 4 线制, 布线相比 RS485 麻烦。因此选用 RS485 总线, 设计了基于 RS485 总线在抗辐照测试环境中的远程 IO 模块。

RS485 总线采用差分平衡数据传输方式, 仅需要一对普通双绞线或一根同轴电缆进行传输, 具有很强的抗干扰能力与较远的通信距离^[1], 因其布线简单, 工作稳定可靠, 成本低等优势, 在工业领域有着广泛应用^[2-3]。同时, 基于 RS485 进行通信可以挂载多个终端进行控制组网通信, 扩展能力非常强。因此, RS485 总线非常适合在抗辐照试验环境中应用。

1 系统结构

模块主要由 2 部分组成: USB 转 RS485 接口模块、RS485 转 IO 卡控制模块。模块总体结构如图 1 所示。

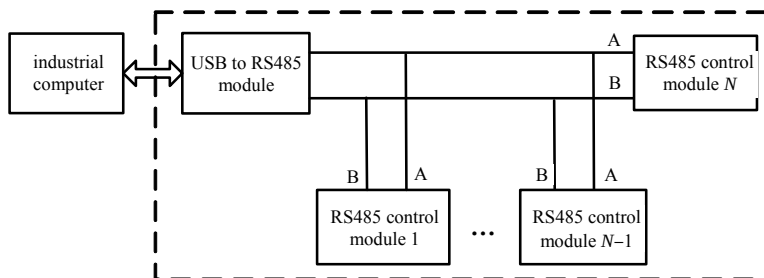


Fig.1 Structure diagram of system(dotted line part)

图 1 总体结构框图(虚线部分)

USB 转 RS485 接口模块采用 FT232RL(带 RS485 硬件收发控制信号), 实现 USB 转通用异步收发传输器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART), 再通过 RS485 隔离总线驱动芯片 ADM2587E 实现, 具有很好的抗干扰能力。

RS485 转 IO 卡控制模块使用 32 位控制器 STM32F103VCT6 作为核心的微控制器, 接受来自主机的指令, 并进行有效性校验(译码指令以命名帧进行传输, 采用 CRC16 校验)后进行译码输出。由于抗辐照环境中干扰较大, 所有 IO 管脚均加入 SRDA3.3-4 进行瞬态电压抑制(Transient Voltage Suppressor, TVS)保护, 确保 IO 卡可在强干扰、输出过载、逻辑过载(超过 CMOS 3.3 V 逻辑)等情况下安全工作。在 RS485 驱动上采用数据供电全隔离型方式, 确保模块远距离通信稳定可靠, 降低现场布线的要求和故障率。

2 系统硬件设计

2.1 USB 转 RS485 接口模块

模块用于实现 USB 接口转 RS485 功能, 首先采用 FT232RL 实现 USB 转 UART(开启了 FT232RL 的 RS485 通信模式), 然后使用 ADM2587E 实现 RS485 总线的转换。USB 转 RS485 模块原理框图如图 2 所示。

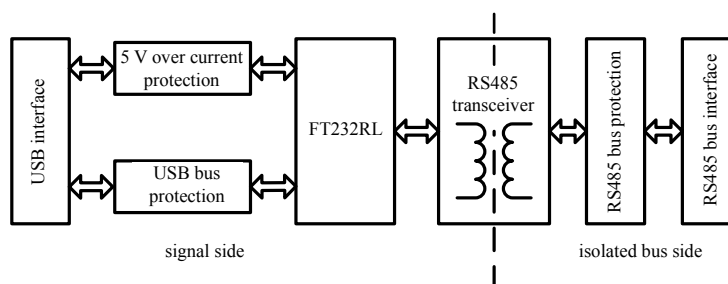


Fig.2 Block diagram of USB to RS485 module

图 2 USB 转 RS485 模块原理框图

整个模块供电采用 USB 自供电形式,

从图 2 可看出, 通过 USB 接口进入模块的 +5 V 电源通过一个 0.5 A 的自恢复保险管进行过流保护, 可以保证在设备操作不当或异常时, 保护工控主机 USB 端口及相关的南桥芯片。同时对 USB 信号中的 DATA+ 和 DATA- 信号采用 USBLC6-2P 专用 USB 总线电路进行保护, 可确保异常情况下, 外部输入信号始终保持在 USB 接口规范内的电压下, 不会损伤 FT232 电路芯片, 确保设备在极端使用情况下的可靠性。

通过使用 FT232RL 电路, 实现 USB 转 UART 的功能。FT232RL 是 FTDI 公司推出的桥联器, 主要由 USB 收发器、串行接口引擎、先入先出(First Input First Output, FIFO)队列、波特率发生器、时钟乘法器/驱动器、通用异步收发控制器、3.3 V 稳压模块、内部 12 MHz 振荡器等组成。

FT232RL 电路相比其他 USB 转 UART 的电路, 具有高性能、高可靠性、外围电路简单、免外部振荡器、硬件支持 RS485/RS422 等特点。由于其支持硬件型 RS485 接口, 可使用 FT232RL 的 CBUS2 引脚作为 RS485 的收发控制引脚, 免去了对 RS485 收发控制的外部电路, 简化了电路设计, 极大地提高了通信速率和传输可靠性, 简化了上位机程序编程要求。

RS485 采用差分信号进行表示, 总线之间电压: $-2 \sim -6$ V 表示 0; $+2 \sim +6$ V 表示 1, 与 FT232RL 输出的逻辑不一致, 需要进行电平转换^[4]。本系统设计的电路利用 ADM2587E 实现将 FT232RL 发出的信号转换至 RS485 规定的逻辑。ADM2587E 适用于 RS485 隔离式收发器, 其 RS485 输入/输出引脚提供 ± 15 kV ESD 保护, ADM2587E 数据传输速率达 500 kbps, 总线最多支持 256 个连接节点^[5], 具备热关断保护, 高共模瞬变抗扰度 > 25 kV/ μ s, 是高集成度的数据收发器, 内部集成隔离式 DC/DC 电源, 具有非常好的抗干扰能力, 适用于多点传输的高速通

信工业环境中。ADM2587E集成了1个三通道隔离器,1个三态差分线路驱动器,1个差分输入接收器和1个DC/DC转换器,以实现完全集成的信号与电源隔离方案,极大地降低了隔离型RS485设计难度,降低了地线噪声^[6]。此外,该器件还具有限流和过热关断功能^[7],可以防止总线短路和总线竞争导致的功耗过大情况,而对接收器的输入端则具有开路、短路及故障保护特性^[8],可在输入端为开路或真短路时确保输出为高电平,极大地提高了RS485通信的可靠性,也提高了USB转RS485转换器整体的集成度。

由于RS485采用半双工方式进行通信,而ADM2587默认为RS422通信模式,收发器为不同的线路,因此进行如下改进:将其AY与BZ信号各自短接后作为RS485信号的A,B信号,在将输入控制端DE与RE信号进行短接后,作为统一的控制与FT232RL的CBUS2进行连接,完成RS485收发器的硬件控制,如图3所示,实物如图4所示。

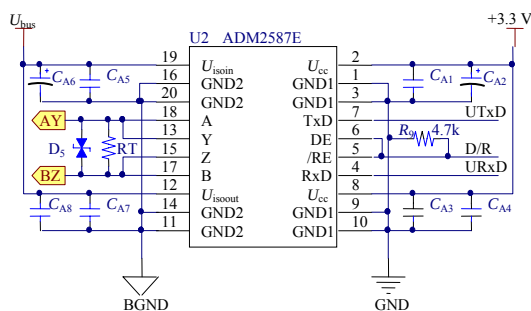


Fig.3 Circuit diagram of ADM2587E using RS485
图3 ADM2587E采用RS485时电路图

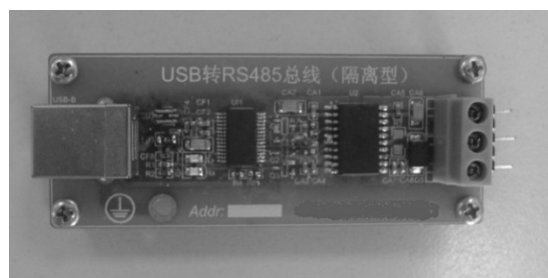


Fig.4 Module of USB to RS485 interface
图4 USB转RS485接口模块

2.2 RS485 转 IO 卡控制模块

RS485转IO卡控制模块主要用于将RS485总线转换至控制器可接受的电平,并将传输的命令进行校验解码,同样使用全隔离型RS485收发器,以提高系统的稳定性。微控制器单元选用STM32F103VCT6,内核为ARM 32位的Cortex-M3型CPU,具备256K至512K的闪存程序存储器,达64K字节的SRAM,IO资源丰富,具有80个多功能双向IO口,驱动能力强,同时通信功能较强,支持UART,SPI(Serial Peripheral Interface),IIC(INTER IC BUS)等多种接口。RS485转IO卡控制模块原理框图如图5所示。

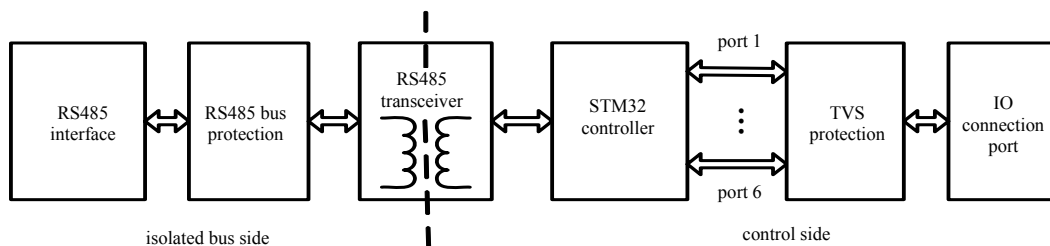


Fig.5 Block diagram of RS485 to IO card module
图5 RS485转IO卡控制模块原理框图

RS485总线上的信号被收发器接收后,转换为STM32可接收的逻辑电平之后,由单片机对接收的数据进行接收和校验,并对校验合格的数据根据指令进行执行。RS485转IO卡模块实物如图6所示。

3 软件设计

STM32单片机固件程序接收来自主机的指令,主机的指令是以数据帧的形式发送,每一帧数据包括8字节数据,数据帧内容如表1所示。当接收完整的一帧数据后,对数据进行校验,校验错误,则返回0x2B给主机;如校验通过,则依据不同的指令完成不同的操作,并返回0xB2,通知主机。同时对部分接收数据,采用单片机内部RAM设计了接收缓冲FIFO,以适应突发大数据量的处理。软件的主要流程图如图7所示。

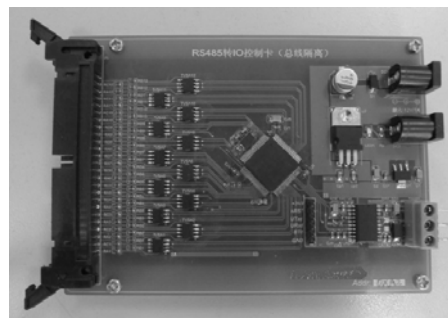


Fig.6 Module of RS485 to IO card
图6 RS485转IO卡模块

表 1 数据帧内容
Table1 Content of data frame

sync byte	device ID	operation mode	port number	data bit	check bit
1B(0)	1B(1)	1B(2)	1B(3)	1B(4-5)	1B(6-7)
Frame 0xA5	0xA0+ device ID	0x01->write lower data byte to all ports	to appoint port or IO bit	2 bytes, higher byte is in front	2 bytes, higher byte is in front
		0x02-> write low data byte to specific port			
		0x13-> write specific IO as Boolean value of lower data byte			
		0x11-> read all ports and return successively			
		0x12->read specific port			
		0x13-> read specific IO			

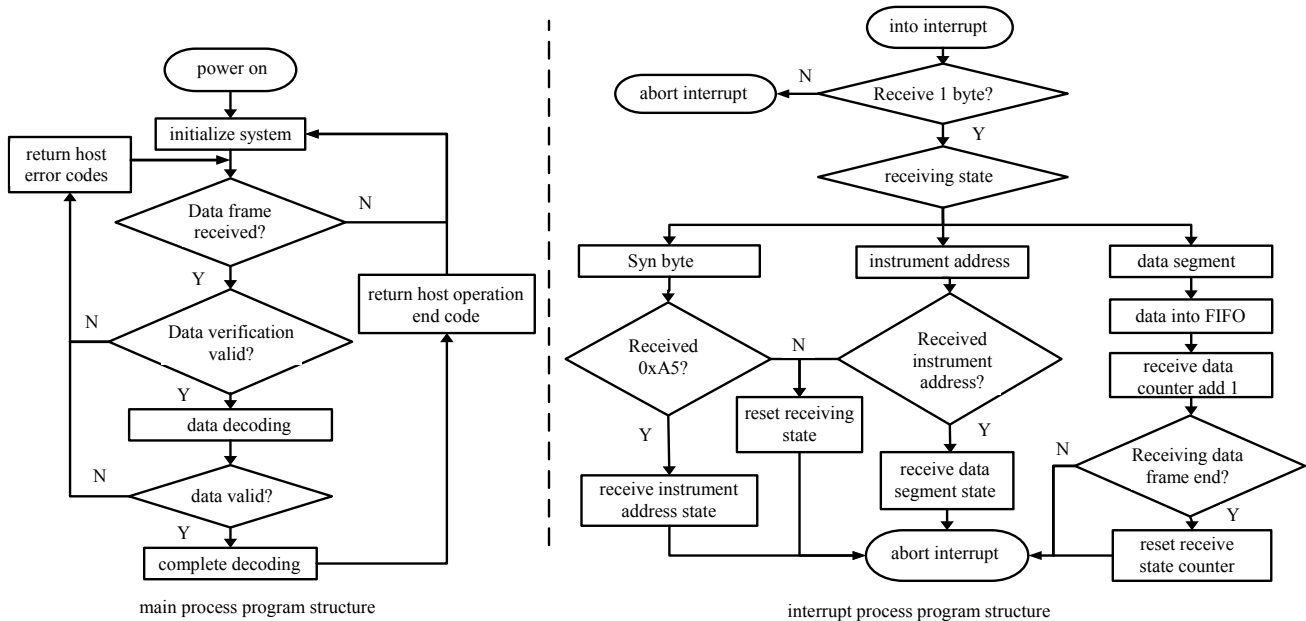


Fig.7 Software flow chart
图 7 软件流程图

当有数据在 RS485 总线上进行传输时，总线驱动电路将数据传输至单片机，单片机则产生接收中断，在接收中断处理程序中，对数据进行校验和处理，只将发送至本机的数据压进 FIFO 中，直至接收完一帧数据后重新进入下一次接收。

在程序主循环中，则只需判定是否有数据帧进行处理。由于中断程序中已完成对接收的数据的初步筛选(只接收本机数据)，因此主进程处理量较小，只需要根据数据帧结构进行循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)和命令译码即可。

同时为保证数据传输的可靠，对所有数据进行 CRC16 校验，具体算法采用国际电信联盟的 CCITT-FALSE 算法，CRC 多项式为 0x1021，初始值为 0xFFFF。采用 CRC16 循环冗余校验后，可有效降低传输过程中发生的数据错误，确保设备按照正确的命令执行，使得数据错误发生不可甄别的概率降低到约为 $1/(2^{16}) \approx 0.000\ 015$ ，可以视为无差错运行。同时在 CRC16 校验后的具体解码程序中也对输入数据的有效性进行判断，拒绝执行输入无效的数据，可以保证 IO 卡被正确执行。

4 系统测试验证与结果分析

4.1 实验室环境验证

对研制完成的 IO 控制卡采用 60 m 同轴电缆(同轴电缆特征阻抗 50 Ω,采用 50 Ω 终端电路进行匹配)和 150 m 普通双绞线(双绞线采用 120 Ω 匹配)分别进行连接,然后挂载 3 个远端 RS485 转 IO 卡节点(地址码为 0xA1-0xA3),进行连续收发测试,未发生误码,所有 IO 控制逻辑正确执行,控制时序准确。

4.2 随测试系统进行辐照试验实际测试

本设备为某抗辐照测试系统内配模块,安装在测试盒内部,随测试系统一起完成在线加电辐照试验,共进行了强光试验 2 次,总剂量试验 1 次和中子试验 1 次,各试验连接示意图如图 8 所示。

试验时,通过 USB 电缆将监控室的计算机与 USB 转 RS485 模块进行连接,然后利用 50 m 通信电缆(BNC 同轴电缆)与放置在辐照室内的测试盒内部的 RS485 模块进行连接,并在整个辐照试验期间保持加电工作状态。强光试验在西北核技术研究所进行,使用“强光一号”进行了高剂量率 γ 试验,总剂量和中子试验在中国工程物理研究院核物理与化学研究所进行,各试验相关辐照数据如表 2 所示。

4.3 试验结果分析

通过实验室环境验证和辐照环境实际测试,设备均能良好工作,正确解析协议并执行对应的 IO 工作,表明本装置的设计能够满足一般抗辐照试验测试设备的抗辐照要求。

5 结论

RS485 总线在抗辐照测试领域的应用目前国内报道较少,具有很强的实际应用价值。该远程 IO 卡由 USB 转 RS485 接口模块、RS485 转 IO 卡控制模块以及相应的固件程序组成,使用标准网络拓扑结构,单块 IO 可提供 6 组 48 位双向 IO 控制功能,同时由于 RS485 支持多节点,因此可以最大挂载 256 块远程 IO 卡,即 2 048 组 IO。该 IO 卡性能稳定可靠,具备完整的各种硬件保护和软件校验,适应各种恶劣的使用环境。由于该 IO 卡布线要求极低(只需要一根普通同轴电缆或双绞线),在绝大部分辐照试验场地均可免布线直接使用。

参考文献:

- [1] 李肇庆,韩涛. 串行端口技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004. (LI Zhaoqing,HAN Tao. Serial Port Technology[M]. Beijing:National Defense Industry Press,2004.)
- [2] 魏列江,董万玉,李娜娜,等. RS-485 总线在大型液压泵站多 PC 分布式监控系统中的应用研究[J]. 液压与气动,2014(2):71-74. (WEI Liejiang,DONG Wanyu,LI Nana,et al. Research on RS-485 bus application in multiple PC distributed monitor system of large hydraulic pump station[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics,2014(2):71-74.)
- [3] 徐辉,李敬兆,汤文兵,等. 基于 RS485 总线的煤矿井下排水监控系统[J]. 矿山机械,2012(8):105-108. (XU Hui,LI Jingzhao,TANG Wenbing,et al. Monitoring system for underground colliery drainage based on RS485[J]. Mining & Processing Equipment,2012(8):105-108.)
- [4] TEXAS Instruments. Interface circuits for TIA/EIA-485(RS-485) design notes(SLLA036)[Z]. 2007.
- [5] GINGERICH K. The RS-485 unit load and maximum number of bus connections(SLYT086)[R]. 2004.
- [6] KUGELSTADT T. Removing ground noise in data transmission systems application report(SLLA268)[R]. 2007.
- [7] RICK Jordanger. Overtemperature protection in RS-485 line circuits application report(SLLA200)[R]. 2006.
- [8] GINGERICH K. Failsafe in RS-485 data buses(SLYT080)[R]. 2004.

作者简介:



李超(1988-),男,重庆市人,本科,主要从事 DC/DC 变换器测试工作.email:ly.130@qq.com.

庄伟(1986-),男,重庆市人,硕士,主要从事 DC/DC 变换器测试工作。

颜敏(1990-),男,重庆市人,本科,主要从事 DC/DC 变换器测试工作。

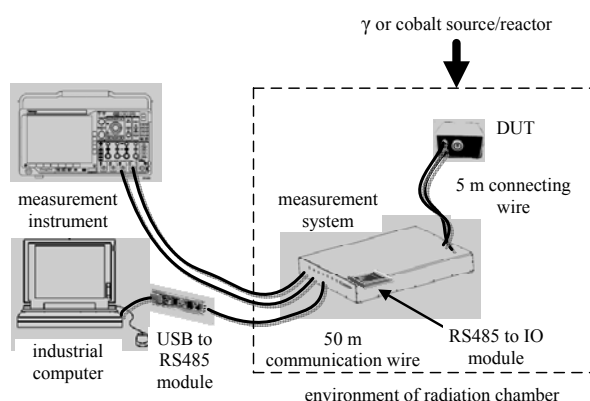


Fig.8 Experiment connection block

图 8 试验连接关系示意图

表 2 辐照参数

Table2 Content of experiment parameters

experiment type	experiment times	experiment intensity	total dose
γ dose	1	1×10^{11} Gy(Si)	-
	2	4×10^9 Gy(Si)	-
total dose	1	30 Gy(Si)/min	800 Gy(Si)
neutron	1	5.6×10^9 n/(cm ² ·s)	3×10^{13} n