

直读式井下压力计数据传输技术研究

叶雪军¹, 张洪²

(1.湖北经济学院 信息管理学院, 湖北 武汉 430205;

2.华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为解决直读式井下电子压力计的通信问题, 介绍了一种单芯测井电缆上实现的长距离数据传输技术。借鉴工业两线制变送器供电和信号传输原理, 设计了简化的井下压力计供电及单工数字通信电路, 满足了系统在高温环境和仪表体积限制方面的需求。在通用异步串行通信格式中, 用软件曼切斯特编解码传输数据, 使通信距离和抗干扰性能得以提高。

关键词: 直读式压力计; 井下电子压力计; 单芯测井电缆; 曼彻斯特码

中图分类号: TH812

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)16-0058-03

Digital data transfer for direct-read oil well pressure gauge

Ye Xuejun¹, Zhang Hong²

(1. Institute of Information Management, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China;

2. Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To solve the communication problem of direct-read oil well pressure gauge, a long distance digital data transfer technique applied on single-core logging cable was presented. Base on the principle of industrial 2-wired transmitter's power and signal connection, we designed a simplified digital data transfer circuit, which meets the demand of space limits and high temperature. A software implementation of Manchester code on RS232 was proved to extend communication distance and improve anti-jamming capacity.

Key words: direct-read pressure gauge; oil well pressure gauge; single-core logging cable; Manchester code

为了合理开采地下油气田资源, 需要采用井下压力计测试地层压力变化, 描述油气田特性, 这对于矿藏经济评价和增产措施选用至关重要。按传输方式不同, 井下压力计分为两类: 存储式和直读式。直读式井下压力计通过电缆将测试数据直接传输至地面; 存储式压力计将测试数据存于内部存储器内, 作业时取出压力计并回放数据。直读式压力计可获得实时压力参数且操作方便。

相比多芯电缆, 单芯铠装测井电缆具有成本低和作业方便等优点, 大量应用于井下测井仪表的数据传输^[1]。通常, 测井仪表通过单芯电缆给仪表供电, 并将通信载波信号耦合到电压信号中实现通信, 调制解调过程常采用曼切斯特编码^[2]。更复杂的通信技术(如正交频分复用 OFDM 等)研究则是为了满足高速多通道通信的需要^[3]。

在直读式井下压力计应用中, 数据更新速度较低(最快 1 S/s), 原则上只需低速单工通信, 但由于压力计安装作业成本高, 对可靠性要求较高, 此外, 受环境条件

限制, 对压力计体积和部件温度有限制, 要求硬件设计尽量简化。本文介绍了一种用简单硬件实现的单芯电缆长距离单工数字传输技术。

1 两线制仪表数字通信的简化

工业 DDZIII 型仪表采用 4 mA~20 mA 标准电流信号进行互联, 进而产生了两线制变送器。两线制变送器采用两根导线对仪表供电同时传输标准电流信号, 如图 1 所示。

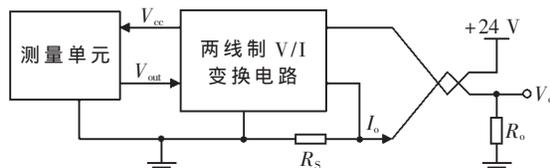


图 1 两线制变送器电路

变送器稳压电路为其内部测量单元供电, 只要电路自身电流消耗小于 3.5 mA, 则电压/电流(V/I)转换电路

技术与方法 Technique and Method

就可以调节回路电流 I_o , 跟随测量值 V_{out} 变化输出 4 mA~20 mA 信号。可采用 HART 协议实现两线制电流环路数字信号传输^[4], 但标准 HART 协议最大通信距离为 1 500 m, 经特殊设计才可达 3 000 m, 无法满足测井仪表需要。

单芯测井电缆中心为一根铜质芯线, 外层为钢丝铠装, 芯线与铠装之间是一层绝缘介质, 所以它是一种典型的双线传输线, 可以采用两线制仪表构成通信链路。

本应用中, 无需传输模拟信号, 因而直接调节 4 mA~20 mA 信号进行信号耦合, 构成单工数字通信电路。发送端结构如图 2 所示。

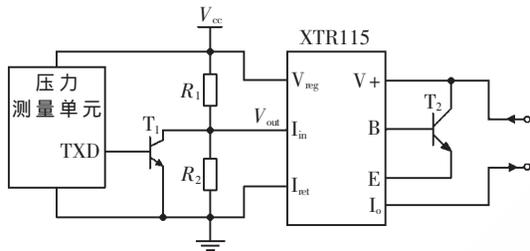


图 2 发送端通信电路

压力测量单元为包括单片机的压力数据采集单元, 与已产品化的存储式井下压力计采集电路类似。与原电路相比, 增加了两线制芯片 XTR115 及信号耦合电路。XTR115 具有高达 125 °C 的工作温度, 能为压力计提供工作电压, 并根据 I_{in} 输入端电压调节电流回路电路^[5]。经开关三极管 T_1 及 R_1 和 R_2 的分压电路, 将压力测量单元单片机串行端口 TXD 输出的数字信号调节为 V_{out} 信号, 进而直接耦合数字信号到电流环路。

接收端电路如图 3 所示。比较器 CM_1 将通信信号电平和偏置电压 V_b 比较并输出数字电平。偏置电压 V_b 可由 R_1 和 R_2 调节, 选择合适的偏置电压即可恢复出数字信号, 将其输入串行通信端口 RXD。

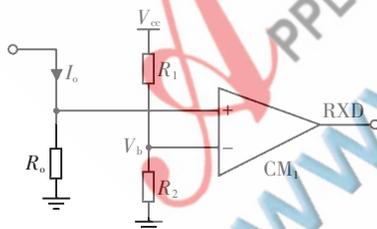


图 3 接收端通信电路

系统通过简单电路即可实现较长距离的数据传输, 且两仪表间的异步串行通信透明, 即通信软件设计无需调整。井下仪表电路保证在 125 °C 下正常工作。

电路传输速率和可靠性受两线制 V/I 变换电路速度和电缆频率特性限制。

在电路方面, 负载阻抗 250 Ω 和 30 kHz 频率下, XTR115 电流增益几乎不受影响, 通信电路适合较低速率的数据传输。

在电缆特性方面, 由于分布电容的影响, 长距离 (3 000 m 以上) 通信时, RS232 信号格式受到挑战。RS232

本是为短距离通信所设计, 其编码为非归零数字编码 (NRZ; Non Return to Zero), 传输时具有直流偏移, 难以适应长距离数据传输中的信号衰减和干扰, 因而系统尚需考虑更可靠的归零数字编解码方法。

2 曼切斯特码及实现

2.1 曼切斯特码

曼切斯特码对所需传输的 NRZ 码进行编码, 数据“1”编码为“10”, “0”编码为“01”, 用相位信息来表示 NRZ 数据。在数字电平上, 对全帧数据来说直流分量是确定的, 即曼切斯特码属于归零码。此外, 曼切斯特码信号中包含时钟信息并具有一定的检错能力, 因此广泛应用于无线数据通信和长距离有线传输系统中。特别是在测井系统中, 传输井下压力、温度和流量等信号时常用到曼切斯特编码^[6]。

曼切斯特编解码方法可分为硬件和软件两类。早期测井数据传输系统采用专用编码芯片 HD-15530, 成本较高且灵活性较差^[7]。另外也有通过可编程器件实现的编解码器。另一类实现方法利用单片机数字端口用软件控制方式串行输出曼切斯特编码数据, 可实现较低速率工作的通信接口^[8], 需要软件精确控制串行传输而显得复杂。上述方法均不适合本系统硬件平台, ADRIAN M 在参考文献[9]中介绍了一种在标准 RS232 串行端口上实现的曼切斯特编解码方法, 本文对其进行适当修改以适用于井上和井下系统间的数据透明传输。

2.2 曼切斯特码在通用串行链路上的实现

以 RS232 为例, 一个典型的通用异步串行数据格式为: 1 个起始位, 8 个数据位, 1 个停止位, 无奇偶校验位。其串行波形如图 4 所示。

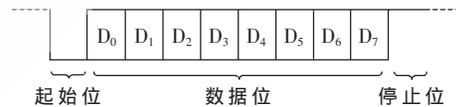


图 4 RS232 串行数据波形

其中, 起始位为低电平, 停止位为高电平, 如果将所传输数据进行适当转换, 使其满足曼切斯特码归零特性, 则包括起始位和停止位在内的整个数据帧也是归零的。按曼切斯特编码方式用 RS232 数据中的 2 bit 表示 1 bit NRZ 有效数据, 则 1 B RS232 数据可传输 4 bit NRZ 有效数据, 1 B NRZ 码可由 2 B RS232 数据按曼切斯特编码传输。以二进制 NRZ 数据“01000011”传输为例, 2 B RS232 串行波形如图 5 所示。注意数据位顺序是最低位 (LSB) 在前。

基于此方案, 曼切斯特编码和解码都较简单。编码

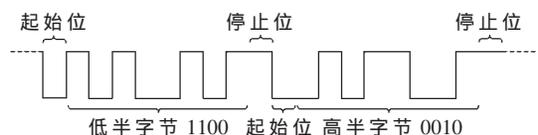


图 5 RS232 传输的曼切斯特码波形

技术与方法 Technique and Method

时,对需传输的 NRZ 码逐位进行转换,转换以后直接输出到 RS232 串行端口。由于传输时 LSB 在前,因此在转换时,应将“1”转换为“01”,而将“0”转换为“10”,与波形顺序(如图 5 所示)有区别。在接收端进行曼切斯特解码与编码过程相反,由 RS232 串行口收到的 2 B 数据中获得 1 B NRZ 数据。当两位数据为“00”或“11”时,发生传输错误,可由此进行数据检错。

严格讲,上述方法只能称为类曼切斯特码,因为并没有对起始位和停止位进行编码,解决办法是定义数据位 $D_0=1$ 和 $D_7=0$, 这样就把起始位和停止位均编码为“01”,完全符合编码要求,但有效数据位变为 3 位,承载的信息量变少了。

3 接收电路的改进

在改为曼切斯特编码传输后,为提高抗干扰能力,对接收端电路进行适当改进,如图 6 所示。

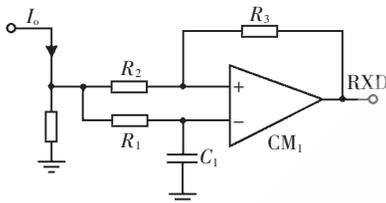


图 6 改进的接收端电路

曼切斯特码信号的直流信号是恒定的。阻容滤波电路 R_1 和 C_1 获得信号直流电平,将其作为比较器 CM_1 的偏置电压。通过与偏置电平比较,比较器输出端得到整形后的串行数字信号。 R_2 和 R_3 构成的反馈电路使得比较器具有滞回特性,用以消除信号中的尖峰干扰。

4 井下单元软件设计

井下压力计数据传输中,每次需传送 1 组压力和温度数据,共 4 B 信息,曼切斯特编码后为 8 B 数据,将其构成一个数据帧。由于是单工通信,需在数据帧中提供起始标志。以具有归零特性的二进制“11110000”作为起始标志,则可与数据区分开。因此实际一帧数据长度为 9 B。井下压力计程序基本流程如图 7 所示。

为保证数据间满足曼切斯特编码要求,字节信号间应尽量减少时间间隔,因而发送数据时不应有中断和其他任务使传输中断。

接收端在收到数据时,逐字节查询起始标志,收到起始标志后,再顺次接收余下的 8 B 数据,并将其转换为 4 B NRZ 有效数据。

系统在 3 000 m 深度油井中长时间(约 26 h)测试的初步结果表明,系统数据通信可靠,没有出现通信中断或数据错误,满足直读式井下压力计数据传输要求。

本文介绍的数据传输技术可应用于通信速率较低

的单工通信应用场合,具有软硬件设计简单的优点。其曼切斯特码编码实现方法同样适用于其他长距离有线传输和无线传输。

本系统中,当下位机通信停止时,回路电流维持不变,如果此时将电压调制信号耦合到供电电源上,井下压力亦可将调制信号解调出来,因此也可扩展为半双工通信模式,甚至构成多机通信系统,用于采集多油层数据。

参考文献

- [1] 刘国权,田洪亮,王易安,等.一种单芯电缆高速数据传输方案[J].西安石油大学学报(自然科学版),2008,23(5):94-96.
- [2] 高志海,胡永锋,胡年友,等.石英压力计在曼码传输中的问题探讨[J].内江科技,2004,25(3):72-72.
- [3] 董惠娟,李瑞敏,张广玉.基于 OFDM 的单芯电缆调制解调系统设计与仿真[J].测井技术,2009,32(6):589-593.
- [4] 林德秋.HART 协议物理层设备的测试(上)[J].电子质量,2002(12):12-15.
- [5] TI Incorporated.XTR115 4 mA~20 mA current loop transmitters[EB/OL].(2000-05)[2011-10-10].http://www.ti.com/product/xtr115.
- [6] 赵延辉,韦克平.碳氧比测井仪单芯传输设计[J].测井技术,2007,31(3):90-92.
- [7] 张溶,黄东巍,王成林.Manchester 编码通信在远距离传输系统中应用[J].电子测量技术,2002(3):48-48.
- [8] 王建国,孙敬华,曹丙霞.基于 AVR 单片机的曼彻斯特解码及其应用[J].计算机工程,2006,32(20):258-260.
- [9] ADRIAN M.Manchester encoding using RS-232[EB/OL].(2009-06)[2011-10-10].http://www.summitelectronics.co.uk/pages/articles/.

(收稿日期:2012-03-27)

作者简介:

叶雪军,女,1976年生,硕士,讲师,主要研究方向:嵌入式系统及应用。

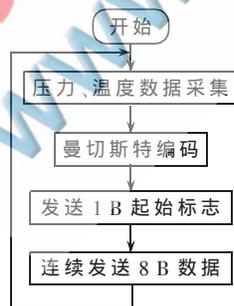


图 7 井下压力计程序流程