

新型 CPLD 在井下超声石油流量计中的应用

王德龙, 张海澜, 林伟军, 张澄宇

(中国科学院声学研究所, 北京 100080)

摘要: 简要介绍一种新型的井下超声波石油流量计。采用的是倾斜式换能器布放方式, 可以提高井下石油流量的测量精度; 该流量计利用新一代高性能车用温度级别的 CPLD 芯片 LC4128ZC-75T100E 代替分立元件, 能简化超声流量计的电路设计, 也提高了系统的稳定性和测量精度, 解决了井下系统需要的体积和温度要求。

关键词: 超声流量计; 井下仪器; 高温高压; CPLD;

中图分类号: TB56

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2006)-05-0411-04

Application of new CPLD in downhole ultrasonic flowmeter

WANG De-long, ZHANG Hai-lan, LIN Wei-jun, ZHANG Cheng-yu

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A new kind of downhole ultrasonic flowmeter is introduced, which increases the measurement accuracy of downhole flowmeter by using a leaning mode to deploy transducers. Instead of discrete devices, a new CPLD chip, LC4128ZC-75T100E, is used in the circuit design, leading to a compact and robust system.

Key words: ultrasonic flowmeter; downhole tool; high temperature high pressure; CPLD

1 引 言

在井下石油流量测量中, 要求测流装置具有较宽的动态范围和很高的测量精度。同时井下原油黏度大, 不导电, 不能使用传统的涡轮式或电磁式流量计。而超声流量计因为具有非接触式测量和精度高等优点^[1-2], 适用于井下特定环境下的石油流量测量。本系统中所采用的时差法超声流量计具有较高的测量精度和动态范围, 对于石油这种相对均质的流体是较为适宜的。

由于油井的直径很小(15cm~20cm), 对井下流量计的尺寸要求十分严格, 仪器外径要小于 4.5cm。因此大规模集成电路, 尤其是复杂可编程逻辑器件(CPLD)在石油测井仪器的研制中有着得天独厚的应

用。CPLD 集成规模较大, 适合于组合、时序等逻辑电路的应用场合, 可以替代几十至上百块通用集成电路芯片; 并具有高速、可预测的内部互联阵和灵活的逻辑块, 同时其开发工具十分灵活, 编程方法简便。因此, CPLD 正被积极地推广到其他领域的应用中去。

由于井下仪器的工作环境具有高温、高压等特殊性, 因此对其研究和开发也具有特殊的要求。传统 CPLD 很难满足井下仪器的温度性能要求。本系统首次采用美国 Lattice 公司先进的车用温度级(-40 至+125)CPLD 器件, 简化了超声流量计的电路设计, 提高了系统的稳定性和测量精度。采用曼彻斯特编码技术很好地解决了井下特殊环境下超长距离信息采集处理及传输等问题。

2 石油流量计声学结构及测量原理

传统井下超声流量计的换能器采用正对布置, 这种方式可以获得信噪比较高的超声信号, 但它对流

场的影响很大,同时当被测流体为黏度较高的油时,换能器表面会有粘附,这些均会影响测流的精度^[3]。本系统采用了倾斜式的超声时差测流法,这种方式把换能器等声学器件内置于专用的井下声系中,受到外壳的保护,减小超声石油流量计对流场稳定性的影响,提高测量精度。

超声石油流量计井下声系统部分测量原理示意图如图 1 所示,流量计是通过测量超声波在井下石油流体中顺流方向和逆流方向的传播时间差来计算石油流量的。工作时,把声系统部分放在井下套管轴线上,利用井壁对声波的反射,声波的传播途径为 M 字母型。通过切换两个换能器的工作方式,分别记录超声波在这两个换能器间的顺流方向和逆流方向的传播时间,通过计算得到套管中的石油流速,继而得到井下石油流量。

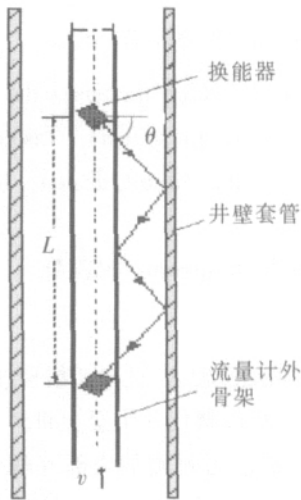


图 1 声学系统
Fig.1 System of acoustics

3 井下电路系统

3.1 电路系统工作原理

井下电子线路主要完成的功能包括:完成地面命令的接收、解码;控制信号源的发射和信号采集;把数据存入缓存器,通过传输短节将数据编码后传送到地面。

电路系统的控制部分是由单片机 AT89C52 与两片 LC4128ZC 组成。其中控制核心为 AT89C52,而 CPLD1 辅助单片机完成对信号发射、调理的控制并完成时差计数功能;CPLD2 则完成上、下位机通讯

的曼彻斯特编解码。工作时,地面系统发出校验码,与井下仪器核对无误后,命令单片机开始采集工作。单片机首先通过 CPLD1 对两路发射通路进行选通,发出窄脉冲,这个脉冲经过整形后触发发射电路产生高压脉冲,激励该路换能器发出超声波,同时触发计数电路开始计数;另一路换能器接收到超声回波信号后,通过放大比较等整形后得到计数停止脉冲信号,CPLD1 中的主计数器停止计数,进而得到一个方向的超声传播时间。单片机得到计数结果后保存在存储器中,然后选择另一个通道工作,得到另一个方向的传播时间。待采集规定次数后,存储器中的数据通过 CPLD2 传给地面系统,地面系统经过分析处理后显示结果。

在信号通路中,为了提高测量精度和稳定度,克服温度及信号通路的差异性,主要采取了时间门限电路、自动增益电路等措施。由于井下仪器换能器布放固定,所以可以大致估计出回波信号的时间范围。这样利用双向回波信号分时和可预知性,通过由时间窗和高速模拟电子开关组成的时间门限电路把两路信号合二为一,成为一路信号。自动增益控制电路(AGC)在超声检测设备中经常使用,起到自动调整增益压缩回波动态范围的功能。仪器中的 AGC 电路是由低噪声可变增益放大器 AD603 组成,增益变化范围为-67dB +15dB。另外,在信号放大整形电路中,尽量采用高速电路。例如主放大器为 2000V/ μ s 高输出电压摆率的脉冲放大器。再经过高速比较电路变换成为回波脉冲接收信号。这些措施极大地提高了测量精度同时降低了温度对顺、逆流时差测量的影响。

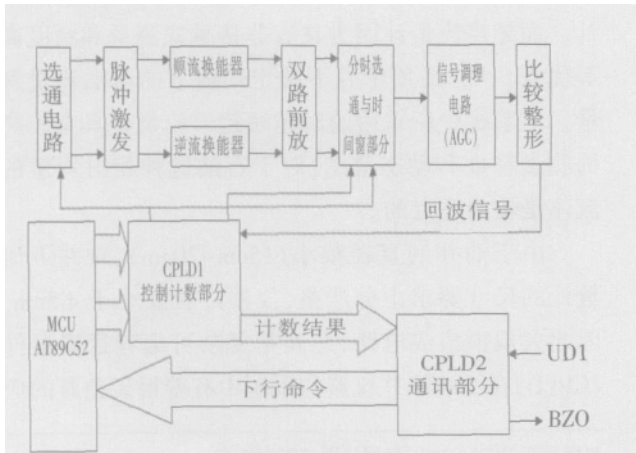


图 2 井下电路整体设计框图
Fig.2 Downhole electric circuit overall design frame diagram

3.2 利用 CPLD 芯片 LC4128ZC 提高测量精度

油井下工作环境比较苛刻,除了高温高压外,对仪器的空间也有十分严格的限制。同时采用时差法超声测流装置时,当被测流体流速很小的时候,如 $v \leq 10\text{mm/s}$,在井下这种特定条件下,声程不会超过 1 米,这样顺、逆流的时差通常在数纳秒到数十纳秒左右,这对时差的测量精度要求非常高。

为了提高测量的精度和满足井下仪器特定的要求,在设计井下超声石油流量计时选用的 CPLD 芯片 LC4128ZC,它支持从-40 至+125 的车用温度范围,完全可以满足井下高温工作环境要求。由于其速度性能可以达到 168MHz 的计数频率,因此可以在电路中将晶振的频率提高为 100MHz,进而使测量精度和稳定性得到大幅提高。

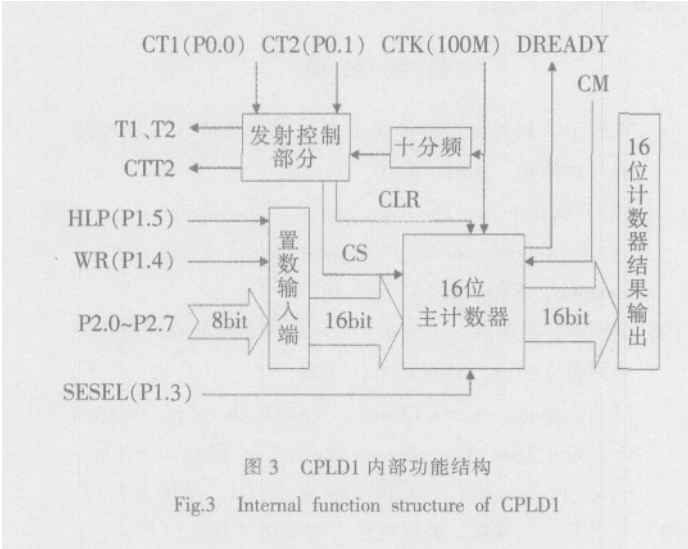


图 3 CPLD1 内部功能结构
Fig.3 Internal function structure of CPLD1

在时差法超声波流量测量中,掌握准确的超声波驱动信号和传播时间的测量精度,是流量测量精度的关键。为此,在 CPLD1 中设计了逻辑电路来控制超声换能器激发脉冲,通过单片机的控制信号与高速晶振的十分频信号完成逻辑与,之后获得计数电路开始脉冲及换能器激发脉冲。由于 CPLD 器件内部延时固定,所以它们和高速晶振信号相差是固定值。如图 4 所示计数器开始计数信号与两个方向的触发脉冲时刻一致,这样就可以通过对多次的测量结果进行平均处理来提高测量精度和减小系统误差。

3.3 利用 LC4128ZC 进行通讯系统的设计

在油田测井中,由于井下仪器到地面这段信道

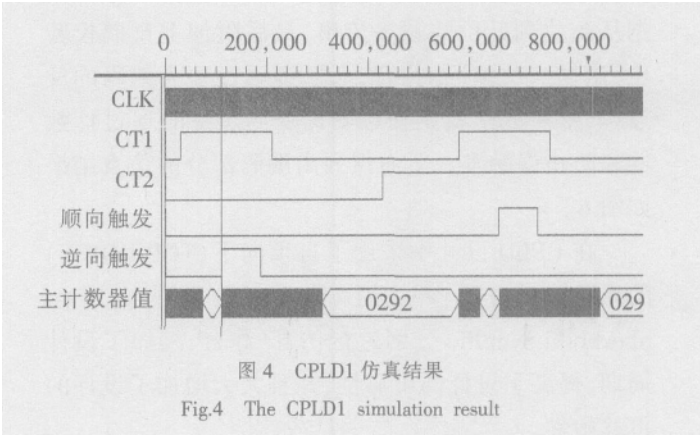


图 4 CPLD1 仿真结果
Fig.4 The CPLD1 simulation result

的传输条件差,因而在通讯中选用了曼彻斯特编码。曼彻斯特编码和最常用的串行不归零码(NRZ)码相比,具有无直流成分、时钟恢复和更好的抗干扰等特性,这使它更适合于井下电缆传输。在流量计与地面系统的通讯模块中利用 LC4128ZC 设计了曼彻斯特译码器,替代了传统专用译码器。由于 LC4128ZC 采用 TQFP 封装提供 ISP(in-system programmable)功能,从而在降低成本和电路体积的基础上,提高了系统设计的灵活性。

曼彻斯特编码是对 0、1 的二进制代码用 2 个不同的电平跳变方式来代替。在超声流量计中采用的是 Manchester II 编码形式,其码型结构如图 5 所示。

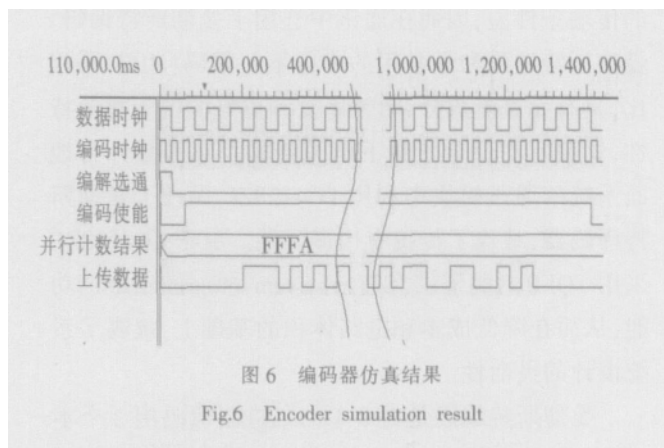
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
同步字			数据																	校验

图 5 Manchester II 编码的码型结构
Fig.5 Frame of the Manchester II code

曼彻斯特译码器分为井下测量数据编码和地面命令解码两部分。根据 Manchester II 的编码规则,在编、解码的过程中具体可分为三部分:(1)同步字信号(命令/数据)的产生和检测;(2)对 16 位数据进行编、解码;(3)附加或验证奇偶校验位,一次数据传输周期结束。由于在每个码元间隔的中心部分都存在电平跳变,因此编码器必须要有一个二倍频于所传数据速率的编码时钟,而解码部分为了避免误检和消除毛刺还要用到数据时钟的 4 倍频或 8 倍频以上的信号。流量计测量数据的传输速率为 20.83kbps,所需的时钟信号都是通过对外部 4MHz 时钟分频得来。当编码被选通开始工作后,先发出数据同步字,然后在同步字结束后的第一个编码时钟下降沿读入 16 位的计数结果,依次后面的 16 个上升沿时把数

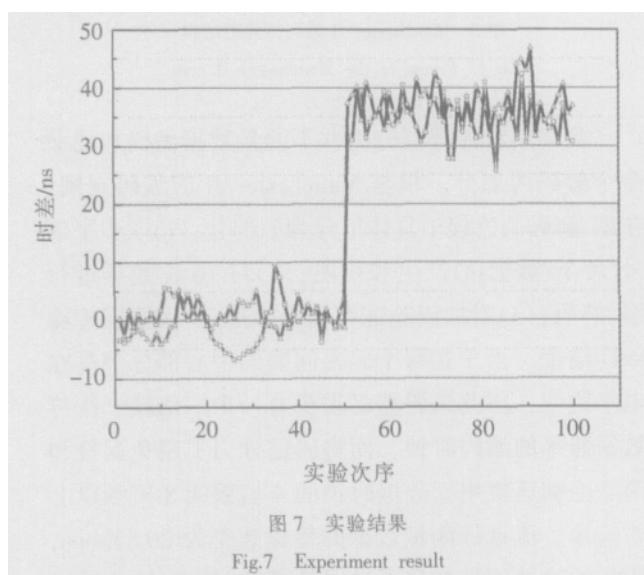
据从高位到低位的顺序传出,最后附上奇偶校验位,这样一次编码周期结束。解码过程为编码的反过程,唯一区别就是在检测命令同步头时通过计数器来防止误触发。下面仅列出编码部分的仿真结果如图 6。

在 CPLD 设计中采用了自顶向下(TOP-DOWN)的系统设计方法,并采用 VHDL 为输入语言,用 ispLever 和 Synplify 分别进行仿真、综合,缩短了设计周期,提高了设计的可靠性,并且大大增加了设计的可移植性。



4 实验分析

井下超声波石油流量计样机加工完成后进行了测试实验。图 7 是在两次不同实验中的数据。



每次共测得 100 点数据前 50 次流速为 0,后 50 次流速为 0.09m/s。由图可以看出,两次实验结果相

当接近,平均时差分别为 34.5ns 和 37ns,与理论值 36ns 误差仅在 1~2 个纳秒之间,完全满足井下超声流量计设计标准。

5 结束语

本文研究的新型井下超声波石油流量测量系统,采用了新型的高性能车用级别 CPLD 芯片 LC4128ZC,从而实现了井下石油流量的高精度测量。还利用 CPLD 的其他功能设计了换能器驱动脉冲控制电路和通讯系统的曼彻斯特译码器。实验结果表明:应用 CPLD 技术能产生准确的驱动控制信号,故提高了测量精度,它能简化整个电路的设计,满足井下测量体积和温度的要求,使系统的稳定性和抗干扰能力都得到了提高。

参 考 文 献

- [1] 霍殿中, 超声流量计的类型及其应用领域[J]. 世界仪表与自动化, 2001, 5(10): 41-46.
HUO Dianzhong. The type and the application realms of an ultrasonic flowmeter[J]. Appearance of World and Automation, 2001, 5(10): 41-46.
- [2] 李晓强, 高丽红, 王正垠. 一种高精度超声波流量计时间测量方法[J]. 计量技术, 2004, (6): 6-7, 12.
LI Xiaoqiang, GAO Lihong, WANG Zhengyin. A High Precision Time Measurement Method in Ultrasonic Flowmeter[J]. Measurement Technique, 2004, (6): 6-7, 12.
- [3] 马水龙, 王秀明. 聚合物注入剖面超声相位流量计[J]. 测井技术, 2002, 26(5): 395-398.
MA Shuilong, WANG Xiuming. An Ultrasonic Phase-shift Flowmeter for Polymer Injection Profile Logging[J]. Well Logging Technology, 2002, 26(5): 395-398.
- [4] 刘存, 黄建军. 时差法超声波流量计的几点改进[J]. 沈阳工业大学学报, 2002, 24(2): 113-115.
LIU Cun, HUANG Jianjun. Some improvement of travel time ultrasonic flowmeter[J]. Journal of Shenyang University of Technology. 2002, 24(2): 113-115.
- [5] 刘雁飞, 吴进. 基于 CPLD 的曼彻斯特编译码实现. 西安邮电学院学报[J]. 2003, 8(1): 48-51.
LIU Yanfei, WU Jin. Realization of manchester codec based on CPLD[J]. Journal of Xi'an University of Post and Telecommunications Journal. 2003, 8(1): 48-51.
- [6] Isp MACH 4000V/B/C Family Data Sheet, Lattice Semiconductor, Sep, 2002.