

◇ 研究报告 ◇

## 声波测井仪总线测试接口设计\*

刘先平<sup>†</sup> 鞠晓东 乔文孝 卢俊强 门百永

(中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249)

**摘要** 为了快速诊断国产声波测井仪或其短节的工作状态是否正常,设计了可与仪器或短节相匹配的总线测试接口电路。针对国产声波测井仪器的所用总线,设计了 Tool control bus(TCB)、High local bus(HLB)、Tool model bus(TMB)、Controller area network (CAN) 等总线测试接口。其中 TCB、HLB、TMB 总线接口在 FPGA 芯片 EP2C20Q240C8 控制下实现,软件采用模块化的结构设计;CAN 总线接口由单片机 C8051F500 控制实现。利用了设计的接口电路板,仿真实现了 TMB 总线的从节点功能,可测试仪器主控短节的工作状态。

**关键词** 测井仪器,测试接口,总线

中图分类号: P631.8+3

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2016)01-0008-05

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2016.01.002

## The design of the bus interface for testing of acoustic logging tools

LIU Xianping JU Xiaodong QIAO Wenxiao LU Junqiang MEN Baiyong

(State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract** In order to achieve working condition monitoring and quick fault diagnosis of domestic acoustic logging tools or subs, several bus interface circuits are proposed and developed in this paper which provide test interfaces for matching tools or subs. Considering the types of buses which are commonly used in domestic logging tools, there are mainly 4 kinds of bus interface circuits been designed. They are the tool control bus (TCB), the high local bus (HLB), the tool module bus (TMB), and the controller area network (CAN), etc. Among them, the TCB, HLB, and TMB are designed based on the field programmable gate array (FPGA) chip of the EP2C20Q240C8, with the software system developed on the basis of philosophy of modularization design. The CAN interface circuit is designed based on the single chip microcomputer (SCM) of C8051F500. By employing the designed interface circuit, the slave node operations of TMB are simulated according to the research, demonstrating the applicability of the circuit in testing of the master electronic sub.

**Key words** Logging tool, Test interface, Bus

2015-07-21 收稿; 2015-11-03 定稿

\*国家自然科学基金项目(61102102, 11204380, 11374371, 11134011), 国家油气重大科技专项(2011ZX05020-009), 中国石油科技创新基金(2014D-5006-0307), 中国石油天然气集团公司项目(2014B-4011, 2014D-4105, 2014A-3912)和中国石油大学(北京)科研基金(2462015YQ0516)的资助

作者简介: 刘先平(1986-), 男, 安徽桐城人, 博士研究生, 研究方向: 声波测井仪器。

<sup>†</sup> 通讯作者 E-mail: 2005xinchen2006@163.com

## 1 引言

声波测井在计算地层孔隙度、估算地层的渗透率以及识别孔隙流体中有着独到之处，在油气勘探的过程中，它是进行储层评价和产能评估的重要参考手段之一<sup>[1]</sup>。我国的声波测井技术经过多年的发展，已经从开始的引进模仿，逐渐走向了全面自主创新的新阶段<sup>[2]</sup>。电路电子技术的飞速发展，大大促进了国产声波测井仪的升级换代进程。成像类声波测井仪的出现，造成井下仪器数据通讯量呈几何倍数的增加，受井下条件的限制，仪器内部模块间的通讯与控制采用了可大量节省空间资源的串行传输方式，串行总线在声波测井仪中发挥了不可忽视的作用<sup>[3-5]</sup>。总线技术的应用带来的新问题是，在仪器的生产和使用的过程中无法通过人工的方式来诊断其工作状态，必须要设计专门的总线接口电路来辅助实现仪器及其子模块的自动化诊断测量。

测井仪器的总线测试接口电路与测井仪器有较大的技术关联性，国外为了更好的进行技术封锁，他们所设计总线测试接口多作为仪器研发公司内部检测使用，而不会公开发表，所以国外声波类测井仪器测试接口电路未见相关报道。国内的成像类声

波测井仪器内部模块的通讯与控制均采用了多节点的高速串行总线，仪器与遥传短节的挂接采用的是CAN总线。如多极子阵列声波测井仪<sup>[6-7]</sup>、方位声波测井仪<sup>[8]</sup>内部模块通讯使用的是TCB和HLB总线；动电测井仪、远探测方位反射声波测井仪是近两年研发的新仪器，内部模块通讯采用性能更好的TMB总线。本文的目的就是设计一种与这些仪器总线相匹配的接口电路以实现对这些仪器的子短节或整体的自动化测试。

## 2 声波测井仪器总线简介

早期声波测井仪器与遥传短节之间的通讯是通过DTB总线实现的，现在则升级为性能更优的CAN总线进行通讯。声波测井仪器内部总线主要有三种：TCB总线，HLB总线，TMB总线，这三种总线的拓扑结构图如图1所示。TCB总线是多极子阵列声波测井仪中的贯穿整只仪器的单向命令总线，它由两根单向差分时钟线和一根数据线构成，TCB总线的传输速率200 kbps，传输距离为10 m；HLB总线是多极子阵列声波测井仪接收电子短节中的单向高速局部数据总线，它由一根时钟线、两根板选

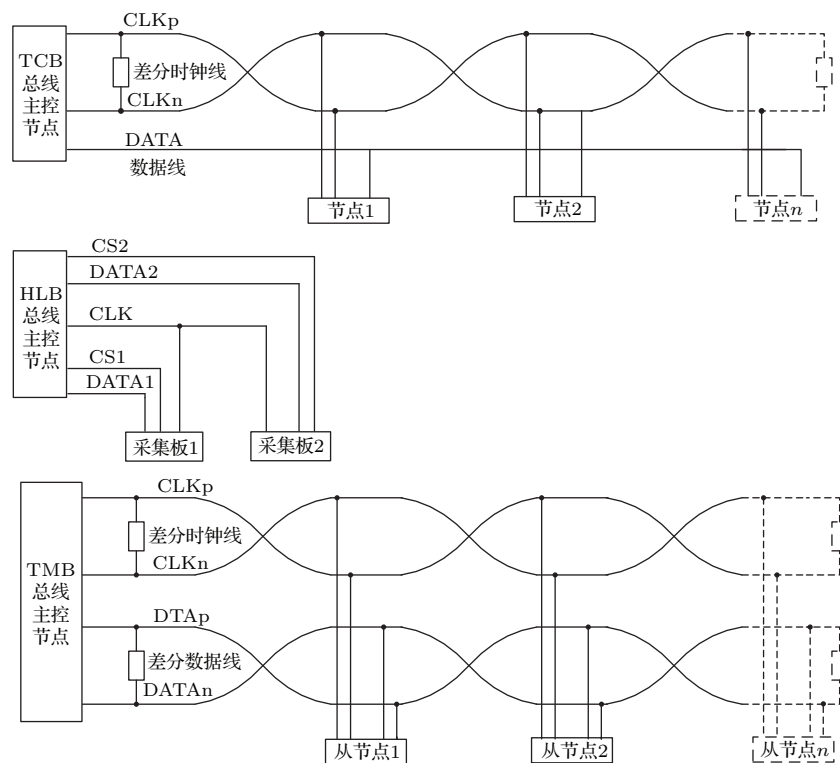


图1 声波测井仪器内部总线拓扑结构图

Fig. 1 Internal bus topology structure of the acoustic logging instrument

线、两根数据线构成, HLB总线的传输速率为5 Mbps, 传输距离为5 m; TMB总线是新一代的半双工双向高速总线, 它由两根差分数据线、两根差分数据线构成, TMB总线的传输速率10 Mbps, 传输距离为20 m。利用常用的电子测试设备, 如示波器或者万用表等, 只能对总线信号的有无以及其电压、电流特征进行测量分析, 无法判断总线数据的帧类型以及帧内容的正确与否, 更无法对总线错误进行定位。因此, 本文设计了与这些总线相匹配的接口电路。

### 3 硬件设计

要实现对声波测井仪通讯总线的测试, 必须要提供与仪器相匹配的总线接口, 如CAN总线接口, TCB总线接口, HLB总线接口, TMB总线接口等。总线测试接口电路板硬件结构框图如图2所示, 采用Altera公司的FPGA芯片EP2C20Q240C8

作为总线接口控制的核心器件, 扩展了16位的地址总线和16位的数据总线与其他电路板互联, 采用SN74LV162245器件作为总线缓冲和驱动。由于FPGA器件不带CAN总线控制器, 本文利用silicon labs公司的单片机C8051F500内置的CAN总线控制器, 采用芯片PCA82C250T驱动实现CAN总线接口。为了兼容早期的TCB总线接口, 利用DS90LV019器件对时钟信号实现差分 and 单端信号的相互转换。为减小仪器模块与测试系统的互相干扰, 所有的总线接口均需要采用高速隔离器件与数字电路系统隔离。其中, TCB、HLB、TMB总线接口采用四通道高速磁隔离芯片ADUM1401隔离; CAN总线接口采用光耦器件HCPL0600隔离。电路板供电部分采用NR5S5将数字电源与模拟电源隔离, 模拟地和数字地分开布线并采用一点的方式连接。这样可大大减少电源抖动对电路系统的影响并防止模拟电路和数字电路的互相干扰。

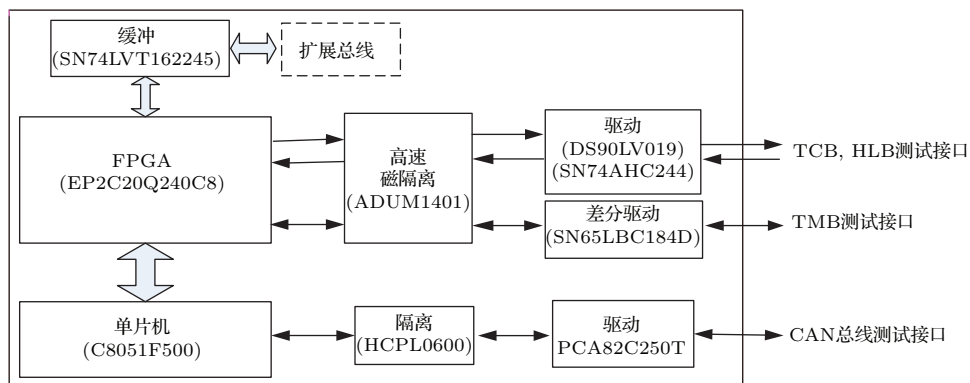


图2 总线测试电路板硬件结构图

Fig. 2 Hardware structure of the bus test circuit board

### 4 软件设计

总线测试接口电路板软件设计分为两个部分, FPGA程序设计和单片机程序设计。

FPGA控制了TCB、HLB、TMB等总线测试接口。本设计中FPGA程序基于硬件描述语言VHDL, 采用自顶向下的模块化设计思想, 按照功能将系统划分为若干个子模块, 顶层采用框图的方式将各个子模块连接起来, 具有简单直观、易于扩展等优点。图3所示是总线接口板FPGA的软件结构框图, 主要包括: 扩展总线控制, 共享双口RAM, 顶层控制逻辑, 测试任务控制, 发送/接收FIFO, 收发状态控制, 串行发送/串行接收器等。扩展总线模块实现与

外部系统进行数据交换; 共享双口RAM接收来自于单片机的数据并暂存; 顶层控制逻辑主要实现发送数据的写入, 接收数据的读取; 测试任务控制模块判断任务类型并对收发状态进行控制; 发送、接收存储FIFO由FPGA内部配置实现, 主要完成发送数据和接收数据的缓存; 收发状态控制器主要实现数据发送和数据接收的状态交互控制; 串行发送、串行接收器由计数器和移位寄存器组成, 在收发状态控制模块的协调下发送和接收串行数据。

单片机程序主要实现对CAN总线接口的控制和读写数据的缓存。在本文中, 设计的CAN总线接口需要仿真遥传短节对测井仪进行控制, 用来检测井下仪器的整机或者主控短节的工作状态是

否正常。他的主要功能是下发控制命令到被测仪器或短节，并且接收仪器或短节返回的数据。由于C8051F500集成了CAN控制器，所以CAN物理层及数据链路层的大部分功能包括数据的编解码和校验无需用户编程。用户只需在应用层编程，本文基于标准CAN2.0规范定义了通讯协议对CAN控

制器进行配置。单片机程序运行主流程如图4所示，系统初始化后启动CAN测试任务，任务启动后进入中断查询状态，当有CAN中断产生时，进行读写缓存操作，若有数据需要保存，将其存入FPGA的共享双口RAM中，任务完成后清中断标志并退出。

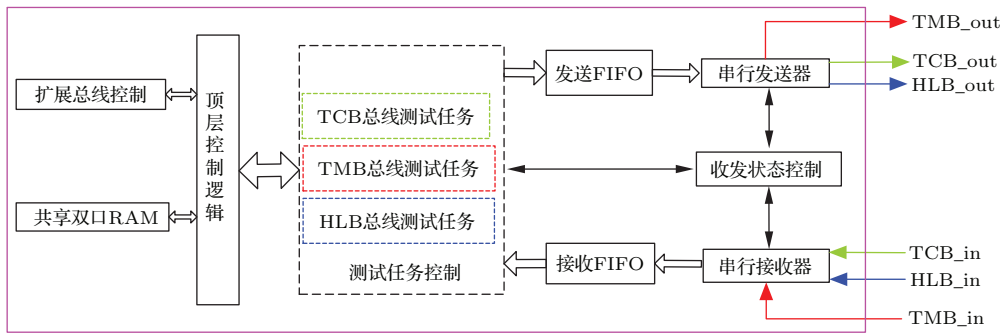


图3 FPGA软件结构图

Fig. 3 Software structure of the FPGA

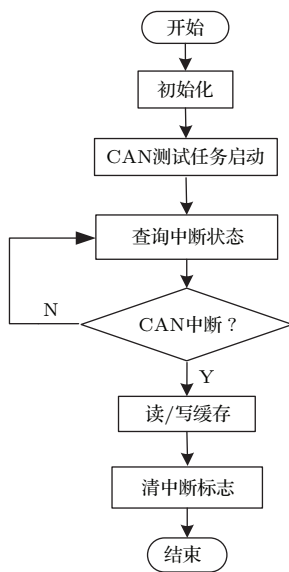


图4 单片机程序主流程

Fig. 4 Main program flow of the single chip microcomputer

### 5 设计结果及仿真

图5所示是设计的总线测试电路板的实物图，各总线接口和编程接口均采用接插件的形式与外部连接。

井下声波仪器内部总线的数据传输以帧为单位，根据帧功能的不同，将帧分为四类：下传命令帧、下传数据请求帧、上传数据帧和广播帧。每帧由起始段，控制段，数据段和校验段组成。起始段标识有

效帧的帧头，控制段中含有帧类型、来源地址、目的地址、数据段长度等信息。校验段为控制段和数据段的校验和。测试电路板收到有效的帧起始段后，将控制段，数据段和校验段分别缓存，并将控制段和数据段进行校验运算，最终将计算结果和校验段进行对比分析，从而判断总线的是否发生错误并且对错误进行定位。若是总线帧无误，进而对总线帧的数据段进行解析。以TMB总线为例，本文在电路板上仿真TMB总线测试从节点功能，仿真接收来自于主控电子短节的串行发射命令，并对该命令进行解析。如图6所示，总线接收到有效数据帧后，获取相关参数并更新delay和wide值。当接收到有效发射命令帧后，输出了发射启动标志sx以及相应的脉冲信号wave\_first和wave\_delay。

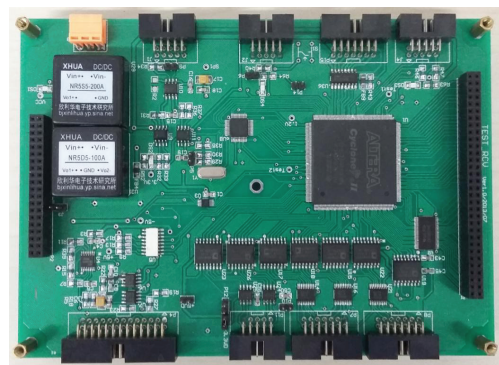


图5 总线测试接口电路板实物图

Fig. 5 Photo of the bus test circuit board

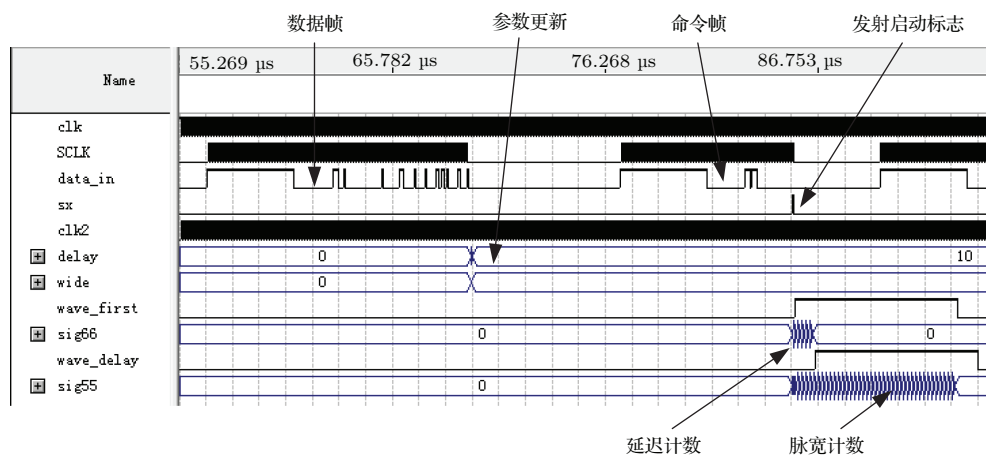


图6 从节点功能仿真

Fig. 6 Functional simulation of slave node

## 6 结论

早期国内的声波测井仪由于内部结构和总线架构具有较大差异性,所以测试设备都是针对相应仪器一对一设计和研发的,不同的测井仪器则需要设计专用的测试电路,通用性较弱。本文针对国产声波成像类测井仪器的总线特征,整合了所有的总线接口,设计了TCB、HLB、TMB、CAN等总线测试接口,可以对多种声波类测井仪器进行总线的测试。利用设计的接口电路,仿真实现了TMB总线的从节点功能。总线测试接口电路板的设计,使得今后生产声波测井仪器时的整机检测和分节调试变得便捷简单,即使是非专业人员也能快速判断整个仪器及各子短节的工作状态,为今后仪器的现场快速诊断奠定基础,可加速推进国产声波测井仪的产业化进程。

## 参 考 文 献

- [1] 乔文孝, 鞠晓东, 车小花, 等. 声波测井技术研究进展[J]. 测井技术, 2011, 35(1): 14-19.  
QIAO Wenxiao, JU Xiaodong, CHE Xiaohua, et al. Progress in acoustic well logging technology[J]. Well Logging Technology, 2011, 35(1): 14-19.
- [2] 鞠晓东, 乔文孝, 赵宏林, 等. 新一代声波测井仪系统设计[J]. 测井技术, 2012, 36(5): 507-510.  
JU Xiaodong, QIAO Wenxiao, ZHAO Honglin, et al. System design of a new acoustic logging tool[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(5): 507-510.
- [3] 成向阳, 鞠晓东, 卢俊强, 等. 基于可编程逻辑器件的井下板间高速串行数据传输电路设计[J]. 测井技术, 2008, 32(2): 177-179.  
CHENG Xiangyang, JU Xiaodong, LU Junqiang, et al. Design on a cpld-based high-speed serial data transmission circuitry for inter-boards of downhole tool[J]. Well Logging Technology, 2008, 32(2): 177-179.
- [4] 成向阳, 鞠晓东, 卢俊强, 等. 基于串行总线的井下多通道高速高精度数据采集系统的设计[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(2): 47-52.  
CHENG Xiangyang, JU Xiaodong, LU Junqiang, et al. Design of high-speed and high-precision data acquisition system with multi-channel applied to downhole tools on the basis of serial bus[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(2): 47-52.
- [5] 卢俊强, 鞠晓东, 成向阳. 串行数据传输在声波测井仪中的应用研究[J]. 西南石油学院学报, 2009, 31(1): 162-165.  
LU Junqiang, JU Xiaodong, CHENG Xiangyang. Application of serial data transmission in acoustic logging tool[J]. Journal of Southwest Petroleum University Institute, 2009, 31(1): 162-165.
- [6] 鞠晓东, 乔文孝, 李玉霞, 等. 多极子阵列声波测井仪电子系统设计[J]. 测井技术, 2008, 32(1): 61-64.  
JU Xiaodong, QIAO Wenxiao, LI Yuxia, et al. Electronic system design of a multipole acoustic logging tool[J]. Well Logging Technology, 2008, 32(1): 61-64.
- [7] 成向阳, 鞠晓东, 卢俊强, 等. 基于串行总线的多极子阵列声波接收电路设计[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 59-63.  
CHENG Xiangyang, JU Xiaodong, LU Junqiang, et al. Design of multipole array acoustic logging receiver electronic circuit based on serial bus[J]. Journal of China University of Petroleum, 2009, 33(4): 59-63.
- [8] 卢俊强, 鞠晓东, 乔文孝, 等. 方位声波测井仪电子系统设计[J]. 测井技术, 2011, 35(3): 284-287.  
LU Junqiang, JU Xiaodong, QIAO Wenxiao, et al. Electronic system design of azimuthally acoustic bond tool[J]. Well Logging Technology, 2011, 35(3): 284-287.