

文章编号:1673-5005(2009)04-0059-05

基于串行总线的多极子阵列声波接收电路设计

成向阳¹, 鞠晓东², 卢俊强², 乔文孝², 高 莉³

(1. 中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249;

3. 长庆油田公司 通信处, 陕西 西安 710018)

摘要:设计了一种用于石油仪器的多极子阵列声波接收电路。这种电路由信号缓冲、信号合成、模式选择、两级带通滤波电路、程控衰减与放大电路等组成, 它能把接收换能器接收到的信号组合形成单、偶极及四极子声波信号, 从而实现对声波信号的接收、合成、滤波和程控衰减与放大。测试结果表明, 这种电路简化了声系结构设计, 放大和滤波功效显著, 且干扰小, 结构紧凑, 升级灵活, 扩展方便, 控制简单, 指标先进, 比较适合高性能井下设备使用。

关键词:复杂可编程逻辑器件(CPLD); 声波测井; 换能器; 接收电路

中图分类号:P 631. 83

文献标识码:A

Design of multipole array acoustic logging receiver electronic circuit based on serial bus

CHENG Xiang-yang¹, JU Xiao-dong², LU Jun-qiang², QIAO Wen-xiao², GAO Li³

(1. College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Department of Communication in Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China)

Abstract: An electronic circuit for multipole array acoustic logging receiver was designed for petroleum tools. This circuit consists of signal amortization, signal synthesizers, pattern selection, two stage bandpass filters and program-controlled attenuators & amplifiers. It can transduce the signals received by receiver transducer into monopole signals, dipole signals and quadrupole signals. So it can be used for receiving, composing and filtering of acoustic signals, as well as for program-controlled attenuating & amplifying of acoustic signals. With simplified structure design, it can receive monopole signals, dipole signals and quadrupole signals, and is effective in attenuating & amplifying signals with little signal interference. Moreover, with the feature of compact structure, it is flexible for upgrading, easy for interface extension, and simple for control. It shows excellent performance, and can find good application in high performance downhole tools.

Key words: complex programmable logic device; acoustic logging; transducer; receiver circuit

西方三大测井公司在 20 世纪 90 年代相继推出多极子阵列声波测井仪器, 这类测井仪器既可用于传统的单极声波测井, 又可用于以测量地层横波波速、评价地层各向异性为目的的偶极声波测井。借鉴国外在声波测井仪器研制方面的成功经验, 开发新一代多极声波测井仪器是提高我国测井装备水平的重要途径^[1-3]。笔者重点介绍多极声波仪器的关键技术——接收电路的设计原理和测试结果。

1 仪器整体结构介绍

多极子声波井下仪^[4]主要包括发射电子短节、发射换能器、隔声体、接收换能器阵、接收及测控电子线路短节等几部分。接收换能器部分包括 8 个接收器组, 每组有两对接收器。一对同 X 方向偶极发射器在一条直线上, 用于接收 X 偶极信号; 另一对同 Y 方向偶极发射器在一条直线上, 用于接收 Y 偶

收稿日期:2008-12-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40804020, 40574049)

作者简介:成向阳(1972-), 男(汉族), 山东东营人, 副教授, 博士, 从事石油仪器的研制与开发。

极信号;交叉偶极时,每组接收器产生一对相交叉的偶极信号。当单极或四极声波源工作时,将每个接收器组的所有输出进行组合得出相应模式的声波信号^[46]。

2 接收电路设计

为了简化换能器接收声系,仪器接收方式采用同一深度相隔 90° 的4个声波宽带接收器通过电路进行信号组合以合成单极、偶极或四极声波信号,接收换能器结构如图1所示。这种方式把单极、偶极及四极3套接收换能器简化为一套,但增加了接收

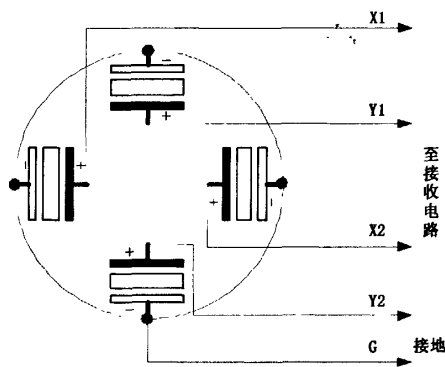


图1 接收换能器结构图

Fig.1 Receiver transducer structure drawing

电路的复杂性。由于单极、四极信号频带为 $1 \sim 20$ kHz,偶极信号频带是 $0.5 \sim 5$ kHz,所以组合接收换能器必须采用宽带接收器。宽带接收换能器的接收灵敏度比窄带谐振接收换能器低,因而必须增大电路的放大增益。同时,不同的地质结构会造成接收到的声波信号幅度在几微伏到几毫伏之间变化,由此决定了接收电路必须有较大的动态增益程控调节能力,不但要能放大还要能衰减接收声波信号。传感器输出的信号往往夹杂有噪声和虚假信号,为提取有用信号成分,必须进行滤波处理。这些干扰信号包括许多频率成分较高的高频干扰及 50 Hz的工频信号,考虑到仪器所采集到的单、偶极声波信号的频率成分不会在 $0.260 \sim 20$ kHz之外,因而决定采用频带范围是 $0.26 \sim 20$ kHz的带通滤波器。接收的模式与增益设置的控制比较简单,几个字节即可完成,控制占时不多,非常适合采用串行控制方式。串行控制方式不但可以节省资源,减小有限井下仪器空间,而且可以减少逻辑控制对模拟信号的干扰,增加电路的电磁屏蔽能力。由于CMOS电平比TTL电平具有更强的抗干扰能力,串行总线电平采用

CMOS电平,但逻辑器件多采用TTL电平工作,所以串行命令总线收发两端都要加电平转换电路^[46]。

多极子声波接收电路由4块电路板构成,来自每个接收换能器 X, Y 方向的两路信号通过双绞线屏蔽线送到接收电路缓冲级,被组合成 X, Y 方向偶极信号、单极信号及四极信号。每块电路板上的放大和衰减参数分别被其通道控制器独立控制,最终有8路信号被同时处理。接收电路板可以同时处理来自一个接收换能器阵的交叉偶极信号,每个换能器阵接收到的4路原始信号也可以被处理。图2是两个接收阵被处理的接收电路构成图,主要包括信号输入缓冲前置放大电路、信号合成电路、通道信号多路选择电路、信号程控衰减电路、带通滤波器及程控放大电路。

(1)信号缓冲放大电路。具有高输入阻抗、高通滤波特性,每个电路具有 2 M输入阻抗,高通截至频率 175 Hz,通带增益为 6 dB。缓冲级输出的信号被送到差动放大电路,求和电路和差分放大器分别产生偶极、单极和四极信号。该电路的输出同时被直接连接到多路选择器来选择单独换能器信号。

(2)信号合成电路。偶极信号通过仪器放大器求 X 和 Y 信号分量的差来产生,电路的增益约为 25 dB,仪器放大器后面紧接一个三极点截至频率 7 kHz的低通滤波器,用来滤除单极信号。单极信号由增益为 1 的运放对 X 和 Y 信号分量求和产生,四极信号由差分放大器利用 X 信号分量的和减去 Y 信号分量的差来产生,放大增益 5 倍。

(3)测试信号发生器。通过运放电路把来自控制器的两路数字测试信号合成一路模拟测试信号送给本板的两个接收通道,改变两路数字测试信号可以得到不同幅度和不同周期的模拟信号。

(4)通道信号选择电路。用来选择单极、偶极、交叉偶极、四极、独立分量、测试信号或地信号,并送到衰减/放大和带通滤波电路。该电路在通道控制器的7根模式选择线控制下完成,所有接收电路板的控制模式是相同的,共用模式控制命令。当交叉偶极模式工作时,一个接收换能器阵输出两路交叉的偶极信号,需要占用两个通道,这时相邻的换能器阵的信号将不能被处理。

(5)信号衰减级。多路选择电路的两路输出被连接到每个通道的输入衰减器上。输入衰减器利用电阻分配网络提供八级衰减。每个通道的衰减被通道控制器独立的3根信号线控制。

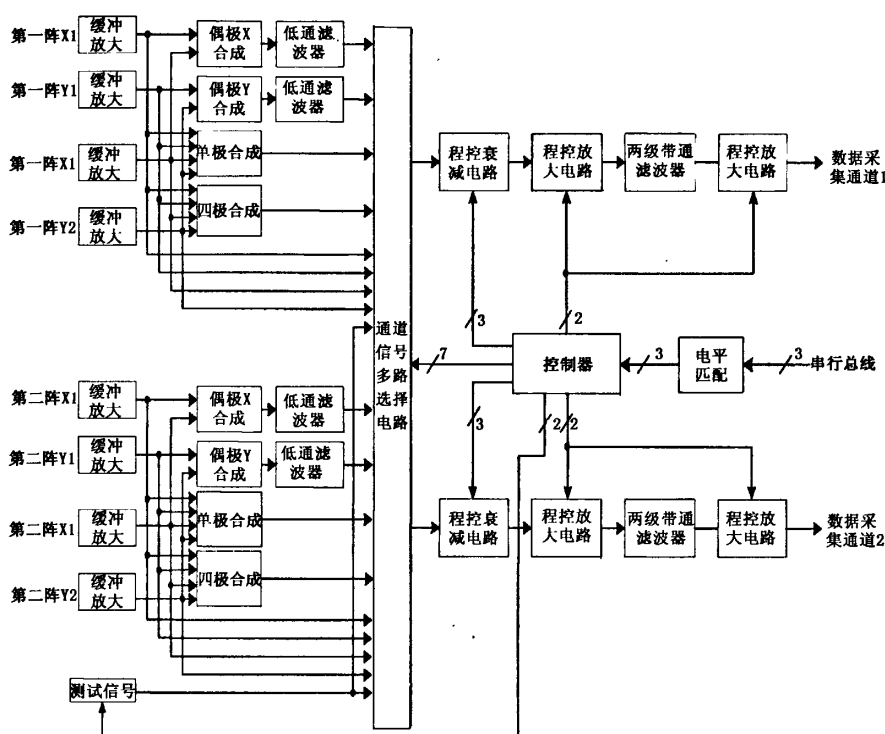


图2 接收电路构成详细框图

Fig. 2 Detailed block diagram for receiver circuits

(6) 输入输出放大级。输入可控放大器和输出程控放大器在通道控制器的控制下共同提供放大倍数,每个通道的放大倍数设置都是独立的,都有两根独立的控制线。

(7) 信号滤波级。由两阶高通滤波器和两阶低通滤波器组成,通带频率为 0.26 ~ 20 kHz,通道增益为 16.5 dB。由于宽带换能器可能接收到无用的其他频率的声波信号,以及通道放大倍数对无用噪声的放大作用可能影响到有用信号,因此滤波电路必须精心设计,尽量滤除无用信号。

(8) 通道控制器。把串行总线的命令转换成控制信号,用来选择单极、偶极及四极的接收模式,设置信道的增益与衰减。每块接收板的通道控制器有 17 个控制信号,3 个输入信号(串行时钟、数据及复位线)和 2 个测试信号输出端,若采用传统的中小规模数字电路,就会因为体积大,走线太多给印刷板的布线带来困难,而大规模复杂可编程逻辑器件(CPLD)具有集成度高、速度快的优点,并能通过重新编程来修改和增强系统的功能,是优选的方案。本设计中选用 Lattice 公司的 ispLSI1k 系列的低端军品器件 ispLSI1016,可满足系统控制功能,图 3 是通道控制器的构成框图。由于设置衰减时,需要延

时一定时间通道才能稳定,为了在不需要进行增益设置时省去不必要的延时,通道控制器具有保持上次增益设置的功能。启动采集后,在进行通道测试时可通过串行命令使测试信号控制器产生多种测试信号^[7-10]。

3 控制流程

接到新测井命令后,DSP 控制复位线 RST 产生复位脉冲,复位通道控制器。DSP 送出新的串行命令,通道控制器根据与模式设置对应位置的串行命令,设置接收板的接收模式。然后根据寄存的增益设置标志,判断是否需要增益设置,若需要,则把串行命令数据依次锁存到各个通道对应的放大与衰减参数寄存器,通过这些寄存器的输出,各个通道可以选择不同的放大与衰减增益;若不需要,则各通道参数寄存器保留原先设定值。在启动采集后,若进行通道测试,则产生额外的串行时钟,采集通道控制器利用采集后的串行命令数据,输出两路测试信号,经加法电路后,形成多种测试信号;若进行正式测井,则串行总线保持不变,以免产生噪声影响其他电路的性能。当发射换能器发出声波信号后,声波信号经地层传到接收换能器阵列,经过单、偶极、

四极组合,所设定模式选择的信号被送到带通滤波、程控放大与衰减电路。信号经滤波、放大或衰减处理后送给数据采集电路并进行模数转换。然后,接

收通道控制器等待新的控制命令到来。图 4 是一块采集板两个通道工作在允许与禁止增益设置时四极接收模式的控制波形仿真图。

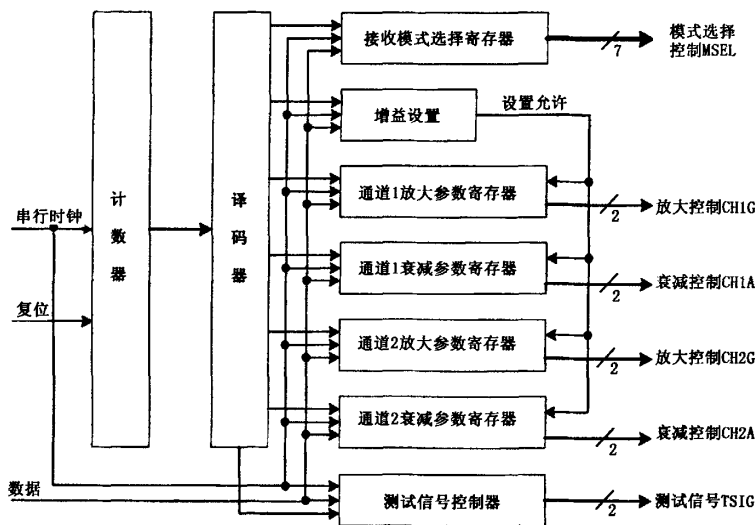


图 3 通道控制器的构成框图

Fig.3 Channel controller block diagram

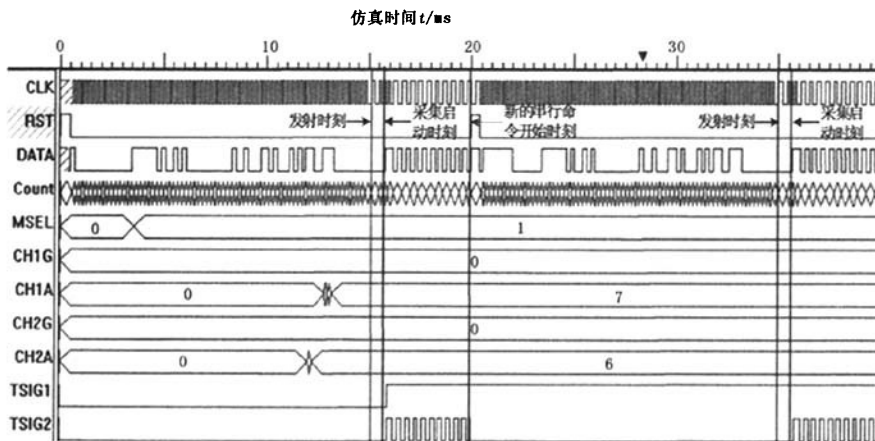


图 4 单块接收板的设置仿真时序图

Fig.4 Setting timing diagram of single receiver board

4 测试

4.1 电路放大与滤波特性测试

从输入端输入标准的正弦信号,调整各个信号通道的衰减与放大参数,用示波器观察其程控增益特性。图 5(a)是偶极模式输入信号放大 100 倍的观测波形,由于输入信号很弱,不放大,示波器无法观测。图 5(b)是该输入信号经接收板在无衰减放大 48 dB 时的输出信号。固定接收模式与增益参数,调节输入信号的频率,观测滤波器通带是否在

0.26 ~ 20 kHz 频率范围内。从图 5(b)可以看出,接收通道不仅对信号进行了放大,而且进行了滤波,对小信号具有很好的放大性能。

4.2 测井测试

接收板设计制作完成后,与其他电路、换能器及隔声体等部分组合构成下井仪器,并对仪器进行了测井测试。图 6 为多极子声波测井仪在 A 井段内某深度点测量的远单极的八路全波波形(源距由近到远)。由图可见,先后到达接收器的分别是滑行纵波、滑行横波和斯通利波,波形特征明显,信噪比好。

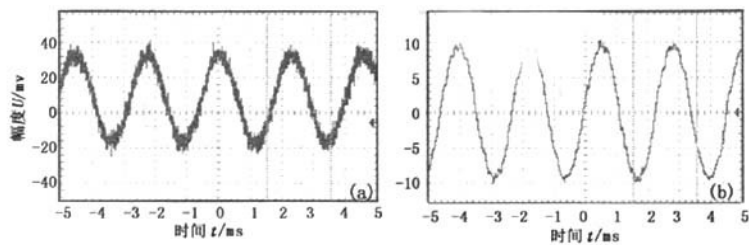


图5 偶极模式信号通道输入输出波形

Fig.5 Input and output waveforms of signal channel with dipole mode

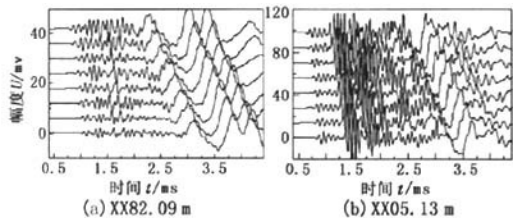


图6 多极子声波测井仪在A井测量的远单极全波波形

Fig.6 Far monopole waveforms received with the multipole array acoustic logging tool of A borehole

图7 为多极子声波测井仪在B井某深度点测得的各个偏振方向分量上的八路偶极子波形(源距由近到远,XX20.82 m)。由图可见,各个偏振方向偶极波形信噪比较好,从该点记录的增益可看出,平行分量偶极子波信号明显比正交分量偶极子波信号强,其平行分量增益比正交方向的增益约小12 dB,而且可以看出“低频跑得快、高频跑得慢”的现象。

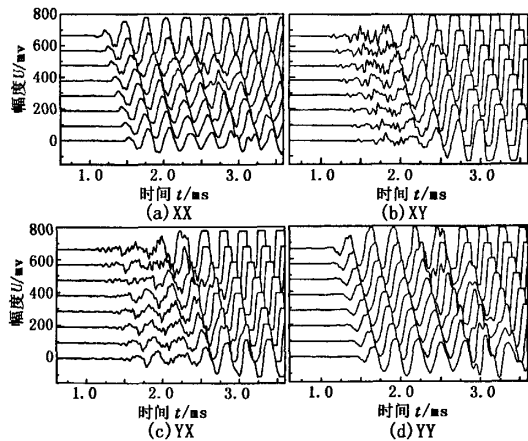


图7 多极子声波测井仪在B井测量的正交偶极子波形

Fig.7 Cross-dipole waveforms obtained with the multipole array acoustic logging tool of B borehole

5 结 论

(1)在非发送命令时刻,串行命令总线处于“静止”状态,避免了发射电路发射时对其他数字电路

和模拟电路的影响。

(2)由于可编程器件的使用,可以在不重新设计印刷电路板的情况下,灵活升级接收电路系统,为将来系统增加上接收扩展提供了有利条件。同一块电路,只要可编程器件内部逻辑不同,即可实现系统在电路上的扩展。

(3)利用模拟电路方法合成了单极、偶极及四极信号,不仅简化了接收声系,而且可以通过电路对接收换能器的不匹配进行适当补偿。程控放大与衰减电路相配合,扩大了动态增益调节范围,而且调节很灵活。

参考文献:

[1] 王建华. 声波测井技术综述[J]. 工程地球物理学报, 2006,3(5):395-399.

Wang Jian-hua. A summary of sonic logging techniques [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2006,3(5):395-399.

[2] 秦绪英,宋波涛. 测井技术现状与展望[J]. 勘探地球物理进展, 2002,25(1):26-34.

QIN Xu-ying, SONG Bo-tao. Current status and prospect of logging techniques [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2002,25(1):26-34.

[3] 李玉玲. 哈里伯顿新一代交叉偶极声波测井仪及其应用[J]. 测井技术, 2004,28(4):348-351.

LI Yu-ling. Application of a new generation crossed dipole logging tool (WaveSonic) [J]. Well Logging Technology, 2004,28(4):348-351.

[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 Xiang-yang, JÜ Xiao-dong, LU Jun-qiang, et al. Design of High-speed and High-precision Data Acquisition System with Multi-channel Applied to Downhole Tools and Based on Serial Bus [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(2):47-52.

(下转第70页)

- [4] SPEARS & ASSOCIATES, INC. Drilling and production outlook 2008 [R/OL]. 2009-03 [2009-04-30]. <http://www.spearsresearch.com>.
- [5] KABIR M, INGHAM S, SIBLEY D, et al. Application of a maximum reservoir contact (MRC) well in a thin, carbonate reservoir in Kuwait [R]. SPE 100834, 2006.
- [6] SALAR B, HANI Q. Reservoir candidate screening is critical to ensure successful application of under balanced drilling technology—case study [R]. SPE 105448, 2007.
- [7] JOHN K. Managed-pressure drilling—recent experience, potential efficiency gains, and future opportunities [R]. IADC/SPE 103753, 2006.
- [8] 杨春旭, 韩来聚, 步玉环, 等. 现代垂直钻井技术的新进展及发展方向 [J]. 石油钻探技术, 2007, 35(1): 16-19.
- YANG Chun-xu, HAN Lai-ju, BU Yu-huan, et al. New development and future direction of modern vertical drilling technology [J]. Drilling Petroleum Techniques, 2007, 35(1): 16-19.
- [9] GARRY G, GORDON M. Latest developments and new technology for coiled-tubing sidetracking applications [R]. IADC/SPE 112587, 2008.
- [10] REDDICK C, CASTRO A, PANNETT I, et al. BP's field of the future program; delivering success [R]. SPE 112194, 2008.
- [11] SAWARYN S J, PICKERING J, WHITELEY N. New drilling and completions applications for a new era [R]. SPE 112094, 2008.
- [12] IGNACIO G, JUAN G, GARY U. Remote intelligence—the future of drilling is here [R]. SPE 112231, 2008.
- [13] GUPTA Y, BANERJEE S N. The application of expandable tubulars in casing while drilling [R]. SPE 105517, 2007.
- [14] 苏新亮, 李根生, 沈忠厚, 等. 连续油管钻井技术与应用进展 [J]. 天然气工业, 2008, 28(8): 55-58.
- SU Xin-liang, LI Gen-sheng, SHENG Zhong-hou, et al. Research on coiled tubing drilling technology and its application [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(8): 55-58.
- [15] dr ROBIN Brooks, dr JOHN Wilson. Drilling better wells cheaper and faster [R]. SPE 112241, 2008.
- (编辑 李志芬)

(上接第 63 页)

- [5] 成向阳, 鞠晓东, 卢俊强, 等. 井下大功率多极子声波换能器激励源的设计 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2007, 31(6): 40-43.
- CHENG Xiang-yang, JU Xiao-dong, LU Jun-qiang, et al. Design of downhole multipole acoustic transducer transmitter with high power [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007, 31(6): 40-43.
- [6] 卢俊强, 鞠晓东, 成向阳. 正交偶极阵列声波测井仪的设计 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(1): 42-46.
- LU Jun-qiang, JU Xiao-dong, CHENG Xiang-yang. Design of cross-dipole array acoustic logging tool [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(1): 42-46.
- [7] 卢俊强, 鞠晓东. 通用串行总线在测井模拟信号采集中的应用 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(5): 37-41.
- LU Jun-qiang, JU Xiao-dong. Application of universal serial bus in well logging analog data acquisition [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(5): 37-41.
- [8] 鞠晓东, 李会银. 基于 CPLD 的曼彻斯特码高速传输系统设计 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(4): 37-39.
- JU Xiao-dong, LI Hui-yin. Design of a high rate manchester's code transmitting system based on complicated programmable logical devices [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 37-39.
- [9] 李会银, 李向峰. 基于 CPLD 的多功能核能谱测井仪检测系统 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(3): 36-39.
- LI Hui-yin, LI Xiang-feng. A multi-function test equipment for nuclear spectrometry tools based on complex programmable logic devices [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006, 30(3): 36-39.
- [10] Lattice Semiconductor Corp. ispLSI1016/883 datasheet [M/OL]. January 2002. [2005-02-12]. 2002. <http://www.latticesemi.com/lit/docs/military/1016-mil.pdf>.
- (编辑 修荣荣)