

文章编号:1673-5005(2007)06-0040-04

# 井下大功率多极子声波换能器激励源的设计

成向阳<sup>1</sup>, 鞠晓东<sup>2</sup>, 卢俊强<sup>2</sup>, 乔文孝<sup>2</sup>

(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)

**摘要:**介绍了一种用于石油仪器的大功率多极子阵列声波换能器激励源的设计方案。该方案中,大规模复杂可编程器件执行 DSP 通过专用串行线路发送的命令,精确地控制多个激励源的激励时刻和激励宽度,实现了对声波辐射能量的最佳控制。对该方案进行了实验测试。测试结果表明,所设计的激励源能够保证控制电路系统在 150 ℃ 环境温度下稳定工作,适于井下高温高压恶劣环境应用。

**关键词:**复杂可编程逻辑器件; 声波测井仪; 换能器; 激励源

**中图分类号:**P 631.83

**文献标识码:**A

## Design of downhole multipole acoustic transducer transmitter with high power

CHENG Xiang-yang<sup>1</sup>, JU Xiao-dong<sup>2</sup>, LU Jun-qiang<sup>2</sup>, QIAO Wen-xiao<sup>2</sup>

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

2. Faculty of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** A kind of downhole multipole acoustic transducer transmitter with high power that is applied to petroleum tools was introduced. The command which is sent out by digital signal processor via special serial bus is carried out by complex programmable logic device(CPLD), and fire time and fire width of multi-transmitters are also accurately controlled by CPLD, which can control acoustic radiation energy optimally. The test results show that the control electronic system can work stably at 150 ℃. This shows the transmitter is applicable to high temperature and high-pressure working condition of downhole.

**Key words:** complex programmable logic device; acoustic logging tools; transducer; transmitter

贝克休斯公司的 XMACII 是目前最先进的井下多极子阵列声波测井仪器之一,它可以用于测量地层声速尤其软地层横波波速和方位,进而探测地层应力的各向异性、裂缝及走向。XMACII 发射电路采用单稳电路实现激励脉冲宽度,一经调好在测井中不能再改变,但由于井下温度、压力变化范围很大,必须对换能器激励源做出调整以保证最佳的发射功率和信号主频,为此,笔者设计一种基于复杂可编程逻辑器件(CPLD)的井下大功率程控多极子声波换能器激励源。

## 1 仪器整体结构介绍

多极子声波井下仪主要包括发射电子短节、发

射换能器、隔声体、接收换能器阵和测控电子线路短节等几部分。发射电子短节包括逻辑控制发射电路、储能电路和大功率激励电路,它驱动一个单极、两个交叉偶极、一个四极发射换能器的声波发射。发射换能器部分包括一个单极压电陶瓷换能器、两个相互垂直相距的压电式偶极换能器(X 方向偶极发射器和 Y 方向偶极发射器)和一个四极子换能器。隔声体是多节合瓣组成的机械衰减结构,它能在整个频率范围内有效地隔离声能量,保证仪器能在时差很大的软地层中进行慢度测量。另一方面,隔声体的挠性设计允许仪器在斜井和水平井中使用。接收换能器部分包括 8 个接收器组,每组有两对接收器:一对与 X 方向偶极发射器在一条直线

收稿日期:2007-04-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40374049,40574049)

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

上,用于接收 X 偶极信号;另一对与 Y 方向偶极发射器在一条直线上,用于接收下偶极信号;交叉偶极时,每组接收器产生一对相交叉的偶极信号。当单极或四极声源工作时,接收换能器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。测控电子线路短节包括控制 DSP、数据采集、前置接收及井下供电等几部分。

## 2 设计方案

多极子声波井下仪的换能器工作需要数千伏高压,必须采用脉冲变压器升压方式来设计激励源。激励源高压脉冲的幅度和宽度决定换能器的发射功率并影响其工作频率。单极、偶极及四极换能器的

工作频率和发射功率不同,各自激励的信号强度与宽度不同,如单极需要 4 kV 50  $\mu$ s 的高压激励脉冲,而偶极需要 1.8 kV 约 200  $\mu$ s 的高压激励信号,因而需要对发射电路进行灵活控制,采用 CPLD<sup>[1]</sup> 可以实现这一要求。井下 DSP 通过调节发射时刻串行时钟的周期来控制发射脉冲宽度,最高分辨精度可以达到 DSP 的一个工作时钟。本设计中选用 Lattice 公司 ispLSI1k 系列的 ispLSI1016-60LH/883,其逻辑资源可满足控制的需要<sup>[2]</sup>。声波激励源<sup>[3]</sup> 由电平匹配电路、发射逻辑控制器、驱动电平转换电路、互补驱动电路、大功率激励电路、高压脉冲变压器组、储能电路、供电电源等组成,由 DSP 通过内部串行命令总线控制,其总体功能如图 1 所示。

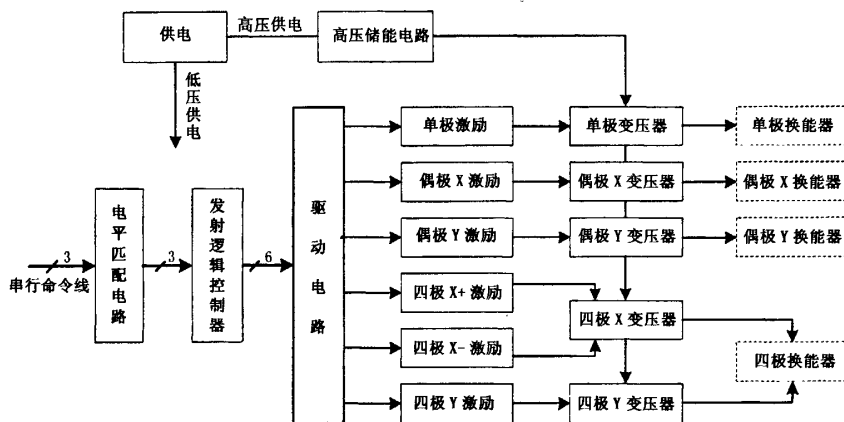


图1 激励源的功能

### 2.1 电平匹配电路

由于 CMOS 电平信号在远距离传输中比 TTL 电平信号具有更强的抗干扰能力,所以串行命令总线采用 CMOS 逻辑。为使 CMOS 输出与 TTL 器件(如 CPLD, DSP, FPGA)可靠接口,须施加一定的接地(拉电流负载)以确保低电平时的噪声容限。

### 2.2 发射逻辑控制器

发射逻辑控制器采用 CPLD 编程实现,它利用串行总线命令产生单极、偶极 X、偶极 Y、四极 X+、四极 X- 及四极 Y 的发射逻辑控制信号,控制信号的宽度由发射时刻的特定串行时钟的出现时刻和周期决定,其结构如图 2 所示。每一模式的命令寄存器对应着一位串行数据,当该时钟(CLK)到来时,译码识别出该位置,并锁存当前数据线(DATA)上的值,其他时刻则保持原值,若为有效电平,则要求对应的发射换能器在发射时钟被激励,否则对应换能器不工作。所有模式的发射控制器对应同一串行时

钟,当发射时钟到来时,与锁存着有效发射命令的命令寄存器对应的发射控制器产生换能器激励逻辑控制信号,送到后续的驱动电路,完成设定换能器的激励。单极、四极 X+、四极 X-、四极 Y、偶极 X 及偶极 Y 的控制信号分别由第 3 至第 8 个串行时钟 CLK 上升沿时刻对应数据线 DATA 上的值决定,决定是否在第 73 个串行时钟形成发射控制信号,激励相应的发射换能器。单极、偶极 X 及偶极 Y 控制方法相同,但发射时刻串行时钟的周期(宽度)不同,偶极激励逻辑脉冲较宽以便更好地激发出低频声波信号。四极子换能器工作模式比较特殊,它需要两路激励信号同时工作,当四极 X- 与四极 Y 激励信号(QXNFIR 与 QYFIR)同时工作时形成四极子换能器激励模式,而四极 X+ 与四极 Y 激励信号(QXPFIR 与 QYFIR)同时工作时形成仿单极子激励模式,图 3 是四极子发射控制信号(QXNFIR 与 QYFIR)逻辑功能全局仿真结果。

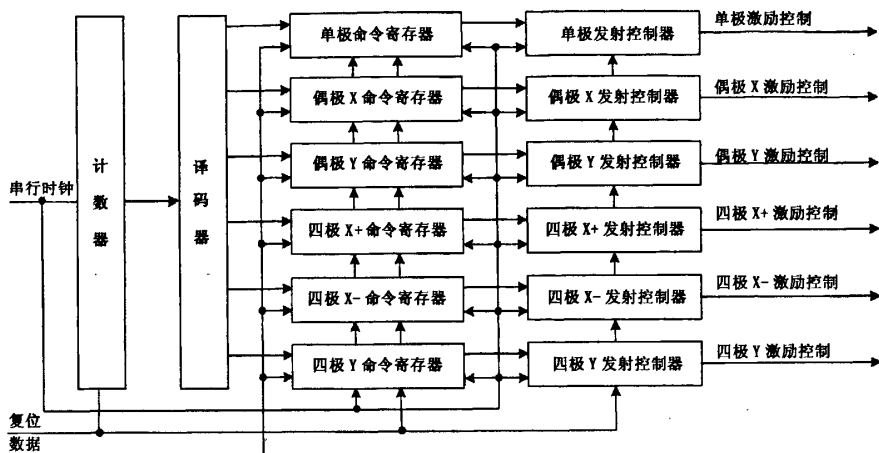


图2 发射逻辑控制器结构

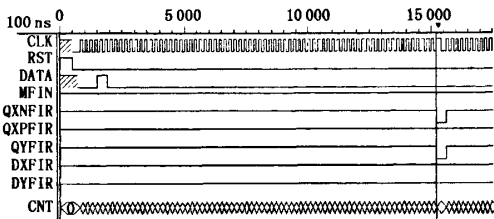


图3 四极发射控制脉冲逻辑功能全局仿真结果

### 2.3 驱动电路

驱动电路利用 MC14505B 把 CPLD 输出的 5 V TTL 逻辑信号转换为 12 V 的 CMOS 逻辑信号,以加快互补驱动电路的响应速度。互补驱动电路由互补的中功率 VMOS 管构成,将驱动电流由毫安级放大到百毫安级,为激励电路功率器件提供大电流驱动信号,使声波激励管能够快速导通和截止。

### 2.4 发射激励电路

发射储能电路由一个大功率限流电阻和储能电容构成。电容的大小决定储存能量的多少,而电容储存的能量又影响发射功率和频率。由于在高温高压环境下,电容的体积和成本均随容量的增加而增加,因此,在本设计中采用 9.9  $\mu$ F/630 V 的耐高温无极性电容。发射电源输出的高压经滤波后,通过限流电阻给发射储能电容充电。限流电阻的阻值直接影响储能电容的充电速率,太大会限制发射频率,太小则会造成电源波动较大,并通过电源干扰数字和模拟电路。因此,在不影响发射频率的情况下限流电阻应尽量取大一些。

发射激励电路由 6 个大功率 VMOS 管 (FDH27N50) 组成,分别产生单极、偶极 X、偶极 Y、四极 X+、四极 X- 及四极 Y 的激励信号。图 4 是

单极发射激励电路原理图,偶极和四极与它相似。当一路驱动电路的驱动信号加到相应 VMOS 管的

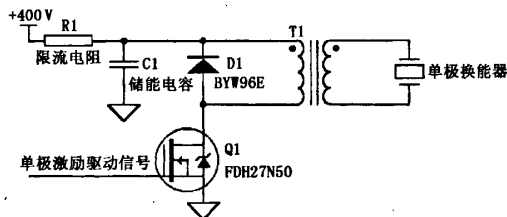


图4 单极发射激励电路原理图

栅极上时,控制 VMOS 管的导通与截止。VMOS 管导通时,储能电路通过变压器的初级与 VMOS 管放电,在脉冲变压器次级产生高压激励信号加到对应的发射换能器上,使其工作,发射声波信号。VMOS 管的导通时间决定发射信号的频率,发射变压器的初级需要并一个续流二极管,用来抑制发射变压器次级的高压振铃。高压脉冲发射变压器由单极、偶极 X、偶极 Y、四极 X 及四极 Y 变压器构成,其中四极 X 有两个控制信号(X+、X-),必须与四极 Y 变压器组合控制四极换能器,构成仿单极或四极子激励模式。发射变压器把发射电源变压器输出的几百伏直流高压电压转换成声波换能器工作所需的几千伏高压脉冲来激励发射换能器。发射变压器是声波激励源信号的关键器件,首先应根据换能器的参数确定激励电压,再根据磁芯的参数估算变压器的匝数。由于理论值与实验结果有时存在一定偏差(尤其在高的工作温度变化范围内),单纯通过理论计算和软件仿真很难得到实际应用的参数,通常需经过测试后再进行调整才能得到满意的效果<sup>[4]</sup>。

### 2.5 工作过程

新的发射命令到来后,经电平转换送到发射命

令接收器,发射逻辑控制器根据发射命令选择发射方式(单极、偶极或四极),并利用发射时刻的串行时钟产生宽度合适的发射逻辑脉冲信号,驱动电平转换电路将其转换为12 V的CMOS电平后,被驱动电路驱动,控制指定的激励VMOS管导通,让对应的脉冲变压器利用电容放电输出高压脉冲,激励所选的发射换能器发射声波信号。此时,接收电路就可以控制接收换能器进行声波信号的接收与处理。

### 3 实验测试

#### 3.1 室温实验

图5是偶极激励源输出的、加载到偶极换能器的激励信号(未对激励信号负边进行抑制),激励源的触发脉冲宽度从32  $\mu\text{s}$ 至256  $\mu\text{s}$ 。由图5可知:当触发脉冲宽度为32  $\mu\text{s}$ 时,换能器激励信号幅度由低变高,宽度由宽变窄;当触发脉冲宽度为256  $\mu\text{s}$ 时,换能器激励信号出现两个波包,不利于激励换能器;当触发脉冲宽度为160  $\mu\text{s}$ 时,激励脉冲幅度约为1.8 kV,脉冲宽度约为200  $\mu\text{s}$ ,符合技术要求。单极和四极的控制也有相似特征,除了变压器匹配外,触发脉冲也有一定的范围,只有触发脉冲宽度合适才能激发出幅度最大和宽度最合适的换能器激励信号,使换能器处于最佳工作状态。

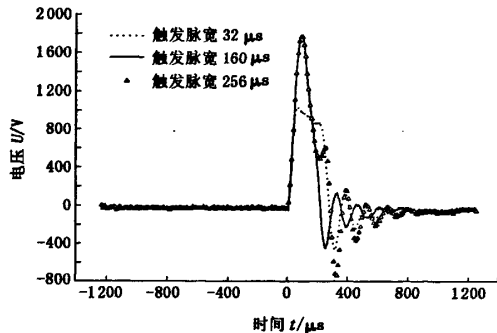


图5 不同触发脉冲宽度偶极信号源的激励信号波形对比

#### 3.2 高温实验

图6为偶极发射变压器输出的激励信号在室温(20  $^{\circ}\text{C}$ )与高温(175  $^{\circ}\text{C}$ )时的激励信号波形对比结果,激励源触发信号不变。由图可知,在高温下,输出波形降低并变窄,幅度变化小于10%,满足应用要求。单极和四极随温度变化的情况与偶极相似。如果根据井下不同温度适当调整激励触发信号宽度,有可能补偿温度带来的变化。

#### 3.3 串行命令总线测试

由于发射电路与控制电路不在一个仪器短节内,它们之间隔着发射换能器短节、隔声体及接收换

能器短节,距离比较远,走线10 m以上,必须进行专门测试,以确保仪器能正常工作。为此,用16 m普通双绞线连接发射板与控制板串行总线的两端,发送串行命令进行测试。发射电路末端没有并联电容时,串行时钟对串行复位信号影响较大,复位信号上有较大噪声,有些毛刺达到逻辑触发电平,容易引起发射电路误动作。在发射电路复位信号对地并联4.7 nF电容、串行时钟与数据线对地并联69 pF电容后,复位信号噪声明显减弱,尽管复位信号有些失真,但不影响正常应用。当串行总线采用同轴电缆时,传输效果会更好。

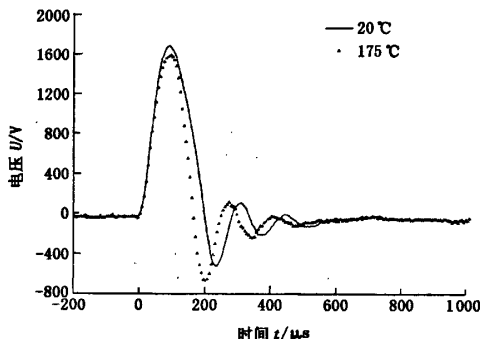


图6 不同温度下偶极激励源的激励信号波形对比

### 4 结束语

使用串行命令总线可有效地减少因控制所需承压电子线路之间的连线资源,避免了发射电路工作时对其他数字电路和模拟电路的影响。非发送命令时刻,串行时钟总线处于“静止”状态,不产生干扰。基于CPLD的程控大功率井下多极子声波换能器激励源由于采用了可编程器件,减小了电路体积,提高了性能,而且控制方便灵活。系统可在不重新设计电路板的情况下升级发射控制电路系统,为系统改进和扩展提供了有利条件。该激励源所有器件都经过严格的温度测试和筛选,保证系统可在150  $^{\circ}\text{C}$ 环境下稳定工作,适于井下高温高压恶劣环境应用。

#### 参考文献:

- [1] 杨晖,张凤言. 大规模可编程逻辑器件与数字系统设计[M]. 北京:航空航天大学出版社,1998.
- [2] Lattice Semiconductor Corp. ispLSI10161883 data sheet [M]. 2002 [2005-02-12]. <http://www.latticesemi.com/lit/docs/military/1016-mil.pdf>.
- [3] 冯若. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社,1999.
- [4] 电子变压器专业委员会. 电子变压器手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.

(编辑 修荣荣)