

# 电子模拟声系系统的设计

孙东利 幸奠琼 赵广平 杨帆 吕秋良

(大庆钻探工程公司测井公司仪器维修中心 大庆 613412)

**摘要:** 针对目前检测声波电子线路时,存在精度低,误差大,耗时耗力等问题,设计了一种基于电子技术的模拟声系系统,该系统由主控制电路、发射脉冲接收电路、信号发生及整形电路、时差显示及调节电路等组成。系统在电子线路声波发射脉冲的作用下产生四路波列信号,波列信号的时差及首波幅度等参数均可实时显示,并可通过按键实现精确调整。通过实验测试及实际应用表明,该系统的各项指标达到了设计要求,体积小,操作简便,精度高,误差小,适合现场及各种测试场合的使用。

**关键词:** 声波测井仪;模拟声系;声波时差;电子线路

**中图分类号:** TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

## The design of the Sonic tool to simulate acoustic system

Sun Dongli Xing Dianqiong Zhao Guangping Yang Fan Lv Qiuliang

(Well Logging of Daqing Drilling Engineering CO., Daqing 613412, China)

**Abstract:** Sonic tool maintenance and testing of electronic circuit need the acoustic wave signal that the sound system probes supply, but as the abnormal signal caused by the degrees of coupling in the sink and in cased well of the sound system, so the testing work will encounter some influence. To solve this problem, this article designs a set of electronic simulation sound system which can link sound electronic circuit directly, this system can make four wave signals under the action of the pulse producing by the sound, the jet lag of the wave signal and the first wave parameters such as amplitude can real-time display, and which can make precise adjustment by the keys. The experiment test and practical application show that each metric of the simulation sound system meets the design requirements. The system is small size and simple operation, so it is very suitable for the scene and the use of various.

**Keywords:** sonic tool; sound simulation system; acoustic time

## 1 引言

从声学上讲,声波测井属于充液井孔中的波导问题<sup>[1]</sup>,而声速是流体最基本的热力学性质之一<sup>[2]</sup>。随着石油勘探的快速发展,声波测井在地层评价、石油工程、采油工程等领域发挥着越来越重要的作用。但长期以来,对声波电子线路的检测存在检测过程烦琐,稳定性差,精度低,误差大等问题,严重影响正常的生产,影响测井质量。

传统的检测声波电子线路,主要是通过将声波的测量探头放入充满清水的套管刻度井中耦合出波形,才能对电子线路进行详细的检测和维修。而测量探头被包在皮囊内,皮囊与水充分耦合需要一个过程,因此检测过程烦琐,同时每个声波探头的耦合度不一致,其电子线路检测结果的一致性很差,误差大,精度低<sup>[3-4]</sup>。

目前电子技术的广泛应用给电子线路的检测带来了福音,由于声波测井仪主要测量的是声波时差,而关于时间差的测量,近几年产生了以数字门电路的时延为基准的高精度时间差测量技术,可以实现较高的时间差测量精度<sup>[5]</sup>。只需要通过电子技术模拟声波探头的发射波形,定时发送所需的声波波列信号,就能为电子线路提供标准的波形,提高了电子线路检测的精度、效率,对于快速检修声波电子线路提供了保障。

## 2 声波测井时差计算原理

以单发四收的声波测井仪器为例,其组成结构如图1所示,最上端为声波线路,声系中从上到下依次为接收换能器R1~R4,发射器T在声系下部<sup>[6]</sup>。当地面系统向声波电子线路下发射命令时,电子线路产生一个发射脉冲给声系中的发射器T,声波探头便发射一次,接收换能器

R1~R4同时接收,并将信号上传给电子线路。测井时,随着仪器的提升,接收器 R1~R4 依次通过同一测量井段  $h_1$ ,可计算出 3 个高分辨率时差:

$$\Delta t_1 = [(TR1)1 - (TR2)2] / d \quad (1)$$

$$\Delta t_2 = [(TR2)N + 2 - (TR3)N + 3] / d \quad (2)$$

$$\Delta t_3 = [(TR3)2N + 3 - (TR4)2N + 4] / d \quad (3)$$

取平均值,便得到该测量井段的高分辨率时差值<sup>[7]</sup>:

$$\Delta t = (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) / 3 \quad (4)$$

式中,各传输时间由  $(TR_x)n$  表示,  $x$  为接收器序号 1~4,  $n$  为发射器 T 的发射次数,其中  $N$  为声波探头的移动距离  $h_1 (=d)$  时所发射的次数。

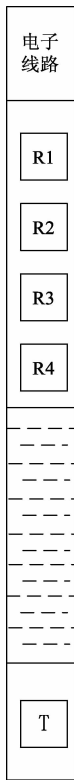


图 1 声波仪器结构示意图

### 3 模拟声系电路设计

根据上文的分析可知,模拟声系所要实现的功能应该包括接收电子线路的声波发射脉冲信号,并根据实际测试需要输出不同参数的波列信号。据此本文设计的模拟声系硬件电路由主控制电路、发射脉冲接收电路、信号发生及整形电路、时差显示及调节电路等组成,其基本原理框图如图 2 所示。

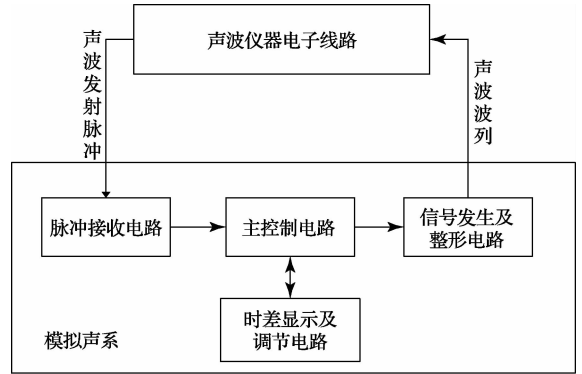


图 2 系统基本原理

#### 3.1 发射脉冲接收电路

当地面系统向声波仪器下发测井命令时,声波线路会给声系产生一个高压发射脉冲,由于声波发射脉冲属于高压信号,能够达到几百伏以上,因此需要小心处理,以免对操作人员以及仪器本身造成伤害。本电路采用隔离光耦、反相器、大功率电阻及其他器件构成。将发射脉冲信号整形处理后转换成主控处理电路可用的脉冲信号,用于触发主控电路内的脉冲检测电路,如图 3 所示。

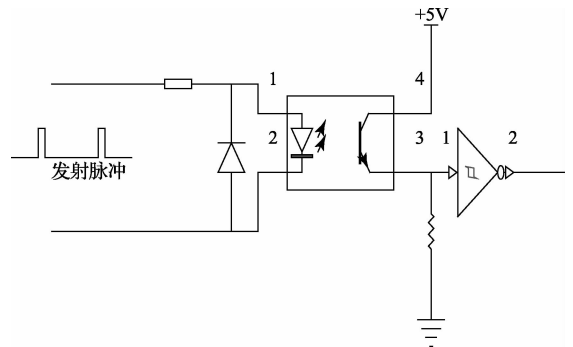


图 3 发射脉冲接收电路

#### 3.2 主控制电路

主控制电路检测到发射脉冲信号后,按已设置好的参数将后续电路所需数据通过 SPI 总线输出给 D/A 转换芯片,在保证首波极性、幅值大小等按要求输出的前提下,主控电路还需要根据时差参数的设置,精确控制各路信号的输出时间,以实现地对地层波列信号的模拟。同时负责显示与按键控制的单片机将所设参数包括首波幅值、时差、履行时间、首波极性等通过数码管显示出来,并检测按键控制操作,以保证用户可随时更改输出信号波列的各项参数,模拟各种地层环境的测井作业。

### 3.3 信号发生及整形电路

信号发生电路是根据主控电路输出值,将参考电压源的输出信号作为基准实现数字量到模拟信号的转换<sup>[8]</sup>。本电路利用电压输出 DAC 芯片 AD5541、基准电压源 ADR421BRZ 以及用作基准电压缓冲的自稳零运算放大器 AD8628,可实现精密数据转换<sup>[9]</sup>。这些零漂放大器将低成本与高精度、低噪声特性融于一体。

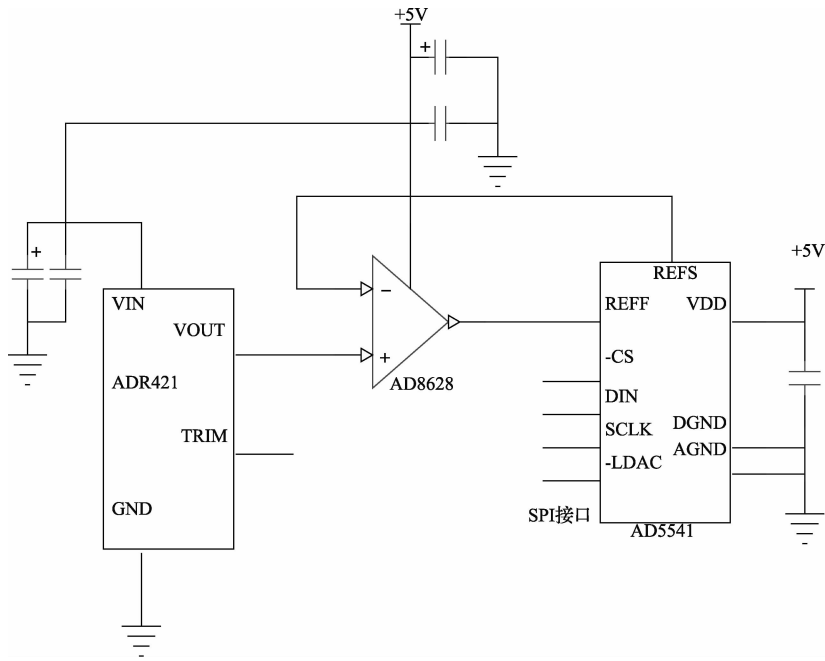


图4 信号发生电路

### 3.4 时差显示及调节电路

在测量不同的地层结构时,声波时差及幅值等参数都会有一定程度的不同,在常见地层中,声波在泥岩中传播速度最快(每米用时  $125 \mu\text{s}$ ),在灰岩中最慢(每米用时  $556 \mu\text{s}$ )。因此,模拟声系的时差及履行时间应该能够根据需要进行随时调节且具有足够大的可调范围,才能充分测试电子线路的工作性能。本电路采用数码管实时显示当前输出信号的首波极性,声波时差,首波幅值等参数信息,使用者可以根据实际需要通过对按键调节输出波形参数。

## 4 软件设计与系统功能

系统的主控制电路设计了一个主控芯片和3个从控制芯片,分别控制4个通道的波形信号的产生。主控制芯片负责按键信息处理,存储设置参数,显示控制,以及对从控制芯片的参数下发。主控芯片上电复位后进入初始化状态,此时读取片内 E<sup>2</sup>PROM 存储的设置参数,并且定时将参数发送给对应通道的从控制芯片,各控制芯片按照此

无需外部电容,而且与大多数斩波稳定放大器相关的数字开关噪声大大降低,因此这种放大器是基准电压缓冲的最佳选择。此时的 D/A 输出信号波形并不圆滑且含有高阶干扰信号<sup>[10]</sup>。因此,利用一个二阶带通滤波电路对信号作进一步处理,限幅和滤波后经过第二级跟随放大进行阻抗变换,最后通过变压器将信号转换为差分信号输送给电子线路,如图4所示。

参数配置好 DA 芯片,在接收到声波发射脉冲后即输出声波模拟信号,通过一系列整形电路后上传至声波电子线路进行采集<sup>[11]</sup>。在此过程中,主控芯片不断扫描按键状态,一旦有新的参数设置,主控芯片将把此参数立即下发给从控制芯片,并将此参数保存在 E<sup>2</sup>PROM 存储器,保证参数在仪器关电后不会丢失。用户可以通过数码显示电路实时观察当前各通道波形的设置参数,以便与采集到的声波波形信号进行对应,了解仪器的工作状态。从控制芯片的工作流程则相对简单,上电复位后,进入初始化状态,等待主机下发参数设置命令,按命令内容配置好相应电路参数后,每次接收到声波发射脉冲,则立即开始输出模拟声波信号,经滤波整形后上传至声波采集电路<sup>[12]</sup>。

为了能够模拟各种常用地层信息,用户可根据实际需要首波极性、首波幅值、履行时间、时差等参数进行设置。其中首波极性正负可设,首波幅值按比例设置(0~255 可选),首波履行时间可设范围 0~300 ms,时差可设范围 0~200 ms,实现对电子线路的全面测试。其波列发生逻辑如图5所示。

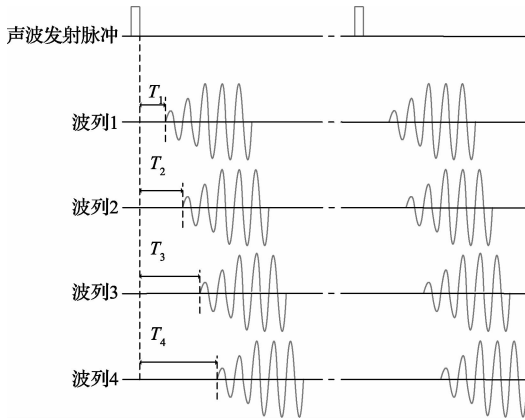


图 5 模拟声系波列发生逻辑示意

## 5 应用实例

在以往的仪器维护保养和检修时,为了验证仪器性能,一般采用的是水槽或者标准钢管套井,但是在实际应用中,由于环境差异或者操作习惯的不同,造成测试精度不高,因此仪器的准确性和一致性并不能很好地保证。为了适应新测井系统平台的需要,使用了本系统作为仪器验收、维护等工作的主要设备,其操作省时省力,简单易用的特点得到了很好的体现,最主要的是其测试的准确性,以某批次 10 支声波仪器的验收情况来看,其在套管井中测得的时差数据如表 1 所示。

表 1 套管井中仪器的时差数据  $\mu\text{s}$ 

仪器号	高分辨率时差	补偿时差
1#	187	187
2#	187	189
3#	190	187
4#	187	187
5#	187	188
6#	188	187
7#	187	187
8#	188	188
9#	187	187
10#	185	186

测量电子模拟声系的时差数据如表 2 所示。

表 2 测试电子模拟声系的仪器时差数据  $\mu\text{s}$ 

仪器号	高分辨率时差	补偿时差
1#	187	188
2#	187	187
3#	187	187
4#	187	187
5#	187	187
6#	187	187
7#	188	187
8#	187	188
9#	187	187
10#	185	186

通过以上两组数据的对比可知,在套管井中所测得的仪器数据,有个别仪器的测试结果出现一定误差,但是具体原因是由于仪器测量不准确导致,或是测试时仪器在井中不居中导致,并不能准确判断。而利用电子模拟声系所测得的仪器数据,一致性体现的非常好,并且其与模拟声系所设置的参数对应的理论值也完全吻合,因此说明其测试结果能够准确可靠的反映了仪器的工作状态。

## 6 结 论

声波电子线路连接探头测试时,如果声系存在耦合不好或者在套管井里不居中等现象,都会导致信号变差,如果不能将线路和探头分离测试,将难以区分仪器故障原因是电子线路问题还是探头影响,降低了测试或维修的准确性和效率。模拟声系提供的是标准的声波模拟信号,其信号幅度和时差都能实现精确调整,因此可以作为标准化的声波仪器调试设备,为声波线路提供统一的调试参考信号,容易进行对比调试,调试好的线路可以进行声系探头的互换连接,实现仪器检验的标准化,保证了测井曲线的可对比性。另外由于其体积小,方便携带,操作简便,也十分适合测井小队随队配备,这样就可以在现场对声波仪器问题进行快速判断,提高测井作业效率。

## 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.
- [2] 尹钊玮,冯晓娟,林鸿,等. 高压气体声速精密测量系统的研制与测试[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(4): 774-779.
- [3] 王三,向泽燕,杨峰. SDZ-5000 快速测井平台声波模拟声系的研制[J]. 内江科技, 2011, 32(9): 125-125.
- [4] 黄芳,张士中,彭美霞,等. 三组合 CBL 测井仪模拟器的研制[J]. 石油仪器, 2009, 23(1): 41-42.
- [5] 陈洁,余诗诗,李斌,等. 基于双阈值比较法超声波流量计信号处理[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(11): 1024-1033.
- [6] 卢俊强,鞠晓东,门百永,等. 基于 ARM 的声波测井仪发射声系测试方法研究[J]. 测井技术, 2010, 34(4): 389-392.
- [7] 赵科佳,张爱敏,徐清华,等. 数字式双混频时差测量系统的试验研究[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(12): 2858-2865.
- [8] 徐知. 中频数字化与矢量网络分析仪在脉冲状态下的测量[J]. 国外电子测量技术, 2014, 23(12): 15-20.
- [9] 陈曦,邓振森,焦计平. 多通道高速相参同步数据采集

集与存储系统设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(12): 104-107.

- [10] 王飞. 基于 FPGA 的多通道高分辨率时间数字转换系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(6): 664-669.
- [11] 兰羽, 万可顺. 基于 AT89C51 的无线温度采集系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(6): 83-85.
- [12] 胡斌, 武向娟, 王少辉, 等. 地温传感器现场校准多

通道采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 109-112.

## 作者简介

孙东利, 工程师, 2009年毕业于南京大学构造地质学专业, 目前在大庆钻探工程公司测井公司仪器维修中心从事测井仪器研发制造与维修工作。

E-mail: sundl2002@sohu.com

(上接第10页)

## 参考文献

- [1] 袁慧梅, 杨均友. 基于 NiosII 处理器的无线电力参数监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(9): 44-45.
- [2] 刘晓波, 邓计才. 基于 CS5484 的电力参数测量装置设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014(1): 40-43.
- [3] 朱启贵, 王焯, 牟宪民. 10kV 配电网电力线载波检测系统[J]. 电测与仪表, 2014, 51(2): 10-13.
- [4] 田海, 袁有扩, 王凤勇, 等. 基于无线远程的备自投及配电参数的监控系统[J]. 电测与仪表, 2014, 51(4): 92-95.
- [5] 谈加西, 乐秀璠, 张丽丽. 基于 ZigBee 的电力参数无线测量[J]. 电力系统通信, 2010, 31(207): 47-51.
- [6] 王瑞, 张晓海. 基于组态王的校园配电监控系统设计[J]. 石河子大学学报, 2012, 30(1): 120-124.
- [7] 张涛, 陶保振, 孙峰. 基于远程抄表的自取电小型智能通信装置[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 72-75.
- [8] 贺静丹, 滕召胜, 温和, 等. 单相多功能电能表设

计[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(1): 89-95.

- [9] 赵伟, 孟志强. 基于 GPRS 的通信基站用电监测终端[J]. 微机计算机信息, 2010, 26(35): 29-30.
- [10] 翟亚芳, 李正斌, 张修太, 等. 基于 ARM 的智能三相电力监控仪表设计[J]. 电子器件, 2014, 37(5): 996-999.
- [11] 龚文超, 吴猛猛, 刘双双. 基于 CC2530 的无线监控系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2012, 35(6): 33-36.

## 作者简介

王凌云, 副教授, 硕士生导师. 主要研究方向为光电仪器与检测技术的研究。

袁春生, 硕士研究生, 主要研究方向为现代测试计量技术与质量控制。

E-mail: yuanchunsheng342@163.com

于大洋, 副教授, 硕士生导师. 主要研究方向为电力系统调度运行与检修技术。