

# 多功能超声波检测系统的信号采集 及放大电路模块的研制

钱忠<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650093;

2. 攀钢集团 攀枝花钢铁研究院, 四川 攀枝花 617000)

**摘要:** 针对传统超声波探伤仪在进行在线检测时存在抗干扰能力差、灵敏度低等缺点, 通过对超声波检测系统原理的介绍, 设计了一种用于多功能超声波检测系统检测信号的采集及放大电路模块. 文中主要介绍了构成该电路模块的同步电路、触发—发射电路、限幅—放大—检波电路、模块增益调节电路等 4 种电路的结构设计、工作原理及性能特点. 该电路模块较好地解决了超声波探伤在在线检测时存在抗干扰能力差、灵敏度低等缺点.

**关键词:** 超声波检测; 信号采集; 信号放大; 电路模块

**中图分类号:** TP216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X (2006) 03 - 0041 - 05

## Study on a Circuit Module for Signal Collecting and Amplifying of an Multi - Functional Ultrasonic Detection System

Q AN Zhong<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Panzhihua Iron and Steel Research Institute, Panzhihua, Sichuan 617000, China)

**Abstract:** According to the shortages of the traditional ultrasonic detectors in online inspection, such as low anti - interference capability and sensibility, through introducing the theory of ultrasonic detection system, a circuit module for signal collecting and amplifying of multi - functional ultrasonic detection system is designed. It is introduced the structural design, working principles and performance of the four circuits of the module, i.e. synchronous circuit, trigger - transmitter circuit, clipping - amplifying - detection circuit and gain control circuit. The circuit module satisfactorily solves the existing demerits of low anti - interference capacity and low sensibility of traditional ultrasonic defect detectors when doing on - line inspection.

**Key words:** ultrasonic detection; signal collecting; signal amplifying; circuit module

### 0 引言

作为一种重要的无损检测技术, 超声波检测具有穿透能力强、设备简单、使用条件和安全性好、检测范围广等优点, 因此在工业生产中得到广泛应用. 尤其是随着工业自动化程度的提高, 要求将无损检测技术直接运用于工业生产的每一步, 以实现生产全过程的在线检测和实时监控. 近年来, 随着电子和计算机技术的发展, 国外的数字式超声波检测设备已得到了相当程度的发展, 如美国 Krautkramer 公司生产的 USD10 型和 Adaptionics 公司生产的 ALN4060 型智能探伤仪等; 国内的数字化超声波检测设备也得到了一定的发展, 但仍处于探索阶段. 目前, 国内使用的超声波在线检测设备多是传统的模拟式探伤仪, 不但远远落后于生产工艺, 而且抗干扰能力差, 灵敏度低, 盲区大, 已不能满足现代化生产的需要; 进口成套的超声

收稿日期: 2005 - 12 - 08

作者简介: 钱忠 (1967 ~), 男, 工程硕士. 主要研究方向: 工业自动化与网络控制. E - mail: qianabc@21cn.com

波检测设备,不仅价格昂贵,而且还存在因现场环境、工艺条件等因素的制约,往往不能达到预期效果.正是基于这一需求,才开发了这种与计算机技术相结合的信号采集与放大电路模块<sup>[1-3]</sup>.

### 1 超声波检测系统原理

由图 1 可知,同步电路产生的同步脉冲分成两路:一路经触发电路控制发射电路发出电脉冲;另一路送至计算机系统,控制数据采集卡同步采集数据.使整个系统同步、稳定地工作.

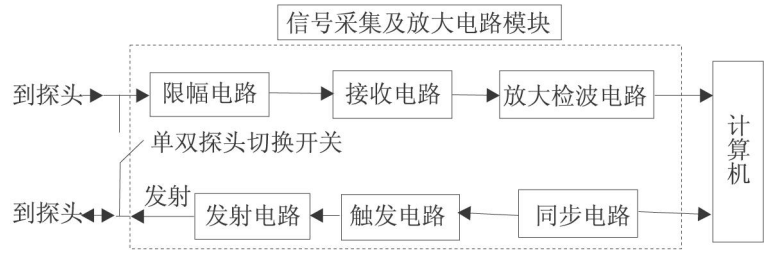


图1 超声波检测系统的原理框图 Fig. 1 Block diagram of ultrasonic inspection system

由发射电路发出的高压脉冲,激励超声换能器(探头晶片),使之发出超声波

该超声波在介质中传播时遇到伤痕或底面被反射回来,由于换能器(探头晶片)的可逆效应,反射回来的超声波又转换成电脉冲送至信号采集及放大电路模块,经限幅、放大、检波整形后,输出至计算机系统.

单双探头切换开关的作用是对单、双探头的切换.当使用单探头时开关闭合,此时超声波的发射和接收源于同一探头;当使用双探头时开关断开,此时,超声波的发射和接收分由两个独立的探头完成<sup>[4]</sup>.

### 2 信号采集及放大电路模块的原理及特性

为适应不同应用场所的需要,模块设计成了 4 种规格: 4 通道输入、8 通道输入、12 通道输入、16 通道输入.

由于现场工作环境复杂,电源干扰、电磁辐射干扰严重,又是弱信号放大,因此在电路设计时必须严格控制内部噪声,防止各种外部干扰.

为确保模块各通道输出信号的质量和可信度以及通道间的可互换性,每个通道都采用独立的电路设计.

为防止发射脉冲对放大电路的重复干扰,克服因增减探头引起其他通道灵敏度变化的缺点,在电路设计上采用了多通道同时触发、独立发射,各通道间以及通道与触发电路之间完全隔离的设计方案<sup>[4]</sup>.

#### 2.1 同步电路的设计

同步电路的原理如图 2 所示.其中,振荡电路为频率可调的标准方波发生器,其输出信号分成两路:一路经电容耦合至触发电路;另一路经整形后送至计算机,作为计算机控制 A/D 卡采样的同步信号.

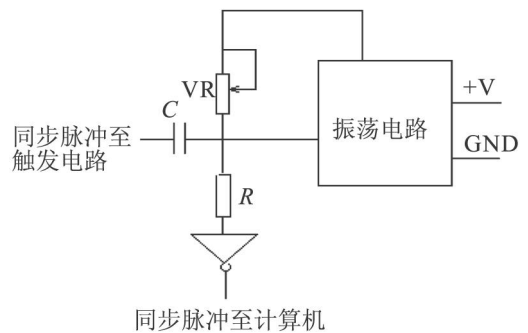


图2 同步电路原理图 Fig. 2 Diagram of synchronous circuit

不同的探伤工艺要求用不同的重复频率,目前国内生产的探伤仪大部分为固定重复频率,适应范围较小.为满足不同探伤工艺要求,在电路设计中将重复频率设计成在 200 ~ 2 500 Hz 之间连续可调,克服了传统探伤仪重复频率不可调、适应范围小的缺点.

#### 2.2 触发、发射电路的设计

触发、发射电路原理如图 3 所示. T1, T2 组成高频振荡电路,其振荡脉冲经 TR 升压,电容 C 及二极管 D1, D2 倍压整流、电容 C1, C2 滤波后,通过电阻 R 对电容 C3 充电,为发射脉冲激发探头产生超

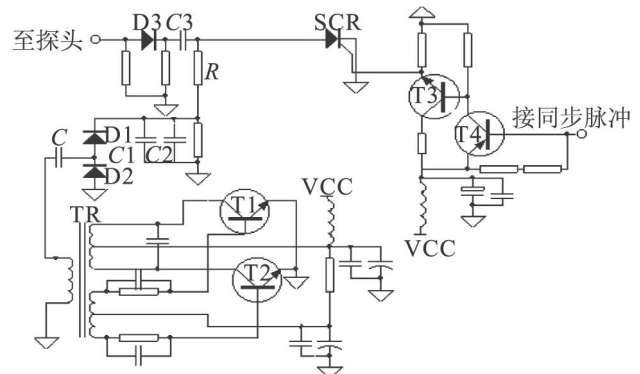


图3 触发、发射电路原理图 Fig. 3 Diagram of trigger-transmitter circuit

声波积蓄能量.

同步电路发出的同步脉冲经 T3, T4构成的触发电路放大后,触发 SCR 导通,使 C3通过探头的晶片、D3, SCR 放电,激发探头晶片使其发出超声波.

通道间采用独立的电路设计,克服了通道之间的相互干扰以及增减探头时引起其他通道灵敏度变化的缺点.

### 2.3 限幅、放大及检波电路的设计

限幅、放大及检波

电路原理图如图 4 所示.由于探头输出的缺陷信号很弱,现场工作环境又非常复杂,电源干扰、电磁辐射干扰严重,因此对放大器的质量要求很高.为了确保模块的输出质量,电路设计时采用了 A/D 公司生产的高精度运算

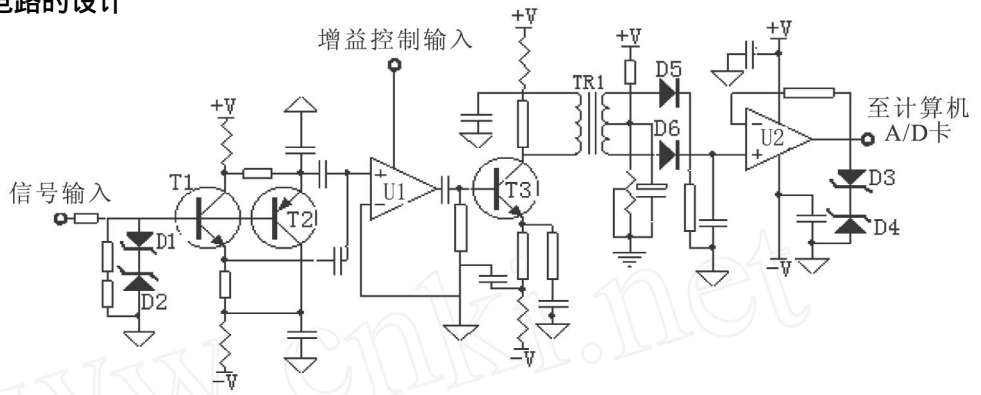


图4 限幅、放大及检波电路原理图  
Fig. 4 Diagram of clipping-amplifying-detection circuit

放大器作为探伤信号的主放大器.该器件具有精度高、灵敏度高、线性度好、双通道(每个通道的增益独立控制)、增益高且连续可调(增益控制电压和增益的 dB 值成正比)、低噪声、低功耗、频带宽、高输出电压(为 2V)等优点.能满足复杂条件下弱小信号放大的要求.

为了获得理想的增益,在电路设计中,将放大器的两个放大通道设计成级联放大模式,即将通道 1 的输出信号作为通道 2 的输入信号;增益控制采用顺序连接模式,即将两个通道的增益控制输入端并连到一起,由增益调节电路的输出信号控制,有效的解决了弱信号放大的技术问题.

电路中加入由 T3, TR1 组成的信号耦合电路及 D5, D6 组成的检波电路,能有效的抑制干扰,提高信噪比.检波后的探伤信号 U2 缓冲后输入至计算机.

当使用单探头时,由探头来的探伤信号和高压发射脉冲同时进入探伤仪的接收电路,为了确保接收及放大电路的安全、可靠,在接收电路的前端加入了由 D1, D2 组成的限幅电路,限制进入接收电路的电压幅值.

### 2.4 模块增益调节电路的设计

模块的增益调节设计成手动和自动两种调节方式,如图 5 所示.通过 PN 选择.当 PN 的 1, 2 脚短接时,放大器的增益通过改变电位器 VR 的阻值实现增益控制的手动调节;当 PN 的 2, 3 脚短接时,放大器的增益由计算机输出的增益控制信号实现增益控制的自动调节.

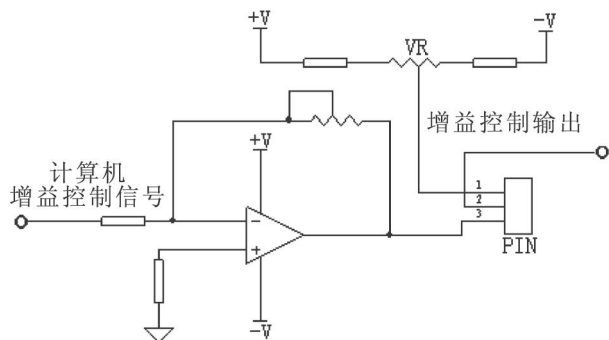


图5 电路模块增益调节电路原理图  
Fig. 5 Diagram of gain control circuit of the circuit module

### 3 放大电路模块在钢轨在线检测系统中的应用

应用环境:攀钢轨梁厂 2 号探伤线,钢轨速度:1 m/s,检测部位:轨头、轨腰、轨底.探头耦合方式:接触水耦合.硬件搭配:计算机:研华

IPC - 610 系列工控机,信号采集卡:研华 PCI- 9812 高速数据采集卡,16 通道信号采集与放大电路模块(重复频率:1 kHz).

### 3.1 应用效果

标准样轨缺陷的在线伤波图谱如图 6 所示。

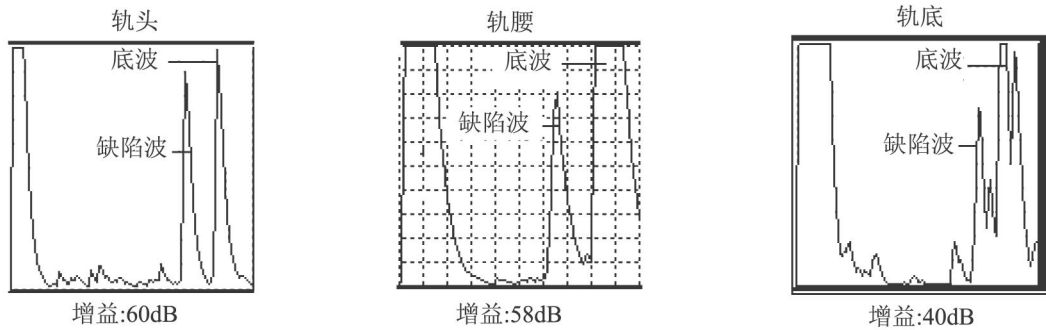


图6 标准样轨缺陷的在线伤波图谱

Fig. 6 Waveform of online defect wave of a standard sample rail

与传统超声波探伤仪的实测比较,如表 1 所示。其中,标准样轨缺陷,探伤重复频率为 500 Hz,伤波强度、噪声强度为百分比值。

表 1 实测比较值

Tab 1 Comparable value of real-time measurement

试样名称	缺陷名称	探伤频率 /MHz	信号采集与放大电路模块			传统超声波探伤仪		
			增益 /dB	伤波强度 /%	噪声强度 /%	增益 /dB	伤波强度 /%	噪声强度 /%
轨头	2平底孔	5	60	90	10	60	78	25
轨腰	2平底孔	5	58	80	6	58	64	16
轨底	1 ×1 中心槽	5	40	73	18	40	59	22

### 3.2 放大电路模块的主要技术指标<sup>[7]</sup>

对比测试仪器: ZJ-2 型超声探伤仪检定装置(生产厂商:中国测试技术研究院)。

可得以下指标。

1) 超声波探伤仪的水平线性误差如表 2 所示。

表 2 超声波探伤仪的水平线性误差

Tab 2 Level linear errors of a ultrasonic defect detector

脉冲序号	1	2	3	4	5	6
脉冲位置	0	2.02	4.05	6.04	8.01	10
对应偏差	0	0.02	0.05	0.04	0.01	0

则此得知探伤仪的水平线性误差为:  $L = 0.5\%$

2) 超声波探伤仪的垂直线性误差(如表 3 所示)。

表 3 超声波探伤仪的垂直线性误差

Tab 3 Vertical linear errors of a ultrasonic defect detector

衰减量 /dB	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
理论值 /%	100	79.4	63.1	50.1	39.8	31.6	25.1	20.0	15.8	12.5	10.0	7.9	6.3	5.0
实测值 /%	100	81	63	49	38	29	22	17	13	10	7	6	5	3
绝对偏差	0	1.6	-0.1	-1.1	-1.8	-2.6	-3.1	-3	-2.3	-2.5	-3	-1.9	-1.3	-2

由此得知,探伤仪的垂直线性误差为:  $= 4.7\%$

3) 增益衰减量误差:每衰减 12 dB 误差约为 0.5 dB

4) 动态范围: 30 dB

5) 电噪声电平: 15%

6) 增益范围: 0 ~ 80 dB

- 7) 工作频率范围: 0.5 ~ 10MHz
- 8) 重复频率范围: 200 ~ 2 500 Hz
- 9) 工作方式: 单晶片探头发射接收、双晶片探头 (或双探头) 分别发射接收

#### 4 结束语

由测试结果可知:

1) 信号采集与放大电路模块的灵敏度、信噪比及抗干扰能力明显优于传统超声波探伤仪, 主要技术指标均优于国家计量检定规程规定的技术指标. 尤其是 0.5% 的水平线性误差 (检定规程规定为 2%) 和 4.7% 的垂直线性误差 (检定规程规定为 8%) 都大大低于检定规程规定的指标, 处于国内同类设备的先进水平.

2) 该模块较好地解决了钢轨在线自动超声波探伤系统中对弱信号的接收、放大及降噪等技术问题, 解决了用传统的超声波探头满足高标准探伤要求的技术问题, 降低了超声波探伤检测设备的成本.

3) 通过改变放大电路的同步脉冲频率, 配合相应的计算机软件, 该模块可适用于多种生产工艺的在线自动超声波检测, 如: 钢管、轧辊等生产线的在线超声波检测. 具有良好的经济效益和社会效益.

#### 参考文献:

- [1] 陈文革, 魏劲松. 超声无损检测的应用研究与进展 [J]. 无损检测, 2001, 25(4): 1 - 3.
- [2] 刘镇清, 刘饶. 超声无损检测的若干新进展 [J]. 无损检测, 2000(9): 403 - 405.
- [3] 蒋伟平. 超声波探伤仪及数字化超声波探伤仪 [J]. 无损检测, 1997, 19(2): 55 - 59.
- [4] 陈积懋. 超声检测新技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 438 - 463.
- [5] 江晓安, 杨有瑾, 陈生潭. 计算机电子电路技术——电路与模拟电子部分 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002: 107 - 269.
- [6] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1981: 427 - 441.
- [7] 超声探伤仪检定规程. JJG746 - 91. 中华人民共和国国家计量检定规程 [Z]. 国家技术监督局 1992 年发布. 1992

(上接第 25 页)

- 2) 产生的锡粉质量高, 主要包括: 纯度高, 粒度细, 特别适合某些电子浆料和焊料.
- 3) 工艺流程短, 一步即可制备出产品, 操作简单.
- 4) 熔化的锡可以随时补充到反应室, 可实现连续给料、连续反应、连续制粉的全过程, 为工业应用提供了一条切实可行的途径.
- 5) 为具有沸点高、熔点低, 较低蒸汽压等性质的金属、合金及其氧化物、氮化物等超细粉末的制备合成提供了新途径.

#### 3 结论

1) 采用电弧气化法制备了纳米级锡粉, 该方法有着工艺流程简单, 无污染, 工艺条件易控制, 产品质量高, 性能好, 是制备超微粉末的好方法, 也为连续制备其它高纯金属粉末奠定了理论依据和实验基础.

2) 制备的锡粉平均粒径为 0.1  $\mu\text{m}$ , 颗粒形貌为球形, 颗粒较均匀, 纯度大于 99.951% 以上, 粉体的松装密度为 0.46  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

#### 参考文献:

- [1] 徐柱天, 张少明. 免清洗型软钎膏用锡基合金焊粉 [J]. 粉末冶金技术, 1997, 15(2): 130 - 134.
- [2] W LLAM J V. [J]. 有色冶炼, 1990(2): 56 - 57.
- [3] 周甘宁, 王长振, 谭雄, 等. 无铅焊锡的研究进展 [J]. 材料导报, 2003, 8(8): 25 - 27.
- [4] 竺培显, 孙勇, 白海龙, 等. 高活性超细铅粉的研制 [J]. 昆明理工大学学报, 2001, 26(1): 15 - 16.