



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202152923 U

(45) 授权公告日 2012. 02. 29

(21) 申请号 201020685353. 7

(22) 申请日 2010. 12. 23

(73) 专利权人 中国石油天然气股份有限公司  
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

(72) 发明人 王维斌 冯展军 陈健峰 艾慕阳  
佟文强 刘广文 赵丑民 王禹钦  
刘哲 蒋先尧 任重

(74) 专利代理机构 北京市中实友知识产权代理  
有限责任公司 11013  
代理人 金杰 任清汉

(51) Int. Cl.  
F17D 5/06(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

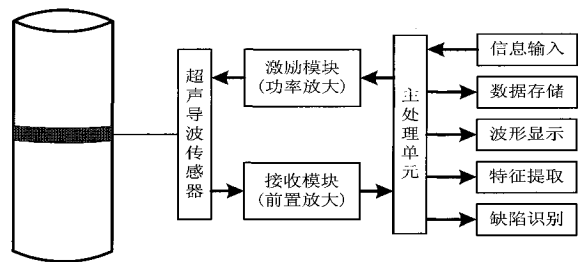
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 实用新型名称

一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统

(57) 摘要

本实用新型是一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统。涉及超声波的测量和管道系统技术领域。它由超声导波传感器、接收模块、激励模块、主处理单元组成，主处理单元输出接激励模块的输入，激励模块输出接超声导波传感器，超声导波传感器输出接接收模块的输入，接收模块的输出接主处理单元的输入，主处理单元的输出有信息输入、数据存储、波形显示、特征提取、缺陷识别。本实用新型操作快速便捷、灵敏度高、重复性与可靠性好。



1. 一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统,其特征是它由超声导波传感器、接收模块、激励模块、主处理单元组成,主处理单元输出接激励模块的输入,激励模块输出接超声导波传感器,超声导波传感器输出接接收模块的输入,接收模块的输出接主处理单元的输入,主处理单元的输出有信息输入、数据存储、波形显示、特征提取、缺陷识别;

有信息输入的主处理单元输出控制信号至激励模块,激励模块输出大激发能量的电信号,由超声导波传感器转化为声能发射超声信号作用于管道;由超声导波传感器接收的信号经接收模块将功率放大及滤波后送主处理单元进行处理,主处理单元将处理的结果输出。

2. 根据权利要求1所述的一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统,其特征是所述激励模块包括放大电路和激发电路,接主处理单元的数据输出端 DataBus 的放大电路输出接激发电路后,由激发电路输出接超声导波传感器端;

其中激发电路由 DAC8820U7 和运算放大器 U8A、运算放大器 U8B、运算放大器 U9A、运算放大器 U9B 组成;U7 的 R1、Rofs 端经电阻 R9 接 +5V 电源,R1、Rofs 端经稳压二极管 D7 与电容 C53 并联接地;U7 的 Rcom 端接运算放大器 U8B 的“-”输入端(6),“+”输入端(5)接地,运算放大器 U8B 的输出端(7)接 U7 的 REF 端;U7 的 Rof 端接运算放大器 U8A 的“-”输入端(2),“+”输入端(3)接地,运算放大器 U8A 的输出端一路接 U7 的 Iout 并在 U7 的 Iout 与 Rof 端之间接电容 C52,另一路经电阻 R10、电阻 R11 与电容 C56 组成的“T”形电路接运算放大器 U9A 的“-”输入端(2),“+”输入端(3)接地,运算放大器 U9A 的输出端(1)一路经并联的电阻 R12 与电容 C59 后接回“-”输入端(2),另一路接运算放大器 U9B 的“-”输入端(6),“+”输入端(5)接地,运算放大器 U9B 的输出端(7)接超声导波传感器的高电压输入端;运算放大器 U9B 和运算放大器 U9A 两个输出均并联至放大器的输入;

其中放大电路它由运算放大器 U606A、运算放大器 U606B 和两只 ADC604YRUZ 的 U607、U608 组成,由滤波电路中的 U605D 端经电容 C620 接运算放大器 U606A 的“+”输入端(3),运算放大器 U606A 的“-”输入端(2)接 U607 的 D 端,U607 的 S1 端接运算放大器 U606A 的输出端(1),且运算放大器 U606A 的输出端(1)与“-”输入端(2)之间接有电容 C624;运算放大器 U606A 的输出端(1)经电容 C625 接运算放大器 U606B 的“+”输入端(5),运算放大器 U606B 的“-”输入端(6)接 U608 的 D 端,U608 的 S1 端接运算放大器 U606B 的输出端(7),且运算放大器 U606B 的输出端(7)与“-”输入端(2)之间接有电容 C626。

3. 根据权利要求1所述的一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统,其特征是所述接收模块包括接收电路、放大电路和滤波电路,接超声导波传感器输出的接收电路之输出依次串接放大电路和滤波电路,滤波电路输出接主处理单元;

其中接收电路为:输入 JLANCE 接 KR9 的端(4),KR9 的端(2)接 +12V,端(3)一经二极管 D101 也接 +12V,二经电阻 R101 接 Q17 的端(3),Q17 的端(2)接地,端(1)接 273U3/Q1;另一 JLANCE 接 KR1 的端(4),KR1 的端(2)接 +12V,端(3)一经二极管 D102 也接 +12V,二经电阻 R102 接 Q9 的端(3),且 Q9 的端(3)经电阻 R103 与发光二极管 LED9 至 +12V,Q9 的端(2)接地,端(1)接 273U2/Q1;KR9 的端(1)与 KR1 的端(1)连接后经电阻 R104 接 U101 的端(2),而 U101 的端(2)还有第一路接二极管 D103 和 D104 正向串联及反向串联到地,还有第二路接正反向并联的二极管 D105 后一路接 U101 的端(3),二再接并联的电阻 R105 与电容 C102 到地,第三路接并联的电阻 R106 与电容 C103 到 U101 的端(6);U101 的端(4)

接 -5V, 端 (7) 接 +5V, 端 (5) 和端 (14) 输出;

其中接收电路之后接的放大电路为: 由运算放大器 U606A、运算放大器 U606B 和两只 ADC604YRUZ 的 U607、U608 组成, 由滤波电路中的 U605D 端经电容 C620 接运算放大器 U606A 的“+”输入端 (3), 运算放大器 U606A 的“-”输入端 (2) 接 U607 的 D 端, U607 的 S1 端接运算放大器 U606A 的输出端 (1), 且运算放大器 U606A 的输出端 (1) 与“-”输入端 (2) 之间接有电容 C624; 运算放大器 U606A 的输出端 (1) 经电容 C625 接运算放大器 U606B 的“+”输入端 (5), 运算放大器 U606B 的“-”输入端 (6) 接 U608 的 D 端, U608 的 S1 端接运算放大器 U606B 的输出端 (7), 且运算放大器 U606B 的输出端 (7) 与“-”输入端 (2) 之间接有电容 C626;

其中滤波电路由两只 ADC608YRUZ 的 U502、U602、三只 LTC1562 的 U503、U504、U604 和两只 ADC604YRUZ 的 U505、U605 组成; 2734U4/Q1、2734U4/Q2、2734U4/Q3 分别接 U502 的 A0、A1、A2 端, U502 的 S1、S2 端各接电容 C506、电容 507 后共同接 U503 的端 (1), S3、S4 端各接电容 C508、电容 C509 后共同接 U503 的端 (10), S5、S6 端各接电容 C510、电容 C511 后共同接 U504 的端 (20), S7、S8 端各接电容 C512、电容 C513 后共同接 U504 的端 (1); U602 的 S1、S2 端各接电容 C606、电容 C607 后共同接 U604 的端 (1), S3、S4 端各接电容 C608、电容 C609 后共同接 U604 的端 (10), S5、S6 端各接电容 C610、电容 C611 后共同接 U504 的端 (11), S7、S8 端各接电容 C612、电容 C613 后共同接 U504 的端 (10); U503 的端 (19)、端 (12) 与 U504 的端 (19)、端 (2) 分别接 U505 的 S1、S2、S3、S4 端; U604 的端 (19)、端 (12) 与 U504 的端 (12)、端 (9) 分别接 U605 的 S1、S2、S3、S4 端; U505 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3, U605 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3。

## 一种基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型是一种基于超声导波聚焦的对埋地长输管道进行缺陷检测的方法和系统,涉及超声波的测量和管道系统技术领域。

### 背景技术

[0002] 管道缺陷检测是管道安全运行的保证,是一种有效的投资。到目前为止,我国已建成并投入运营的长输油气管道已超过 6 万公里。随着管道使用年限的增长,这些长输油气管道受到来自内、外两个环境的腐蚀也在加剧。内腐蚀主要由输送介质、管内积液、污物以及管道内应力等联合作用形成;外腐蚀通常因涂层破坏、失效产生。这些都将增加管道的不安全因素。尤其是东北的老管道,经过几十年的运营,已逐渐进入“浴盆曲线”的后期的事故频发段。但是,这些在役的老管道不可能也没有必要废弃(有些只是部分严重失效,而其他部分无失效或轻度失效),只要相对少的投入对管道进行定期缺陷检测、评价,有计划、有针对性地维护修理,就可以延长这些在役的老管道的使用寿命。主动进行有计划的“修复”比管道事故后的“抢修”代价小得多,能有效避免恶性事故的发生,提高社会效益和经济效益。修复的基本要求之一就是埋地管道腐蚀情况的准确检测与评价,其结果对管道的安全运营起着关键作用。

[0003] 目前对管道管体常用的检测手段主要分内检测和外检测两部分,内检测主要针对长输干线管道效果最佳。但检测费用高,需要收发球筒装置,不便进行复杂支线或站场检测。而且在具体操作细节上对管道内部诸多因素存在特殊要求。外检测主要有常规无损外检测和超声导波检测等,常规无损外检测包括常规超声、磁粉和渗透等方法,可检测管道的壁厚和腐蚀缺陷,及焊缝内部的缺陷等,适用于筛查后对特定部位的复检。工作量大,需开挖剥除防腐层和接触管壁,只限于对开挖点进行检测。超声导波检测可以对开挖点两侧一定距离进行检测,适用于复杂工艺管线或站场。

[0004] 实际工程中往往存在大量不便于实施内检测的管段,开挖检测又不能做到完全覆盖全管段,因此迫切需要一种非开挖的管道管体检测技术,从而减轻管道检测的工作难度,降低管道检测费用。

### 实用新型内容

[0005] 本实用新型的目的是设计一种激发能量更大、精度和定位更准确的基于导波聚焦扫描的管道缺陷检测系统。

[0006] 本实用新型是利用换能器激发超声信号并且调整振幅因素与时间延时,使超声波聚焦在管道中任何预定位置,并采用多通道相控阵列在每个检测距离进行多次聚焦,改变聚焦点在管道中的距离,将每个聚焦区的最大振幅记录并构建缺陷形貌尺寸信息,就可以得到整个管道的缺陷分布情况。

[0007] 利用换能器将电能转化为声能发射超声信号,电路设计实现调幅,并在算法中为换能器阵列加入时序,实现不同时间延迟(以下简称时延),通过不同延时和幅值的换能

器阵列激发的声信号相互作用组合,实现可在特定传播方向和距离上得到最大特征反射信号,即聚焦。再通过算法和电路不断改变幅值和延时,从而改变聚焦位置,在不同位置进行多次聚焦,发现缺陷。

[0008] 本发明的工作原理如下:

[0009] 在有边界的结构中(如:平板和圆筒),超声导波表现出了强大的结构跟随趋势而且可以传播很长距离,这种沿结构界面或靠近界面传播能量的波就是导波。由于其低衰减,导波适合远距离无损检测。导波通常比体波复杂得多,也正是这种复杂性给导波提供了更多的选择性,导波技术给我们的检测提供了更快更经济的方式。

[0010] 采用相控阵将导波能量分别聚集到不同的圆周角度,并在管道的不同位置进行,通过实现超声导波的聚焦扫描形式,将异常信号分解到管道的正常模式上,信息处理以后构建异常的图像,这样得到了管道的全部聚焦扫描,这种技术有能力在一定距离的管段上同一个截面位置检测出多个异常。

[0011] 根据导波的对称性,导波在管道中传播是可以划分为两类:轴对称模态和弯曲模态。轴对称模态导波在整个管道的圆周内有规则的位移和应力。它们可以分为纵向模式(与之对应的是平板中的对称模式)与扭转模式(这与平板中的水平剪切模式类似)。轴对称导波可以在轴对称源产生。与轴对称模态导波不同,扭曲模态导波在圆周内有正弦曲线的位移和应力的分布,扭曲模态将在管道的部分激发

[0012] 轴对称导波管道检测通常用于那些快速长距离的检测。轴对称导波管道检测技术检测出与传感器轴向平行的异常。近年来,导波聚焦技术被发展起来用于长距离的管道检测(Li 和 Rose, 2002)。这项技术关注于控制利用扭曲模态。它采用相控阵组成多通道,(通常是 4 到 8 个),通过发送超声信号并且调整振幅因素与时间延时,超声波可以聚焦在管道中任何一个事先确定好的位置。相比与轴对称导波管道检测,这种聚焦技术能提供大约两倍的穿透能量,因此距离也将是两倍,另外,由于波都聚焦在轴向和圆周,相干噪声也被降低了,从而周向的分辨率就加强了。

[0013] 振幅因素和时间延时与管道尺寸、材料、频率、传感器和焦距都是相关的。因此,在应用时这些参数都应该首先加入到聚焦算法里(Li 和 Rose, 2002)。该通过具体案例,算法计算时间延时和振幅因素。然后把聚焦参数输入到商业相控阵系统安装在管道周边发送信号并聚焦到指定地点。

[0014] 在一个圆周扫描,多个聚焦位置的时间延时和振幅因素都可以计算出来。在不同的聚焦位置的扫描就可以得到管道全部的扫描。在接收的部分,时间设置为每个收到的波形,最大振幅记录了聚焦区域沿轴线的长度。在最终的管道扫描成像图可以把这些最大振幅值标记出来,与聚焦的区域对称。在聚焦的角度还可以标记出这些最大振幅值。圆周轮廓图呈现了聚焦区域的异常的圆周分布,当聚焦区域有异常时,这些重要映像都可以看到。对于有非轴对称特征的异常(如不连续),它的周向轮廓图也是非轴对称的。如果异常是轴对称的(如焊缝),它的周向轮廓图也是轴对称的,通知这种方式,不连续的异常可以很好的与焊缝区分开来。

[0015] 本实用新型的系统组成见图 1,它由超声导波传感器、接收(前置放大)模块、激励(功率放大)模块、主处理单元组成,主处理单元输出接激励(功率放大)模块的输入,激励(功率放大)模块输出接超声导波传感器,超声导波传感器输出接接收(前置放大)模

块的输入,接收(前置放大)模块的输出接主处理单元的输入,主处理单元的输出有信息输入、数据存储、波形显示、特征提取、缺陷识别。

[0016] 有信息输入的主处理单元输出控制信号至激励(功率放大)模块,激励模块输出大激发能量的电信号,由超声导波传感器转化为声能发射超声信号作用于管道;由超声导波传感器接收的信号经接收(前置放大)模块将功率放大及滤波后送主处理单元进行处理,主处理单元将处理的结果输出,输出有数据存储、波形显示、特征提取、缺陷识别。

[0017] 本基于超声导波聚焦的管道缺陷检测系统的电原理如图 2-图 5 所示。

[0018] 所述主处理单元为微处理器;

[0019] 所述激励(功率放大)模块包括放大电路和激发电路,接主处理单元的数据输出端 DataBus 的放大电路输出接激发电路后,由激发电路输出接超声导波传感器端;

[0020] 其中激发电路如图 2 所示,它由 DAC8820U7 和运算放大器 U8A、运算放大器 U8B、运算放大器 U9A、运算放大器 U9B 组成;U7 的 R1、Rofs 端经电阻 R9 接 +5V 电源,R1、Rofs 端经稳压二极管 D7 与电容 C53 并联接地;U7 的 Rcom 端接运算放大器 U8B 的“-”输入端 6,“+”输入端 5 接地,运算放大器 U8B 的输出端 7 接 U7 的 REF 端;U7 的 Rof 端接运算放大器 U8A 的“-”输入端 2,“+”输入端 3 接地,运算放大器 U8A 的输出端一路接 U7 的 Iout 并在 U7 的 Iout 与 Rof 端之间接电容 C52,另一路经电阻 R10、电阻 R11 与电容 C56 组成的“T”形电路接运算放大器 U9A 的“-”输入端 2,“+”输入端 3 接地,运算放大器 U9A 的输出端 1 一路经并联的电阻 R12 与电容 C59 后接回“-”输入端 2,另一路接运算放大器 U9B 的“-”输入端 6,“+”输入端 5 接地,运算放大器 U9B 的输出端 7 接超声导波传感器的高电压输入端;运算放大器 U9B 和运算放大器 U9A 两个输出均并联至放大器的输入;

[0021] 其中放大电路如图 5 所示,它由运算放大器 U606A、运算放大器 U606B 和两只 ADC604YRUZ 的 U607、U608 组成,由滤波电路中的 U605D 端经电容 C620 接运算放大器 U606A 的“+”输入端 3,运算放大器 U606A 的“-”输入端 2 接 U607 的 D 端,U607 的 S1 端接运算放大器 U606A 的输出端 1,且运算放大器 U606A 的输出端 1 与“-”输入端 2 之间接有电容 C624;运算放大器 U606A 的输出端 1 经电容 C625 接运算放大器 U606B 的“+”输入端 5,运算放大器 U606B 的“-”输入端 6 接 U608 的 D 端,U608 的 S1 端接运算放大器 U606B 的输出端 7,且运算放大器 U606B 的输出端 7 与“-”输入端 2 之间接有电容 C626;

[0022] 所述接收(前置放大)模块包括接收电路、放大电路和滤波电路,接超声导波传感器输出的接收电路之输出依次串接放大电路和滤波电路,滤波电路输出接主处理单元;

[0023] 其中接收电路如图 3 所示,输入 JLANCE 接 KR9 的端 4,KR9 的端 4 接 +12V,端 3 一经二极管 D101 也接 +12V,二经电阻 R101 接 Q17 的端 3,Q17 的端 2 接地,端 1 接 273U3/Q1;另一 JLANCE 接 KR1 的端 4,KR1 的端 2 接 +12V,端 3 一经二极管 D102 也接 +12V,二经电阻 R102 接 Q9 的端 3,且 Q9 的端 3 经电阻 R103 与发光二极管 LED9 至 +12V,Q9 的端 2 接地,端 1 接 273U2/Q1;KR9 的端 1 与 KR1 的端 1 连接后经电阻 R104 接 U101 的端 2,而 U101 的端 2 还有第一路接二极管 D103 和 D104 正向串联及反向串联到地,还有第二路接正反向并联的二极管 D105 后一路接 U101 的端 3,二再接并联的电阻 R105 与电容 C102 到地,第三路接并联的电阻 R106 与电容 C103 到 U101 的端 6;U101 的端 4 接 -5V,端 7 接 +5V,端 5 和端 14 输出;

[0024] 接收电路之后再接如图 5 所示的放大电路,它与功率放大模块中所用放大电路相

同；

[0025] 其中滤波电路如图 4 所示，它由两只 ADC608YRUZ 的 U502、U602、三只 LTC1562 的 U503、U504、U604 和两只 ADC604YRUZ 的 U505、U605 组成；2734U4/Q1、2734U4/Q2、2734U4/Q3 分别接 U502 的 A0、A1、A2 端，U502 的 S1、S2 端各接电容 C506、电容 507 后共同接 U503 的端 1，S3、S4 端各接电容 C508、电容 C509 后共同接 U503 的端 10，S5、S6 端各接电容 C510、电容 C511 后共同接 U504 的端 20，S7、S8 端各接电容 C512、电容 C513 后共同接 U504 的端 1；U602 的 S1、S2 端各接电容 C606、电容 C607 后共同接 U604 的端 1，S3、S4 端各接电容 C608、电容 C609 后共同接 U604 的端 10，S5、S6 端各接电容 C610、电容 C611 后共同接 U504 的端 11，S7、S8 端各接电容 C612、电容 C613 后共同接 U504 的端 10；U503 的端 19、端 12 与 U504 的端 19、端 2 分别接 U505 的 S1、S2、S3、S4 端；U604 的端 19、端 12 与 U504 的端 12、端 9 分别接 U605 的 S1、S2、S3、S4 端；U505 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3，U605 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3。

[0026] 本实用新型的优点在于可以对在役埋地长输管道进行非开挖的缺陷评估，从而为管道安全运行提供保证。本实用新型无须对被检管道表面进行清理预处理、提离效应的影响小、设备轻便、操作快速便捷、灵敏度高、重复性与可靠性好。

#### 附图说明

[0027] 图 1 超声导波聚焦管道缺陷检测系统原理框图

[0028] 图 2 激发电路电原理图

[0029] 图 3 接收电路电原理图

[0030] 图 4 滤波电路电原理图

[0031] 图 5 放大电路电原理图

#### 具体实施方式

[0032] 实施例。本例的系统组成如图 1 所示，它由超声导波传感器、接收（前置放大）模块、激励（功率放大）模块、主处理单元组成，主处理单元输出接激励（功率放大）模块的输入，激励（功率放大）模块输出接超声导波传感器，超声导波传感器输出接接收（前置放大）模块的输入，接收（前置放大）模块的输出接主处理单元的输入，主处理单元的输出有信息输入、数据存储、波形显示、特征提取、缺陷识别。

[0033] 本例的系统电原理如图 2- 图 5 所示。

[0034] 所述主处理单元为微处理器；

[0035] 所述激励（功率放大）模块包括放大电路和激发电路，接主处理单元的数据输出端 DataBus 的放大电路输出接激发电路后，由激发电路输出接超声导波传感器端；

[0036] 其中激发电路如图 2 所示，它由 DAC8820U7 和运算放大器 U8A、运算放大器 U8B、运算放大器 U9A、运算放大器 U9B 组成；U7 的 R1、Rofs 端经电阻 R9 接 +5V 电源，R1、Rofs 端经稳压二极管 D7 与电容 C53 并联接地；U7 的 Rcom 端接运算放大器 U8B 的“-”输入端 6，“+”输入端 5 接地，运算放大器 U8B 的输出端 7 接 U7 的 REF 端；U7 的 Rof 端接运算放大器 U8A 的“-”输入端 2，“+”输入端 3 接地，运算放大器 U8A 的输出端一路接 U7 的 Iout 并在 U7 的 Iout 与 Rof 端之间接电容 C52，另一路经电阻 R10、电阻 R11 与电容 C56 组成的“T”形电路

接运算放大器 U9A 的“-”输入端 2,“+”输入端 3 接地,运算放大器 U9A 的输出端 1 一路经并联的电阻 R12 与电容 C59 后接回“-”输入端 2,另一路接运算放大器 U9B 的“-”输入端 6,“+”输入端 5 接地,运算放大器 U9B 的输出端 7 接超声导波传感器的高电压输入端;运算放大器 U9B 和运算放大器 U9A 两个输出均并联至放大器的输入;

[0037] 其中放大电路如图 5 所示,它由运算放大器 U606A、运算放大器 U606B 和两只 ADC604YRUZ 的 U607、U608 组成,由滤波电路中的 U605D 端经电容 C620 接运算放大器 U606A 的“+”输入端 3,运算放大器 U606A 的“-”输入端 2 接 U607 的 D 端,U607 的 S1 端接运算放大器 U606A 的输出端 1,且运算放大器 U606A 的输出端 1 与“-”输入端 2 之间接有电容 C624;运算放大器 U606A 的输出端 1 经电容 C625 接运算放大器 U606B 的“+”输入端 5,运算放大器 U606B 的“-”输入端 6 接 U608 的 D 端,U608 的 S1 端接运算放大器 U606B 的输出端 7,且运算放大器 U606B 的输出端 7 与“-”输入端 2 之间接有电容 C626;

[0038] 所述接收(前置放大)模块包括接收电路、放大电路和滤波电路,接超声导波传感器输出的接收电路之输出依次串接放大电路和滤波电路,滤波电路输出接主处理单元;

[0039] 其中接收电路如图 3 所示,输入 JLANCE 接 KR9 的端 4,KR9 的端 2 接 +12V,端 3 一经二极管 D101 也接 +12V,二经电阻 R101 接 Q17 的端 3,Q17 的端 2 接地,端 1 接 273U3/Q1;另一 JLANCE 接 KR1 的端 4,KR1 的端 2 接 +12V,端 3 一经二极管 D102 也接 +12V,二经电阻 R102 接 Q9 的端 3,且 Q9 的端 3 经电阻 R103 与发光二极管 LED9 至 +12V,Q9 的端 2 接地,端 1 接 273U2/Q1;KR9 的端与 KR1 的端 1 连接后经电阻 R104 接 U101 的端 2,而 U101 的端 2 还有第一路接二极管 D103 和 D104 正向串联及反向串联到地,还有第二路接正反向并联的二极管 D105 后一路接 U101 的端 3,二再接并联的电阻 R105 与电容 C102 到地,第三路接并联的电阻 R106 与电容 C103 到 U101 的端 6;U101 的端 4 接 -5V,端 7 接 +5V,端 5 和端 14 输出;

[0040] 接收电路之后再接如图 5 所示的放大电路,它与功率放大模块中所用放大电路相同;

[0041] 其中滤波电路如图 4 所示,它由两只 ADC608YRUZ 的 U502、U602、三只 LTC1562 的 U503、U504、U604 和两只 ADC604YRUZ 的 U505、U605 组成;2734U4/Q1、2734U4/Q2、2734U4/Q3 分别接 U502 的 A0、A1、A2 端,U502 的 S1、S2 端各接电容 C506、电容 507 后共同接 U503 的端 1,S3、S4 端各接电容 C508、电容 C509 后共同接 U503 的端 10,S5、S6 端各接电容 C510、电容 C511 后共同接 U504 的端 20,S7、S8 端各接电容 C512、电容 C513 后共同接 U504 的端 1;U602 的 S1、S2 端各接电容 C606、电容 C607 后共同接 U604 的端 1,S3、S4 端各接电容 C608、电容 C609 后共同接 U604 的端 10,S5、S6 端各接电容 C610、电容 C611 后共同接 U504 的端 11,S7、S8 端各接电容 C612、电容 C613 后共同接 U504 的端 10;U503 的端 19、端 12 与 U504 的端 19、端 2 分别接 U505 的 S1、S2、S3、S4 端;U604 的端 19、端 12 与 U504 的端 12、端 9 分别接 U605 的 S1、S2、S3、S4 端;U505 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3,U605 的 A0、A1 端输出 2734U4/Q2、2734U4/Q3。

[0042] 其中各元器件的选用已标在图 2-图 5 中。

[0043] 其中激发电路:

[0044] U7 选 DAC8820;

[0045] U8A、U8B、U9A、U9B 选 OP262;



- [0046] R8、R11 选 10K；
- [0047] R9 选 300K；
- [0048] R10、R12、R13 选 20K；
- [0049] C51、C52、C53、C54、C55、C57、C58 选选 104；
- [0050] C56、C59、C60 选 103；
- [0051] 其中放大电路：
- [0052] U605、U607、U608 选 ADG604YRUZ；
- [0053] U606A、U606B 选 OP262GS；
- [0054] R625、R630 选 10K；
- [0055] R626、R631 选 22K；
- [0056] R627、R632 选 6.8K；
- [0057] R628、R633 选 2.7K；
- [0058] R629、R634 选 330K；
- [0059] 其中接收电路：
- [0060] U101 选 LT1792LS8；
- [0061] D101、D102、D103、D104、D105、D106、D107 选 DAV99；
- [0062] KR1 选 36K；
- [0063] Q9、Q17 选 K72；
- [0064] R101、R102 选 100K；
- [0065] R103 选 33K；
- [0066] R104 选 20K；
- [0067] R105 选 10K；
- [0068] R106 选 350K；
- [0069] C101、C104、C128 选 104；
- [0070] C102、C103 选 103；
- [0071] 其中滤波电路：
- [0072] U503、U504、U604 选 LTC1562；
- [0073] U502、U602 选 ADG608BRUZ；
- [0074] R513 选 300K；
- [0075] R514 选 4M；
- [0076] R515 选 300K；
- [0077] R516 选 4M；
- [0078] R517 选 150K；
- [0079] R518 选 1M；
- [0080] R519 选 150K；
- [0081] R520 选 1M；
- [0082] R521 选 75K；
- [0083] R522 选 250K；
- [0084] R523 选 43K；

- [0085] R524 选 82K ;
- [0086] R613 选 300K ;
- [0087] R614 选 4M ;
- [0088] R615 选 300K ;
- [0089] R616 选 4M ;
- [0090] R617 选 150K ;
- [0091] R618 选 1M ;
- [0092] R619 选 150K ;
- [0093] R620 选 1M ;
- [0094] R621 选 75K ;
- [0095] R622 选 250K ;
- [0096] R623 选 43K ;
- [0097] R624 选 82K ;
- [0098] C504、C505、C506、C507、C508、C509、C510、C511、C512、C513、C514、C515、C516、C517、C518、C519、C520、C521、C604、C605、C606、C607、C608、C609、C610、C611、C612、C613、C614、C615、C616、C617、C618、C619、C620、C621 均为默认的 103 电容 ;其他未标注电阻 (R) 均为默认的 100K。

[0099] 导波聚焦扫描在 508mm 直径,24m 长的 40s 钢管道上进行了实验。在实验中,相控阵分为了四个通道。理论上四通道可以覆盖  $90^\circ$  的区域,四次测量足够覆盖整个圆周,但是为了确保有充分的能量覆盖整个圆周,在每一个聚焦距离用四通道阵列进行了 8 次聚焦扫描。把换能器阵列放置在离管端 1#1.4m 的地方,管道的两端传送纵向 L(m,2) 模态波和扭曲 (m,1) 模态波,进行了一些样本波形的测试以及得到它们相应的环形回波剖面图,每个波形图中两条垂直线之间的区域就是聚焦区,可以很清楚的看到在这些波形图里面聚焦区回波最大的是  $270^\circ$  时的回波。通过最大回波的到达时间也可以准确地确定轴向位置。

[0100] 可见,本例无须对被检管道表面进行清理预处理,设备轻便,操作快速便捷,灵敏度高,重复性与可靠性好。

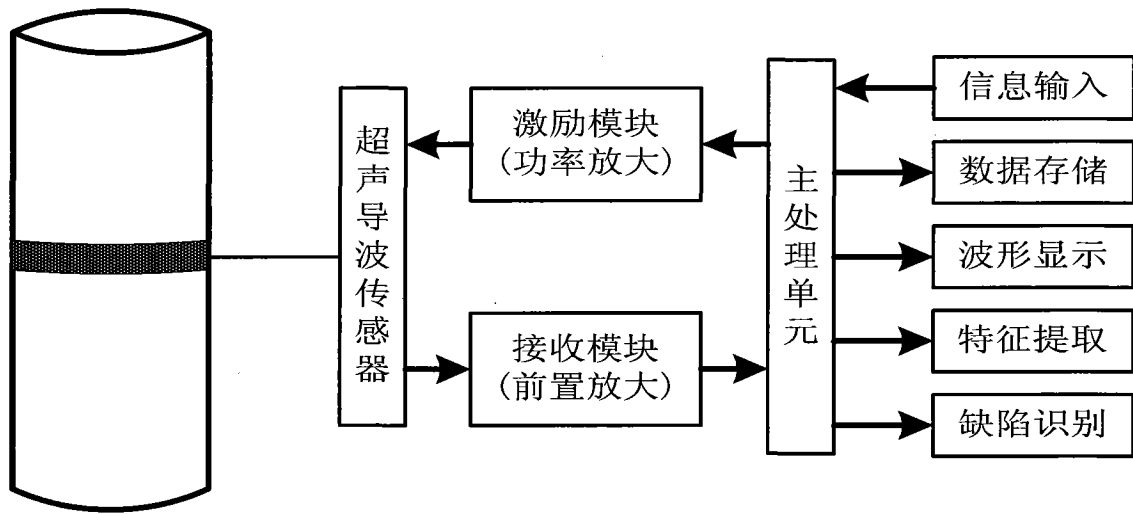


图 1

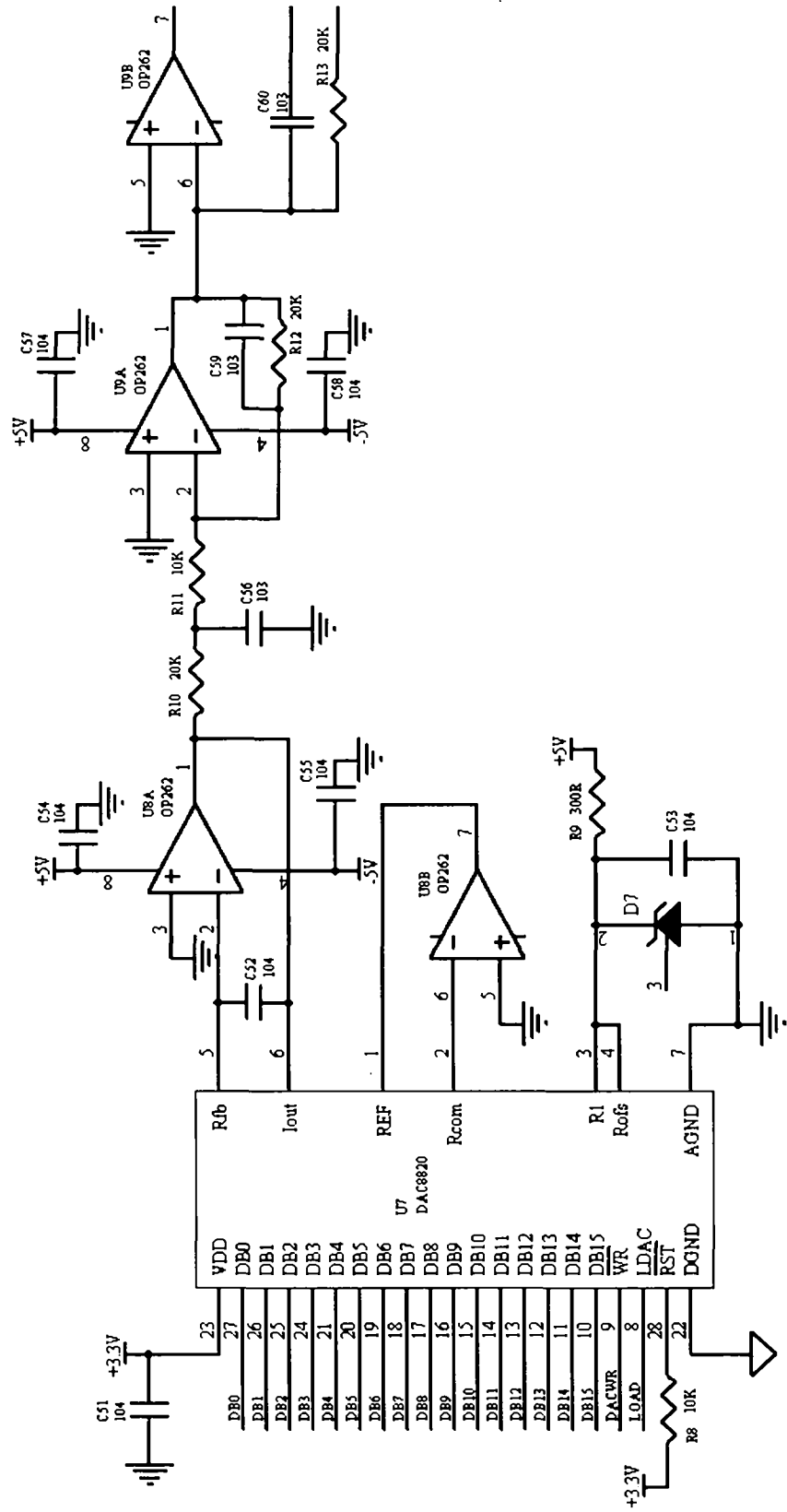


图 2

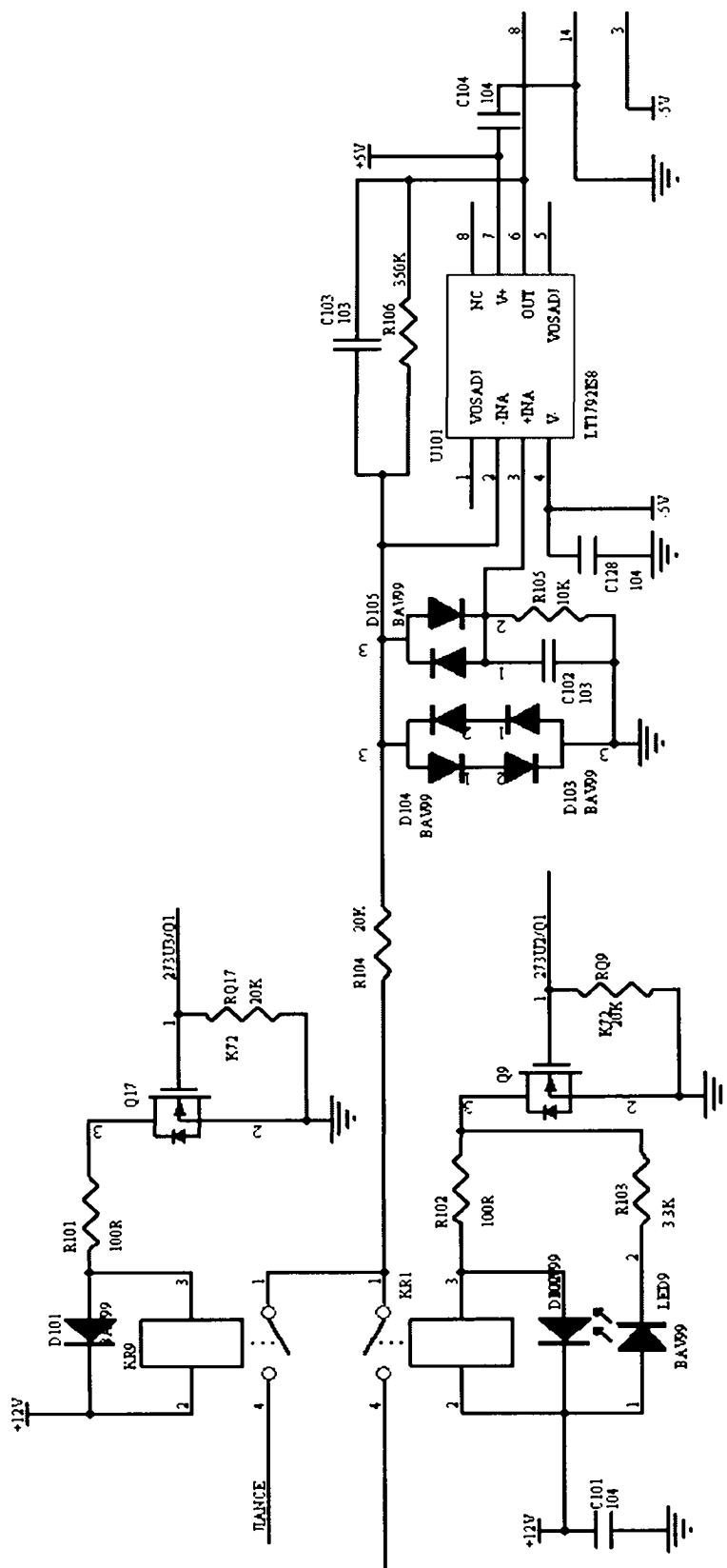


图 3



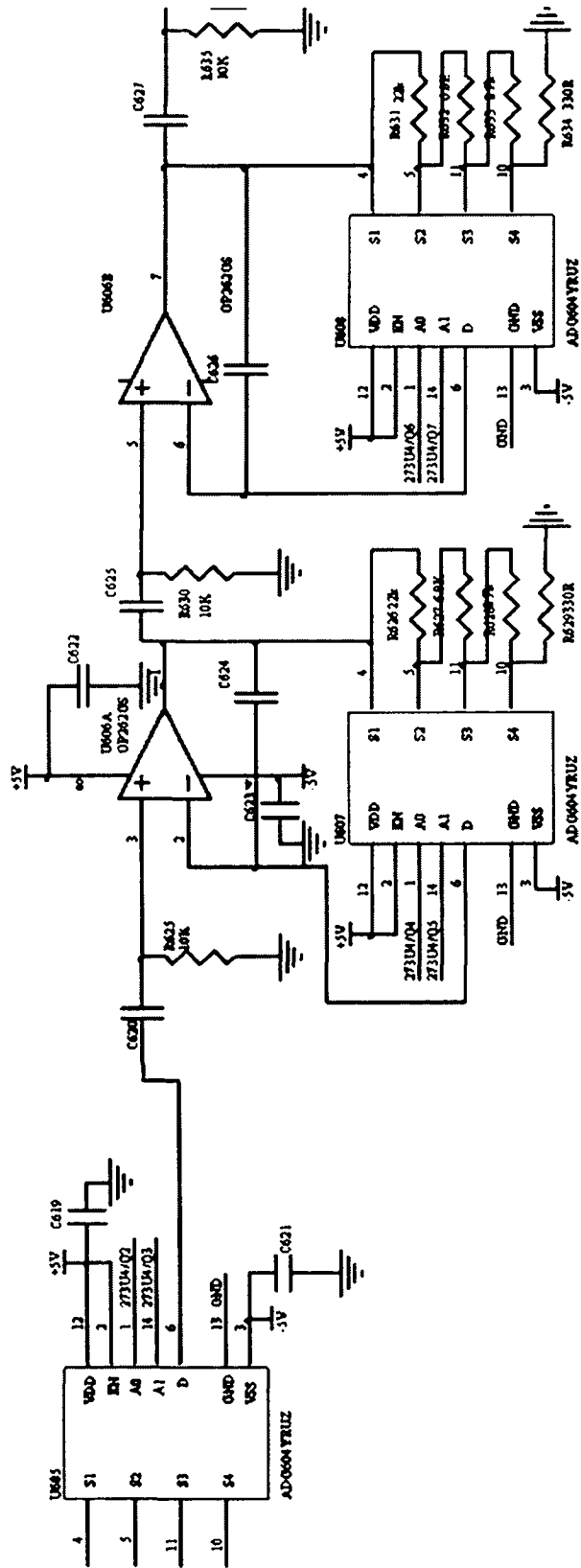


图 5