



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101441200 B

(45) 授权公告日 2011. 03. 16

(21) 申请号 200710178019. 5

(22) 申请日 2007. 11. 23

(73) 专利权人 中国科学院声学研究所

地址 100080 北京市海淀区北四环西路 21 号

(72) 发明人 李明轩 毛捷 张晗 廉国选  
王小民 李顺 叶青

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有限公司 11280

代理人 王勇

(51) Int. Cl.

G01N 29/36 (2006. 01)

G01N 29/04 (2006. 01)

A61B 8/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1316227 A, 2001. 10. 10, 全文.

JP 特开 2007-248079 A, 2007. 09. 27, 全文.

CN 1865980 A, 2006. 11. 22, 全文.

JP 特开 2006-334168 A, 2006. 12. 14, 全文.

CN 1790480 A, 2006. 06. 21, 全文.

毛捷 等. 信号处理在超声检测中的应用. 《应用声学》. 2000, 第 19 卷 (第 3 期), 全文.

张建生 等. 多层粘接结构中脱粘界面的人工神经网络余弦变换频谱特征识别. 《声学学报》. 2001, 第 26 卷 (第 4 期), 全文.

审查员 王海玲

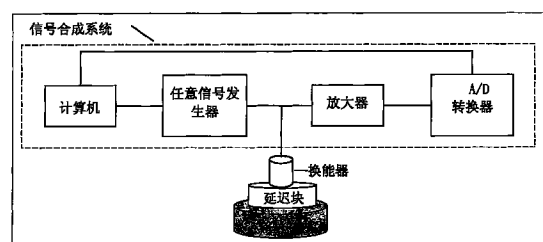
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 7 页

(54) 发明名称

一种超声检测方法和系统

(57) 摘要

本发明提供一种基于信号匹配技术的超声检测方法和系统, 该方法包括如下步骤: 1) 基于信号匹配技术, 设定检测信号波形; 2) 根据所设定的检测信号波形计算出电激励信号, 利用该电激励信号激励超声换能器生成检测超声信号; 3) 利用超声换能器接收具有步骤 1) 所设定波形的携带目标信息的检测信号。所述超声检测系统包括信号合成单元、超声换能器和放大接收单元。本发明的优点包括: 根据实际的检测需求, 可获得与改善系统性能或检测目的相匹配所需要特定的检测信号; 有利于发展新的超声检测方法和技术, 解决原来不能实现的检测问题; 采用时域去卷积运算, 可以不丢失相位等信息, 保证了检测信号的准确性; 既减小了计算复杂程度, 又利于实际控制; 硬件系统简单易行。



1. 一种超声检测方法,其特征在于,包括如下步骤:
  - 1) 基于信号匹配技术,设定检测信号波形;
  - 2) 根据所设定的检测信号波形计算出电激励信号,利用该电激励信号激励超声换能器生成检测超声信号;
  - 3) 利用超声换能器接收具有步骤 1) 所设定波形的携带目标信息的检测信号;  
所述步骤 2) 中,计算所述电激励信号包括下列子步骤:
    - 21) 用一个已知的电激励信号  $x_1(n)$ ,激励换能器测得检测信号  $y_1(n)$ ;
    - 22) 依据  $y_1(n) = x_1(n) * h(n)$ ,去卷积计算出超声检测系统的时域冲击响应  $h(n)$ ;
    - 23) 根据步骤 1) 设定的检测信号波形,生成期望检测信号波形  $y_{\text{expected}}(n)$ ;依据  $y_{\text{expected}}(n) = x_{\text{expected}}(n) * h(n)$ ,去卷积计算出所述电激励信号  $x_{\text{expected}}(n)$ 。
2. 根据权利要求 1 所述的超声检测方法,其特征在于,所述步骤 1) 中,所述检测信号波形设定为窄脉冲波形。
3. 根据权利要求 1 所述的超声检测方法,其特征在于,所述步骤 1) 中,所述检测信号波形设定为与检测目的匹配的波形。
4. 根据权利要求 1 所述的超声检测方法,其特征在于,所述步骤 1) 中,所述检测信号波形设定为线性调频或编码信号的波形。
5. 根据权利要求 1 所述的超声检测方法,其特征在于,计算所述  $x_{\text{expected}}(n)$  的方法可以简化为:先对  $y_{\text{expected}}(n)$ 、 $x_1(n)$  两者进行卷积,再直接与  $y_1(n)$  解卷积。
6. 根据权利要求 1 或 5 所述的超声检测方法,其特征在于,所述步骤 21) 中,所述已知的电激励信号  $x_1(n)$  是尖脉冲或阶跃脉冲波形序列。
7. 一种使用权利要求 1 所述超声检测方法的超声检测系统,包括信号合成单元、超声换能器和放大接收单元,所述信号合成单元用于根据已知电激励信号和该信号激励超声换能器所测得的检测信号以及预先设定的用于超声检测的检测信号波形,合成用于超声检测的电激励信号;所述超声换能器用于在所述信号合成单元输出的电激励信号的激励下产生检测超声信号,所述超声换能器还用于将所接收到的携带目标信息的检测超声信号转换为电信号形式的检测信号,并将所述检测信号输出至所述放大接收单元;所述放大接收单元用于对超声换能器输出的检测信号进行放大,放大后的检测信号通过模数转换传入计算单元进行进一步处理。
8. 根据权利要求 7 所述的超声检测系统,其特征在于,所述信号合成单元包括依次连接的计算单元和信号发生器,所述信号发生器与所述超声换能器连接。
9. 根据权利要求 7 所述的超声检测系统,其特征在于,所述放大接收单元包括信号放大器 and 模数转换单元。

## 一种超声检测方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于超声检测技术领域,具体地说,本发明涉及一种基于信号匹配技术的超声检测方法和系统。这里的信号匹配技术是指与检测系统性能(如高灵敏度或高分辨率)或检测目的(如特定类型的缺陷或介质)相匹配的发射信号的计算和应用。

### 背景技术

[0002] 超声检测是以超声作为信息载体,在不损坏被检对象的情况下,检测其内部的缺陷或目标,测量其物理和力学性能,分析其组织结构进行媒质质量评价的无损检测方法。在工业上,有超声无损检测、超声岩体检测和超声工业测量等;就广义而言,在医学上则有超声诊断。

[0003] 超声检测的过程是一个信号转换传输的过程:先由输入的电信号激励换能器后产生检测超声信号,声波在介质中传播,与介质和缺陷相互作用,最后携带着介质信息和缺陷信息的超声信号被换能器接收转换为检测电信号输出,进而进行进一步的分析和处理,实现各种检测目的。用于检测的超声信号是实现超声各种检测的技术关键。检测超声信号,主要由换能器和激励源决定。在换能器和激励源一定的情况下,用于检测的超声信号是固定不变的。长期以来,超声检测工作都是由一个固定电信号激励换能器,通过分析换能器接收到的检测信号特征来实现。提高超声检测性能的方法也多数集中在两个方面:一是改进检测信号的信号处理方法;二是改善换能器性能,主要是通过改善换能器的结构和材料得以实现。但是两者调整信号的范围都有限,难以满足一些特定系统性能和检测目的要求。如在薄层高分辨率检测中,为提高分辨率需要宽带窄脉冲或尽量高频脉冲信号,由于很窄的检测脉冲通常很难得到,而高频信号又影响声波穿透深度,造成极大的检测困难。再如,检测高衰减的厚介质材料往往需要很宽的脉冲串,提高穿透力,但此时会大大降低检测的分辨率。在现有技术中,由于检测信号质量不高,很大程度上限制了超声检测的应用领域。在雷达和水声中常常使用线性调频脉冲或编码脉冲作脉冲压缩探测,而超声检测中由于信号激励方式和换能器频域工作特征的限制,很难得到这种检测信号,致使一些先进的信号处理方法得不到应用等等。

[0004] 事实上,用来激励超声换能器的电信号对换能器产生的声脉冲以及检测信号都有很大影响。1956年 E. G. Cook 在弱耦合换能器响应的研究中给出几种不同激励电信号获得了不同的声信号[1]。1975年 T. G. Winter 以喇叭向一空气管中发声为研究系统,通过控制激励电信号得到了两个不同宽度的 Ricker 波和两个不同宽度的 Gauss 波[2]。1982年 H. Ermert 和 J. Chmolke 等人为获得短脉冲输出,研究了利用与检测目标匹配的合成信号进行目标识别[3]。

[0005] 但是,上述研究都没有得到很好的延续,也没有应用到实际检测中。原因有二:一是信号设计计算基于频域相除,在处理过程中丢失了很多有用信息,造成结果不佳。如用补零法处理分母不能为零的情况,或者用汉明窗函数代替分子为无限带宽的理想  $\delta$  函数的情况,都必然给处理结果带来很多偏差。二是当时的设备主要还是靠硬件实现,其激励波形

受到限制,远不及现在数字化的设备灵活便利。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的是,从激励信号入手,基于信号匹配技术,提供一种能够产生特定检测信号的超声检测方法和系统。

[0007] 为实现上述发明目的,本发明提供的基于信号匹配技术的超声检测方法,包括如下步骤:

[0008] 1) 基于超声检测信号匹配合成方法(这里的匹配是指与系统性能相匹配或与检测目的相匹配),设定期望的检测信号波形;

[0009] 2) 根据所设定的检测信号波形计算出电激励信号,利用该电激励信号激励超声换能器生成需要的检测超声信号并向待测目标发射该检测超声信号;

[0010] 3) 利用超声换能器接收具有步骤1)所设定波形的携带目标信息的检测信号。

[0011] 上述技术方案中,所述步骤1)中,所述检测信号波形设定为窄脉冲波形(一般用于需要提高检测纵向分辨率的场合)。

[0012] 上述技术方案中,所述步骤1)中,所述检测信号波形设定为与检测目的匹配的波形(一般用于目标识别以及完成复杂情况下的超声检测)。

[0013] 上述技术方案中,所述步骤1)中,所述检测信号波形设定为调频或编码信号波形(一般用于大衰减厚工件的超声检测)。

[0014] 上述技术方案中,所述步骤2)中,计算所述电激励信号的方法包括如下子步骤:

[0015] 21) 获取超声检测系统的时域冲击响应  $h(n)$ ;

[0016] 22) 根据步骤1)设定的检测信号波形,生成期望检测信号  $y_{\text{expected}}(n)$ ;依据  $y_{\text{expected}}(n) = x_{\text{expected}}(n) * h(n)$ ,去卷积计算出所述电激励信号  $x_{\text{expected}}(n)$ ;其中 $*$ 表示卷积运算。

[0017] 设信号合成系统的离散时域数学模型为:  $y(n) = x(n) * h(n)$

[0018] 即检测信号  $y(n)$  是电激励信号  $x(n)$  和检测系统的时域冲击响应特征  $h(n)$  的卷积结果,

[0019] 上述技术方案中,所述步骤21)中,获取所述时域冲击响应  $h(n)$  的方法包括如下步骤:

[0020] 211) 用预设的电激励信号  $x_1(n)$  激励换能器测得检测信号  $y_1(n)$ ;

[0021] 212) 依据  $y_1(n) = x_1(n) * h(n)$ ,去卷积计算出超声检测系统的时域冲击响应  $h(n)$ 。

[0022] 上述技术方案中,计算所述  $x_{\text{expected}}(n)$  的方法可以简化为:先对  $y_{\text{expected}}(n)$ 、 $x_1$  两者进行卷积,再直接与  $y_1(n)$  解卷积。这样做可以有效地加快系统的运算速度。

[0023] 上述技术方案中,所述步骤211)中,所述预设的电激励信号  $x_1(n)$  可以是尖脉冲、阶跃脉冲等宽带信号。

[0024] 为实现上述发明目的,本发明提供的基于信号匹配技术的超声检测系统包括信号合成单元、超声换能器及放大接收单元;所述信号合成单元用于根据预设电激励信号和该信号激励下接收的检测信号以及预先设定的用于与改善系统性能或检测目的相匹配的期望检测信号波形,合成实用于超声检测的电激励信号;所述超声换能器接收所述信号合成单元发出的电激励信号产生声波信号,并将声波转换为检测电信号传输给放大接收单元。

[0025] 上述技术方案中,所述信号合成单元包括依次连接的计算单元和信号发生器放大器,所述信号发生器和所述超声换能器连接。

[0026] 上述技术方案中,所述放大接收单元包括放大器和模数转换单元,超声换能器接收的检测信号经过放大单元放大后由模数转换单元传输给所述计算单元。

[0027] 与现有技术相比,本发明能够达到如下技术效果:

[0028] 1) 本发明根据实际的检测需求,可获得与改善系统性能或检测目的相匹配所需要特定的检测信号;

[0029] 2) 基于本发明,有利于发展新的超声检测方法和技术,解决原来不能实现的检测问题,可应用于常规超声工业无损检测与评价及医学超声诊断,有实际应用价值;

[0030] 3) 本发明采用时域去卷积运算,可以不丢失相位等信息,保证了检测信号的准确性;

[0031] 4) 本发明将超声压电换能器性能、放大器、传播介质等因素全部考虑在检测系统的时域冲击响应  $h(n)$  中,既减小了计算复杂程度,又利于实际控制;

[0032] 5) 本发明的硬件系统简单易行。

#### 附图说明

[0033] 图 1 所示为信号合成系统的系统构成图(指定为说明书摘要附图);

[0034] 图 2 所示为根据信号合成方法计算电激励信号的流程图;

[0035] 图 3 所示为信号合成系统的检测模型图;

[0036] 图 4a 所示为根据本发明的方法合成中心频率为 1MHz、长度为 1 个周期检测信号时用于计算检测系统时域冲击响应所选用的激励波形;

[0037] 图 4b 所示为根据本发明的方法合成中心频率为 1MHz、长度为 1 个周期检测信号时用于计算检测系统时域冲击响应所选用的激励波形对应的检测信号;

[0038] 图 5a 所示为根据本发明的方法所设计的中心频率为 1MHz 的 1 个周期检测信号(即具体指定的一个期望检测信号);

[0039] 图 5b 所示为根据本发明的方法所设计的中心频率为 1MHz 的 1 个周期检测信号所需的电激励信号;

[0040] 图 5c 所示为根据本发明的方法所设计的中心频率为 1MHz 的 1 个周期检测信号的实际接收到的检测信号;

[0041] 图 6 所示为根据本发明的方法通过信号合成系统所得到的中心频率为 1MHz 的 1 个周期检测信号的频响曲线与传统检测系统得到检测信号的频响曲线的相对带宽的比较;

[0042] 图 7 所示为比较传统检测系统和信号合成系统产生的 1 个周期检测信号在实际检测应用中的连接方式(a)和检测信号性能的比较(b);

[0043] 图 8a 所示为根据本发明的方法通过信号合成系统所得到的中心频率为 1MHz 的 7 个周期线性调频检测信号的激励波形;

[0044] 图 8b 所示为根据本发明的方法通过信号合成系统所得到的中心频率为 1MHz 的 7 个周期线性调频检测信号的实际接收到的调频检测信号;

[0045] 图 8c 所示为根据本发明的方法通过信号合成系统所得到的中心频率为 1MHz 的 7

个周期线性调频检测信号的对该调频检测信号进行压缩后的结果；

[0046] 图 8d 所示为根据本发明的方法通过信号合成系统所得到的中心频率为 1MHz 的 7 个周期线性调频检测信号的期望检测信号。

### 具体实施方式

[0047] 本发明的基本构思是根据具体的检测需求,首先设定与改善系统性能或与检测目的相匹配的检测信号波形,然后再根据该波形合成电激励信号,最后,用该激励信号激励超声换能器,通过接收检测信号获取待测目标信息。

[0048] 下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步描述。

[0049] 实施例 1

[0050] 一个超声检测系统包括很多部分,根据信号合成过程的实际需要,将换能器性能、放大器、传播介质等因素全部考虑在检测系统的时域冲击响应  $h(n)$  之中。这样,超声检测系统的时域数学模型为：

[0051]  $y(n) = x(n) * h(n)$

[0052] 即检测信号  $y(n)$  是电激励信号  $x(n)$  和检测系统的时域冲击响应  $h(n)$  的卷积结果。

[0053] 计算最佳激励信号的具体步骤可分为五步：

[0054] (1) 用一个预设的电激励信号  $x_1(n)$  (可以是尖脉冲、阶跃脉冲或者其他宽带信号),激励换能器测得检测信号  $y_1(n)$ ；

[0055] (2) 依据  $y_1(n) = x_1(n) * h(n)$ ,去卷积求解检测系统的时域冲击响应  $h(n)$ ；

[0056] (3) 根据实际检测需要,设计一个期望检测信号  $y_{\text{expected}}(n)$ ；

[0057] (4) 依据  $y_{\text{expected}}(n) = x_{\text{expected}} * h(n)$ ,去卷积计算获得对应的最佳电激励信号  $x_{\text{expected}}(n)$ ；

[0058] (5) 将计算得到的电激励信号  $x_{\text{expected}}(n)$  由计算机传送给信号发生器,激励换能器,进行实际检测。

[0059] 其中,从数学角度看,上述计算  $x_{\text{expected}}(n)$  步骤可等价于： $y_{\text{expected}}(n)$ 、 $x_1(n)$  两者的卷积,再与  $y_1(n)$  解卷积的过程。

[0060] 本实施例使用的超声检测系统包括,计算机、信号发生器、超声压电换能器、放大器和 A/D 转换器。其中超声压电换能器是具有一定带宽的电声、声电转换器件,输出端依次与放大器、A/D 转换器和计算机连接,将接收到的检测信号经放大器放大、A/D 转换器的模数变换,最后传输给计算机。计算机用于根据已知电激励信号及其产生的检测信号以及期望的检测信号波形,合成电激励波形。信号发生器的输入端与计算机连接,输出端与超声压电换能器连接(或经放大器放大后与换能器相连),用于产生电激励信号并激励所述超声压电换能器发射超声波进行检测。

[0061] 下面给出一个更加具体的实例,

[0062] 按照图 3 方式连接实验装置,其中换能器不经放大器直接连接示波器。这里,压电换能器中心频率为 1MHz,延迟块为 3cm 厚聚苯乙烯试块,暂不放待检测物体。

[0063] 按照图 2 流程,完成电激励信号的合成,其中所有数据均采用归一化处理后参与运算。选定的已知的电激励波形如图 4a 所示;得到检测信号如图 4b 所示;两者通过自适应

时域解卷积得到检测系统的时域冲击响应。设计的期望检测信号如图 5a 所示,对于 1MHz 换能器,1 个周期检测信号的脉冲宽度为  $1\mu\text{s}$ 。期望信号和检测系统的时域冲击响应函数再次通过自适应时域解卷积,计算得到 1 个周期检测信号的电激励波形,如图 5b 所示。

[0064] 在不改变检测系统的情况下,利用计算得到 1 个周期检测信号的电激励信号激励该 1MHz 换能器,经过聚苯乙烯试块,不经放大直接由示波器接收,获得检测信号如图 5c 所示,形状与设计的期望检测信号很接近。这种检测信号用现有检测系统是无法实现的。

[0065] 接下来,对该 1 个周期检测信号进行性能分析。具体地说,就是和使用传统 5800 型超声分析仪(泛美公司)的传统检测方式获得的检测信号进行比较。

[0066] 1) 相对带宽增加:

[0067] 该 1MHz 压电换能器与传统检测系统得到的检测信号的频响曲线,如图 6 虚线所示。它的 6db 相对带宽为 54.5%;

[0068] 信号合成系统得到的 1 个周期检测信号的频响曲线,如图 6 实线所示,6db 相对带宽为 116.7%,较传统检测方法换能器,相对带宽增加了 1.14 倍。

[0069] 2) 纵向分辨率显著提高:

[0070] 对 6mm 厚铝片进行实际检测,比较传统检测系统和信号合成系统的检测效果,实验装置连接如图 7a 所示。仍然采用前面的 1MHz 压电换能器和激励信号(图 5b)。结果如图 7b 所示:

[0071] 传统检测系统的获得检测信号由于声波在铝片内多次反射混叠在一起,不能区分相邻两次反射的位置;

[0072] 使用本实施例的信号合成系统产生的 1 个周期检测信号得到的检测信号能够清晰地区分相邻两次反射信号。

[0073] 另外,为了解决检测信号穿透力和分辨率之间的矛盾,本发明的系统还可产生调频信号。设计一个中心频率为 1MHz、长度为 7 个周期的线性调频信号作为期望检测信号,如图 8d 所示。

[0074] 按照图 3 方式连接实验装置,其中不经放大器直接连接示波器。这里,压电换能器中心频率为 1MHz,延迟块为 3cm 厚聚苯乙烯试块。按照图 2 流程,完成电激励信号的合成,其中所有数据均采用归一化处理参与运算。选定的已知的电激励波形如图 4a 所示;得到检测信号如图 4b 所示;两者通过自适应时域解卷积得到检测系统的时域冲击响应。期望检测信号和检测系统的时域冲击响应再次通过自适应时域解卷积计算,得到该线性调频检测信号的电激励信号,如图 8a 所示。

[0075] 在不改变检测系统的情况下,利用计算得到的电激励信号激励该 1MHz 换能器,经过聚苯乙烯试块,不经放大直接由示波器接收,检测信号如图 8b 所示。根据线性调频匹配理论,对该线性调频检测信号进行匹配后,结果如图 8c 所示。这种检测信号用现有检测系统是无法实现的。本实施例中的调频检测信号能够解决现有技术在对高衰减大厚件的检测时难以解决的穿透能力不够和分辨率太低的问题。

[0076] 本发明可以应用于多个超声检测领域,如工业无损探伤、医用超声诊断检测等。可根据检测目的设计不同的检测信号波形,如在缺陷的分类检测中,产生与某种缺陷相匹配的检测信号;如在薄层厚度检测时,可产生单周期的宽带脉冲以提高分辨率;在高衰减大厚件的检测中产生线性调频信号以提高声波的穿透能力。另外本发明将检测目标的物理结

构等固定信息涵盖在检测系统的时域冲击响应  $h(n)$  中,可以得到更好检测效果(如增强纵向分辨率、提高灵敏度等)。

[0077] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

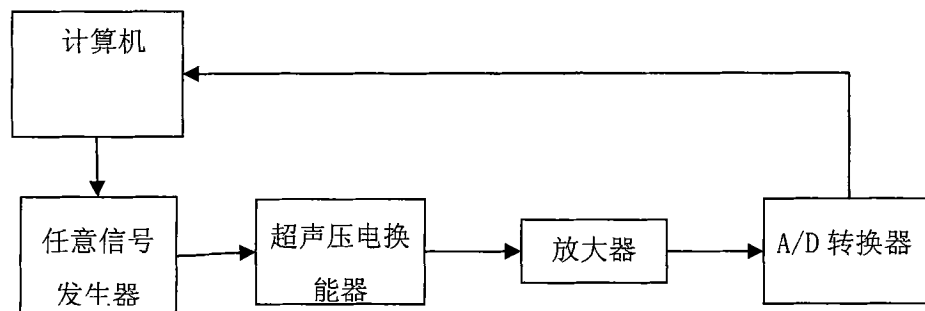


图 1

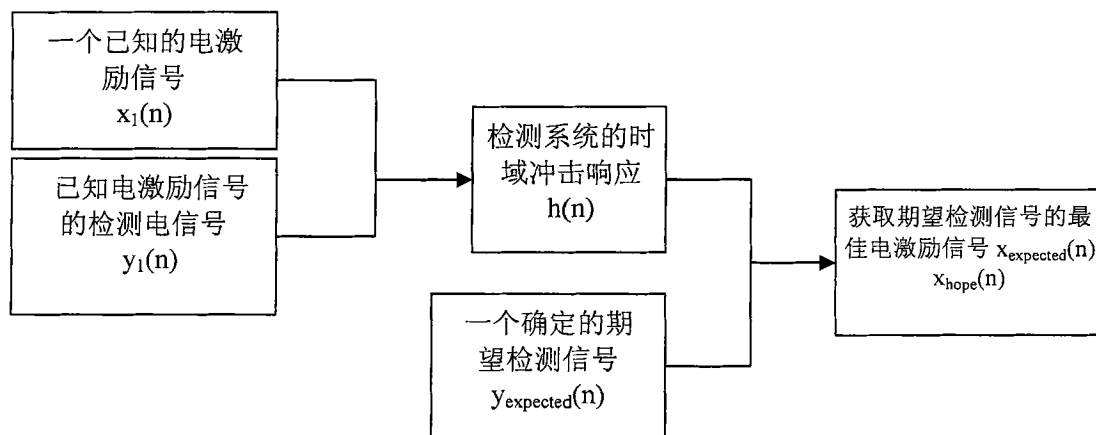


图 2

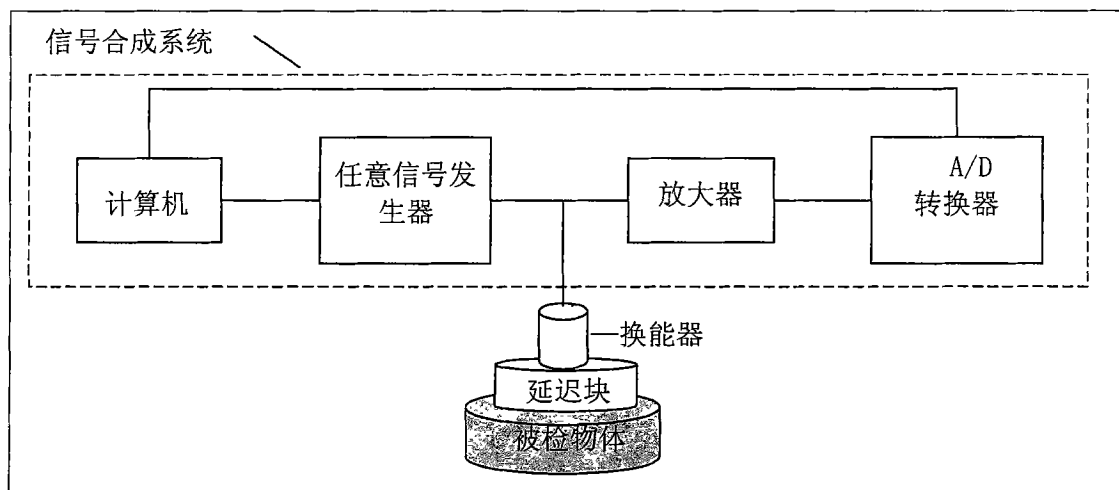


图 3

选用的电激励

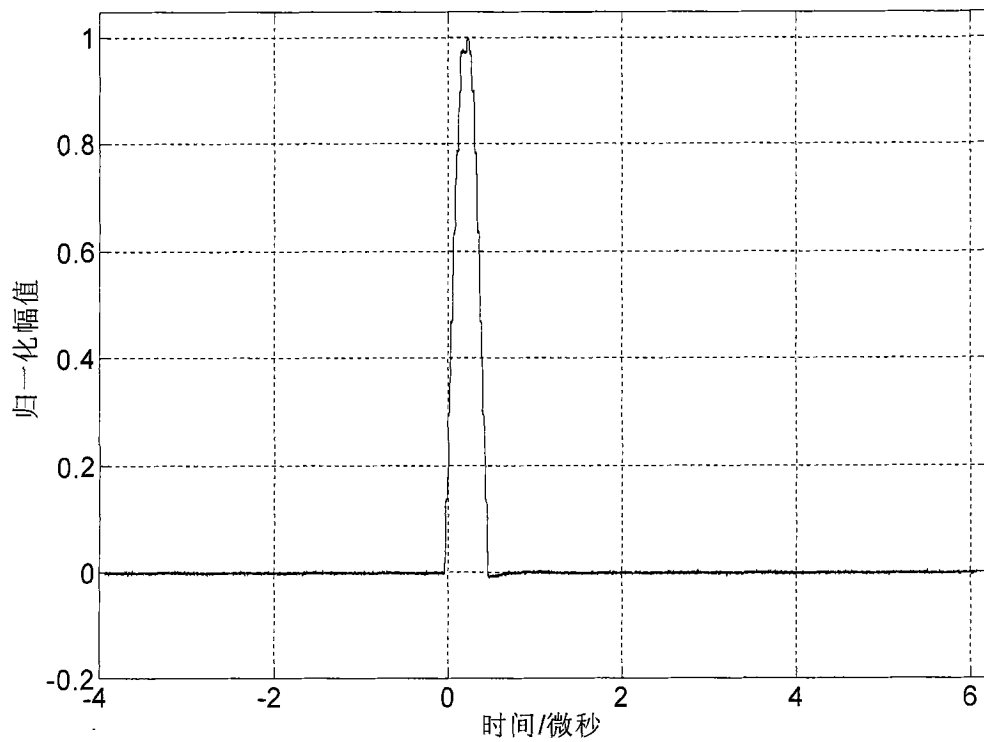


图 4a

该激励得到的检测信号

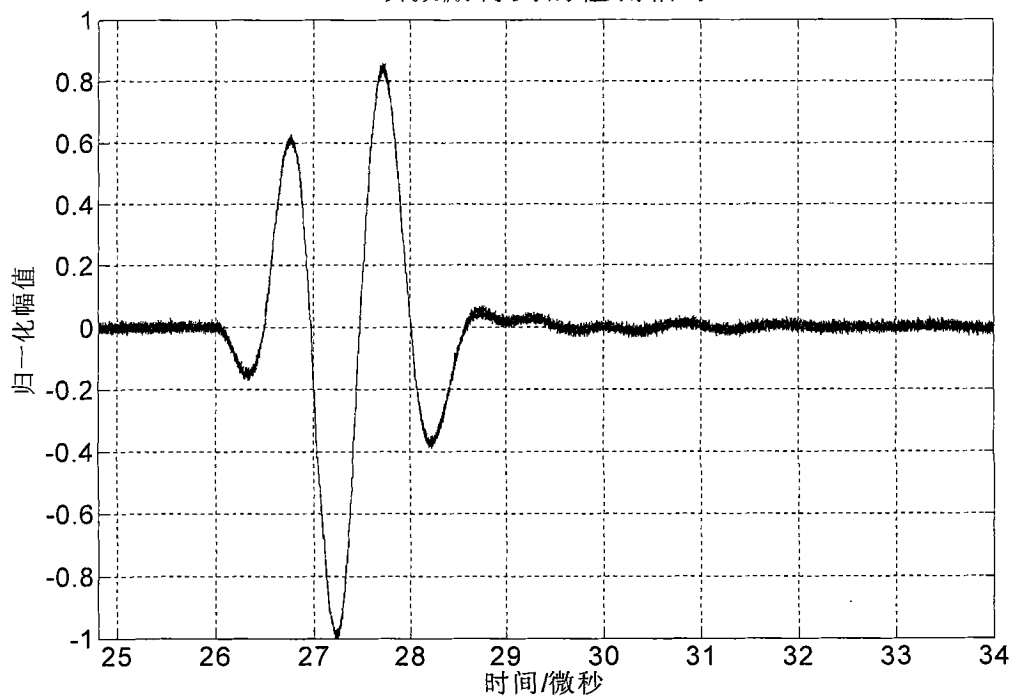


图 4b

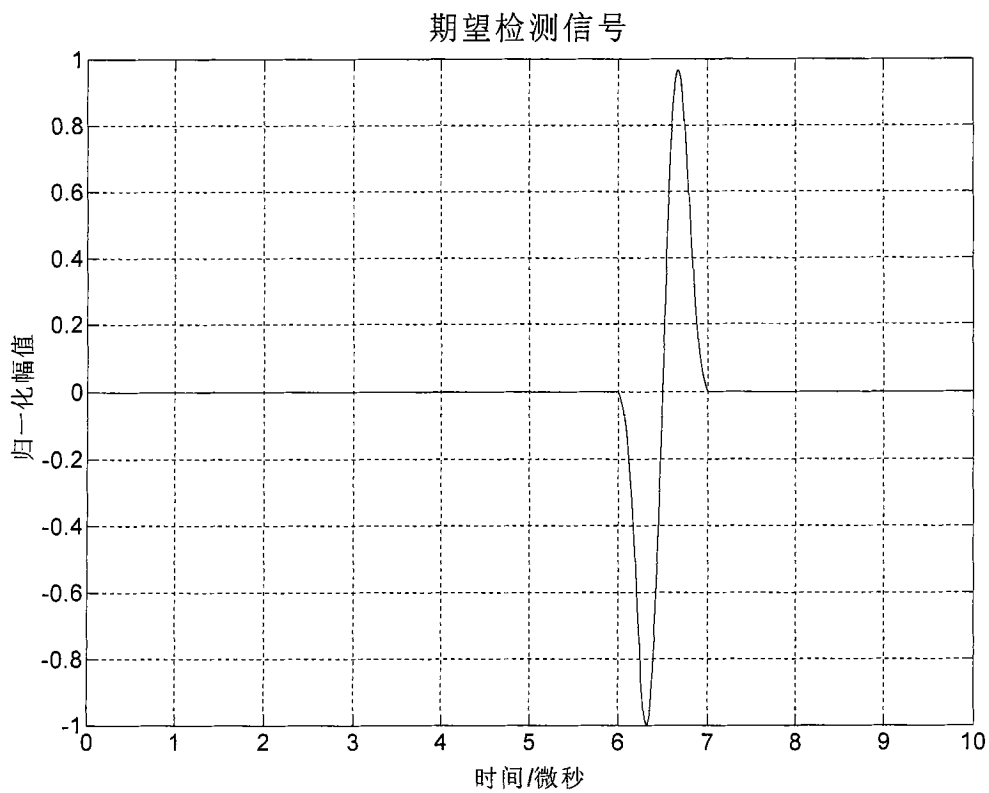


图 5a

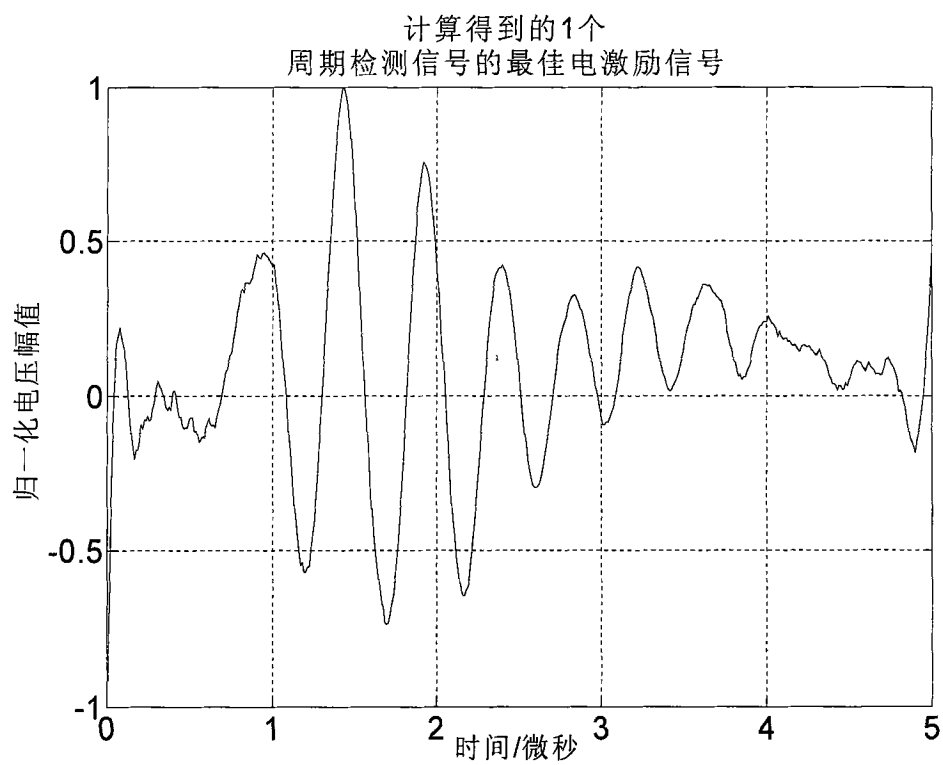


图 5b

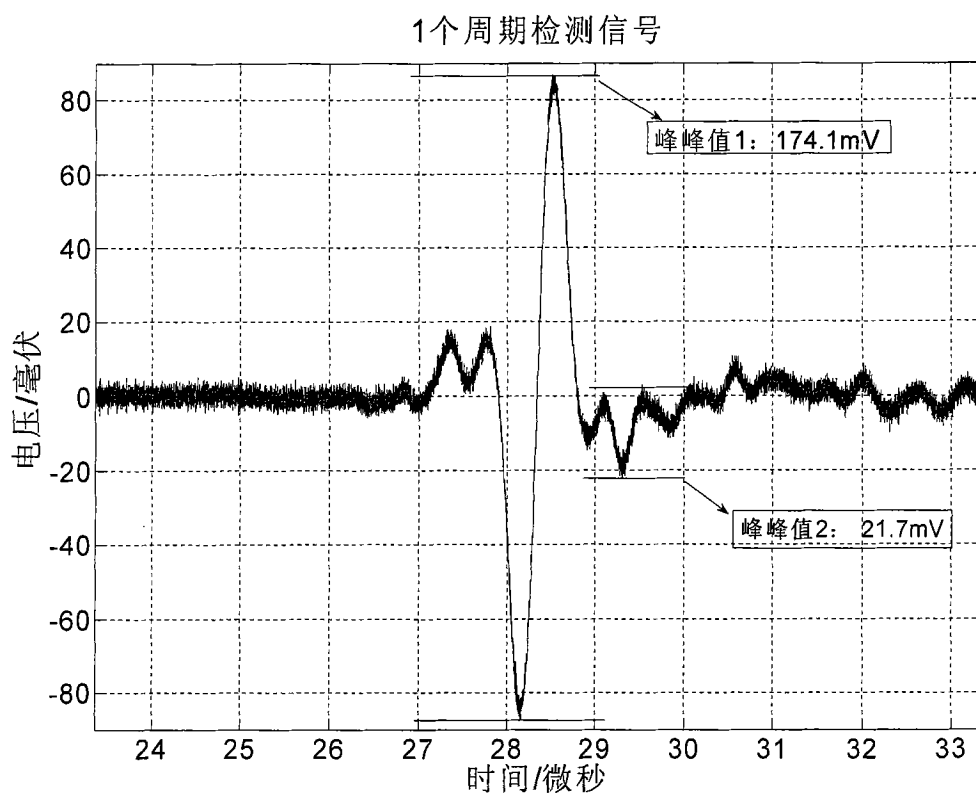


图 5c

相对带宽比较

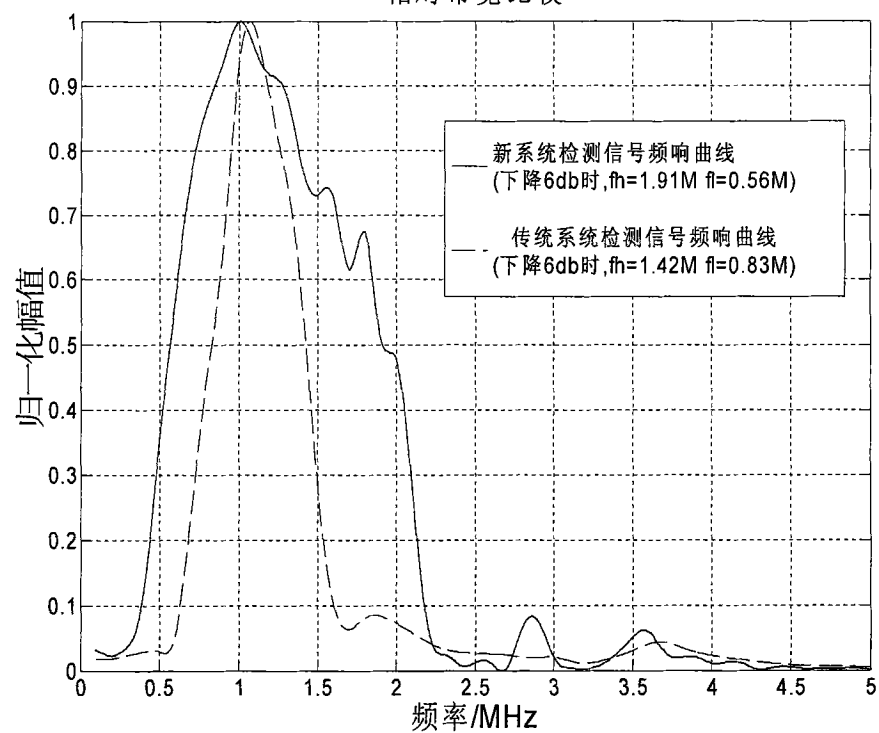
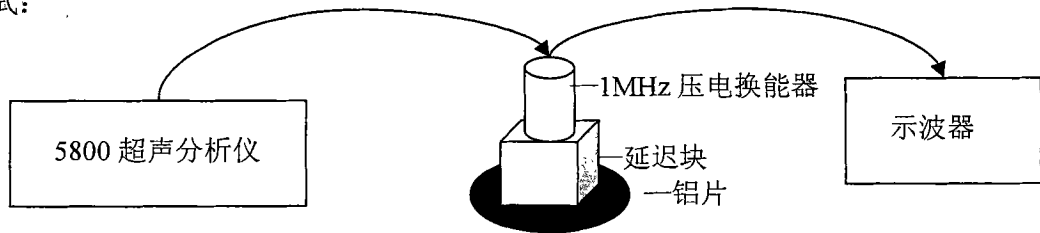


图 6

传统方式:



使用信号合成系统方式:

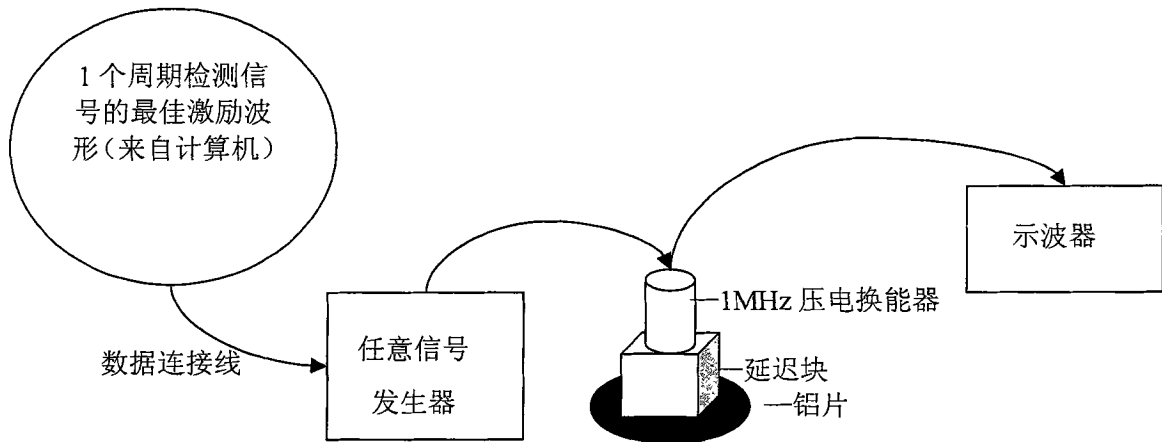
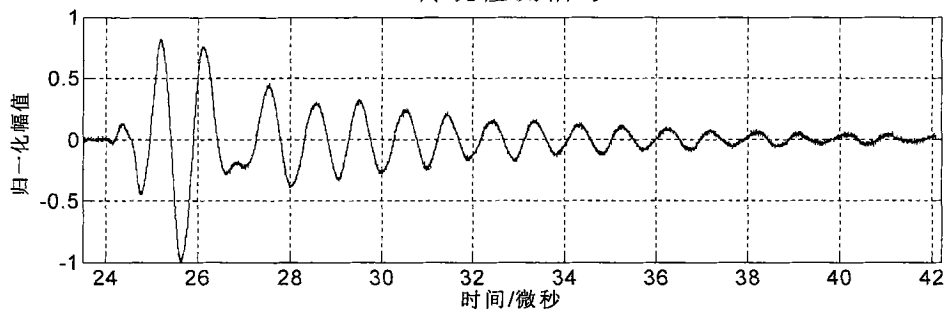


图 7a

传统检测信号



1个周期检测信号

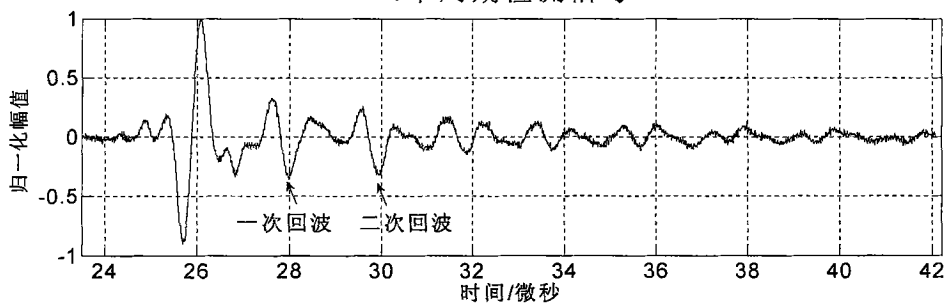


图 7b

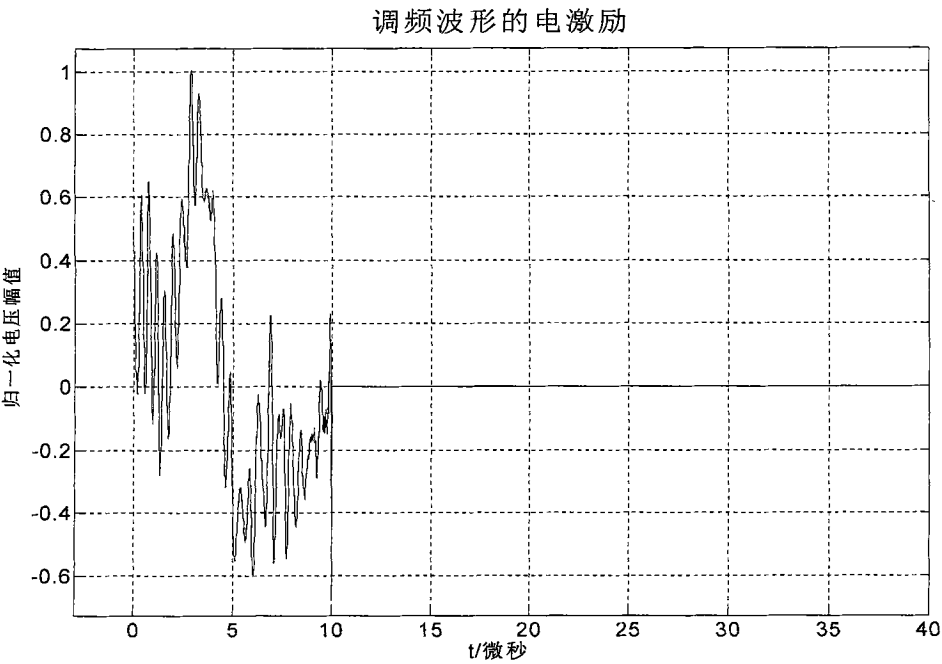


图 8a

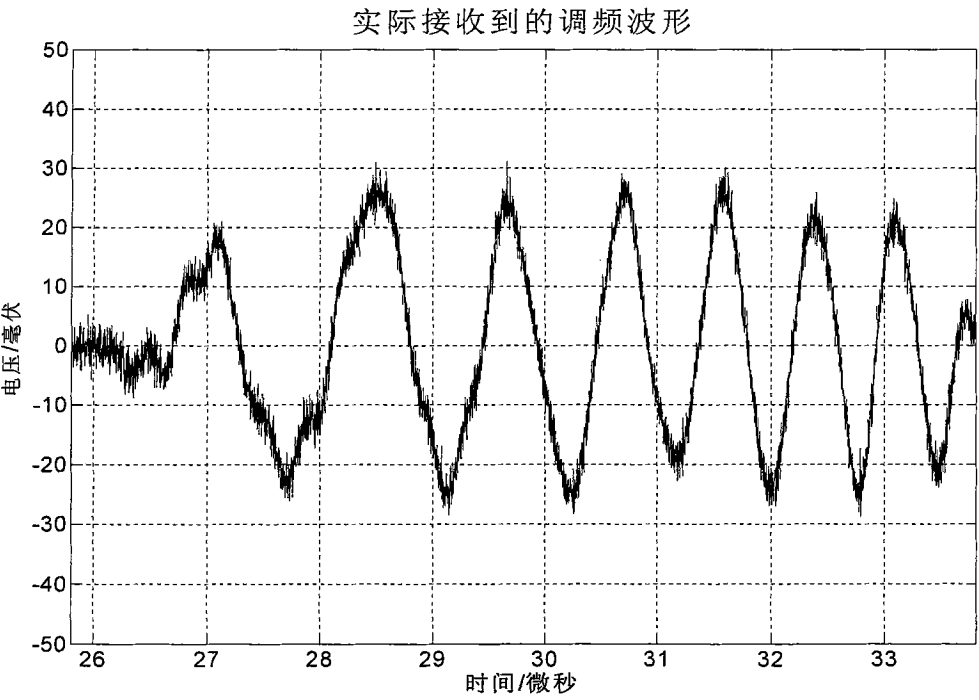


图 8b

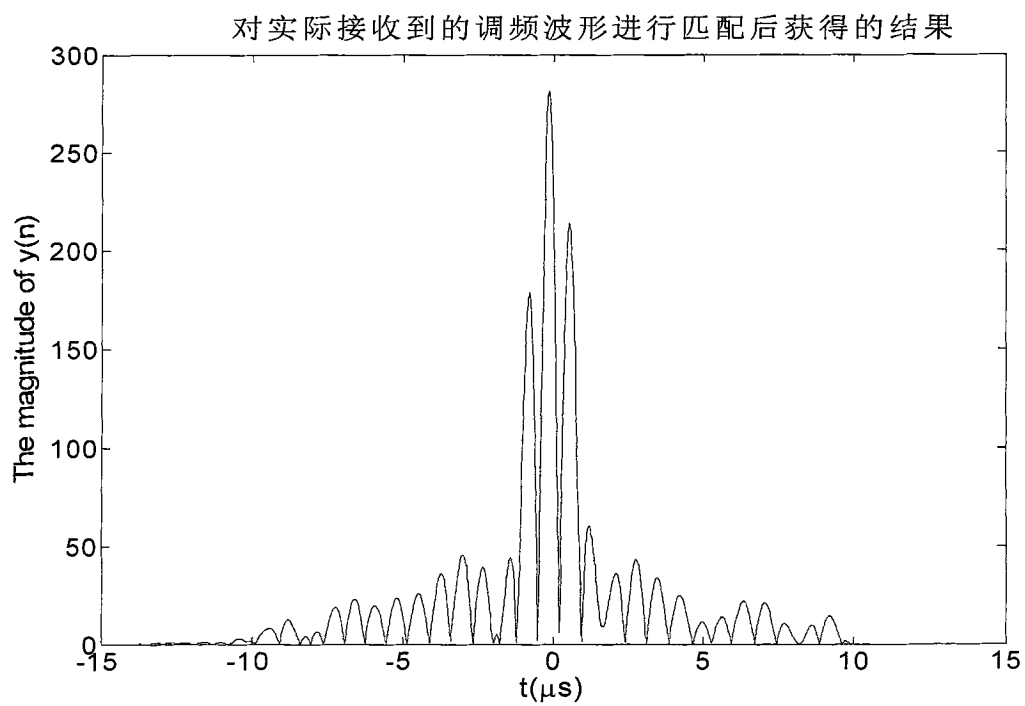


图 8c

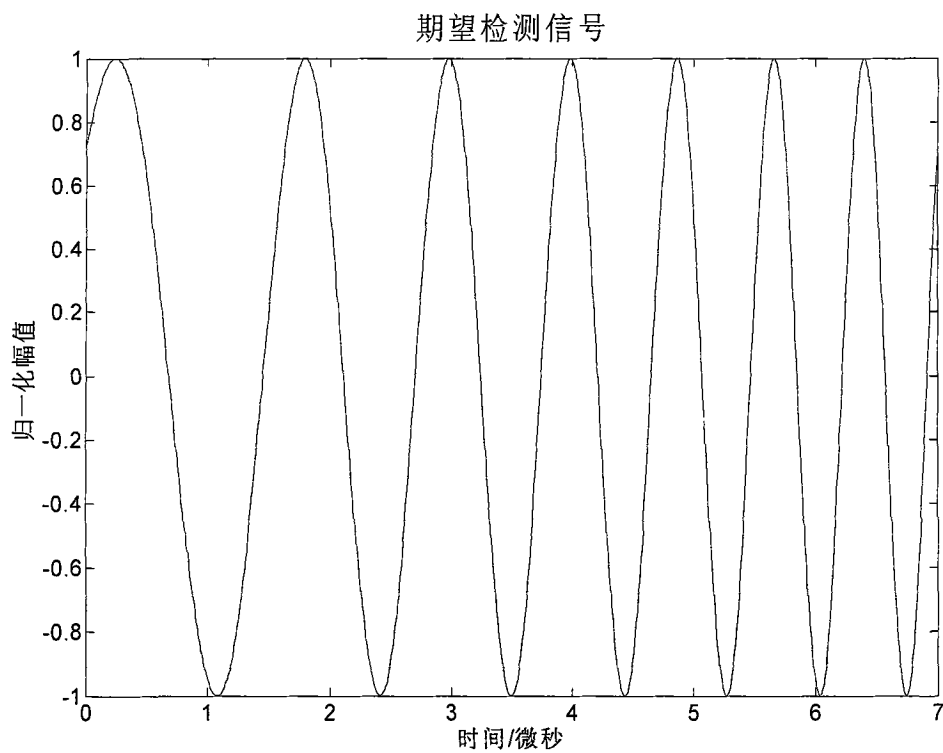


图 8d

|                |                                                |         |            |
|----------------|------------------------------------------------|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 一种超声检测方法和系统                                    |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN101441200B</a>                   | 公开(公告)日 | 2011-03-16 |
| 申请号            | CN200710178019.5                               | 申请日     | 2007-11-23 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 中国科学院声学研究所                                     |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 中国科学院声学研究所                                     |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译)  | 中国科学院声学研究所                                     |         |            |
| [标]发明人         | 李明轩<br>毛捷<br>张晗<br>廉国选<br>王小民<br>李顺<br>叶青      |         |            |
| 发明人            | 李明轩<br>毛捷<br>张晗<br>廉国选<br>王小民<br>李顺<br>叶青      |         |            |
| IPC分类号         | G01N29/36 G01N29/04 A61B8/00                   |         |            |
| 代理人(译)         | 王勇                                             |         |            |
| 审查员(译)         | 王海玲                                            |         |            |
| 其他公开文献         | CN101441200A                                   |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a> |         |            |

#### 摘要(译)

本发明提供一种基于信号匹配技术的超声检测方法和系统，该方法包括如下步骤：1)基于信号匹配技术，设定检测信号波形；2)根据所设定的检测信号波形计算出电激励信号，利用该电激励信号激励超声换能器生成检测超声信号；3)利用超声换能器接收具有步骤1)所设定波形的携带目标信息的检测信号。所述超声检测系统包括信号合成单元、超声换能器和放大接收单元。本发明的优点包括：根据实际的检测需求，可获得与改善系统性能或检测目的相匹配所需要特定的检测信号；有利于发展新的超声检测方法和系统，解决原来不能实现的检测问题；采用时域去卷积运算，可以不丢失相位等信息，保证了检测信号的准确性；既减小了计算复杂程度，又利于实际控制；硬件系统简单易行。

