

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-503764
(P2004-503764A)

(43) 公表日 平成16年2月5日(2004.2.5)

(51) Int. Cl.⁷
G01H 5/00

F I
G O 1 H 5/00

テーマコード (参考)
2 G O 6 4

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 46 頁)

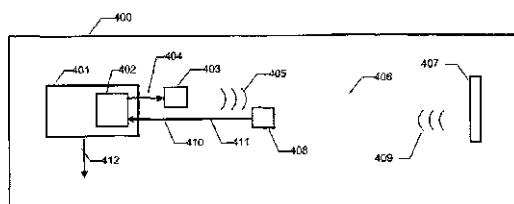
<p>(21) 出願番号 特願2002-510902 (P2002-510902)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成12年6月12日 (2000.6.12)</p> <p>(85) 翻訳文提出日 平成14年12月10日 (2002.12.10)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/SG2000/000085</p> <p>(87) 国際公開番号 W02001/096822</p> <p>(87) 国際公開日 平成13年12月20日 (2001.12.20)</p> <p>(81) 指定国 AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), O A (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, D E, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, T J, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW</p>	<p>(71) 出願人 502281415 アデスト テクノベーション ピーティー イー. リミテッド シンガポール国 シンガポール 0695 33 トンエンビルディング ナンバー0 9-07 セシルストリート 101</p> <p>(74) 代理人 100079119 弁理士 藤村 元彦</p> <p>(74) 代理人 100114568 弁理士 北島 恒之</p> <p>(72) 発明者 タン, カー, シェ シンガポール国 シンガポール 4399 61 ナンバー17-03 アンバーガー デンズ 16</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音速測定装置及びその方法

(57) 【要約】

本発明は音速測定装置に関する。本装置は、出力電気パルス信号(404)を生成する電気パルス生成手段(402)、前記出力電気パルス信号(404)を出力音響パルス信号(405)に変換する送信トランスジューサ、出力音響パルス信号(405)を反射して反射音響パルス信号(409)を生成する反射器(407)、送信トランスジューサから直接送信された出力音響パルス信号(405)及び反射器で反射された反射音響パルス信号(409)を受信するようなされ、受信出力音響パルス信号(405)を再構成された出力電気パルス信号(410)に変換し、かつ反射音響パルス信号を再構成された反射電気パルス信号(411)へ変換する受信トランスジューサ(408)、再構成された出力電気パルス信号(410)及び再構成されたパルス信号(411)を用いて音速(412)を測定する速度測定手段を含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音速測定装置であって、

- ・出力電気パルス信号を生成する電気パルス生成手段と、
 - ・前記出力電気パルス信号を出力音響パルス信号に変換する送信トランスジューサと、
 - ・前記出力音響パルス信号を反射して、反射音響パルス信号を生成する反射器と、
 - ・前記送信トランスジューサから直接送信された前記出力音響パルス信号及び前記反射器で反射された前記反射音響パルス信号を受信するようなされ、前記受信出力音響パルス信号を再構成された出力電気パルス信号に変換し、かつ反射音響パルス信号を再構成された反射電気パルス信号へ変換する受信トランスジューサと、
 - ・前記再構成された出力電気パルス信号及び前記再構成された反射電気パルス信号を用いて音速を測定する速度測定手段と、
- を含む音速測定装置。

10

【請求項 2】

前記電気パルス生成手段が出力電気パルス信号を生成し得るようになされ、その波形が

- ・最大振幅を有する優勢サイクルを有し、かつ
 - ・前記出力電気パルス信号の終端部分の振幅が、ゼロまたはその優勢サイクルにおける前記出力電気パルス信号の前記最大振幅と比較して小さい値へと漸減する、
- ことを特徴とする請求項 1 記載の音速測定装置。

【請求項 3】

前記電気パルス生成手段が、振幅が前記出力電気パルス信号の前記最大振幅より小さい振幅の初期部分を含む波形を有する出力電気パルス信号を生成し得るようになされていることを特徴とする請求項 2 記載の音速測定装置。

20

【請求項 4】

前記電気パルス生成手段及び/または前記速度測定手段がパーソナルコンピュータで実現されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 に記載の音速測定装置。

【請求項 5】

前記電気パルス生成手段がサウンドカードを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 に記載の音速測定装置。

【請求項 6】

前記送信トランスジューサがラウドスピーカであることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 に記載の音速測定装置。

30

【請求項 7】

前記受信トランスジューサがマイクロフォンであることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 に記載の音速測定装置。

【請求項 8】

前記反射器がプラスチックの要素であって、特にコンパクトディスクケースであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 に記載の音速測定装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 に記載の音速測定装置であって、導波路をさらに含み、前記導波路が

40

- ・前記送信トランスジューサと前記反射器との間に配置され、
- かつ/または
- ・前記受信トランスジューサと前記反射器との間に配置されている、
- ことを特徴とする音速測定装置。

【請求項 10】

前記速度測定手段が、

- ・前記再構成された出力電気パルス信号の前記優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークの検出時である、第 1 時刻、
- 及び、

50

・前記再構成された反射電気パルス信号の前記優勢サイクルの第2半サイクルのピークの検出時である、第2時刻、
を用いて音速を測定するようになされていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1に記載の音速測定装置。

【請求項11】

前記速度測定手段が、

・前記再構成された出力電気パルス信号の絶対値が第1閾値を上回るとき前記再構成された出力電気パルス信号の前記優勢サイクルの前記第2半サイクルの前記ピークを検出し、
・前記再構成された反射電気パルス信号の絶対値が第2閾値を上回るとき、前記再構成された反射電気パルス信号の前記優勢サイクルの前記第2半サイクルの前記ピークを検出する、
ようになされていることを特徴とする請求項10記載の音速測定装置。

10

【請求項12】

前記速度測定手段が前記第1閾値と前記第2閾値が同じ値を有するようになされていることを特徴とする請求項11記載の音速測定装置。

【請求項13】

音速測定方法であって、

・出力電気パルス信号を生成するステップと、
・前記出力電気パルス信号を出力音響パルス信号へ変換するステップと、
・前記出力音響パルス信号を反射して反射音響パルス信号を生成するステップと、
・前記反射音響パルス信号を再構成された反射電気パルス信号に変換するステップと、
・前記再構成された反射電気パルス信号を用いて音速を測定するステップと、
を含む音速測定方法。

20

【請求項14】

音速測定方法であって、

・出力電気パルス信号を生成するステップと、
・前記出力電気パルス信号を、出力音響パルス信号及び再構成された出力電気パルス信号へ変換するステップと、
・前記出力音響パルス信号を反射して反射音響パルス信号を生成するステップと、
・前記反射音響パルス信号を再構成された反射電気パルス信号に変換するステップと、
・前記再構成された反射電気パルス信号及び前記再構成された出力電気パルス信号を用いて音速を測定するステップと、
を含む音速測定方法。

30

【請求項15】

前記生成された出力電気パルス信号が、

・最大振幅を有する優勢サイクルを有し、
かつ

・前記出力電気パルス信号の終端部分の前記振幅が、ゼロかその優勢サイクルにおける前記出力電気パルス信号の前記最大振幅と比較してより小さい値へと漸減する、
波形を有することを特徴とする請求項13または14記載の音速測定方法。

40

【請求項16】

前記生成された出力電気パルス信号が、前記出力電気パルス信号の前記最大振幅より小さい振幅の初期部分を含む波形を有することを特徴とする請求項15記載の音速測定方法。

【請求項17】

前記音速は、

・前記再構成された出力電気パルス信号の前記優勢サイクルの第2半サイクルのピークの検出時である、第1時刻、
及び

・前記再構成された反射電気パルス信号の前記優勢サイクルの第2半サイクルのピークの検出時である、第2時刻、

50

を用いて測定されることを特徴とする請求項 14 乃至 16 のいずれか 1 に記載の音速測定方法。

【請求項 18】

前記音速が、

・前記再構成された出力電気パルス信号の絶対値が第 1 閾値を上回るとき前記再構成された出力電気パルス信号の前記優勢サイクルの前記第 2 半サイクルの前記ピークが検出され、

かつ、

・前記再構成された反射電気パルス信号の絶対値が第 2 閾値を上回るとき前記再構成された反射電気パルス信号の前記優勢サイクルの前記第 2 半サイクルの前記ピークが検出される、

10

ように測定されることを特徴とする請求項 17 記載の音速測定方法。

【請求項 19】

前記第 1 閾値及び前記第 2 閾値が同じ値を有することを特徴とする請求項 18 記載の音速測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は音速測定に関する。さらに具体的には、本発明は所定の距離を通る音響信号の伝搬時間に基づいて音速を測定する方法及び装置に関する。

20

【0002】

【発明の背景】

図 1 は米国特許第 4,926,395 号に開示された音速測定の従来技術装置 100 及び方法を示す。

制御モジュール 101 は出力電気パルス信号 102 を生成する。イベント開始時、即ち出力電気パルス信号 102 の生成時の時刻は t_1 で示される。出力電気パルス信号 102 は送信トランスジューサ 103 に送出される。

【0003】

送信トランスジューサ 103 は出力電気パルス信号を音響パルス信号 104 に変換する。

次に、送信トランスジューサ 103 によって出力された音響パルス信号 104 は空気または水などの媒体 105 の中を伝搬し、反射器 106 に当たって反射される。

30

【0004】

反射音響パルス信号 107 は受信トランスジューサ 108 の方へ反射され、受信トランスジューサ 108 は反射音響パルス信号 107 を受信して電気パルス信号に変換する。電気パルス信号は再構成された反射電気パルス信号 109 として以下で言及される。

この公知の装置において、送信トランスジューサ及び受信トランスジューサのフロントエンドは反射器 106 の面に平行な 1 つの面にある。なんとなれば、受信トランスジューサおよび送信トランスジューサが 1 つのトランスジューサで実現されているからである。

【0005】

次に、再構成された反射電気パルス信号 109 は制御モジュール 101 に送出される。

40

再構成された反射電気パルス信号 109 が制御モジュール 101 で受信されるとき時刻に基づいて、音響パルス信号の伝搬時間、即ち、出力及び反射音響パルス信号が媒体 105 の中を伝搬するのに必要な時間が測定される。伝搬時間の測定方法は以下に説明される。

【0006】

制御モジュール 101 で測定され出力される音速 110、即ち s は、

【数式 1】

$$s = \frac{2 \cdot d}{t_0} \quad (1)$$

で与えられ、ここで

・ d は送信トランスジューサ 103 (または受信トランスジューサ 108) と反射器 106 との間の距離であり、

かつ、

・ t_0 は伝搬時間であって、出力音響パルス信号 104 が送信トランスジューサと反射器 106 との間の距離を伝搬するのに必要な時間と、反射音響パルス信号 107 が反射器 106 と受信トランスジューサ 108 との間の距離を伝搬するのに必要な時間との合計である。

10

【0007】

以下に、従来技術による伝搬時間 t_0 の測定方法が説明される。

制御モジュール 101 で生成された出力電気パルス信号 102 は、図 2 A に示すように、通常、有限時間分のゲート正弦波信号である。

送信トランスジューサ 103 及び受信トランスジューサ 108 の固有の特性によって、トランスジューサ 103 及び 104 において、各々の信号変換処理の間に信号特性がたいてい劣化する。これは、例えば、音響パルス信号 104 の波形は出力電気パルス信号 102 の波形に正確に対応せず、送信トランスジューサ 103 によって出力電気パルス信号 102 の波形から音響パルス信号 104 の波形が生成されるということを意味している。同様に、再構成された反射電気パルス信号 109 の波形は、反射音響パルス信号 107 の波形に正確に対応せず、再構成された反射電気パルス信号 109 は反射音響パルス信号 107 から受信トランスジューサ 108 で生成される。

20

【0008】

図 2 B は、再構成された反射電気パルス信号 109 の例を示し、それは制御モジュール 101 で受信され、入力ゲート正弦波信号から生じて出力電気パルス信号 102 として送信トランスジューサ 103 に供給される。

制御モジュール 101 は信号を受信すると、受信信号が再構成された反射電気パルス信号 109 であるかあるいはただのバックグラウンドノイズかを判定する。

30

【0009】

論考を容易にするために、受信信号はデジタル信号であるとみなす。

制御モジュール 101 は、受信信号のひとつのデジタル標本を受信すると、デジタル信号のこの標本の振幅を 2 つの閾値 301、302、即ち上側の閾値 301 と下側の閾値 302 と比較する (図 3 参照)。

本文脈では、振幅はこの時刻でのデジタル信号の電圧レベルであるように意図されている。

【0010】

デジタル信号のこの標本の振幅の絶対値が上側あるいは下側の閾値の絶対値より大きいとき、再構成された反射電気パルス信号 109 が検出されることが判定され、次にこのときの時刻が t_2 で表される (図 3 参照)。

40

そうでなければ、制御モジュール 101 の判定は、再構成された反射電気パルス信号 109 は検出されないということであって、制御モジュール 101 は次のデジタル標本を引き続き採り、再構成された反射電気パルス信号 109 が検出されるまで上述したような比較を行う。

【0011】

伝搬時間 t_0 は次に評価伝搬時間

【数式 2】

$$\hat{t}_0$$

50

であると評価され、

【数式 3】

$$\hat{t}_0 = t_2 - t_1 \quad (2)$$

で与えられる。ここで

・ t_1 は出力電気パルス信号 102 を制御モジュール 101 が生成開始するときの時刻であり、

かつ、

・ t_2 は再構成された反射電気パルス信号 109 が制御モジュール 101 で検出される時の時刻である。 10

【0012】

これで、どのように伝搬時間 t_0 が計算された時間

【数式 4】

$$\hat{t}_0$$

で評価されるかの説明が完了する。

しかしながら、上記に特に説明された先行技術による方法には 2 つの問題があり、

【数式 5】

$$\hat{t}_0$$

20

による t_0 の評価値を誤ったものにする。

第 1 に、送信トランスジューサ 103 によって出力電気パルス信号が可聴形式（音響パルス信号 104）に変換されることは瞬間的に起きているのではなく、主としてトランスジューサの物理的制限によっている。実際、出力電気パルス信号 102 が制御モジュール 101 で生成開始される時の時刻（即ち、 t_1 ）と音響パルス信号 104 が媒体 105 の中を伝搬を開始するときの時刻との間にはかなりの時間の遅延がある。遅延が音速測定の様々な実施／シナリオに対して固定値であるときは、 t_1 を t_1 に固定値を加えた値で置き換えることによってこの問題は回避され得た。しかしながら、遅延は音速測定の様々な実施／シナリオに対して一定ではない。 30

【0013】

第 2 に、再構成された反射電気パルス信号 109 の検出も瞬間的に起きるのではない。実際、制御モジュール 101 は、図 3 に示すように、再構成された反射電気パルス信号 109 のだいたい 2、3 サイクルといふかなりの時間遅延があって初めて再構成された反射電気パルス信号 109 の到達を検出し得る。遅延が、例えば、音速測定の異なる実施／シナリオに対して 1 サイクルといった固定値であるとき、 t_2 を t_2 からこの固定値を減じた値で置き換えることによってこの問題は回避され得る。しかしながら、この遅延も音速測定の異なる実施／シナリオに対して一定ではない。

【0014】

これらの問題は、制御モジュール 101 としてサウンドカード、送信トランスジューサ 103 として市販のやや低コストのラウドスピーカー、反射器 106 としてプラスチックのコンパクトディスクケース、及び受信トランスジューサ 108 として市販のやや低コストのマイクロフォン、を有するパーソナルコンピュータのような低コストコンポーネント使用時にいっそう悪化する。 40

【0015】

【発明の概要】

従って、本発明の第 1 の目的は、特に高校における音速測定実験のためのような教育的目的のために、とりわけ低コストのコンポーネントを使用する時であっても、改善された精度で音速を測定する装置を提供することである。

第 1 の目的を達成するために、本発明の第 1 の特徴によると、音速測定装置は電気パルス 50

信号生成手段を含み、出力電気パルス信号として以下で参照される電気パルス信号を生成する。電気パルス生成手段は、例えば、ケーブル経由で、送信トランスジューサに接続され、出力電気パルス信号を出力音響パルス信号として以下で参照される音響パルス信号に変換する。送信トランスジューサは、市販のやや低コストのラウドスピーカーでできる。さらに、受信トランスジューサが、音響パルス信号を電気パルス信号に変換するために備えられている。受信トランスジューサは、市販のやや低コストのマイクロフォンでできる。2つのトランスジューサは反射器に接続され、送信トランスジューサによって生成され出力された出力音響パルス信号が反射器で反射されて、反射音響パルス信号が生成されて受信トランスジューサで受信される。本発明のこの第1の特徴によれば、受信トランスジューサが、送信トランスジューサに関連して、出力音響パルス信号及び反射音響パルス信号の両方を受信し各々の電気パルス信号に変換するようになっている。受信トランスジューサによって出力音響パルス信号から生成された電気パルス信号は、再構成された出力電気パルス信号として以下で言及され、一方反射音響パルス信号から生成された電気パルス信号は、再構成された反射電気パルス信号として以下で言及される。さらに、本発明のこの特徴による装置は、再構成された出力電気パルス信号と、再構成された反射電気パルス信号も用いて音速を測定する速度測定手段を含む。

10

【0016】

電気パルス生成手段及び/または速度測定手段はパーソナルコンピュータ(PC)で実現され得る。例えば、電気パルス生成手段及び速度測定手段の両方がサウンドカードを含むPCで実現され得る。

20

さらに、反射器はプラスチック要素であり、特にコンパクトディスクケースであってもよい。

【0017】

本発明による装置の有利な点は、かなり低コストのコンポーネントが使用されるときでさえ音速測定の精度が改善されるという事実で理解され得る。なんとなれば、再構成された出力電気パルス信号に基づく音速測定が、従来技術装置と関連して上述された送信トランスジューサの変換プロセスにおける未知の時間遅延によって引き起こされる音速計算の不確実性を排除するからである。さらに、本装置は大変安価であり、よって低コストの用途に特に適している。

【0018】

本発明のさらなる実施例によれば、電気パルス生成手段は、

30

・最大振幅を有する優勢サイクルで始まり、
かつ

・出力電気パルス信号の終端部分の振幅が、優勢サイクルにおける出力電気パルス信号の最大振幅と比較してかなり小さい値かゼロへと漸減する、
ことを特徴とする波形を有する出力電気パルス信号を生成することができるようになされている。

【0019】

出力電気パルス信号は初期部分をさらに含み、その振幅は出力電気パルス信号の最大振幅よりもかなり小さくてもよい。論考を容易にするために、出力電気パルス信号はかかる初期部分を有しないとみなす。

40

本発明の本実施例によれば、音速測定の堅牢性及び正確性をさらに改善する。なんとなれば、出力電気パルス信号のかかる波形で、従来技術に関連して上述された速度測定手段の検出プロセスにおける未知の時間遅延によって引き起こされる音速計算の不確実性を排除するか少なくとも減じるからである。

【0020】

本発明のさらなる実施例によれば、導波路が備えられ、送信トランスジューサと反射器との間、及び/または受信トランスジューサと反射器との間に配置される。さらに、導波路は中空の円筒型チューブであってもよい。長手の紙を巻いて形成した中空のチューブであってもよい。

50

【0021】

かかる導波路を用いると、信号エネルギーの損失がさらに低減され、従って媒体の中を伝搬する時の信号振幅の減少がより少なくなることによって、よりよい測定結果がもたらされる。

さらに、本発明の好適実施例によれば、速度測定手段は、

・再構成された出力電気パルス信号の優勢サイクルの第2ピーク検出時である、第1時刻、及び、

・再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルの第2ピーク検出時である、第2時刻、

を用いて音速を測定するようになされている。

【0022】

再構成された出力電気パルス信号の優勢サイクルの第2ピーク（優勢サイクルの第2半サイクルのピークである）は、その絶対値が第1閾値の絶対値より大きいときに検出され、再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルの第2ピークは、その絶対値が第2閾値の絶対値より大きいときに検出される。第1及び第2閾値は、同じかあるいは異なる値を有してもよい。第1閾値の絶対値が第2閾値の絶対値より大きいことが望ましい。なんとなれば、概して、エネルギー、即ち、再構成された出力電気パルス信号の振幅とが、再構成された反射電気パルス信号の振幅より高いからである。

【0023】

本発明によれば、第1半サイクルの代わりに第2半サイクルを選択することに優位性がある。これはいくつかのシナリオにおいて、再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルの第1半サイクルのピークが十分有効でない一方、他のシナリオにおいては、それが十分有効である、つまり、その絶対値が、第2閾値の絶対値より小さいときもあれば、大きいときもある、ということが認められるからである。よって、優勢サイクルの第1半サイクルのピークを検出することが、多くの場合に伝搬時間 t_0 の評価精度に影響する。なんとなれば、ピークが検出される時間が優勢サイクルの第1半サイクルのピークに正確に対応するときもあるが、優勢サイクルの第1半サイクルのピークが検出されないので、優勢サイクルの次に来るサイクルの第1半サイクルのピークに間違っ対応するときもあるからである。他方、再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルの第2半サイクルのピークは常に十分に有効である。

【0024】

さらに、本発明の第2の目的は、とりわけ低コストのコンポーネント使用時であっても改善された精度を有する音速測定方法を提供することである。

第2の目的を達成するために、出力電気パルス信号が、本発明の第2の特徴による音速測定方法の第1ステップで生成される。次に、出力電気パルス信号は出力音響信号に変換される。反射器で反射された後、このように生成された反射音響パルス信号は、受信されて再構成された反射電気パルス信号に変換される。最終ステップとして、再構成された反射電気パルス信号を用いて音速が測定される。

【0025】

さらに、本発明の好適実施例によれば、出力電気パルス信号は本発明の第2の特徴による音速測定方法の第1ステップで生成される。次に、出力電気パルス信号は、出力音響パルス信号及び再構成された出力電気パルス信号へ変換される。反射器で反射された後、このように生成された反射音響パルス信号は受信されて再構成された反射電気パルス信号へ変換される。最終ステップとして、再構成された反射電気パルス信号及び再構成された出力電気パルス信号を用いて音速が測定される。

【0026】

本構成を参照して上述されたこれらの実施例は、本発明による方法に同様にあてはまる。

【0027】

【発明の好ましい実施形態の詳細な説明】

10

20

30

40

50

本発明の好適実施例を添付図面を参照して説明する。

図 4 は装置 400 を示し、電気パルス生成手段であり空気中の音速を測定する速度測定手段としてのサウンドカード 402 を含むパーソナルコンピュータ (PC) 401 を備えている。

【0028】

本実施例によれば、本装置では標準 PC アクセサリ / コンポーネントだけを使用する。特に、サウンドカード、マイクロフォン、及びラウドスピーカであり、他の PC プラグインカード、PC インタフェースを有する外部ユニット、及び超音波センサなどの非標準 PC アクセサリ / コンポーネントではない。

パーソナルコンピュータ 401 のサウンドカード 402 を用いて出力電気パルス信号 404 を生成することは、出力電気パルス信号 404 が可聴周波数域内、即ち 20 Hz から 20,000 Hz にあって、超音波周波数域内でない、即ち 20,000 Hz 以下であるということの意味することに注意すべきである。

【0029】

この場合、サウンドカード 402 を有する PC 401 が制御モジュールを成す。

さらに、ラウドスピーカ 403 が送信トランスジューサとして備えられる。ラウドスピーカ 403 はケーブル経由でサウンドカード 402 に接続される。

サウンドカード 402 で生成された出力電気パルス信号 404 はラウドスピーカ 403 に与えられて、出力音響パルス信号 405 に変換される。

【0030】

音響パルス信号 405 は次にラウドスピーカ 403 によって送出され、本実施例によれば空気 406 である媒体を経由し、音響パルス信号 405 の少なくとも一部は反射器 407 にぶつかって反射器 407 で反射される。

出力音響パルス信号 405 は、マイクロフォン 408 でさらに受信される。マイクロフォン 408 は受信トランスジューサとして使用される。よって、言い換えると、受信トランスジューサはラウドスピーカ 403 に関連して、図 4 に明瞭に示したように、ラウドスピーカ 403 から直接来る出力音響パルス信号 405 を受信し、その出力音響パルス信号 405 を再構成された出力電気パルス信号に変換するようになされている (図 6 A 参照)。

【0031】

本実施例による反射器 407 は、CD (コンパクトディスク) のプラスチックケースである。反射器 407 は、出力音響パルス信号 405 が反射器 407 にぶつくと出力音響パルス信号 405 を反射し得る他のコンポーネントで成し得るということに注意すべきである。

反射器 407 は、このように出力音響パルス信号 405 を反射し、反射音響パルス信号 409 をマイクロフォン 408 に送出する。

【0032】

マイクロフォン 408 は受信信号、即ち受信出力音響パルス信号 405 及び受信反射音響パルス信号 409 を、再構成された出力電気パルス信号 410 及び再構成された反射電気パルス信号 411 にそれぞれ変換し、PC 401 のサウンドカード 402 に与える。

PC 401 において、伝搬時間 t_0 は評価伝搬時間

【数式 6】

$$\tilde{t}_0$$

として評価され、

【0033】

【数式 7】

$$\tilde{t}_0 = t_4 - t_3$$

(3)

で与えられる。ここで

・ t_3 は、説明図として図 6 A に示したように、再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 の優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークが検出されるとき時刻であり、かつ、

・ t_4 は、説明図として図 6 B に示したように、再構成された反射電気パルス信号 4 1 1 の優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークが検出されるとき時刻である。

【 0 0 3 4 】

図 6 は、P C 4 0 1 で受信された信号 6 0 0 (再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 及び再構成された反射電気パルス信号 4 1 1 を含む) の例と t_3 及び t_4 の位置とを示す。信号 6 0 0 の左側 6 0 1 (図 6 A) は再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 である。信号 6 0 0 の右側 6 0 2 (図 6 B) は再構成された反射電気パルス信号 4 1 1 である。

10

【 0 0 3 5 】

これから、どのように t_3 及び t_4 が得られるかを、図 6 に示した例を用いて詳細に説明する。

本パラグラフでは、どのように t_3 、即ち再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 の優勢サイクルのピークが検出される時の時刻が得られるかを説明する。論考を容易にするために、受信信号はデジタル信号であるとみなす。最初に、パルス波形に関する先験的な知識からすると、本実施例によれば、第 2 半サイクルがこの例において負である(かつ正でない)ことは公知である。P C 4 0 1 は、受信信号のひとつのデジタルサンプルを受信すると、受信信号のこのサンプルの振幅を下側の閾値 6 0 3 と比較する(第 2 半サイクルが正のとき、振幅は上側の閾値 6 0 4 と比較される。)。受信信号のこのサンプルの振幅の絶対値が下側の閾値 6 0 3 の絶対値より大きいとき、再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 が検出されたと判断される。そうでなければ、受信信号は再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 ではない、即ち再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 は検出されないと判断され、制御モジュールは次のデジタルサンプルを引き続いて採り、再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 が検出されるまで、上述したような比較を行う。それは次のサンプルを現在のサンプルと、次の次のサンプルを次のサンプルと、以下同様、比較することによって部分的な絶対最大ポイントを探し、この部分的な絶対最大ポイントに対応する時刻を t_3 として表示し続ける(図 6 参照)。 t_3 は再構成された出力電気パルス信号 4 1 0 の優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークに対応するということに注意が必要である。

20

【 0 0 3 6 】

本パラグラフでは、どのように t_4 、即ち再構成された反射電気パルス信号 4 1 1 の優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークが検出されるとき時刻が得られるかを説明する。パルス長の先験的な知識からすると、 t_4 のサーチが開始されるまで t_3 の後の一定期間待たされる。かかる期間の後、 t_4 のサーチが、前のパラグラフで述べた t_3 のサーチと同じ方法を用いて開始される。閾値の値だけが t_3 のサーチに用いられた値とは異なってもよい(図 6 に示された例においては、同じ閾値が t_3 及び t_4 の両方のサーチに用いられていることに注意が必要である。)。 t_4 は、再構成された反射電気パルス信号 4 1 1 の優勢サイクルの第 2 半サイクルのピークに対応することに注意が必要である。

30

【 0 0 3 7 】

図 4 に示された測定装置、及び図 5 A または 5 B に示され以下に更に詳細に述べられる生成された出力電気パルス信号の波形を用いると、 t_3 及び t_4 には、従来技術装置(図 1 参照)による t_1 及び t_2 が直面した「遅延問題」はなく、上述した問題は解決される。その結果、 t_0 の評価値はより正確になる。

40

よって、最終ステップとして、音速 4 1 2、即ち s' は以下の公式によって算定される。

【 0 0 3 8 】

【 数式 8 】

$$s' = \frac{2 \cdot d'}{t_0} \quad (4)$$

ここで、

50

・ d ' はマイクロフォン 4 0 8 と反射器 1 0 6 との間の距離であり、

【数式 9】

$$\bar{t}_0$$

は方程式 (3) で与えられた評価伝搬時間である。

本発明による生成された出力電気パルス信号 4 0 4 の波形例は図 5 A 及び図 5 B に示される。

【 0 0 3 9 】

図 5 A に示した生成された出力電気パルス信号 5 0 1 の特徴は以下の通りである。 10

・ 図 5 A に示した信号 5 0 1 は最大振幅を有する優勢サイクル 5 0 3 から始まり、かつ、

・ 信号 5 0 1 の終端部分 5 0 4 の振幅は、信号 5 0 1 の最大振幅と比較してかなり小さい値へと漸減する。

【 0 0 4 0 】

図 5 B に示した生成された出力電気パルス信号 5 0 2 の特徴は信号 5 0 1 と同様であり、さらに信号 5 0 2 は初期部分 5 0 5 を含み、その振幅は信号 5 0 2 の最大振幅よりかなり小さい。論考を容易にするために、出力電気パルス信号 4 0 4 はかかる初期部分を含まないとみなす。

サウンドカード 4 0 2 で生成された出力電気パルス信号 4 0 4 である、図 5 A 及び 5 B を参照して上述したパルス信号案を用いることが、本発明による有利な点である、ということが強調されるべきである。実際、図 2 A に示した従来 of ゲート正弦波信号が出力電気パルス信号として用いられると、以下のように問題が生じ得る。ゲート正弦波信号が短い持続時間を有すると、再構成された反射電気パルス信号は、その波形が出力電気パルス信号 4 0 4 の波形とかなり異なるという意味においてひどくゆがめられる可能性があり、時間 t_4 の測定は難しく信頼できない。他方、この問題を解決するために、出力電気パルス信号としてゲート正弦波信号が長い持続時間を有すると、再構成された出力電気パルス信号が、再構成された反射電気パルス信号と重複し、時間 t_4 の測定がこの場合もやはり難しくなり得るといふ別の問題をもたらす得る。 20

【 0 0 4 1 】

図 5 A 及び図 5 B で説明されたこの波形に関して、信号持続期間をかなり長い時間にセットすると、上述した短い持続時間による問題は解決する。長い持続時間では、前のパラグラフで述べた「重複問題」に直面し得る。しかしながら、本発明による出力電気パルス信号案は漸減している終端を有するので、再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルと重複する再構成された出力電気パルス信号のその部分の振幅の絶対値は、再構成された反射電気パルス信号の優勢サイクルの振幅の絶対値より極めて小さく、時間 t_4 の測定は難しくない。 30

【 0 0 4 2 】

よって、本発明による波形案を用いると、上述した両方の問題が解決される。

図 1 に示したような公知の装置で出力電気パルス信号として上記の波形案を使用することは、本発明の範囲に含まれるということに更に注意すべきである。なんとなれば、本発明によって提案された装置を用いなくてもかかる波形の使用によって、上述したように測定精度を著しく改善すると考えられるからである。 40

【 0 0 4 3 】

図 7 に示した本発明のさらなる実施例によれば、導波路 7 0 1 はマイクロフォン 4 0 8 と反射器 4 0 7 との間に追加される。その他の点では、この実施例は図 4 に関連して説明された第 1 実施例と同様である。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 従来技術による音速測定装置のブロック図を示す。

【 図 2 A 】 従来技術による代表的な出力電気パルス信号の波形を示す。 50

【図 2 B】図 2 A の出力電気パルス信号に対応する再構成された反射電気パルス信号を示す。

【図 3】従来技術による制御モジュールにおける再構成された反射電気パルス信号の検出を説明する図を示す。

【図 4】本発明の第 1 実施例による音速測定装置のブロック図を示す。

【図 5 A】本発明の実施例による出力電気パルス信号の波形を示す。

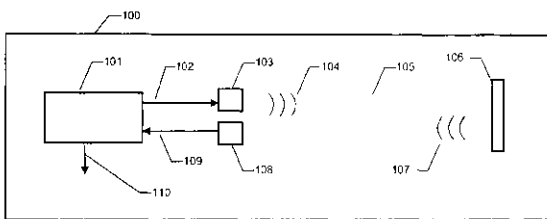
【図 5 B】本発明の実施例による出力電気パルス信号の波形を示す。

【図 6 A】本発明の実施例による制御モジュールにおける再構成された出力電気パルス信号の検出を説明する図を示す。

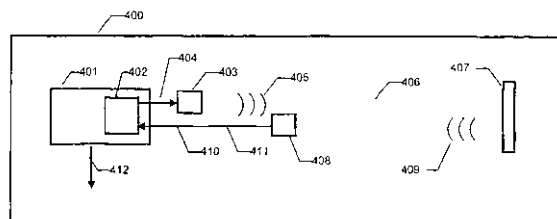
【図 6 B】本発明の実施例による制御モジュールにおける再構成された反射電気パルス信号の検出を説明する図を示す。

【図 7】本発明の第 2 実施例による音速測定装置のブロック図を示す。

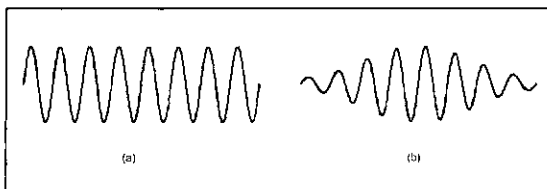
【図 1】



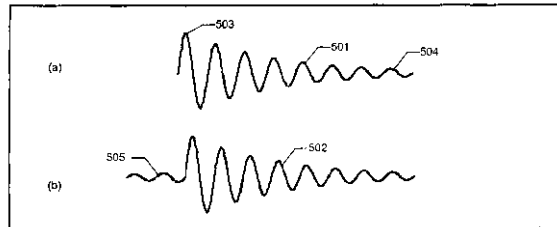
【図 4】



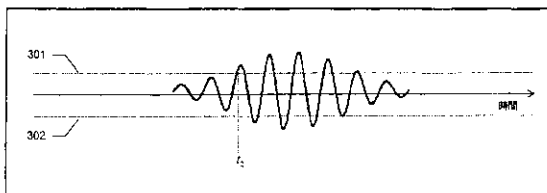
【図 2】



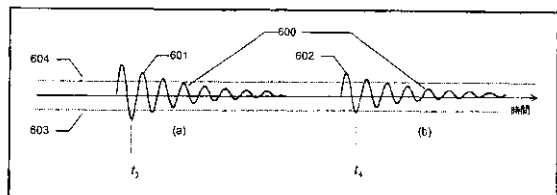
【図 5】



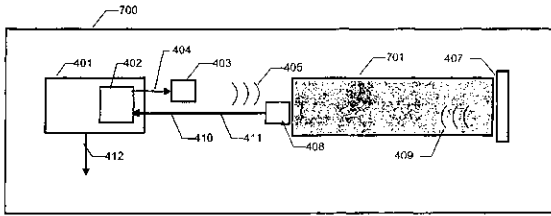
【図 3】



【図 6】



【 図 7 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
20 December 2001 (20.12.2001)

PCT

(10) International Publication Number
WO 01/96822 A1

- (51) International Patent Classification: G01H 5/00
- (21) International Application Number: PCT/SG00/00085
- (22) International Filing Date: 12 June 2000 (12.06.2000)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (71) Applicant (for all designated States except US): ADIPEST TECHNOVATION PTE. LTD. [SG/SG], #09 07 Tong Eng Building, 101 Cecil Street, Singapore 069553 (SG).
- (72) Inventors: and
- (75) Inventors/Applicants (for US only): TAN, Kah, Chye [SG/SG], Blk. 112, Lengkok Uja, #04 225, Singapore 410112 (SG); GOH, Zentou [SG/SG], Blk. 642, Chea Chu Keng Street 64, 408-77, Singapore 680642 (SG); HO, Kwok, Chiung [SG/SG], Block 310, Canberra Road, #10-127, Singapore 750310 (SG).
- (74) Agents: HAQ, Murgiana et al., Haq & Namazie Partnership, Robinson Road, P.O. Box 765, Singapore 901515 (SG).

(81) Designated States (traditionally): AP, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GR, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NG, NZ, PE, PT, RO, RU, SD, SE, SI, SK, SL, TD, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

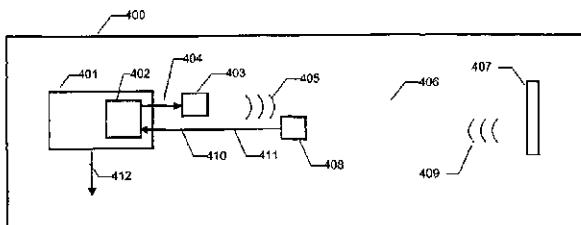
(84) Designated States (regionally): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, EG, GZ, MD, RU, TJ, TN), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PL, SE), GAPI patent (BI, BJ, CF, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MK, NE, SN, TD, TG).

Published: with international search report
For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.



WO 01/96822 A1

(54) Title: ARRANGEMENT AND METHOD FOR MEASURING THE SPEED OF SOUND



(57) Abstract: The invention relates to an arrangement for measuring the speed of sound, the arrangement comprising: an electrical pulse generating means (402) for generating an output electrical pulse signal (401); a transmitting transducer (402) for converting said output electrical pulse signal (401) into an output acoustic pulse signal (405); a reflector (407) for reflecting said output acoustic pulse signal (405), thereby producing a reflected acoustic pulse signal (409); a receiving transducer (408) being arranged such as to receive said output acoustic pulse signal (405) transmitted directly from said transmitting transducer and said reflected acoustic pulse signal (409) reflected by said reflector, wherein said receiving transducer converts the received output acoustic pulse signal (405) into a reconstructed output electrical pulse signal (410) and the reflected acoustic pulse signal (409) into a reconstructed reflected electrical pulse signal (411); a speed determination means for determining the speed of sound (412) using the reconstructed output electrical pulse signal (410) and the reconstructed pulse signal (411).

WO 01/96822

PCT/SG0000085

1

arrangement and a method for measuring the speed of sound

BACKGROUND OF THE INVENTION

5

The present invention relates to the measurement of the speed of sound. More specifically, the present invention relates to a method, and an arrangement for measuring the speed of sound based on the travel time of an acoustic signal through a predetermined distance.

10

Figure 1 shows a prior-art arrangement 100 and method for measuring the speed of sound, as described in US 4,926,395.

15

A control module 101 generates an output electrical pulse signal 102. The instance when the event starts, i.e. when the output electrical pulse signal 102 is generated, is denoted as t_1 . The output electrical pulse signal 102 is sent to a transmitting transducer 103.

20

The transmitting transducer 103 converts the output electrical pulse signal 102 into an acoustic pulse signal 104.

25

Next, the acoustic pulse signal 104 output by the transmitting transducer 103 travels through a medium 105, such as air or water, hits a reflector 106 and is reflected.

30

The reflected acoustic pulse signal 107 then travels back towards a receiving transducer 108 which receives the reflected acoustic pulse signal 107 and converts it into an electrical pulse signal which will be referred to in the following as reconstructed reflected electrical pulse signal 109.

35

In this known arrangement the front ends of the transmitting and receiving transducers lie in a plane parallel to the

WO 01/96822

PCT/SG0000085

2

plane of the reflector 106, since the receiving transducer and the transmitting transducer are embodied by a single transducer.

5 Next, the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is sent to the control module 101.

Based on the instance when the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is received by the control module
10 101, the traveling time of the acoustic pulse signal, i.e. the time which was necessary for the output and reflected acoustic pulse signals to travel through the medium 105 is determined. The determination of the traveling time will be described below.

15 The speed of sound 110, s , determined and output by the control module 101 is given by

$$s = \frac{2 \cdot d}{t_0}, \quad (1)$$

20

where

- d is the distance between the transmitting transducer 103 (or the receiving transducer 108) and the reflector 106, and
- 25 • t_0 is the traveling time which is the sum of the time needed for the output acoustic pulse signal 104 to travel through the distance between the transmitting transducer 103 and the reflector 106 and the time needed for the reflected acoustic pulse signal 107 to travel
30 through the distance between the reflector 106 and the receiving transducer 108.

In the following, the determination of the traveling time t_0 according to the state of the art will be described.

35

WO 01/96822

PCT/SG0000085

3

The output electrical pulse signal 102 generated by the control module 101 is typically a gated sinusoidal signal that is of a finite time duration, as shown in Figure 2a.

5 Due to the inherent characteristics of the transmitting transducer 103 and the receiving transducer 108, the transducers 103 and 104 will, in general, deteriorate the characteristics of the signals in the course of the respective signal conversion processes. This means for
10 example that the waveform of the acoustic pulse signal 104 does not exactly correspond to the waveform of the output electrical pulse signal 102 from which it is generated by the transmitting transducer 103. Similarly, the waveform of the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 does not
15 exactly correspond to the waveform of the reflected acoustic pulse signal 107 from which the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is generated by the receiving transducer 108.

20 Figure 2b shows an example of a reconstructed reflected electrical pulse signal 109 which is received by the control module 101 and originates from an input gated sinusoidal signal as the output electrical pulse signal 102 delivered to the transmitting transducer 103.

25 When the control module 101 receives a signal, it will decide whether the received signal is the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 or just background noise.

30 For ease of discussion, the received signal is considered to be a digital signal.

When the control module 101 receives one digital sample of the received signal, it compares the amplitude of the current
35 sample of the digital signal with two thresholds 301, 302, namely an upper threshold 301 and a lower threshold 302 (see Figure 3).

WO 01/96822

PCT/SG0000085

4

In this context, amplitude is meant to be the voltage level of the digital signal at the current time instance.

5 If the absolute value of the amplitude of the current sample of the digital signal is larger than the absolute value of the upper or lower thresholds, the decision is that the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is detected, and this current time instance is then denoted by
10 t_2 (see Figure 2).

Otherwise, the decision of the control module 101 is that the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is not detected, and the control module 101 continues to take the
15 next digital sample and performs the comparison as described above until the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is detected.

The traveling time t_0 is then estimated to be an estimated
20 traveling time \hat{t}_0 , which is given by

$$\hat{t}_0 = t_2 - t_1, \quad (2)$$

where

- 25 • t_1 is the time instance when the output electrical pulse signal 102 starts to be generated by the control module 101, and
- t_2 is the time instance when the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 is detected by the control
30 module 101.

This completes the description of how the traveling time t_0 is estimated by the calculated time \hat{t}_0 .

WO 01/96822

PCT/SG0000085

5.

However, the prior-art method described above particularly has two problems that cause the estimation of t_0 by \hat{t}_0 to be inaccurate.

5 Firstly, the conversion of the output electrical pulse signal 102 into its acoustic form (the acoustic pulse signal 104) by the transmitting transducer 103 is not instantaneous, mainly due to physical limitations of transducers. Indeed, there is a considerable time delay between the instance when the
10 output electrical pulse signal 102 starts to be generated by the control module 101 (i.e., t_1) and the instance when the acoustic pulse signal 104 starts to travel in the medium 105. If the delay is of a fixed value for different runs/scenarios of the speed-of-sound measurement, one could circumvent this
15 problem by replacing t_1 by t_1 plus this fixed value. However, the delay is not constant for different runs/scenarios of the speed-of-sound measurement.

Secondly, the detection of the reconstructed reflected
20 electrical pulse signal 109 is also not instantaneous. Indeed, the control module 101 can detect the arrival of the reconstructed reflected electrical pulse signal 109 only after a considerable time delay of about a few cycles of the reconstructed reflected electrical pulse signal 109, as shown
25 in Figure 3. If the delay is of a fixed value, for example one cycle for different runs/scenarios of the speed-of-sound measurement, one could circumvent this problem by replacing t_2 by t_2 minus this fixed value. However, also this delay is
30 not constant for different runs/scenarios of the speed-of-sound measurement.

These problems become even worse when using low cost components, like a personal computer with a sound card as the control module 101, a commercial, rather low-cost loudspeaker
35 as transmitting transducer 103, a plastic compact disc case

WO 01/96822

PCT/SG0000085

6

as the reflector 106, and a commercial, rather low-cost microphone as the receiving transducer 108.

5

SUMMARY OF THE INVENTION

Thus, it is a first object of the present invention to provide an arrangement for measuring the speed of sound with improved accuracy particularly even when using low cost components, especially for educational purposes like for experimental speed-of-sound measurements in high schools.

To achieve the first object, according to a first aspect of the invention, an arrangement for measuring the speed of sound comprises an electrical pulse generating means for generating an electrical pulse signal which will be referred to in the following as output electrical pulse signal. The electrical pulse generating means is coupled, e.g. via a cable, to a transmitting transducer for converting the output electrical pulse signal into an acoustic pulse signal which will be referred to in the following as output acoustic pulse signal. The transmitting transducer may be a commercial, rather low-cost loudspeaker. Furthermore, a receiving transducer for converting an acoustic pulse signal into an electrical pulse signal is provided. The receiving transducer may be a commercial, rather low-cost microphone. Both transducers are coupled with a reflector in such a manner that the output acoustic pulse signal generated and output by the transmitting transducer is reflected by the reflector, thereby generating a reflected acoustic pulse signal which is received by the receiving transducer. According to this first aspect of the invention the receiving transducer is arranged, relative to the transmitting transducer, in such a manner that it receives both the output acoustic pulse signal and the reflected acoustic pulse signal and converts them to respective electrical pulse signals. The electrical pulse signal generated from the output acoustic pulse signal by the

WO 01/96822

PCT/SG0000085

7

receiving transducer will be referred to in the following as reconstructed output electrical pulse signal, whereas the electrical pulse signal generated from the reflected acoustic pulse signal will be referred to in the following as reconstructed reflected electrical pulse signal. Furthermore, the arrangement according to this aspect of the invention comprises a speed determination means for determining the speed of sound using the reconstructed output electrical pulse signal and also the reconstructed reflected electrical pulse signal.

The electrical pulse generating means and/or the speed determination means may be implemented in a personal computer (PC). For example, both the electrical pulse generating means and the speed determination means may be implemented by a PC comprising a sound card.

Furthermore, the reflector may be a plastic element, in particular a compact disc case.

An advantage of the arrangement according to the invention can be seen in the fact that, even if very low-cost components are used, the accuracy of the speed-of-sound measurement is improved, since by determining the speed of sound based on the reconstructed output electrical pulse signal the uncertainty in the speed of sound calculation caused by the unknown time delay in the conversion process of transmitting transducer as described above in conjunction with the state of art arrangement is eliminated. Furthermore, this arrangement is very cheap and thus especially suitable for low-cost applications.

According to a further embodiment of the invention, the electrical pulse generating means is arranged in such a manner that it can generate an output electrical pulse signal with a waveform,

WO 01/96822

PCT/SG0000085

8

- which begins with a dominant cycle with maximum amplitude, and
- wherein the amplitude of the end portion of the output electrical pulse signal tapers off to either zero or a considerably smaller value as compared to the maximum amplitude of the output electrical pulse signal in its dominant cycle.

10 The output electrical pulse signal may further contain an initial portion whose amplitude is considerably smaller than the maximum amplitude of the output electrical pulse signal. For ease of discussion, the output electrical pulse signal is considered not to have such an initial portion.

15 With this embodiment of the invention, the robustness and the accuracy of the speed of sound measurement is further improved, since with such a waveform of the output electrical pulse signal the uncertainty in the speed of sound calculation caused by the unknown time delay in the detection
20 process of the speed determination means as described above in conjunction with the state of art arrangement is eliminated or at least reduced.

25 According to a further embodiment of the invention, a wave guide is provided, which is arranged between the transmitting transducer and the reflector, and/or between the receiving transducer and the reflector.

30 Furthermore, the wave guide may be a hollow cylindrical tube, which is made by rolling a long piece of paper into a hollow cylinder.

35 With such a wave guide, the loss of signal energy is further reduced, thus providing better measurement results due to less reduction of the signal amplitude when traveling through the medium.

WO 01/96822

PCT/SG0000085

9

Furthermore, according to a preferred embodiment of the invention, the speed determination means is arranged in such a manner, that it determines the speed of sound using

- 5 • a first instance, when the second peak of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal is detected, and
- a second instance, when the second peak of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is detected.

10

The second peak of the dominant cycle (which is the peak of the second half-cycle of the dominant cycle) of the reconstructed output electrical pulse signal is detected when its absolute value is larger than the absolute value of a first threshold, and the second peak of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is detected when its absolute value is larger than the absolute value of a second threshold. The first and second thresholds may have the same or different values. Preferably, the absolute value of the first threshold is larger than the absolute value of the second threshold, since in general the energy and, therefore, the amplitude of the reconstructed output electrical pulse signal is higher than that of the reconstructed reflected electrical pulse signal.

20

According to the invention it is advantageous to choose the second half-cycle instead of the first half-cycle, since it was observed that in some scenarios, the peak of the first half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is not significant enough, while in other scenarios it is significant enough, i.e., the absolute value of which is, on some occasions, smaller than the absolute value of the second threshold, but on other occasions larger. Therefore, detecting the peak of the first half-cycle of the dominant cycle would in many cases affect the accuracy of estimating the traveling time t_0 , since in some occasions the time at which a peak is detected would

25

30

35

WO 01/96822

PCT/SG0000085

10

correctly correspond to the peak of the first half-cycle of the dominant cycle, but it would, in other occasions, incorrectly correspond to the peak of the first half-cycle of a cycle following the dominant cycle, because the peak of the first half-cycle of the dominant cycle is not detected. On the other hand, the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is consistently significant enough.

10 Further, it is a second object of the present invention to provide a method for measuring the speed of sound with improved accuracy particularly even when using low cost components.

15 To achieve the second object, an output electrical pulse signal is generated in a first step of the method for measuring the speed of sound according to a second aspect the invention. Next, the output electrical pulse signal is converted into an output acoustic pulse signal. After having been reflected by a reflector, the thus generated reflected acoustic pulse signal is received and converted into a reconstructed reflected electrical pulse signal. As a last step, the speed of sound is determined using the reconstructed reflected electrical pulse signal.

25 Furthermore, according to a preferred embodiment of the invention, an output electrical pulse signal is generated in a first step of the method for measuring the speed of sound according to a second aspect the invention. Next, the output electrical pulse signal is converted into an output acoustic pulse signal and into a reconstructed output electrical pulse signal. After having been reflected by a reflector, the thus generated reflected acoustic pulse signal is received and converted into a reconstructed reflected electrical pulse signal. As a last step, the speed of sound is determined using the reconstructed reflected electrical pulse signal and the reconstructed output electrical pulse signal.

WO 01/96822

PCT/SG00/00085

11

The embodiments described above with reference to the arrangement do apply as well to the method according to the present invention.

5

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIGURE 1 shows a block diagram of an arrangement for measuring the speed of sound according to the state of the art;

FIGURES 2a and 2b show a waveform of a typical output electrical pulse signal (Figure 2a) and the corresponding reconstructed reflected electrical pulse signal (Figure 2b) according to the state of the art;

FIGURE 3 shows a diagram illustrating the detection of the reconstructed reflected electrical pulse signal in the control module according to the state of the art;

FIGURE 4 shows a block diagram of an arrangement for measuring the speed of sound according to a first embodiment of the present invention;

FIGURES 5a and 5b show waveforms of output electrical pulse signals according to an embodiment of the present invention;

FIGURE 6 shows a diagram illustrating the detection of the reconstructed output electrical pulse signal (Figure 6a) and the reconstructed reflected electrical pulse signal (Figure 6b) in the control module according to an embodiment of the present invention;

WO 01/96822

PCT/SG0000085

12

FIGURE 7 shows a block diagram of an arrangement for measuring the speed of sound according to a second embodiment of the present invention.

5

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENTS OF THE INVENTION

10 Preferred embodiments of the invention will now be described with reference to the accompanying drawings.

Figure 4 shows an arrangement 400 with a personal computer (PC) 401 comprising a sound card 402 as the electrical pulse
15 generating means and as the speed determination means for measuring the speed of sound in air.

According to this embodiment, only standard PC accessories/components are used in the arrangement, in
20 particular a soundcard, microphone and loudspeaker, but not non-standard PC accessories/components such as other PC plug-in cards, external units with PC interface, and ultrasound sensor.

25 Note that using the soundcard 402 of the personal computer 401 for generating the output electrical pulse signal 404 means that the output electrical pulse signal 404 will be in the audible sound frequency range, i.e., 20 Hz to 20,000 Hz, but not in the ultrasound frequency range, i.e. not more than
30 20,000 Hz.

In this case, the PC 401 with the soundcard 402 forms the control module.

35 Furthermore, a loudspeaker 403 is provided as the transmitting transducer. The loudspeaker 403 is connected to the soundcard 402 via a cable.

WO 01/96822

PCT/SG0000085

13

The output electrical pulse signal 404 generated by the soundcard 402 is provided to the loudspeaker 403, by which it is converted into an output acoustic pulse signal 405.

5

The acoustic pulse signal 405 is then sent by the loudspeaker 403 through the medium, according to this embodiment, air 406 so that at least a part of the acoustic pulse signal 405 hits a reflector 407 and is reflected by the reflector 407.

10

The output acoustic pulse signal 405 is further received by a microphone 408, which is used as the receiving transducer. Thus, in other words, the receiving transducer is arranged with reference to the loudspeaker 403 in such a manner as clearly shown in Figure 4 that it receives the output acoustic pulse signal 405 coming directly from the loudspeaker 403 and converts the same into a reconstructed output electrical pulse signal (see Figure 6a).

15

The reflector 407 according to this embodiment is a CD (compact disc) plastic case. It should be noted, that the reflector 407 can be formed by any other component which can reflect the output acoustic pulse signal 405, when it hits the reflector 407.

20

The reflector 407 thus reflects the output acoustic pulse signal 405 and sends the reflected acoustic pulse signal 409 to the microphone 408.

25

The microphone 408 converts the received signals, i.e. both the received output acoustic pulse signal 405 and the received reflected acoustic pulse signal 409, into the reconstructed output electrical pulse signal 410 and the reconstructed reflected electrical pulse signal 411, respectively, which are provided to the soundcard 402 of the PC 401.

30

35

WO 01/96822

PCT/SG0000085

14

In the PC 401, the traveling time t_0 is estimated as the estimated traveling time \tilde{t}_0 , which is given by

$$\tilde{t}_0 = t_4 - t_3, \quad (3)$$

5

where

- t_3 is the instance when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal 410 is detected, as shown in Figure 6a for an illustration, and
- t_4 is the instance when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal 411 is detected, as shown in Figure 6b for an illustration.

15

Figure 6 shows an example of a signal 600 (comprising the reconstructed output electrical pulse signal 410 and the reconstructed reflected electrical pulse signal 411) received by the PC 401 and the positions of t_3 and t_4 .

20

The left part 601 of the signal 600 (Figure 6a) is the reconstructed output electrical pulse signal 410. The right part 602 of the signal 600 (Figure 6b) is the reconstructed reflected electrical pulse signal 411.

25

Now it will be explained in detail how t_3 and t_4 are obtained, using the example shown in Figure 6.

In this paragraph, it will be explained how t_3 , i.e. the time instance when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal 410 is detected, is obtained. For ease of discussion, the received signal is considered to be a digital signal. First, based on a priori knowledge about the pulse shape,

30

WO 01/96822

PCT/SG0000085

15

according to this embodiment, it is known that the second half-cycle is negative (and not positive) in this example. When the PC 401 receives one digital sample of the received signal, it compares the amplitude of the current sample of the received signal with the lower threshold 603. (If the second half-cycle would be positive, the amplitude would be compared to the upper threshold 604.) If the absolute value of the amplitude of the current sample of the received signal is larger than the absolute value of the lower threshold 603, the decision is made that the reconstructed output electrical pulse signal 410 is detected. Otherwise the decision is that the received signal is not the reconstructed output electrical pulse signal 410, i.e. this latter is not detected, and the control module continues to take the next digital sample and performs the comparison as described above until the reconstructed output electrical pulse signal 410 is detected. It will then proceed to look for a local absolute maximum point by comparing the next sample with the current sample, the second next sample with the next sample and so on, and to denote the time instance corresponding to this local absolute maximum point as t_3 (see Figure 6). Note that t_3 corresponds to the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal 410.

In this paragraph, it will be explained how t_4 , i.e. the time instance when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal 411 is detected, is obtained. Based on a priori knowledge of the pulse length, it is waited for a certain fixed period of time after t_3 before the search for t_4 is started. After such a period of time, the search for t_4 is started using the same method as for the search for t_3 described in the previous paragraph, except that the value of the threshold may be different from that used for the search for t_3 (note that in the example shown in Figure 6, the same

WO 01/96822

PCT/SG0000085

16

threshold value is used for searching both for t_3 and t_4). Note that t_4 corresponds to the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal 411.

5

With the measurement arrangement shown in Figure 4 and the waveform of the generated output electrical pulse signal shown in Figure 5a or 5b and described more in detail in the following, t_3 and t_4 do not have the "delay problem" that t_1 and t_2 according the state of art arrangement (see Figure 1) have faced, and so the above mentioned problems are solved. Consequently, the estimation of t_0 becomes more accurate.

Thus, as a last step, the speed of sound 412, s' , is determined according to the following formula:

15

$$s' = \frac{2 \cdot d'}{t_0} \quad (4)$$

where

- d' is the distance between the microphone 408 and the reflector 106,
- t_0 is the estimated traveling time given in Equation 3.

20

Examples of the waveforms of the generated output electrical pulse signal 404 according to the invention are shown in Figure 5a and Figure 5b.

25

The characteristics of the generated output electrical pulse signal 501 as shown in Figure 5a are as follows:

- the signal 501 as shown in Figure 5a begins with a dominant cycle 503 with maximum amplitude, and
- the amplitude of the end portion 504 of the signal 501 tapers off to a considerably smaller value as compared to the maximum amplitude of the signal 501.

30

WO 01/96822

PCT/SG0000085

17

The characteristics of the generated output electrical pulse signal 502 as shown in Figure 5b are similar to the signal 501, wherein the signal 502 further contains an initial portion 505 whose amplitude is considerably smaller than the maximum amplitude of the signal 502. For ease of discussion, the output electrical pulse signal 404 is considered not to have such an initial portion.

It shall be highlighted that it is advantageous according to the invention to use the proposed pulse signal as described above with reference to Figure 5a or 5b to be the output electrical pulse signal 404 generated by the soundcard 402. Indeed, if the conventional gated sinusoidal signal as shown in Figure 2a is used as the output electrical pulse signal, a problem may arise as follows. If the gated sinusoidal signal has a short duration, the reconstructed reflected electrical pulse signal will likely be severely distorted in the sense that its waveform will be very different from that of the output electrical pulse signal 404, and so determination of the time t_4 may be difficult and unreliable. On the other hand, if the gated sinusoidal signal as the output electrical pulse signal has a long duration, in order to solve this problem, it may lead to another problem in that the reconstructed output electrical pulse signal may then be overlapped with the reconstructed reflected electrical pulse signal and so determination of the time t_4 may again be difficult.

As for this waveform illustrated in Figure 5a and Figure 5b, the signal's duration is set to be quite long so that the problem due to short duration mentioned above is overcome. Now with a long duration, the "overlapping problem" mentioned in the previous paragraph may be faced. However, since the proposed output electrical pulse signal according to the invention has a taper-off end, the absolute values of the amplitudes of the portion of the reconstructed output electrical pulse signal that overlaps with the dominant cycle

WO 01/96822

PCT/SG0000085

18

of the reconstructed reflected electrical pulse signal are significantly smaller than the absolute value of the amplitude of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal, determination of the time
5 t_4 will not be difficult.

Therefore, with the waveform proposed by the invention, both problems mentioned above are overcome.

10 It should be further noted that it lies within the scope of the invention to use the above proposed waveform for the output electrical pulse signal also with the known arrangement shown in Figure 1, since the use of such a waveform even without the arrangement proposed by the
15 invention would significantly improve the measurement accuracy as described above.

According to a further embodiment of the invention as shown in Figure 7, a wave guide 701 is added in between the
20 microphone 408 and the reflector 407. Otherwise this embodiment is similar to the first embodiment described in conjunction with Figure 4.

WO 01/96822

PCT/SG0000085

19
CLAIMS

What is claimed is:

- 5 1. An arrangement for measuring the speed of sound,
comprising:
- an electrical pulse generating means for generating an
output electrical pulse signal,
 - 10 • a transmitting transducer for converting said output
electrical pulse signal into an output acoustic pulse
signal,
 - a reflector for reflecting said output acoustic pulse
signal, thereby producing a reflected acoustic pulse
signal,
 - 15 • a receiving transducer being arranged such as to
receive said output acoustic pulse signal transmitted
directly from said transmitting transducer and said
reflected acoustic pulse signal reflected by said
reflector, wherein said receiving transducer converts
20 the received output acoustic pulse signal into a
reconstructed output electrical pulse signal and the
reflected acoustic pulse signal into a reconstructed
reflected electrical pulse signal,
 - a speed determination means for determining the speed of
25 sound using the reconstructed output electrical pulse
signal and the reconstructed reflected electrical pulse
signal.
- 30 2. The arrangement for measuring the speed of sound according
to claim 1,
wherein the electrical pulse generating means is arranged in
such a manner that it can generate an output electrical pulse
signal with a waveform,
- 35 • which has a dominant cycle with a maximum amplitude, and
 - wherein the amplitude of the end portion of the output
electrical pulse signal tapers off to either zero or a

WO 01/96822

PCT/SG000085

20

smaller value as compared to the maximum amplitude of the output electrical pulse signal in its dominant cycle.

- 5 3. The arrangement for measuring the speed of sound according to claim 2, wherein the electrical pulse generating means is arranged in such a manner that it can generate an output electrical pulse signal with a waveform, wherein the output electrical pulse
10 signal contains an initial portion whose amplitude is smaller than the maximum amplitude of the output electrical pulse signal.
4. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 3,
15 wherein the electrical pulse generating means and/or the speed determination means are implemented in a personal computer.
- 20 5. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 4, wherein the electrical pulse generating means comprises a sound card.
- 25 6. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 5, wherein the transmitting transducer is a loudspeaker.
7. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 6,
30 wherein the receiving transducer is a microphone.
8. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 7,
35 wherein the reflector is a plastic element, in particular a compact disc case.

WO 01/96822

PCT/SG0000085

21

9. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 8, further comprising a wave guide, which
- is arranged between the transmitting transducer and the reflector, and/or
 - is arranged between the receiving transducer and the reflector.
10. The arrangement for measuring the speed of sound according to any of the claims 1 to 9, wherein the speed determination means is arranged in such a manner, that it determines the speed of sound using
- a first time instance, when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal is detected, and
 - a second time instance, when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is detected.
11. The arrangement for measuring the speed of sound according to claim 10, wherein the speed determination means is arranged in such a manner,
- that it detects the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal when its absolute value is above a first threshold, and
 - that it detects the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal when its absolute value is above a second threshold.
12. The arrangement for measuring the speed of sound according to claim 11, wherein the speed determination means is arranged in such a manner that the first threshold and the second threshold have the same value.

WO 01/96822

PCT/SG0000085

22

13. A method for measuring the speed of sound, comprising the following steps:

- generating an output electrical pulse signal,
- 5 • converting the output electrical pulse signal into an output acoustic pulse signal,
- reflecting the output acoustic pulse signal, thereby producing a reflected acoustic pulse signal,
- 10 • converting the reflected acoustic pulse signal into a reconstructed reflected electrical pulse signal,
- determining the speed of sound using the reconstructed reflected electrical pulse signal.

14. A method for measuring the speed of sound, comprising the following steps:

- generating an output electrical pulse signal,
- converting the output electrical pulse signal into an output acoustic pulse signal and into a reconstructed output electrical pulse signal,
- 20 • reflecting the output acoustic pulse signal, thereby producing a reflected acoustic pulse signal,
- converting the reflected acoustic pulse signal into a reconstructed reflected electrical pulse signal,
- 25 • determining the speed of sound using the reconstructed reflected electrical pulse signal and the reconstructed output electrical pulse signal.

15. The method for measuring the speed of sound according to claim 13 or 14,

- 30 wherein the generated output electrical pulse signal has a waveform,
- which has a dominant cycle with a maximum amplitude, and
 - wherein the amplitude of the end portion of the output electrical pulse signal tapers off to either zero or a smaller value as compared to the maximum amplitude of the output electrical pulse signal in its dominant cycle.
- 35

WO 01/96822

PCT/SG0000085

23

16. The method for measuring the speed of sound according to claim 15, wherein the generated output electrical pulse signal has a waveform with an initial portion whose amplitude is smaller than the maximum amplitude of the output electrical pulse signal.
17. The method for measuring the speed of sound according to any of the claims 14 to 16, wherein the speed of sound is determined using
- a first time instance, when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal is detected, and
 - a second time instance, when the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is detected.
18. The method for measuring the speed of sound according to claim 17, wherein the speed of sound is determined such
- that the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed output electrical pulse signal is detected when its absolute value is above a first threshold, and
 - that the peak of the second half-cycle of the dominant cycle of the reconstructed reflected electrical pulse signal is detected when its absolute value is above a second threshold.
19. The method for measuring the speed of sound according to claim 18, wherein the first threshold and the second threshold have the same value.

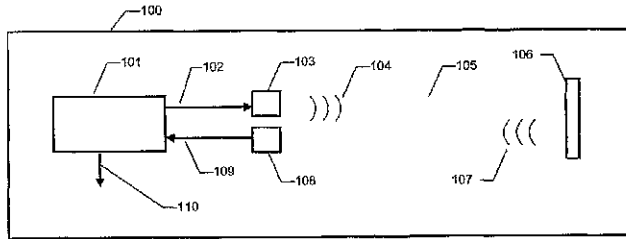


Figure 1.

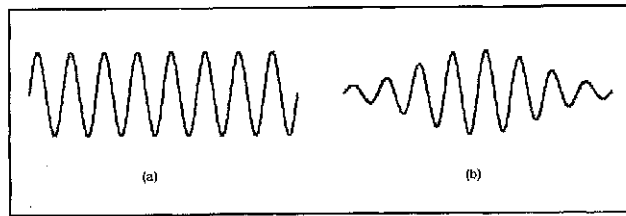


Figure 2.

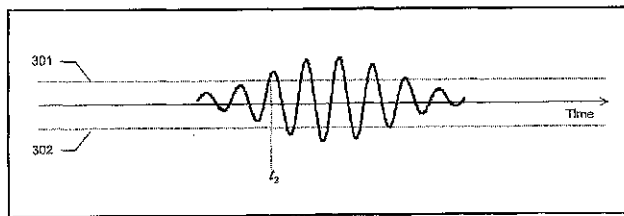


Figure 3.

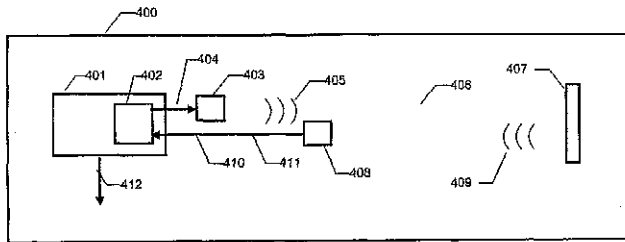


Figure 4.

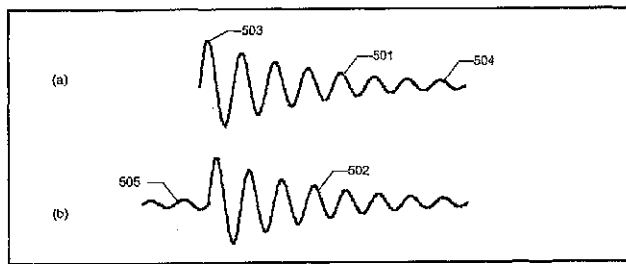


Figure 5.

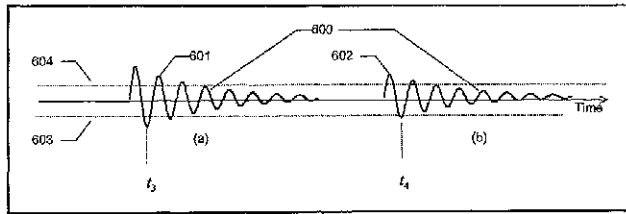


Figure 6.

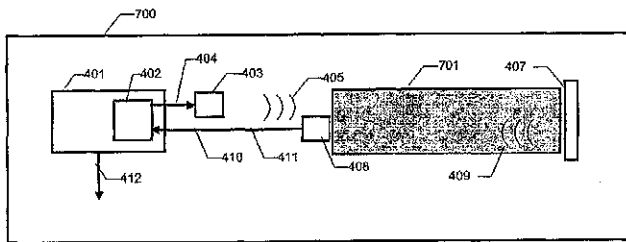


Figure 7.

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/SG 00/00085
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 6D1H5/00 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 6D1H 6D1N 6D1S Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 926 395 A (BOEGEMAN DWIGHT E ET AL.) 15 May 1990 (1990-05-15) cited in the application column 3, line 4 - line 23; figure 1	13 1, 14
X	US 5 557 047 A (KOIDE MAKOTO) 17 September 1996 (1996-09-17) column 2, line 35 - column 3, line 65; figure 4D	13 1, 14
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 009 (P-845), 21 January 1981 (1981-01-21) & JP 55 140116 A (CHIYOHONPA KOGYO KK), 1 November 1980 (1980-11-01) abstract	1, 13, 14
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (see specification) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimant "T" prior document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
25 April 2001		17.05.01
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P. B. 5818 Patentstr. 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 346-2100, Tx. 31 651 apo nl, Fax (+31-70) 346-3319		Authorized officer Häusser, T

* Form PCT/SG/210 (Special sheet) (July 1999)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int. Application No. PCT/SG 00/00085
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 130 (P-076), 20 August 1981 (1981-08-20) & JP 56 067723 A (SATO MAGANORI), 8 June 1981 (1981-06-08) abstract	15, 16

Form PCT/ISAC10 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT	International application No. PCT/SG 00/00085
Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)	
This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:	
1.	<input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2.	<input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3.	<input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).
Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)	
This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:	
see additional sheet.	
1.	<input checked="" type="checkbox"/> As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2.	<input type="checkbox"/> As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3.	<input type="checkbox"/> As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.	<input type="checkbox"/> No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims. It is covered by claims Nos.:
Remark on Protest	<input type="checkbox"/> The additional search fees were accompanied by the applicant's protest. <input checked="" type="checkbox"/> No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/SG 00/00085

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/SA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-14,17-19

Device for measuring the speed of sound exhibiting a receiver that detects the outgoing and reflected pulse emitted by a transmitter, and the corresponding method

2. Claims: 15,16

Method for measuring the speed of sound utilising a special pulse waveform

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				Int. Application No. PCT/SG 00/00085	
Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 4926395	A	15-05-1990	NONE		
US 5557047	A	17-09-1996	JP 3129563 B JP 6235721 A DE 4403344 A	31-01-2001 23-08-1994 22-09-1994	
JP 55140116	A	01-11-1980	NONE		
JP 56067723	A	08-06-1981	JP 1604756 C JP 2013249 B	13-05-1991 03-04-1990	

フロントページの続き

(72)発明者 ゴー, ゼントン

シンガポール国 シンガポール 680642 ナンバー08-77 チョアチューカンストリート 64 ビーエルケー. 642

(72)発明者 ホー, クウォク, チャン

シンガポール国 シンガポール 750310 ナンバー10-127 キャンペラロード ブロック 310

Fターム(参考) 2G064 AB05 AB16 BD02 CC46 DD23