

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第3759988号
(P3759988)

(45) 発行日 平成18年3月29日(2006.3.29)

(24) 登録日 平成18年1月13日(2006.1.13)

(51) Int. Cl.

GO1F 1/66 (2006.01)

F I

GO1F 1/66 1 O 2

請求項の数 3 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平8-51105	(73) 特許権者	000116633
(22) 出願日	平成8年3月8日(1996.3.8)		愛知時計電機株式会社
(65) 公開番号	特開平9-243422		愛知県名古屋市熱田区千年1丁目2番70号
(43) 公開日	平成9年9月19日(1997.9.19)	(74) 代理人	100101535
審査請求日	平成15年2月19日(2003.2.19)		弁理士 長谷川 好道
		(72) 発明者	鍋島 徳行
			愛知県名古屋市熱田区千年一丁目2番70号
			愛知時計電機株式会社内
		審査官	森口 正治
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 超音波流量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流体の流れ中を流れと同方向あるいは斜め方向に超音波の送受をする送信側にも受信側にも働く一対の超音波送受波器(2)(3)と、

受信側の送受波器(3又は2)が接続され、受信波を検知すると受信波検知信号を出力する受信波検知部(4)と、

第1送信指令信号を入力した時に送信側の送受波器(2又は3)を駆動し、その後は受信波検知部(4)からの受信波検知信号ごとに後述する第n受信波検知信号が入力されるまで送信側の送受波器(2又は3)を駆動する送波器駆動部(6)と、

順方向の計測を行うときは上流側の送受波器(2)を送波器駆動部(6)に接続するとともに下流側の送受波器(3)を受信波検知部(4)に接続し、逆方向の計測を行うときは下流側の送受波器(3)を送波器駆動部(6)に接続するとともに上流側の送受波器(2)を受信波検知部(4)に接続する切替部(5,10)と、

一定のタイミングで交互に切替部(5,10)を切り替えて順方向の計測と逆方向の計測を切り替える送受切替信号を出力して交互に送受の切り替えを行いながら、その都度第1送信指令信号を出力するコントローラ部(7)と、

受信波検知部(4)からの受信波検知信号を受け、順方向の計測時と逆方向の計測時毎にn番目の受信波検知信号を検知して第n受信波検知信号を出力する第1のカウンタ(8)と、

順方向計測時における第1送信指令信号から第n受信波検知信号までの時間(T₁)と

10

20

、逆方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_2) を測定する第 2 のカウンタ (9) とを具備し、

第 n 受信波検知信号を受けると第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) を読み取り、時間逆数差法を用いて流速、流量等の演算をコントローラ部 (7) で行う超音波流量計であって、

前記第 2 のカウンタ (9) を構成する時間計測部が基準クロックを計数するカウンタで、その最下位が 1 桁の 10 進カウンタ (93)、それより上位が 2 進カウンタ (98) よりなり、

前記コントローラ部 (7) がマイクロコンピュータで構成され、

該マイクロコンピュータが第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) として読み取るべき数値を、その上位桁を 2 進数 (a) で、最下位桁を 10 進数 (b) で読み取り、

10

別途、前記 2 進数の上位桁 (a) を 10 進変換した値 (c) の逆数に $1/10$ を乗じたデータ $1/(10c)$ を上位桁 (a) をアドレスとするデータテーブルとして前記マイクロコンピュータのメモリに格納し、

上位桁 (a) に相当するアドレスと、これに 1 を加算した数値 ($a + 1$) に相当するアドレスより両アドレスに対応する時間逆数の数値 $1/(10c)$ と $1/\{10(c + 1)\}$ に相当する二つのデータを読み出し、これらのデータと前記下位桁の数値 (b) とから直線近似によって時間逆数 $\{1/(T_1 - n)$ 又は $1/(T_2 - n)\}$ に相当する値 $1/(10c + b)$ を導き、以後の流速又は流量等の演算に使用するようにしたこと

20

【請求項 2】

流体の流れ中を流れと同方向あるいは斜め方向に超音波の送受をする送信側にも受信側にも働く一対の超音波送受波器 (2) (3) と、

受信側の送受波器 (3 又は 2) が接続され、受信波を検知すると受信波検知信号を出力する受信波検知部 (4) と、

第 1 送信指令信号を入力した時に送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動し、その後は受信波検知部 (4) からの受信波検知信号ごとに後述する第 n 受信波検知信号が入力されるまで送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動する送波器駆動部 (6) と、

順方向の計測を行うときは上流側の送受波器 (2) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに下流側の送受波器 (3) を受信波検知部 (4) に接続し、逆方向の計測を行うときは下流側の送受波器 (3) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに上流側の送受波器 (2) を受信波検知部 (4) に接続する切替部 (5, 10) と、

30

一定のタイミングで交互に切替部 (5, 10) を切り替えて順方向の計測と逆方向の計測を切り替える送受切替信号を出力して交互に送受の切り替えを行いながら、その都度第 1 送信指令信号を出力するコントローラ部 (7) と、

受信波検知部 (4) からの受信波検知信号を受け、順方向の計測時と逆方向の計測時毎に n 番目の受信波検知信号を検知して第 n 受信波検知信号を出力する第 1 のカウンタ (8) と、

順方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_1) と、逆方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_2) を測定する第 2 のカウンタ (9) とを具備し、

40

第 n 受信波検知信号を受けると第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) を読み取り、時間逆数差法を用いて流速、流量等の演算をコントローラ部 (7) で行う超音波流量計であって、

前記第 2 のカウンタ (9) を構成する時間計測部が基準クロックを計数するカウンタで、その最下位が 1 桁の 10 進カウンタ (93)、それより上位が 2 進カウンタ (98) よりなり、

前記コントローラ部 (7) がマイクロコンピュータで構成され、

該マイクロコンピュータが第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) として読み

50

取るべき数値を、その上位桁を 2 進数 (a) で、最下位桁を 10 進数 (b) で読み取り、

別途、前記 2 進数の上位桁 (a) を 10 進変換した値 (c) の逆数データを上位桁 (a) をアドレスとするデータテーブルとして前記マイクロコンピュータのメモリに格納し、

上位桁 (a) に相当するアドレスと、これに 1 を加算した数値に相当するアドレスより両アドレスに対応する時間逆数の二つのデータを読み出し、これらのデータと下位桁の数値 (b) とから直線近似によって時間逆数 $\{ 1 / (T_1 - n) \}$ 又は $1 / (T_2 - n)$ } を導き、以後の流速又は流量等の演算に使用するようにしたことを特徴とする超音波流量計。

10

【請求項 3】

データテーブルに格納するデータが、請求項 2 に記載されたデータから一定値を減じた値或いは一定値を乗じた値をデータとしてデータテーブルを構成したことを特徴とする請求項 2 記載の超音波流量計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は超音波流量計の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】

超音波流量計で時間逆数差法を用いたものが公知である。

図 5 において、静止流体中の音速を C、流体の流れの速さを V とすると、音波の伝搬方向が流れに沿った方向（以下順方向と言う）と一致すればその伝搬速度は (C + V) となり、流れに逆った方向（以下逆方向と言う）の場合には (C - V) となる。

20

【0003】

距離 L を隔てて 1 組の送受波器 2, 3 を流管 1 の上流と下流に離して配設し、送波器 2 から順方向に超音波を発射したとき、受波器 3 に超音波が到達するに要する時間を t_1 、送波器 3 から逆方向に超音波を発射したときに、受波器 2 に超音波が到達するに要する時間を t_2 とすれば、

$$t_1 = L / (C + V) \cdots (1)$$

$$t_2 = L / (C - V) \cdots (2)$$

30

となる。

【0004】

順方向と逆方向の超音波の上記伝搬時間 t_1 、 t_2 を測定し、これから流速 V を算出して、さらに流量を求めたり、積算流量を求めたりしていた。

流速 V は上記 (1)、(2) 式から音速 C に無関係に、

$$V = (L / 2) [(1 / t_1) - (1 / t_2)] \cdots (3)$$

として求めており、時間 t_1 、 t_2 の逆数 $1 / t_1$ 、 $1 / t_2$ の差を利用していることから時間逆数差法と呼ばれている。

【0005】

40

送波器 2（又は 3）に駆動パルス P_1 を印加して励振すると、伝搬時間 t_1 （又は t_2 ）後に受波器 3（又は 2）に超音波が到達するが、受波器 3（又は 2）で受信された受信波（電気信号）は図 6 に示すように先頭値の零から次第に成長し、第 1 波、第 2 波、第 3 波、第 4 波、第 5 波と順に大きな値となり、ピーク値を過ぎてから次第に減衰する波形となる。

【0006】

伝搬時間 t_1 （又は t_2 ）の終了時点は符号「イ」で示す波形の先頭であるが、この時点を検出することはできないので、実際には第 3 波又は第 5 波の後のゼロクロスポイントを、受波器 3（又は 2）に接続した受信波検知部で検出している。図 6 では駆動パルス P_1 から受信波の第 3 波の直後のゼロクロスポイント「ロ」までの時間を受信波検知部で検

50

出し、予め別の実験で求めて記憶させてある遅れ時間 を差し引いて、伝搬時間 t_1 (又は t_2) を求める。

【0007】

伝搬時間の分解能を上げて流量計の計測精度を高めるために、1回の超音波の送受でなく、受信と同時に次の同方向の送信を行い、同方向の送受を複数回 (n 回) 連続して繰り返し、最初 (第1回目) の送信から最後の第 n 回目の受信までの時間を測定し、その値より1回の送信から受信までの時間 t_1 (又は t_2) を求めるようにしていた。

【0008】

第1回の送信即ち駆動パルス P_1 から第 n 回目の受信までの時間は、受信波検知部が超音波の到達を直接検知するのが前述のように図6のゼロクロスポイント「0」であるから、同一方向の n 回の測定中、流速 V が一定であれば、順方向では $n t_1 + n$ 、逆方向では $n t_2 + n$ となる。

【0009】

従って第1回目の送信から第 n 回目の受信までの時間 $n t_1 + n$ と $n t_2 + n$ を用いて時間逆数差法を用いて流速や流量を求めたり、さらに積算流量 (体積) を求めている。

【0010】

順方向の計測における第1回目の送信から第 n 回目の受信までの時間を T_1 、逆方向の計測における第1回目の送信から第 n 回目の受信までの時間を T_2 とすると、(1)、(2) 式に対応する式として、

$$T_1 - n = n L / (C + V) \cdots (1A)$$

$$T_2 - n = n L / (C - V) \cdots (2A)$$

が得られる。

【0011】

流速 V は上記 (1A)、(2A) 式から音速 C に無関係に、

$$V = (n L / 2) \{ \{ 1 / (T_1 - n) \} - \{ 1 / (T_2 - n) \} \} \cdots (3A)$$

として求められる。

【0012】

この種の超音波流量計では、順方向の計測と逆方向の計測との切り替え制御をマイクロコンピュータで構成したコントローラ部で行っており、数式 (3A) の演算もこのマイクロコンピュータを使用して行っている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

前記従来の技術では、 $1 / (T_1 - n)$ とか $1 / (T_2 - n)$ の割算をマイクロコンピュータで行っている。

【0014】

一般的にマイクロコンピュータは割算に時間がかかり、この種の流量計では上記割算の計算桁数が多いため、なお更に時間がかかり、高速のマイクロコンピュータが必要となり、高価で大電力を要するという問題点があった。

【0015】

例えば、音速を 440 m/sec 、距離 L を 0.2 m 、繰り返し回数 n を 200 回、時間 T_1 とか T_2 を計測するカウンタの基準クロックを $1 \text{ MHz} (= 10^6 \text{ Hz})$ とすると、流体の流速 V が零のときは $T_1 = T_2$ でこれを T とあらわせば、

$$\begin{aligned} T - n &= 200 \times 0.2 \times 10^6 / 440 \text{ カウント} \\ &= 90909 \text{ カウント} = 90909 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

となる。

【0016】

そのため数式 (3A) に従って $1 \div 90909$ という有効数字が6桁程度の割算を行う必要がある。

10

20

30

40

50

実際には、流体の流速 V の違いや、順方向の測定か逆方向の測定かにより T_1 , T_2 が異なる値となったり、遅れ時間 n を時間 T_1 , T_2 から減算したものが割算の分母になるが、超音波の周波数を 500 KHz としたとき、 n は図 6 のように受信波の第 3 波のゼロクロスポイント「0」を検出する場合では基準クロック 1 MHz の計数値でほぼ、

$$200 \times 1.5 \times 2 = 600 \text{ カウント}$$

で、上記 90909 カウントの約 0.66% であり、割算の桁数が 6 桁程度であることに変わりはない。

【0017】

通常割算をマイクロコンピュータで行うには、引き算を何回も行いながら計算することになり、何回引くことができるかを実際に引きながら求める。従って桁数の大きな割算を行うと流速や流量測定の間隔で計算が終了しないこともあり得る。

10

【0018】

仮に間に合うように流量計のシステムを設計しても、マイクロコンピュータが動きっぱなしになり、低消費電力化が実現できないという問題点があった。

そこで、本発明はかかる問題点を解消できる時間逆数差法を用いた超音波流量計を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するために、請求項 1 の発明は、

流体の流れ中を流れと同方向あるいは斜め方向に超音波の送受をする送信側にも受信側にも働く一対の超音波送受波器 (2) (3) と、

20

受信側の送受波器 (3 又は 2) が接続され、受信波を検知すると受信波検知信号を出力する受信波検知部 (4) と、

第 1 送信指令信号を入力した時に送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動し、その後は受信波検知部 (4) からの受信波検知信号ごとに後述する第 n 受信波検知信号が入力されるまで送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動する送波器駆動部 (6) と、

順方向の計測を行うときは上流側の送受波器 (2) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに下流側の送受波器 (3) を受信波検知部 (4) に接続し、逆方向の計測を行うときは下流側の送受波器 (3) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに上流側の送受波器 (2) を受信波検知部 (4) に接続する切替部 (5, 10) と、

30

一定のタイミングで交互に切替部 (5, 10) を切り替えて順方向の計測と逆方向の計測を切り替える送受切替信号を出力して交互に送受の切り替えを行いながら、その都度第 1 送信指令信号を出力するコントローラ部 (7) と、

受信波検知部 (4) からの受信波検知信号を受け、順方向の計測時と逆方向の計測時毎に n 番目の受信波検知信号を検知して第 n 受信波検知信号を出力する第 1 のカウンタ (8) と、

順方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_1) と、逆方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_2) を測定する第 2 のカウンタ (9) とを具備し、

第 n 受信波検知信号を受けると第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) を読み取り、時間逆数差法を用いて流速、流量等の演算をコントローラ部 (7) で行う超音波流量計であって、

40

前記第 2 のカウンタ (9) を構成する時間計測部が基準クロックを計数するカウンタで、その最下位が 1 桁の 10 進カウンタ (93)、それより上位が 2 進カウンタ (98) よりなり、

前記コントローラ部 (7) がマイクロコンピュータで構成され、

該マイクロコンピュータが第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) として読み取るべき数値を、その上位桁を 2 進数 (a) で、最下位桁を 10 進数 (b) で読み取り、

別途、前記 2 進数の上位桁 (a) を 10 進変換した値 (c) の逆数に $1/10$ を乗じ

50

たデータ $1 / (10c)$ を上位桁 (a) をアドレスとするデータテーブルとして前記マイクロコンピュータのメモリに格納し、

上位桁 (a) に相当するアドレスと、これに 1 を加算した数値 ($a + 1$) に相当するアドレスより両アドレスに対応する時間逆数の数値 $1 / (10c)$ と $1 / \{10(c + 1)\}$ に相当する二つのデータを読み出し、これらのデータと前記下位桁の数値 (b) とから直線近似によって時間逆数 $\{1 / (T_1 - n)$ 又は $1 / (T_2 - n)\}$ に相当する値 $1 / (10c + b)$ を導き、以後の流速又は流量等の演算に使用するようにしたことを特徴とする超音波流量計である。

【0020】

請求項 2 の発明は、流体の流れ中を流れと同方向あるいは斜め方向に超音波の送受をする送信側にも受信側にも働く一対の超音波送受波器 (2) (3) と、 10

受信側の送受波器 (3 又は 2) が接続され、受信波を検知すると受信波検知信号を出力する受信波検知部 (4) と、

第 1 送信指令信号を入力した時に送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動し、その後は受信波検知部 (4) からの受信波検知信号ごとに後述する第 n 受信波検知信号が入力されるまで送信側の送受波器 (2 又は 3) を駆動する送波器駆動部 (6) と、

順方向の計測を行うときは上流側の送受波器 (2) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに下流側の送受波器 (3) を受信波検知部 (4) に接続し、逆方向の計測を行うときは下流側の送受波器 (3) を送波器駆動部 (6) に接続するとともに上流側の送受波器 (2) を受信波検知部 (4) に接続する切替部 (5, 10) と、 20

一定のタイミングで交互に切替部 (5, 10) を切り替えて順方向の計測と逆方向の計測を切り替える送受切替信号を出力して交互に送受の切り替えを行いながら、その都度第 1 送信指令信号を出力するコントローラ部 (7) と、

受信波検知部 (4) がらの受信波検知信号を受け、順方向の計測時と逆方向の計測時毎に n 番目の受信波検知信号を検知して第 n 受信波検知信号を出力する第 1 のカウンタ (8) と、

順方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_1) と、逆方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 (T_2) を測定する第 2 のカウンタ (9) とを具備し、

第 n 受信波検知信号を受けると第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) を読み取り、時間逆数差法を用いて流速、流量等の演算をコントローラ部 (7) で行う超音波流量計であって、 30

前記第 2 のカウンタ (9) を構成する時間計測部が基準クロックを計数するカウンタで、その最下位が 1 桁の 10 進カウンタ (93)、それより上位が 2 進カウンタ (98) よりなり、

前記コントローラ部 (7) がマイクロコンピュータで構成され、

該マイクロコンピュータが第 2 のカウンタ (9) の測定値 (T_1 又は T_2) として読み取るべき数値を、その上位桁を 2 進数 (a) で、最下位桁を 10 進数 (b) で読み取り、

別途、前記 2 進数の上位桁 (a) を 10 進変換した値 (c) の逆数データを上位桁 (a) をアドレスとするデータテーブルとして前記マイクロコンピュータのメモリに格納し、 40

上位桁 (a) に相当するアドレスと、これに 1 を加算した数値に相当するアドレスより両アドレスに対応する時間逆数の二つのデータを読み出し、これらのデータと下位桁の数値 (b) とから直線近似によって時間逆数 $\{1 / (T_1 - n)$ 又は $1 / (T_2 - n)\}$ を導き、以後の流速又は流量等の演算に使用するようにしたことを特徴とする超音波流量計である。

請求項 3 の発明は、請求項 2 の超音波流量計において、データテーブルに格納するデータが、請求項 2 に記載されたデータから一定値を減じた値或いは一定値を乗じた値をデータとしてデータテーブルを構成したことを特徴とするものである。 50

【 0 0 2 1 】

【 発明の実施の形態 】

図 1 はこの発明の考え方の基本を説明するための第 1 の実施の形態で、図 2 はそのタイムチャートである。同図において、2, 3 は 1 対の超音波送受波器で、従来技術と同様に、流体の流れ中を流れと同方向あるいは斜め方向に超音波の送受をする。

【 0 0 2 2 】

4 は受信波検知部で、信号切替器 5 によって選択された受信側の送受波器 3 又は 2 がその入力に接続され、受信波をその所定の波のゼロクロスポイント例えば図 6 のように第 3 波の直後のゼロクロスポイント「ロ」で検知すると受信波検知信号（図 2 参照）を出力する。

10

【 0 0 2 3 】

図 2 では第 1, 第 2, 第 3, ... 及び第 n の各受信波検知信号にそれぞれ 1, 2, 3, ... 及び n の各符号を付けている。

6 は後述するコントローラ部 7 からの第 1 送信指令信号を入力した時に送信側の送受波器 2 又は 3 を励振し、その後は受波器検知部 4 からの受信波検知信号ごとに後述する第 n 受信波検知信号が入力されるまで送信側の送受波器 2 又は 3 を励振する送波器駆動部である。

【 0 0 2 4 】

7 はマイクロコンピュータで構成されたコントローラ部で、信号切替器 5 と切替スイッチ 10 を一定のタイミングで同期して切り替えることで順方向の計測と逆方向の計測を交互に切り替える送受切替信号を出力して、交互に送受の切り替えを行いながら、その都度第 1 送信指令信号を前記送波器駆動部 6 と後記第 1 のカウンタ 8 と第 2 のカウンタ 9 へ出力する。

20

【 0 0 2 5 】

信号切替器 5 と切替スイッチ 10 は両者で切替部を構成し、順方向の計測を行うときは切替スイッチ 10 を図示の状態にして上流側の送受波器 2 を送波器駆動部 6 に接続するとともに、信号切替器 5 を図示の状態にして下流側の送受波器 3 を受信波検知部 4 に接続する。

【 0 0 2 6 】

そして、逆方向の計測を行うときは切替スイッチ 10 を図示の状態から切り替えて下流側の送受波器 3 を送波器駆動部 6 に接続するとともに、信号切替器 5 を図示の状態から切り替えて上流側の送受波器 2 を、受信波検知部 4 に接続する。

30

【 0 0 2 7 】

8 は第 1 のカウンタで受信波検知部 4 からの受信波検知信号を受け、順方向の計測時と逆方向の計測時ごとに受信波検知信号を計数して計数値が n となったとき、つまり n 番目の受信波検知信号を検知して第 n 受信波検知信号を出力する。なお、この第 1 のカウンタ 8 はコントローラ部 7 からの第 1 送信指令信号で計数値が零にリセットされる。

【 0 0 2 8 】

9 は第 2 のカウンタで順方向計測時におけるコントローラ部 7 からの第 1 送信指令信号 P から第 1 のカウンタ 8 からの第 n 受信波検知信号までの時間 T_1 （図 2 参照）と、逆方向計測時における第 1 送信指令信号から第 n 受信波検知信号までの時間 T_2 をそれぞれ測定する。

40

【 0 0 2 9 】

図 2 に示すように、順方向における各回の見かけ上の伝搬時間は、正味の伝搬時間 t_1 に各回の遅れ時間を加算した $t_1 +$ であり、第 1 送信指令信号 P から第 n 受信波検知信号までの時間、つまり順方向計測時における第 2 のカウンタ 9 の測定値 T_1 は、

$$T_1 = n t_1 + n$$

であらわされる。

【 0 0 3 0 】

同様に逆方向計測時における第 2 のカウンタ 9 の測定値 T_2 は、

50

$$T_2 = n t_2 + n$$

であらわされる。

【0031】

第2のカウンタ9を構成する時間計測部は10進カウンタよりなり、1MHzの基準クロックを計数して、図2に示す順方向計測時の第1送信指令信号Pから第n受信波検知信号までの時間 T_1 と、逆方向計測時における第1送信指令信号から第n受信波検知信号までの時間 T_2 を基準クロックの計数値としてカウントする。

【0032】

図3に第2のカウンタ9の構成を示す。91は1MHzの基準クロックを発振するクロック発生器、92はクロック発生器91からの基準クロックを通過させたり止めたりするゲートで前記第1送信指令信号を受けるとゲート92が開き基準クロックを通過させるようになり、前記第1のカウンタ8からの第n受信波検知信号を受けると、それまで開いていたゲート92が閉じるように構成されている。

【0033】

93, 94, ..., 97は10進1桁のカウンタで、93が1桁目、94が2桁目、...、97が5桁目の10進数の計数を分担し、最下位の1桁目のカウンタ93は、ゲート92を通過してきた基準クロックを計数し、そのキャリーを2桁目のカウンタ94に入力する。このようにして、各カウンタ93, 94, ...のキャリーが次の上位桁のカウンタ94, ..., 95に入力されて、測定値 T_1 , T_2 を計数する。

【0034】

なお第1送信指令信号はゲート92を開くとともに、各桁のカウンタ93, 94, ..., 97の内容を零にリセットする。

10進各桁のカウンタ93, 94, ..., 97は、それぞれ1, 2, 4, 8出力端子を備えていて、これらの端子からの1, 2, 4, 8出力がコントローラ部7へ入力されるようになっている。

【0035】

なお各10進カウンタ93, 94, ..., 97はそれぞれ 10^0 , 10^1 , ..., 10^4 の各桁を分担し、全部で10進5桁のカウンタを構成しているが、これらのカウンタの数は必要とする第2のカウンタ9の10進数の桁数に応じて用意される。

【0036】

コントローラ部7は順方向計測時と逆方向計測時において、第1のカウンタ8からの第n受信波検知信号を受ける都度第2のカウンタ9の測定値 T_1 , T_2 を読み取り、時間逆数差法を用いて流速、流量、積算流量等の演算を行うが、逆数の計算を行うのに前記〔発明が解決しようとする課題〕の欄で説明したような6桁程度の割算をマイクロコンピュータで計算することを避け、マイクロコンピュータのメモリに格納したデータテーブルを活用して時間逆数値を短時間で導くようにしている。

【0037】

図1の実施の形態では、第2のカウンタ9から読み取るべき測定値 T_1 , T_2 , ...これは1MHzの基準クロックを10進カウンタで時間 T_1 , T_2 の間カウントした計数値であらわされる...より遅れ時間に相当する一定値 n を1MHzの基準クロックの計数値に換算した値を減じた値 $T_1 - n$, $T_2 - n$ を最下位1桁とその他の上位桁に分けて、最下位1桁の数値を b 、その他の上位桁の数値を a として、該その他の上位桁の数値 a に相当するアドレスと該アドレスに対応するデータ $1/(10^a)$ の集合からなる〔表1〕のデータテーブルをマイクロコンピュータのメモリに格納しておく。

【0038】

1MHzの基準クロックの計数値で表現される第2のカウンタ9の測定値 T_1 , T_2 や遅れ時間 n は、距離 L 、流体の流れの速さ V 、順方向及び逆方向における各繰り返し回数 n 、超音波の周期、流体の流れと超音波の発射方向とでなす角度等で決まるが、 $T_1 - n$, $T_2 - n$ の数値が取り得る範囲が1MHzの基準クロックの計数値で表現して例えば15001から45000までの範囲であるとする、これらの計数値は45000

10

20

30

40

50

- 1 5 0 0 0 = 3 0 0 0 0 個の計数値の集合からなるデータテーブルを設けることになる。

【 0 0 3 9 】

図 1 の実施形態では、もっと少ない個数の集合からなるデータテーブルを用意して、このデータテーブルから時間逆数値を読み出すことで前記 6 桁程度の割算をしなくても良く、かつ小さなデータテーブルですむようにしている。

【 0 0 4 0 】

即ち、1 5 0 0 1 , 1 5 0 0 2 , ... , 4 4 9 9 9 , 4 5 0 0 0 からなる 3 0 0 0 0 個の計数値の集合を構成する各計数値、つまり第 2 のカウンタ 9 から読み取るべき測定値 $T_1 - n$, $T_2 - n$ を最下位 1 桁とその他の上位桁に分けて、最下位 1 桁の数値を b 、その他の上位桁の数値を a として、該その他の上位桁の数値 a に相当するアドレスと該アドレスの逆数に対応するデータ $1 / (10^a)$ の集合からなるデータテーブルをマイクロコンピュータのメモリに格納しておく。

10

【 0 0 4 1 】

このデータテーブルは、測定値 $T_1 - n$ が 1 5 0 0 1 のときは、最下位 1 桁の数値 b は 1 となる。そして、その他の上位桁の数値は 1 5 0 0 である。従って、この測定値 1 5 0 0 1 に対応するアドレスは 1 5 0 0、該アドレス 1 5 0 0 に対応するデータ $1 / (10^a)$ は、

$$1 / (10 \times 1500) = 6.6666667 \times 10^{-5} \dots (4)$$

となる。なお上式の右辺の 8 桁の有効数字の最下位桁の 6 はその下位の桁の 6 を四捨五入して 7 と表現したものである。

20

【 0 0 4 2 】

このようにして、アドレスと対応するデータのデータテーブルは〔表 1〕のようになる。なお表 1 のデータは、上記 (4) 式の右辺の 8 桁の有効数字と同様の数値の小数点を外してあらわしたものである。

【 0 0 4 3 】

【表 1】

アドレス	デ ー タ
1 5 0 0	6 6 6 6 6 6 6 7
1 5 0 1	6 6 6 2 2 2 5 2
.	.
.	.
.	.
1 7 3 4	5 7 6 7 0 1 2 7
1 7 3 5	5 7 6 3 6 8 8 8
.	.
.	.
.	.
4 4 9 9	2 2 2 2 7 1 6 2
4 5 0 0	2 2 2 2 2 2 2 2

10

20

【 0 0 4 4 】

このようにして〔表 1〕のデータテーブルを作成してマイクロコンピュータのメモリに格納するとデータの数 は前記 3 0 0 0 0 個の 1 / 1 0 の 3 0 0 0 個になる。

【 0 0 4 5 】

30

第 2 のカウンタ 9 の測定値 $T_1 - n$, $T_2 - n$ の最下位桁が 0 の値の上位桁の数値の逆数の有効数字 8 桁の集合で表 1 のデータテーブルを作成したわけである。

【 0 0 4 6 】

こうして〔表 1〕のデータテーブルでは、メモリ容量が小さくて済むが、第 2 のカウンタ 9 の測定値 $T_1 - n$, $T_2 - n$ の最下位桁が 0 以外の数値のときの値を直接テーブルから読み出すことができない。

【 0 0 4 7 】

例えば第 2 のカウンタ 9 の測定値 T_1 又は T_2 が 1 7 9 4 3 の場合、この測定値 1 7 9 4 3 に対応するアドレスは一定値 n を 6 0 0 とすると $1 7 9 4 3 - 6 0 0 = 1 7 3 4 3$ となる。これに対応する逆数のデータをずばり〔表 1〕のデータテーブルからは読み出せない。そこで測定値 1 7 3 4 3 に対応する時間逆数値を〔表 1〕のデータテーブルから読み出したデータを活用して直線近似で求める。

40

【 0 0 4 8 】

第 2 のカウンタ 9 の測定値が 1 7 9 4 3 であるので、この測定値の数値から一定値 $n = 6 0 0$ を引いた前述のように 1 7 3 4 3 である。そこで、その上位の 4 桁の数値 1 7 3 4 に相当するアドレスと、この上位桁の数値 1 7 3 4 に 1 を加算した 1 7 3 5 に相当するアドレスより、 $1 / (10 \times 1734)$ と $1 / (10 \times 1735)$ に相当する二つの格納データを〔表 1〕のデータテーブルから読み出す。実際にはコントローラ部 7 を構成するマイクロコンピュータのメモリに格納したデータから読み出す。

【 0 0 4 9 】

50

アドレス	データ
1 7 3 4	5 7 6 7 0 1 2 7
1 7 3 5	5 7 6 3 6 8 8 8

そして、これらの二つのデータから測定値 1 7 9 4 3 に対応するデータを次の (5) 式で直線近似を使って導く。

【 0 0 5 0 】

測定値 1 7 9 4 3 に対応するデータ = $5 7 6 7 0 1 2 7 - (5 7 6 7 0 1 2 7 - 5 7 6 3 6 8 8 8) \times (3 / 1 0) \cdots (5)$

(5) 式の演算をマイクロコンピュータでする場合、 $(5 7 6 7 0 1 2 7 - 5 7 6 3 6 8 8 8) \times (3 / 1 0)$ の計算に多少の時間がかかるものの、テーブルが小さくなり、実現可能となる。 10

このようにして、小さいテーブルから読み出したデータを用いて、直線近似でテーブルの中間のデータを演算することで、テーブルを格納するメモリが小さくてすみ、しかも全体として割算に長時間をかけなくてすむ。

【 0 0 5 1 】

(5) 式の演算以後の流速、流量、積算流量等の演算は周知の方法のできるので詳細な説明を省略する。

なお、データテーブルのデータは、〔表 1〕の値から一定値を減じた値として記憶格納するようにしてもよい。この場合のオフセット分は、その後の演算 $\{ 1 / (T_1 - n) \} - \{ 1 / (T_2 - n) \}$ で差し引かれて相殺されるので問題にはならない。また流量等の演算を考慮して、データを流管の断面積等の定数を乗じた値として記憶格納することで、後の演算時間を小さくすることができる。 20

【 0 0 5 2 】

上記第 1 の実施の形態では、発明の考え方の基本を説明するための第 1 の実施態様を述べたが、次の第 2 の実施態様のように流量計を構成してもコントローラでの演算時間を小さくできる。

【 0 0 5 3 】

図 1 のブロック図で、コントローラ部 7 を構成するマイクロコンピュータの作用だけが前記第 1 の実施態様と相違するので、以下、この相違点を主体にして第 2 の実施態様を説明する。 30

【 0 0 5 4 】

第 2 のカウンタ 9 から読み取るべき測定値 T_1 又は T_2 を最下位 1 桁の数値 B とその他の上位桁の数値 A に分けて、該その他の上位桁の数値 A に相当するアドレスと、該アドレスに対応する前記第 2 のカウンタ 9 から読み取った測定値 T_1 又は T_2 より遅れ時間に相当する一定値 n を減じた時間 $T_1 - n$ 又は $T_2 - n$ の逆数 $1 / (T_1 - n)$ 又は $1 / (T_2 - n)$ に対応するデータ $1 / (10 A - n)$ との集合からなるデータテーブル (表 2) をマイクロコンピュータのメモリに格納し、

順方向又は逆方向の計測に当たって第 2 のカウンタ 9 から読み取った測定値 T_1 又は T_2 に対応する前記上位桁の数値 A に相当するアドレスと、この上位桁 A に 1 を加算した数値 $A + 1$ に相当するアドレスより両アドレスに対応する二つの時間逆数の数値 $1 / (10 A - n)$ と $1 / (10 (A + 1) - n)$ に相当する二つの格納データを前記データテーブル (表 2) から読み出し、これらのデータと前記測定値 T_1 又は T_2 の最下位 1 桁の数値 B とから時間逆数 $1 / (T_1 - n)$ 又は $1 / (T_2 - n)$ に相当する値 $1 / (10 A + B - n)$ を直線近似によって導き、流速や流量の演算に使用する。 40

【 0 0 5 5 】

前記第 1 の実施態様では、第 2 のカウンタ 9 から読み取るべき測定値 T_1 , T_2 から遅れ時間に相当する一定値 n を減じた値、 $T_1 - n$, $T_2 - n$ がとり得る範囲が 1 5 0 0 1 から 4 5 0 0 0 の場合について、最下位の桁を除くその他の上位桁の数値 1 5 0 0 ~ 4 5 0 0 をアドレスとして、各アドレスに対応するデータ $1 / (10 \times 1 5 0 0) \sim 1 / (10 \times 4 5 0 0)$ を〔表 1〕のようなデータテーブルとしてメモリに格納した。 50

【 0 0 5 6 】

従って、メモリに格納した〔表 1〕のデータテーブルのアドレスにアクセスするには、第 2 のカウンタ 9 から読み取った測定値 T_1 , T_2 から遅れ時間に相当する一定値 n を減算して $T_1 - n$ や $T_2 - n$ を得てから、その最下位の桁を除いたその他の上位桁の数値をアドレスとしてアクセスしていた。

【 0 0 5 7 】

ところが、第 2 の実施態様では、前記〔表 1〕に対応する数値を使って〔表 2〕のデータテーブルを作成すると、次のようになる。

基準クロック等の条件が前記第 1 の実施態様と同じで、一定値 n が 6 0 0 カウントとすると、第 2 のカウンタ 9 から読み取るべき測定値 T_1 , T_2 の範囲は $1\ 5\ 0\ 0\ 1 + 6\ 0\ 0 \sim 4\ 5\ 0\ 0\ 0 + 6\ 0\ 0$ 、つまり $1\ 5\ 6\ 0\ 1 \sim 4\ 5\ 6\ 0\ 0$ となる。

【 0 0 5 8 】

この $1\ 5\ 6\ 0\ 1 \sim 4\ 5\ 6\ 0\ 0$ という測定値が第 2 のカウンタ 9 の測定値として直接コントローラ部 7 のマイクロコンピュータで読み取られる。この測定値は 1 M H z の基準クロックのカウント値である。

【 0 0 5 9 】

測定値 $1\ 5\ 6\ 0\ 1$ に対応するアドレスは最下位桁の 1 を除いた $1\ 5\ 6\ 0$ となり、該アドレス $1\ 5\ 6\ 0$ に対応するデータ $1 / (1\ 0\ A - n)$ は、 $A = 1\ 5\ 6\ 0$ 、 $n = 6\ 0\ 0$ であるから、

$$\begin{aligned} \text{アドレス } 1\ 5\ 6\ 0 \text{ に対応するデータ} &= 1 / (1\ 5\ 6\ 0\ 0 - 6\ 0\ 0) \\ &= 1 / 1\ 5\ 0\ 0\ 0 = 6 . 6\ 6\ 6\ 6\ 6\ 6\ 7 \times 10^{-5} \cdots (6) \end{aligned} \quad 20$$

となる。

【 0 0 6 0 】

この (6) 式の右辺のデータは前記第 1 の実施態様で説明した (4) 式のデータと全く同じである。

そこで、〔表 2〕のデータテーブルを次のように作成して、コントローラ部 7 のマイクロコンピュータに記憶格納する。

【 0 0 6 1 】

【表 2】

アドレス	デ ー タ
1 5 6 0	6 6 6 6 6 6 6 7
1 5 6 1	6 6 6 2 2 2 5 2
.	.
.	.
.	.
1 7 9 4	5 7 6 7 0 1 2 7
1 7 9 5	5 7 6 3 6 8 8 8
.	.
.	.
.	.
4 5 5 9	2 2 2 2 7 1 6 2
5 5 6 0	2 2 2 2 2 2 2 2

10

20

【 0 0 6 2 】

この第2の実施態様の場合も、データの数は一実施態様のときと同じ3000個という小さな数であり、かつ各データの数値は〔表1〕の場合のデータの数値と同じである。

30

【 0 0 6 3 】

ところで、この第2の実施態様で、第2のカウンタ9で測定した見掛け上の伝搬時間の総和 T_1 、又は T_2 が前記第1の実施態様の場合に使用した測定値17943であったとする。

【 0 0 6 4 】

この場合のアドレスは17943の最下位の1桁の数値3を除いた他の上位桁の数値であるから、 $B = 3$ 、 $A = 1794$ となる。従ってアドレスAは1794となり、このときの時間逆数は〔表2〕のデータテーブルからのデータとして、57670127を読み出すことができる。

【 0 0 6 5 】

また $A + 1$ のアドレスは $1794 + 1 = 1795$ となり、このアドレス1795に対応する時間逆数は〔表2〕のデータテーブルからのデータとして57636888を読み出すことができる。

40

【 0 0 6 6 】

従って、第2のカウンタ9の測定値17943に対する時間逆数のデータは、上記二つのデータから直線近似で次のように求めることができる。

測定値17943に対応するデータ = $57670127 -$

$(57670127 - 57636888) \times (3 / 10) \cdots (7)$

上記(7)式は、前記第1の実施態様の場合の(5)式と同じであり、流速、流量、積算流量等を求めるその後の演算は、当然第1の実施態様と同様に行うことができる。

50

【 0 0 6 7 】

この第2実施態様は、前記第1の実施態様と比較して、データテーブルにアクセスしてデータを読み出すときに、第2のカウンタ9の測定値から一定の遅れ時間に相当する値 $n = 600$ カウントを減算した値からアドレスを決める必要がないので、順方向や逆方向の測定の都度、 $n = 600$ カウントの値を測定値 T_1 、又は T_2 から引き算する操作が不要となり、その分演算速度や消費電流の面でより有利となる。

【 0 0 6 8 】

この第2の実施態様の場合でも、データテーブルのデータは、〔表2〕の値から一定値を減じた値として記憶格納するようにしてもよい。また流量等の演算を考慮して、データを流管の断面積等の定数を乗じた値として記憶格納することで後の演算時間を小さくすることができる。

10

【 0 0 6 9 】

【実施例】

次に請求項1の発明に対応する実施例について説明する。この実施例では、図1のブロック図に示す第2のカウンタ9の構成が図4のように変わっており、かつコントローラ部7を構成するマイクロコンピュータの作用が前記実施態様と相違するので、以下この相違点を主体にして説明する。

【 0 0 7 0 】

図4において、9は第2のカウンタで、91は第2の実施態様の基準カウンタ91と同じ1MHzの基準クロックを発振する基準クロック発生器、92は第2の実施態様のゲート92と同じように基準クロック発生器91からの1MHzの基準クロックを第1送信指令信号と第n受信波検知信号に応じて開閉するゲート、93は第2の実施態様の10進1桁のカウンタ93と同様に、ゲート92が開いている間の1MHzの基準クロックを計数する1桁の10進カウンタで構成され、10進カウンタ93より上位が2進カウンタ98で構成されて図示のように接続されている。

20

【 0 0 7 1 】

10進カウンタ93と2進カウンタ98は第1送信指令信号が各リセット端子Rに入力されるとその内容が零にリセットされる。また10進カウンタ93の1, 2, 4, 8出力と2進カウンタ98の出力 Q_1 , Q_2 , Q_3 , ... はコントローラ部7へ接続されている。

【 0 0 7 2 】

この実施例ではコントローラ部7を構成するマイクロコンピュータが第2のカウンタ(9)の測定値(T_1 、又は T_2)として読み取るべき数値を、その上位桁を2進数(a)で、最下位桁を10進数(b)で読み取り、別途、前記2進数の上位桁(a)を10進変換した値(c)の逆数に $1/10$ を乗じたデータ $1/(10c)$ を上位桁(a)をアドレスとするデータテーブル〔表3〕として前記マイクロコンピュータのメモリに格納し、

30

上位桁(a)に相当するアドレスと、これに1を加算した数値($a + 1$)に相当するアドレスより両アドレスに対応する時間逆数の数値 $1/(10c)$ と $1/\{10(c + 1)\}$ に相当する二つのデータを読み出し、これらのデータと前記下位桁の数値(b)とから直線近似によって時間逆数 $\{1/(T_1 - n)$ 、又は $1/(T_2 - n)\}$ に相当する値 $1/(10c + b)$ を導き、以後の流速又は流量等の演算に使用するようにしている。

40

【 0 0 7 3 】

この実施例では、マイクロコンピュータのデータテーブルのアドレスは2進数である。

前述の実施態様の数値例のように、アドレス1734から、対応するデータ57670127を得る場合、実際には10進数1734を16進2進表現であらわした2進数に変換して6C6Hとし、これを加工して得たデータの格納アドレスを求めることを行っている。

【 0 0 7 4 】

マイクロコンピュータを8ビットのマイクロコンピュータとすると、4個のアドレス分

50

のエリアがメモリに割り当てられていて、下記〔表 3〕のデータテーブルを記憶格納しておく。

【 0 0 7 5 】

を付けた行のアドレスを出すには $6C6$ を 4 倍して、更にオフセット分の一定値 を加算して、この計算で格納アドレスを出す。

【 0 0 7 6 】

【表 3】

ア ド レ ス	デ ー タ
$6C7 \times 4 + \alpha + 3$	5 7
$6C7 \times 4 + \alpha + 2$	6 3
$6C7 \times 4 + \alpha + 1$	6 8
$6C7 \times 4 + \alpha$	8 8
$6C6 \times 4 + \alpha + 3$	5 7
$6C6 \times 4 + \alpha + 2$	6 7
$6C6 \times 4 + \alpha + 1$	0 1
$6C6 \times 4 + \alpha$ ※	2 7
.	.
.	.
.	.

【 0 0 7 7 】

この実施例ではマイクロコンピュータの負担を小さくするため第 2 のカウンタ 9 における最下位の 1 0 進 1 桁のカウンタ 9 3 より上位の桁には 2 進カウンタ (バイナリカウンタ) 9 8 を使い、1 0 進から 2 進への煩わしい変換を不要としている。

【 0 0 7 8 】

なお、遅れ時間 n に相当する一定値の引き算は、1 0 進数と 2 進数が混在した数値でも全 1 0 進数や全 2 進数の時と同様に可能である。

また、この実施例の場合でも、データテーブルのデータは、〔表 3〕の値から一定値を減じた値として記憶格納するようにしてもよい。また流量等の演算を考慮して、データを流管の断面積等の定数を乗じた値として記憶格納することで後の演算時間を小さくすることができる。

【 0 0 7 9 】

【発明の効果】

本発明の超音波流量計は、上述のように構成されているので、従来技術で行っていた有効数字が 6 桁程度の割算を順方向や逆方向の測定値 T_1 , T_2 から行うことが不必要となり、予めメモリに記憶格納してあるデータテーブルのアドレスをアクセスして時間逆数値に相当するデータを読み出して、流速、流量や積算流量の演算に活用できる。

【 0 0 8 0 】

その結果、高速動作のマイクロコンピュータが不要で、演算時間が短くて済むため、低

消費電流でかつ低電圧で作動する超音波流量計が実用化できるという効果を奏する。

【 0 0 8 1 】

また、データテーブルの大きさが小さくて済みメモリ容量が小さくても良く、この点においても効果的である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の好ましい実施形態のブロック図である。

【図 2】 図 1 の実施形態のタイムチャートである。

【図 3】 本発明の実施形態に用いる第 2 のカウンタの電気回路図である。

【図 4】 本発明の実施例に用いる第 2 のカウンタの電気回路図である。

【図 5】 超音波流量計の原理を説明する略図である。

10

【図 6】 従来技術の受信波検知部の動作を説明するための電気信号波形を示す線図である。

【符号の説明】

1 流管

2 上流側の送受波器

3 下流側の送受波器

4 受信波検知部

5 切替部を構成する信号切替器

6 送波器駆動部

7 コントローラ部

20

8 第 1 のカウンタ

9 第 2 のカウンタ

10 切替部を構成する切替スイッチ

91 基準クロック発生器

92 ゲート

93 最下位の 1 桁の 10 進カウンタ

94 10^1 位の 1 桁の 10 進カウンタ

97 10^4 位の 1 桁の 10 進カウンタ

98 2 進カウンタ

a 数値 b の桁以外の上位桁の数値

30

b 最下位 1 桁の数値

a 2 進数の上位桁の数値 a を 10 進数に変換した数値

a 2 進数の上位桁の数値

A 数値 B の桁以外の上位桁の数値

B 最下位 1 桁の数値

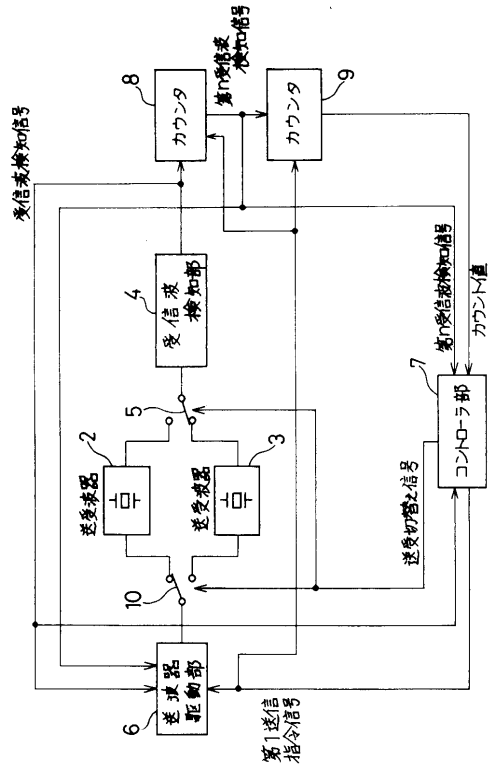
T_1 順方向計測時の測定値、時間

T_2 逆方向計測時の測定値、時間

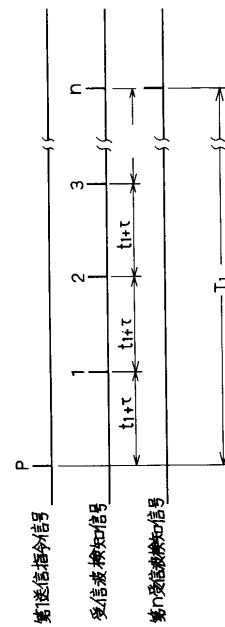
n 順方向又は逆方向計測時の繰り返し回数

n 遅れ時間

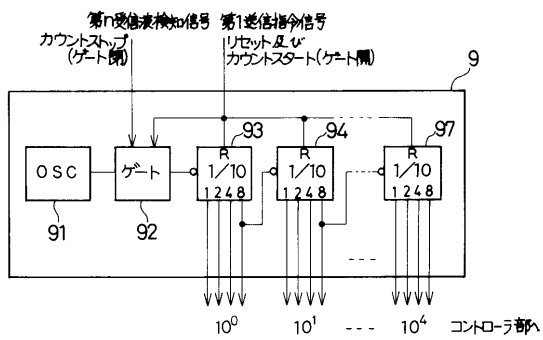
【図 1】



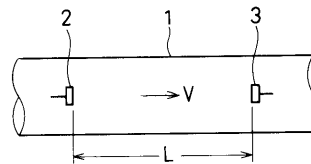
【図 2】



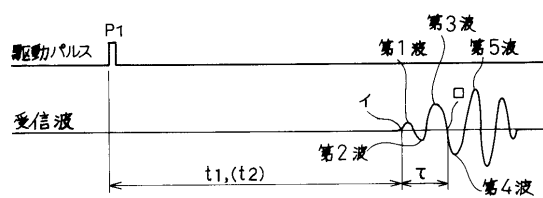
【図 3】



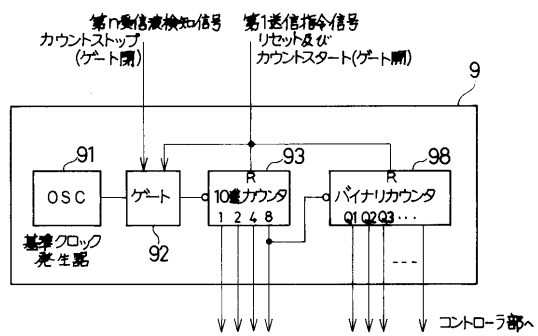
【図 5】



【図 6】



【図 4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平02-156328(JP,A)
特開平01-100414(JP,A)
特開昭56-093013(JP,A)
特開昭60-142738(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F 1/00~9/02