

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-122914

(P2011-122914A)

(43) 公開日 平成23年6月23日(2011.6.23)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
**G 0 1 F 1/66 (2006.01)** G 0 1 F 1/66 1 0 1 2 F 0 3 5

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2009-280353 (P2009-280353)  
 (22) 出願日 平成21年12月10日(2009.12.10)

(71) 出願人 000006507  
 横河電機株式会社  
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号  
 (72) 発明者 和田 正巳  
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横  
 河電機株式会社内  
 Fターム(参考) 2F035 DA14 DA24

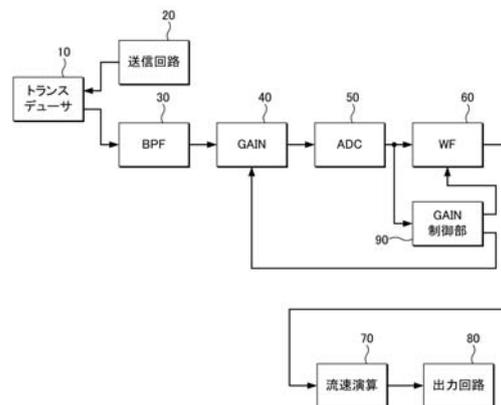
(54) 【発明の名称】 超音波流量計

(57) 【要約】

【課題】超音波流量計において、定在波を除去するウォールフィルタの処理負荷を軽減する。

【解決手段】配管内の流体に対して超音波信号を発信し、その反射信号を受信信号として受信するトランスデューサと、受信信号をデジタルデータに変換するAD変換部と、デジタル化された受信信号から定在波成分を取り除くウォールフィルタと、定在波成分が取り除かれた受信信号に基づいて流体の流速を演算する流速演算部とを備えた超音波流量計であって、ウォールフィルタは、複数の受信信号について、対応する時系列のデータ毎に平滑化処理を行なうことで定在波成分を抽出し、受信信号から抽出された定在波成分を引くことで、受信信号から定在波成分を取り除く。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

配管内の流体に対して超音波信号を発信し、その反射信号を受信信号として受信するトランスデューサと、

前記受信信号をデジタルデータに変換する A D 変換部と、

デジタル化された前記受信信号から定在波成分を取り除くウォールフィルタと、

定在波成分が取り除かれた前記受信信号に基づいて前記流体の流速を演算する流速演算部とを備えた超音波流量計であって、

前記ウォールフィルタは、複数個の受信信号について、対応する時系列のデータ毎に平滑化処理を行なうことで定在波成分を抽出し、前記受信信号から抽出された前記定在波成分を引くことで、前記受信信号から定在波成分を取り除くことを特徴とする超音波流量計。

10

**【請求項 2】**

前記ウォールフィルタ部は、今回のデータおよび前回の出力値を用いて今回の出力値を算出するローパスフィルタを用いて前記平滑化処理を行なうことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波流量計。

**【請求項 3】**

前記 A D 変換部に入力する前記受信信号の振幅を調整するゲイン変換部と、

前記ゲイン変換部におけるゲインを設定するゲイン制御部とをさらに備え、

前記ウォールフィルタ部は、前記ゲイン制御部によりゲインが変更された場合に、前記ローパスフィルタにおける前回の出力値の重み付けを変更された前記ゲインに応じて変化させることを特徴とする請求項 2 に記載の超音波流量計。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、配管内の流体に対して超音波信号を発信し、その反射信号を受信して配管内の流量を求める超音波流量計に係り、特に、受信信号から定在波を除去するウォールフィルタに関する。

**【背景技術】****【0002】**

特許文献 1 に記載されているように、配管内の流体に対して超音波信号を発信し、その反射信号を受信して配管内の流量を求める超音波流量計が知られている。超音波流量計の測定原理は、いくつかの方式が提案されているが、相互相関方式と呼ばれる方式では、配管内の流体に斜めに超音波信号を送信して、流体内の気泡等に反射して戻ってきた反射信号を受信し、流れに沿った向きと流れに逆らった向きとで超音波信号の伝播時間に差が生じることを利用して流体の流速を求める。そして、得られた流速に配管の断面積をかけることで流体の流量を算出することができる。

30

**【0003】**

図 6 は、従来提案されている超音波流量計の構成を示すブロック図である。超音波流量計は、トランスデューサ（検出器）110 を用いて、被流体の流れている配管内に対してパルス形状の超音波を送信し、反射信号を受信する。送信波は、図 7（a）に示すように、所定間隔の数個のパルスを一組として送信する。

40

**【0004】**

送信する超音波パルスは、送信回路 120 で生成され、受信した反射信号は、BPF（バンドパスフィルタ）130 によって送信した超音波と同じ周波数帯が抽出される。抽出された信号の振幅を、ゲイン調整器 140 を用いて ADC 150 の出力レベルが適切となるような大きさとしてから、ADC 150 によりデジタルデータに変換する。

**【0005】**

受信波は、図 7（b）に示すように、流体内の気泡からの反射波に、配管の影響等によって生じる定在波が重畳した形状となる。この定在波を取り除いて、気泡からの反射波を

50

抽出するために、ウォールフィルタ(WF)160が用いられる。そして、図7(c)に示すような定在波が取り除かれた受信波に基づいて流速演算部170が流体の流速を算出し、出力回路180が算出結果を出力する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-208068号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1に記載された超音波流量計では、定在波を取り除くウォールフィルタ160の処理においてFFT(高速フーリエ変換)を用いている。しかしながら、FFTは、演算量が多く、メモリ容量も多量に必要とする。このため、実装時において、各種コストが増大するとともに、消費電力も多くなる。

【0008】

そこで、本発明は、超音波流量計において、定在波を除去するウォールフィルタの処理負荷を軽減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するため、本発明の超音波流量計は、配管内の流体に対して超音波信号を発信し、その反射信号を受信信号として受信するトランスデューサと、前記受信信号をデジタルデータに変換するAD変換部と、デジタル化された前記受信信号から定在波成分を取り除くウォールフィルタと、定在波成分が取り除かれた前記受信信号に基づいて前記流体の流速を演算する流速演算部とを備えた超音波流量計であって、前記ウォールフィルタは、複数個の受信信号について、対応する時系列のデータ毎に平滑化処理を行なうことで定在波成分を抽出し、前記受信信号から抽出された前記定在波成分を引くことで、前記受信信号から定在波成分を取り除くことを特徴とする。

【0010】

本発明の超音波流量計は、ウォールフィルタの処理において、FFTを用いずに、簡易な構成で実現可能な平滑化処理を行なうことで定在波を抽出しているため、ウォールフィルタの処理負荷を軽減することができる。

【0011】

より具体的には、前記ウォールフィルタ部は、今回のデータおよび前回の出力値を用いて今回の出力値を算出するローパスフィルタを用いて前記平滑化処理を行なうことができる。

【0012】

このとき、前記AD変換部に入力する前記受信信号の振幅を調整するゲイン変換部と、前記ゲイン変換部におけるゲインを設定するゲイン制御部とをさらに備え、前記ウォールフィルタ部は、前記ゲイン制御部によりゲインが変更された場合に、前記ローパスフィルタにおける前回の出力値の重み付けを変更された前記ゲインに応じて変化させるようにしてもよい。

【0013】

これにより、受信信号のゲインを変化させた場合に、ウォールフィルタを即座に追従させることができるようになる。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、超音波流量計において、定在波を除去するウォールフィルタの処理負荷を軽減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

10

20

30

40

50

【図 1】本実施形態に係る超音波流量計の構成を示すブロック図である。

【図 2】トランスデューサを用いた計測の様子を模式的に示す図である。

【図 3】測定を受信信号とローパスフィルタの出力との関係例を示す図である。

【図 4】ゲイン変更に基づくフィルタ演算係数の変更処理について説明するフローチャートである。

【図 5】ADCの出力とゲイン調整との関係を説明する図である。

【図 6】従来提案されている超音波流量計の構成を示すブロック図である。

【図 7】送信波と受信波の形状および定在波除去後の受信波の形状を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

10

本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図 1 は、本実施形態に係る超音波流量計の構成を示すブロック図である。本実施形態に係る超音波流量計は、従来と同様に、トランスデューサ（検出器）10を用いて、被流体の流れている配管内に対してパルス形状の超音波を送信し、反射信号を受信する。

【0017】

図 2 は、トランスデューサ 10 を用いた計測の様子を模式的に示す図である。本図に示すように、トランスデューサ 10 から、配管 100 内の流体に斜めに超音波パルス信号を送信する。超音波パルスの送信は、ある一定間隔をおいて行ない、気泡の移動による反射波の到達時刻の変化を検出することにより、流体の流速を算出し、流体の流量を求める。

【0018】

20

送信する超音波パルスは、送信回路 20 で生成され、受信した反射信号は、BPF（バンドパスフィルタ）30によって送信した超音波と同じ周波数帯が抽出される。抽出された信号の振幅を、ゲイン調整器 40 を用いて ADC 150 の出力レベルが適切となる大きさとしてから、ADC 50 によりデジタルデータに変換する。なお、BPF 30 は、ゲイン調整器 40 の後段に配置したり、ゲイン調整器 40 の前段および後段に配置するようにしてもよい。

【0019】

図 7 (b) に示したように、受信波は、流体内の気泡からの反射波に、配管 100 の影響等によって生じる定在波が重畳した形状となる。この定在波を取り除いて、気泡からの反射波を抽出するために、ウォールフィルタ (WF) 60 が用いられる。そして、ウォールフィルタ 60 によって定在波が取り除かれた受信波に基づいて流速演算部 70 が流体の流速を算出し、出力回路 80 が算出結果を出力する。配管 100 の断面積は既知であるため、出力回路 80 から出力された流速に基づいて被測定流体の流量を算出することができる。

30

【0020】

次に、本実施形態におけるウォールフィルタ 60 の処理について説明する。本実施形態では、複数回の一連の測定結果を用いて、それぞれの測定結果の対応するサンプリングデータに対してローパスフィルタを施すことにより、受信波の平滑化を行なう。ローパスフィルタの出力結果は、個々の測定結果特有の反射波成分が取り除かれるため定在波を表わすものと考えられる。

40

【0021】

そこで、受信波からローパスフィルタの出力結果を引くことで定在波を得ることができ、これをウォールフィルタ 60 の出力とする。

【0022】

例えば、図 3 左に示すように、 $n - 1$  回目の測定を受信信号の一連の系列を  $x_{n-1} = (x_{n-1, 1}, x_{n-1, 2}, x_{n-1, 3} \dots)$  とおき、 $n$  回目の測定を受信信号の一連の系列を  $x_n = (x_{n, 1}, x_{n, 2}, x_{n, 3} \dots)$  とおく。ここで、 $x_{n, k}$  は、 $n$  回目の計測における超音波パルスの発信後、受信を開始してから  $k$  番目のデータを表わしている。

【0023】

そして、図 3 右に示すように、複数回の計測において、 $k$  番目のデータ同士を、ローパ

50

スフィルタを通すことで、 $y_k(n)$  で示す定在波を抽出する。ローパスフィルタは、例えば、[数1]に示す式で表わすことができる。今回の定在波である $y_k(n)$ を算出するために、前回算出された定在波 $y_k(n-1)$ を用いるようにしている。ただし、他の平滑化フィルタを用いるようにしてもよい。

【数1】

$$y_k(n) = \frac{x_{n,k} + \frac{Tf}{T} \cdot y_k(n-1)}{1 + \frac{Tf}{T}}$$

10

ここで、 $T$ は、測定周期であり、 $Tf$ は、フィルタの時定数である。

【0024】

ウォールフィルタ60の出力 $w_k$ は、定在波除去後の受信波を示し、[数2]に示す式で表わすことができる。あるいは、[数3]に示す式を用いてもよい。

【数2】

$$w_k = x_{n,k} - y_k(n)$$

【数3】

$$w_k = x_{n,k} - y_k(n-1)$$

20

このように、本実施形態では、ウォールフィルタ60の処理において、FFTを用いずに、簡易な構成のローパスフィルタを用いて定在波を抽出しているため、ウォールフィルタ60の処理負荷を軽減することができる。

【0025】

ところで、流体内の気泡からの反射波に重畳する定在波は、短時間では変化しないが、配管100、流体の温度変動等により、長期的には一定ではない。このため、受信信号の振幅の大きさが変動する場合がある。

【0026】

受信信号の振幅の大きさが変動した場合には、ADC50の出力レベルが適切な大きさとなるように、必要に応じてゲイン調整器40のゲインを調整しなければならない。ゲインを変化させた場合にも、ウォールフィルタ60を即座に追従させることが望ましいが、従来は、ゲインを変化させた場合の対応については考慮されておらず、フィルタ結果が安定するまでに複数回の測定が必要になってしまう。

30

【0027】

そこで、本実施形態では、ゲイン調整とフィルタ演算係数とについて図4に示すような制御を行なうこととする。この制御を行なうために、本実施形態の超音波流量計は、GAIN(ゲイン)制御部90を備えている。

【0028】

まず、ゲイン調整器40のゲインとして所定の初期値を設定し、ウォールフィルタ60

40

で用いるローパスフィルタの演算係数として[数1]に示した初期値を設定する。

【0029】

そして、一連の計測を行なう(S102)。計測の結果取得された受信波に対してゲイン調整器40でゲイン調整を行ない、ADC50でデジタル変換したときに、ADC50の出力値の絶対値が、所定の基準値を下回っているかどうかを判定する(S103)。所定の基準値は、例えば、ADC50出力値のフルスケールに対する値等とすることができる。また、BPF30の出力値やADC50の入力値を所定の基準値と比較するようにしてもよい。

【0030】

その結果、ADC50の出力値の絶対値が、所定の基準値を下回っている場合(S10

50

3 : Yes ) には、ゲイン調整器 40 におけるゲインを増加させるように設定する ( S 1 0 4 ) 。ここでは、ゲインを  $r$  倍 (  $r > 1$  ) に設定するものとする。

【 0 0 3 1 】

このとき、今回までのウォールフィルタ 60 のローパスフィルタでは、ゲインを  $r$  倍する前の測定値を用いて定在波  $y_k ( n - 1 )$  を算出していた。そこで、ゲインを  $r$  倍とする次の定在波  $y_k ( n )$  の算出においては、[ 数 4 ] に示すように、 $y_k ( n - 1 )$  を  $r$  倍した値を用いるものとする ( S 1 0 5 ) 。

【 数 4 】

$$y_k(n) = \frac{x_{n,k} + \frac{Tf}{T} \cdot r \cdot y_k(n-1)}{1 + \frac{Tf}{T}}$$

10

これにより、ゲインを増加した場合に、即座にウォールフィルタ 60 のローパスフィルタを対応させることができるようになる。

【 0 0 3 2 】

一方、ADC 50 の出力値の絶対値が、所定の基準値を下回っていない場合 ( S 1 0 3 : No ) には、ADC 50 の出力値の絶対値が、所定の基準値を上回っているかどうかを判定する ( S 1 0 6 ) 。

【 0 0 3 3 】

その結果、ADC 50 の出力値の絶対値が、所定の基準値を上回っている場合 ( S 1 0 6 : Yes ) には、ゲイン調整器 40 におけるゲインを低下させるように設定する ( S 1 0 7 ) 。ここでは、ゲインを  $r$  倍 (  $r < 1$  ) に設定するものとする。

20

【 0 0 3 4 】

このとき、今回までのウォールフィルタ 60 のローパスフィルタでは、ゲインを  $r$  倍する前の測定値を用いて定在波  $y_k ( n - 1 )$  を算出していた。そこで、ゲインを  $r$  倍とする次の定在波  $y_k ( n )$  の算出においては、[ 数 4 ] に示したように、 $y_k ( n - 1 )$  を  $r$  倍した値を用いるものとする ( S 1 0 8 ) 。

【 0 0 3 5 】

これにより、ゲインを低下させた場合にも、即座にウォールフィルタ 60 のローパスフィルタを対応させることができるようになる。

30

【 0 0 3 6 】

一方、ADC 50 の出力値の絶対値が、所定の基準値を上回っていない場合 ( S 1 0 6 : No ) 、すなわち、ADC 50 の出力値の絶対値が所定の基準範囲に収まっている場合には、ゲイン調整器 40 におけるゲインは変更しない。さらに、フィルタ演算係数を変更している場合には、[ 数 1 ] に示した初期設定の状態に戻す。したがって、[ 数 4 ] に示した式は、ゲインを変更した直後の一回の測定のみ適用し、以降は、[ 数 1 ] に示した初期設定の式でローパスフィルタの処理を行なうようにする。

【 0 0 3 7 】

以上のような制御を行なうことにより、本実施形態では、受信波のゲインを変化させた場合に、ウォールフィルタを即座に追従させることができるようになる。

40

【 0 0 3 8 】

図 5 は、ゲイン制御の例を示す図である。本図は、ADC 50 の出力値を示し、ADC 50 の出力値の絶対値が、フルスケール ( FS ) の  $1 / 2$  を超えると、ゲインを  $1 / 2$  倍に低下させ、ADC 50 の出力値の絶対値が、フルスケール ( FS ) の  $1 / 4$  を下回ると、ゲインを  $2$  倍に増加させるものとする。

【 0 0 3 9 】

図 5 ( a ) は、ADC 50 の出力値の絶対値が、フルスケール ( FS ) の  $1 / 2$  を超えた状態を示している。このような場合には、次の測定の際に、ゲイン調整器 40 におけるゲインを  $1 / 2$  倍に低下させ、ウォールフィルタ 60 の演算に [ 数 4 ] に示した式を用

50

いるものとする。図5(b)は、ゲインを1/2倍に低下させた状態を示している。

【0040】

図5(c)は、ADC50の出力値の絶対値が、フルスケール(FS)の1/4を下回った状態を示している。このような場合には、次の測定の際に、ゲイン調整器40におけるゲインを2倍に増加させ、ウォールフィルタ60の演算に[数4]に示した式を用いるものとする。図5(d)は、ゲインを2倍に増加させた状態を示している。

【0041】

このように、本実施形態では、ゲインの変更と、ウォールフィルタ60の演算とを同時にコントロールすることにより、ゲイン変更時にも安定した動作を行なうことができるようになる。

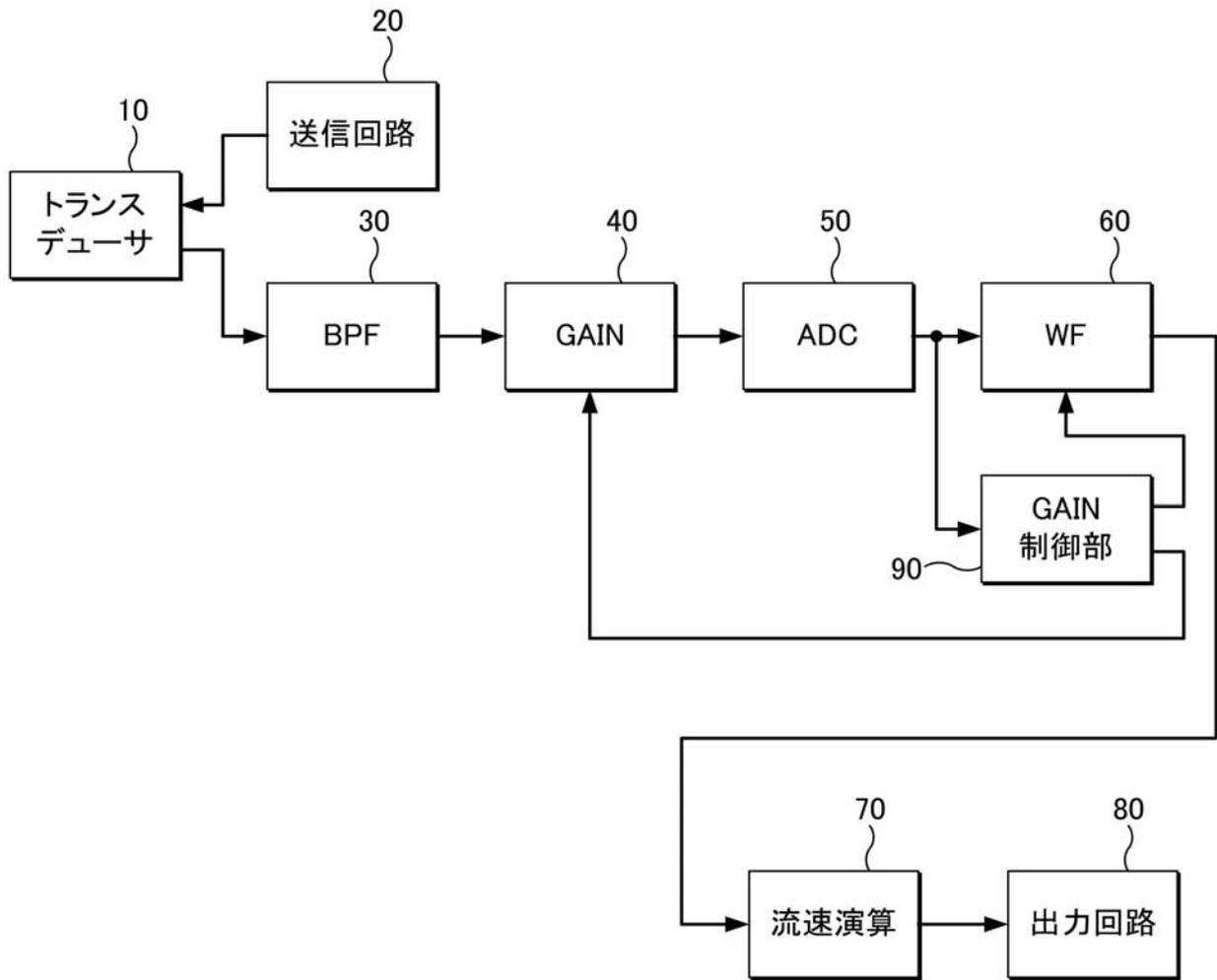
10

【符号の説明】

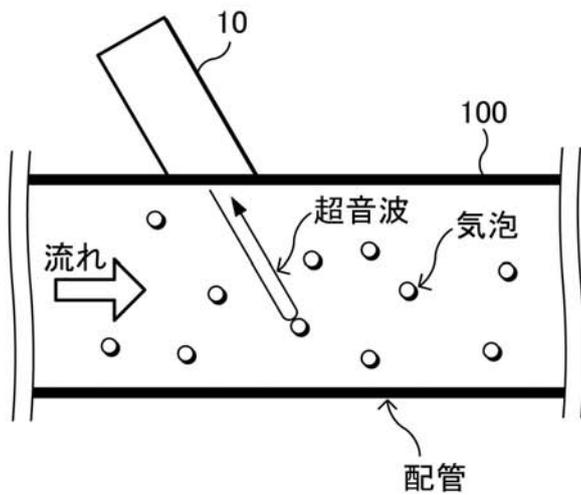
【0042】

10...トランスデューサ、20...送信回路、30...BPF、40...ゲイン調整器、50...ADC、60...ウォールフィルタ、70...流速演算部、80...出力回路、90...ゲイン制御部、100...配管、110...トランスデューサ、120...送信回路、130...BPF、140...ゲイン調整器、150...ADC、160...ウォールフィルタ、170...流速演算部、180...出力回路

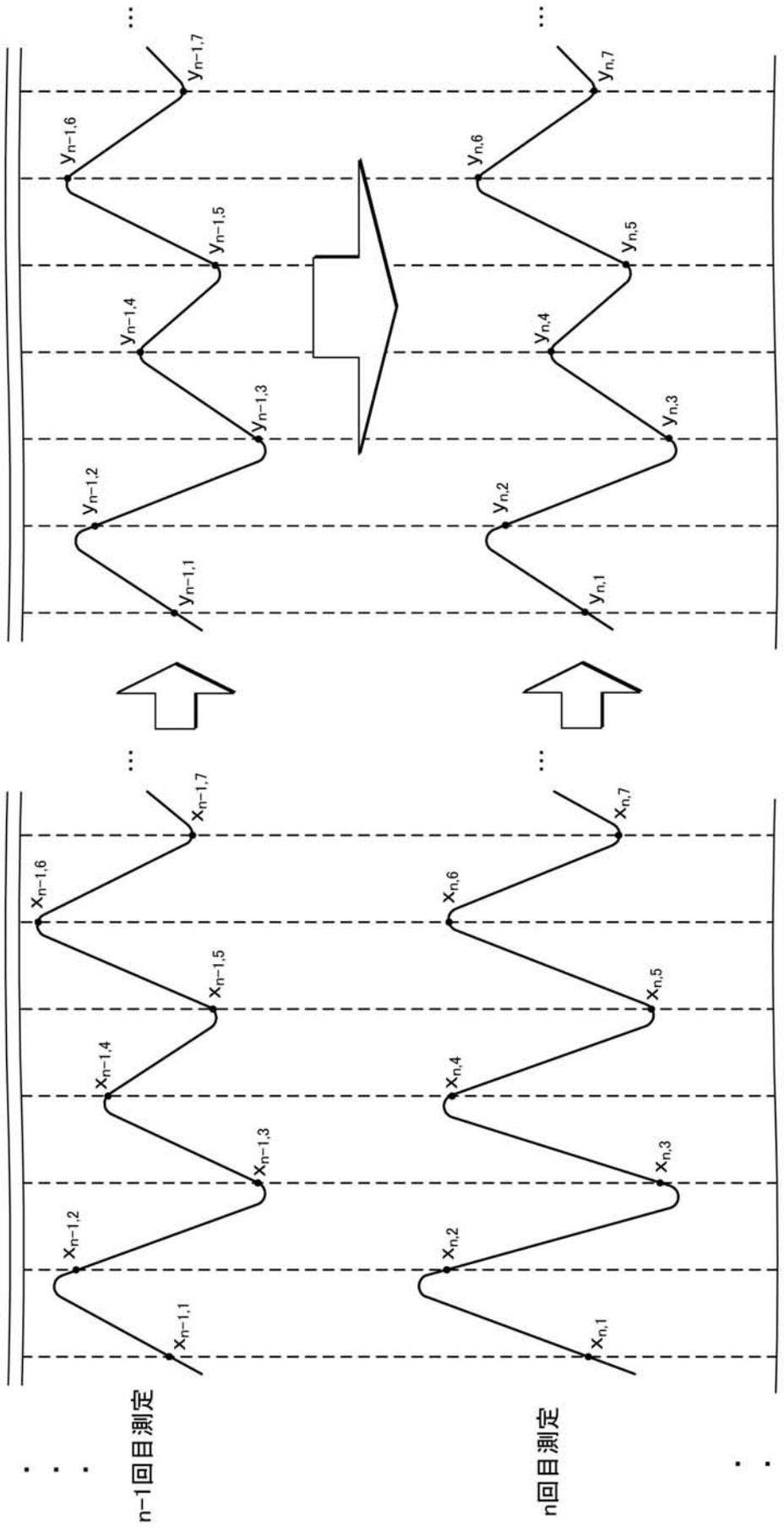
【図1】



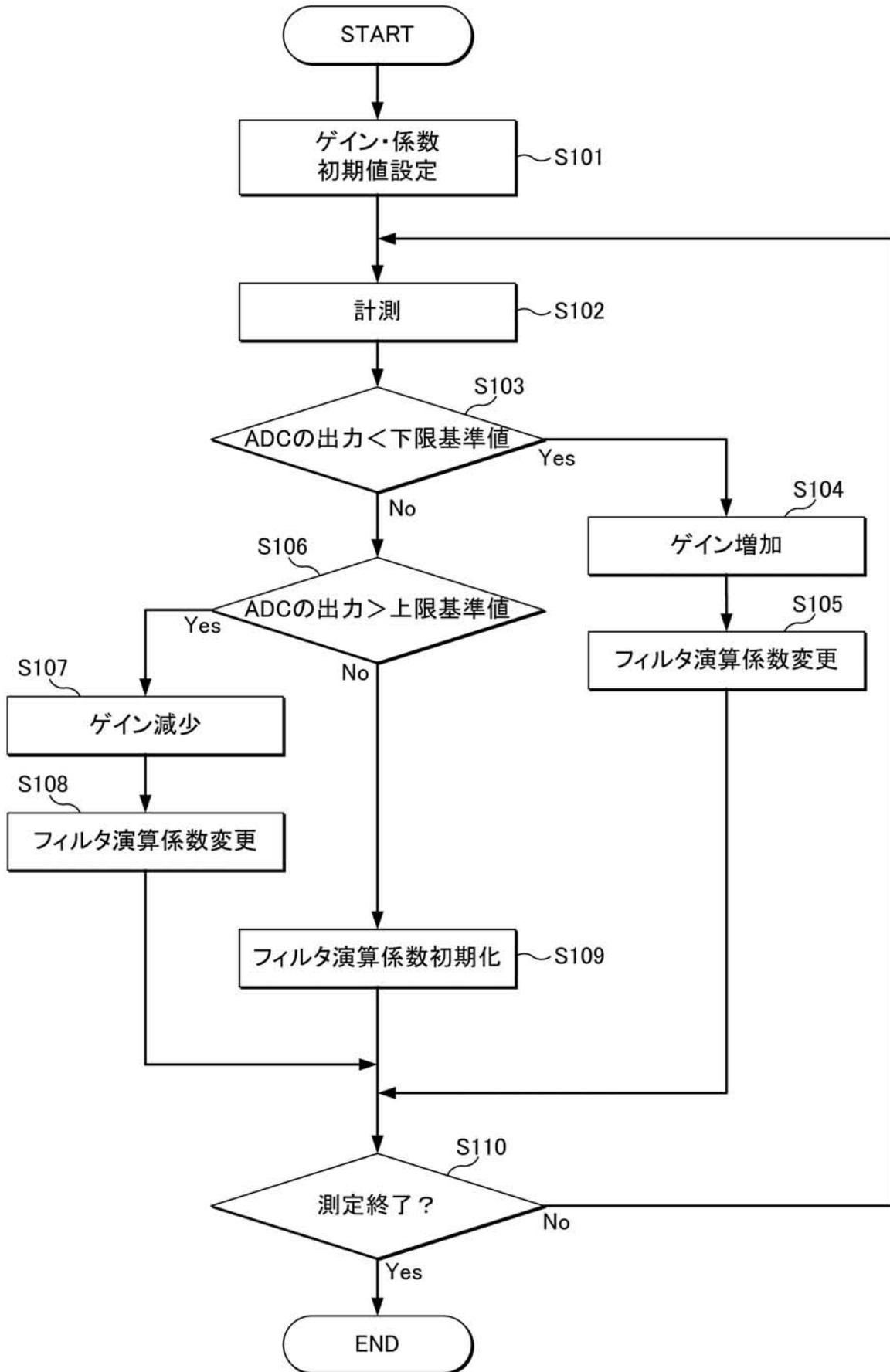
【図2】



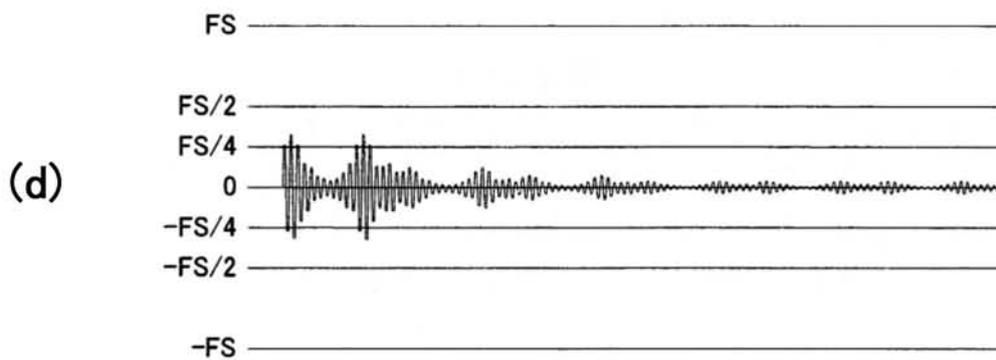
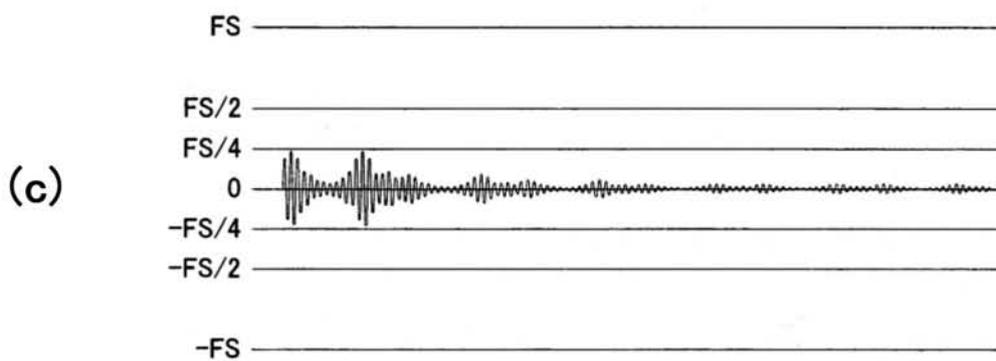
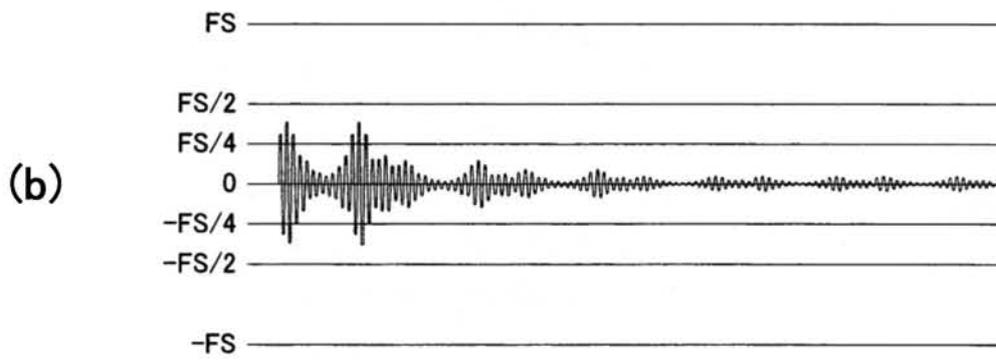
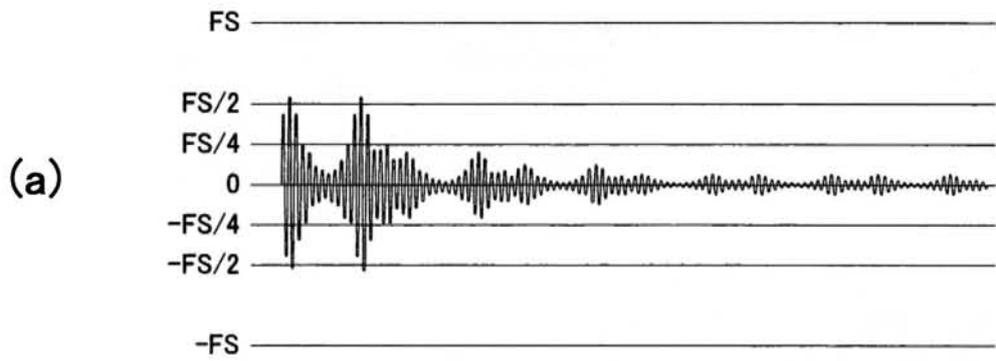
【 図 3 】



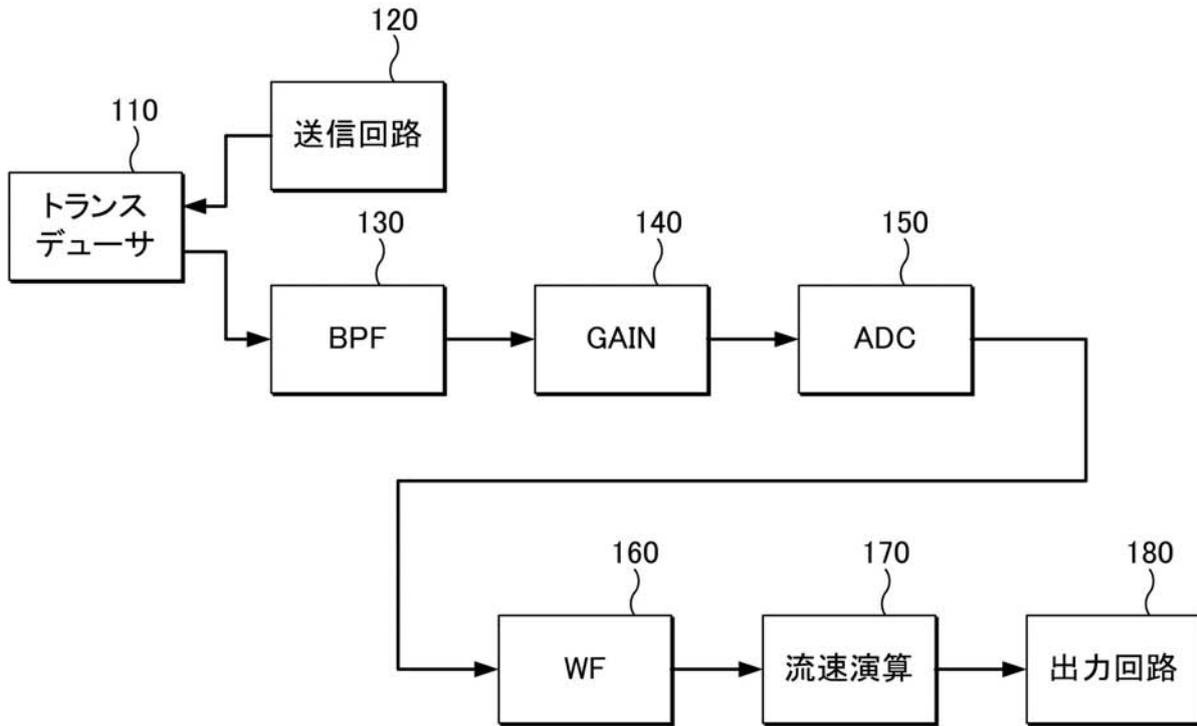
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

