(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4294114号
(P4294114)
(45)発行日　平成21年7月8日(2009.7.8)　(24)登録日　平成21年4月17日(2009.4.17)

(51)Int.Cl.　F I
H03D 3/00 (2006.01)　H03D 3/00 A

請求項の数 1　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願平10-66261
(22)出願日　平成10年3月2日(1998.3.2)
(65)公開番号　特開平11-251841
(43)公開日　平成11年9月17日(1999.9.17)
審査請求日　平成14年9月18日(2002.9.18)
審判番号　不服2006-19944(P2006-19944/J1)
審判請求日　平成18年9月7日(2006.9.7)

(73)特許権者　000005016
パイオニア株式会社
東京都目黒区目黒１丁目４番１号
(72)発明者　菅沼　尚
埼玉県川越市大字山田字西町２５番地１
パイオニア株式会社　川越工場内

合議体
審判長　長島　孝志
審判官　伏本　正典
審判官　小曳　満昭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ディジタルＦＭ検波回路

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
入力アナログＦＭ信号をサンプリングし、これをディジタル検波するディジタルＦＭ検波回路であって、
前記サンプリングされた入力信号を一定時間遅延させた第２信号と、前記第２信号との位相差が９０度の第３信号と、が入力され、両入力信号に基づくアークタンゼント値を出力するアークタンゼント回路を備え、
前記アークタンゼント回路は、
前記第２信号および前記第３信号の絶対値を求める絶対値検出手段と、
前記第２信号および前記第３信号の符号を検出する符号検出手段と、
前記第２信号の絶対値と前記第３信号の絶対値との大きさを比較する比較手段と、
前記第２信号の絶対値と前記第３信号の絶対値とを入れ替える交換手段と、
前記第２信号の絶対値を前記第３信号の絶対値で除算して除算値を算出する除算手段と、
前記除算手段によって算出された前記除算値を複数の代表値のいずれかに丸める丸め手段と、
前記複数の代表値の各々に対応するアークタンゼント値を有するロムテーブルと、前記ロムテーブルから前記丸められた代表値に対応するアークタンゼント値を選択して出力する出力手段と、
入れ替え後の前記第２信号および前記第３信号の絶対値に基づいて前記出力手段からア

ークタンゼント値が出力された場合には、９０度から当該アークタンゼント値を引き算して得られる値を入れ替え前の前記第２信号および前記第３信号の絶対値から求められるアークタンゼント値として出力する交換修正手段と、

前記符号検出手段の検出結果から前記除算値が負の値をとる場合には、前記出力手段または前記交換修正手段から出力されるアークタンゼント値の極性を負に修正して出力する符号修正手段と、

を有し、

前記複数の代表値は、前記除算値のいずれかであって、かつ、前記除算値が取り得る範囲である０から１までの範囲を等分に区切ることで得られる値であるとともに、

前記除算値の取り得る範囲である０から１までの範囲で前記複数の代表値を順に並べた場合における前記複数の代表値間の位相差は、前記除算値が取り得るすべての値を順に並べた場合における除算値間の位相差の最大値以下であることを特徴とするディジタルＦＭ検波回路。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ＲＯＭテーブルを用いたアークタンゼント回路を使用するディジタルＦＭ検波回路に関する。

【０００２】

【従来の技術】

図１は、従来のディジタルＦＭ検波回路の概略ブロック図である。ディジタルＦＭ検波回路は、遅延回路１、２、６、加算器３、７、割算器４、アークタンゼント回路５で構成される。ディジタルＦＭ検波回路の動作を説明すると、この検波回路には、ＦＭ変調されたＦＭアナログ信号をその信号の４倍のサンプリング周波数でディジタル変換したディジタルＦＭ信号が入力される。

【０００３】

サンプリング周波数を信号の４倍にとることにより、変調されないディジタルＦＭ信号の位相差を９０度毎に作ることができ、１つの遅延回路を通す毎に位相が９０度遅れることになる。サンプリングされたディジタルＦＭ信号は、遅延回路１を通り一定時間遅延された第２信号となる。これをｓｉｎωｔとする。

【０００４】

他方、サンプリングされたディジタルＦＭ信号は、遅延回路１、２、加算回路３、割算回路４から構成されるヒルベルト変換回路により、第２信号に対して常に９０度移相された第３信号となる。これをｃｏｓωｔとする。９０度移相されたＦＭ信号Ｃ、すなわち、ｃｏｓωｔと、移相されないＦＭ信号Ｓ、すなわち、ｓｉｎωｔとが、アークタンゼント回路５に入力される。アークタンゼント回路５は、この２つの信号を割算してｔａｎωｔ（＝Ｓ／Ｃ＝ｓｉｎωｔ／ｃｏｓωｔ）を求め、これのアークタンゼントａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）をＲＯＭテーブルから求める。これによりＦＭ信号の位相ωｔが検出されることになる。

【０００５】

アークタンゼント回路５の出力は、遅延回路６で１サンプル期間遅延され、さらに図示しない反転回路で反転されて加算回路７の１入力に入力される。他方、加算回路７の他入力には、アークタンゼント回路５の出力が直接入力される。加算回路７では、両入力が加算され、ＦＭ検波出力、すなわち、復調信号が得られるのである。

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、ディジタルＦＭ検波回路には、サンプリングされた信号の振幅から、信号の位相を計算するアークタンゼント回路が必要である。一般には、この計算回路そのものを構成せず、入力値に対応するＲＯＭテーブルを用いて位相を求めることが多い。

【０００７】

Ａ／Ｄ変換回路は、出力ディジタル値を、符号情報１ビット、振幅情報ｎビットで表現することが多い。そこで、以下の説明は、符号情報を１ビット、振幅情報を３ビットとした４ビットのＡ／Ｄ変換器を例にとり、ＦＭアナログ信号がかかるＡ／Ｄ変換器にてディジタルＦＭ信号に変換され、ディジタルＦＭ検波回路に供給されるものとして説明する。４ビットのＡ／Ｄ変換器では、入力信号の振幅は、－７から７までの１５種類のディジタル値で表現される。この結果、上述のＳとＣの値は、それぞれ－７から７までの値をとることができ、Ｓ／Ｃに対するアークタンゼントのＲＯＭテーブルは１１３個（Ｓ／Ｃ≧０の時６４個、Ｓ＜０の時４９個）が必要となる。したがって、このままでは、ＲＯＭテーブルの作製にコストがかかり過ぎるという問題がある。

【０００８】

以上の点に鑑み、本発明では、性能を落とすことなく、アークタンゼント回路に使用されるＲＯＭテーブルの数を減らすことを課題とする。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

請求項１記載の発明は、入力アナログＦＭ信号をサンプリングし、これをディジタル検波するディジタルＦＭ検波回路であって、前記サンプリングされた入力信号を一定時間遅延させた第２信号と、前記第２信号との位相差が９０度の第３信号と、が入力され、両入力信号に基づくアークタンゼント値を出力するアークタンゼント回路を備え、前記アークタンゼント回路は、前記第２信号および前記第３信号の絶対値を求める絶対値検出手段と、前記第２信号および前記第３信号の符号を検出する符号検出手段と、前記第２信号の絶対値と前記第３信号の絶対値との大きさを比較する比較手段と、前記第２信号の絶対値と前記第３信号の絶対値とを入れ替える交換手段と、前記第２信号の絶対値を前記第３信号の絶対値で除算して除算値を算出する除算手段と、前記除算手段によって算出された前記除算値を複数の代表値のいずれかに丸める丸め手段と、前記複数の代表値の各々に対応するアークタンゼント値を有するロムテーブルと、前記ロムテーブルから前記丸められた代表値に対応するアークタンゼント値を選択して出力する出力手段と、入れ替え後の前記第２信号および前記第３信号の絶対値に基づいて前記出力手段からアークタンゼント値が出力された場合には、９０度から当該アークタンゼント値を引き算して得られる値を入れ替え前の前記第２信号および前記第３信号の絶対値から求められるアークタンゼント値として出力する交換修正手段と、前記符号検出手段の検出結果から前記除算値が負の値をとる場合には、前記出力手段または前記交換修正手段から出力されるアークタンゼント値の極性を負に修正して出力する符号修正手段と、を有し、前記複数の代表値は、前記除算値のいずれかであって、かつ、前記除算値が取り得る範囲である０から１までの範囲を等分に区切ることで得られる値であるとともに、前記除算値の取り得る範囲である０から１までの範囲で前記複数の代表値を順に並べた場合における前記複数の代表値間の位相差は、前記除算値が取り得るすべての値を順に並べた場合における除算値間の位相差の最大値以下であることを特徴とする。

【００１２】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。まず、本発明に導入した３つの手法について各々説明する。

【００１３】

ａ．第１の手法

図２は、ｔａｎωｔ（＝Ｓ／Ｃ）とアークタンゼントａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）との関係を示す図である。図よりわかるように、このグラフは、原点に対して対称形となっている。したがって、Ｓ／Ｃが負の時のａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）の角度値は、Ｓ／Ｃが正の時の角度値に「－」の符号ををつけることで表現できる。この手法を取り入れることにより、ＲＯＭテーブルの数を半分にすることが可能となる。

【００１４】

ｂ．第２の手法

表１は、Ｓ及びＣが各々０から７（３ビット）をとることができる場合のＳ／Ｃの値を示す表である。

【００１５】

【表１】

7	∞	7	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	1
6	∞	6	3	2	3/2	6/5	1	6/7
5	∞	5	5/2	5/3	5/4	1	5/6	5/7
4	∞	4	2	4/3	1	4/5	2/3	4/7
3	∞	3	3/2	1	3/4	3/5	1/2	3/7
2	∞	2	1	2/3	1/2	2/5	1/3	2/7
1	∞	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
0		0	0	0	0	0	0	0
S								
C	0	1	2	3	4	5	6	7

表１．Ｓ／Ｃの値を示す表

【００１６】

表１よりわかるように、Ｓ＝Ｃ、すなわち、Ｓ／Ｃ＝１の軸に対称にＳ／ＣとＳとＣとを交換したＣ／Ｓとが存在している。例えば、Ｓ／Ｃ＝１／２についてみると、Ｓ／Ｃ＝１の軸に対称な位置にはＣ／Ｓ＝２／１が存在する。この特徴を利用すれば、ＲＯＭテーブルの数を減らすことができる。すなわち、ｔａｎα＝Ｓ／Ｃ、ｔａｎβ＝Ｃ／Ｓ、β＝π／２－αとすると、

【００１７】

$\tan^{-1}(C/S) = \pi/2 - \tan^{-1}(S/C)$

となり、この式よりＳ＜Ｃ、すなわちアークタンゼントが４５度未満の時の角度を用いてＳ＞Ｃ、すなわちアークタンゼントが４５度をこえる時の角度を求めることができる。逆に、

【００１８】

tan^{-1}（Ｓ／Ｃ）＝π／２－tan^{-1}（Ｃ／Ｓ）

と見れば、この式よりＳ＞Ｃの時の角度を用いてＳ＜Ｃの時の角度を求めることができる。

【００１９】

したがって、ＲＯＭテーブルの数を表１のおよそ半分に減らすことができる。

【００２０】

ｃ．第３の手法

次いで、本件出願人は、図２のグラフのＳ／Ｃ軸を等分に区切ることを考えてみた。先の第１の手法を利用することを前提とすると、図２の第１象限のみを考えればよいが、Ｓ／Ｃ＞１の範囲には、表１よりもわかるように無限大の値が存在するので等分に区切ることはできない。ここで、さらに先の第２の手法を利用することを前提とすると、アークタンゼントの角度値が０から４５度までを考えれば良いので、この範囲（０≦Ｓ／Ｃ≦１）であれば、Ｓ／Ｃ軸を等分に区切ることが可能となる。

表２は、Ｓ／Ｃの値が１以下のものを小さい順に並べた表である。

【００２１】

【表２】

番号	S	C	S／C	arctan(S/C)	前との位相差
1～7	0	1～7	0	0	
8	1	7	1／7	8.13	8.13
9	1	6	1／6	9.46	1.33
10	1	5	1／5	11.31	1.85
11	1	4	1／4	14.04	2.73
12	2	7	2／7	15.95	1.91
13	1	3	1／3	18.43	2.48
14	2	6	2／6	18.43	
15	2	5	2／5	21.80	3.37
16	3	7	3／7	23.20	1.40
17	1	2	1／2	26.57	3.37
18	2	4	2／4	26.57	
19	3	6	3／6	26.57	
20	4	7	4／7	29.74	3.17
21	3	5	3／5	30.96	1.22
22	2	3	2／3	33.69	2.73
23	4	6	4／6	33.69	
24	5	7	5／7	35.54	1.85
25	3	4	3／4	36.87	1.33
26	4	5	4／5	38.67	1.80
27	5	6	5／6	39.81	1.14
28	6	7	6／7	40.60	0.79
29～35	S＝C		1	45.00	4.40
36	0	0		0又は45	

表２．Ｓ／Ｃの値を小さい順に並べた表

【００２２】

表２中、「ａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）」の項は、ＦＭ信号の位相を表しており、この位相と遅延回路で１サンプルだけ遅延させた信号とが、引き算回路で演算され、ＦＭ検波出力となる。したがって、表２中、「前との位相差」の項の大きさが出力のディジタル的な粗さ（分解能）を表すことになる。よって、最大値を示す８．１３度（Ｓ／Ｃ＝１／７）が検

波出力のＳＮ比を支配することになり、「前との位相差」が８．１３度以下でＳ／Ｃ軸を等分に区切ることができればＳＮ比に大きな差は生じないと言える。

【００２３】

次に、かかる原理に基づき、表２からＳ／Ｃ＝１／７、２／７、３／７、４／７、５／７、６／７、７／７を抜き出して表３をつくる。

【００２４】

【表３】

Ｓ／Ｃ	ａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）（度）	前との位相差（度）
0	0	
１／７	８．１３	８．１３
２／７	１５．９７	７．８２
３／７	２３．２０	７．２５
４／７	２９．７４	６．５４
５／７	３５．５４	５．８０
６／７	４０．６０	５．０６
１	４５．００	４．４０

表３．１／７～１を抜き出した表

【００２５】

表３よりわかるように、「前との位相差」は、全て８．１３度以下になっているで、この表３の８個のａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）を代表値としても、検波出力のＳＮ比に大きな差は生じないことになる。

【００２６】

より詳細には、表４に示すように、Ｓ／Ｃをａ０からａ７で等分に分割し、０から４５度の範囲をこの８つのａｒｃｔａｎ（Ｓ／Ｃ）で代表させるようにすれば、ＳＮ比を悪化させることなくＲＯＭテーブルの数を減らすことができるのである。

【００２７】

【表４】

S／C	arctan（S／C）
0 ≦ a 0 < 1/14	0
1/7 −1/14 ≦ a 1 < 1/7+1/14	8．13
2/7 −1/14 ≦ a 2 < 2/7+1/14	15．95
3/7 −1/14 ≦ a 3 < 3/7+1/14	23．20
4/7 −1/14 ≦ a 4 < 4/7+1/14	29．74
5/7 −1/14 ≦ a 5 < 5/7+1/14	35．54
6/7 −1/14 ≦ a 6 < 6/7+1/14	40．60
7/7 −1/14 ≦ a 7 < 7/7	45．00

表４．代表値のとり得る範囲を示す表

【００２８】
以上の３つの手法を取り入れることで、ＲＯＭテーブルを８個にまで減らすことが可能になる。
【００２９】
第１の実施形態
次に、上述の３つの手法をとりいれたアークタンゼント回路を図３に示す。図３のアークタンゼント回路は、図１のディジタルＦＭ検波回路に示すアークタンゼント回路に代わり使用されるものである。
【００３０】
入力されたＳ及びＣ信号は、まず、絶対値検出部１１と符号検出部１２に入力されることになる。絶対値検出部１１と、符号検出部１２と、符号修正部１９とにより上記第１の方法が実現される。絶対値検出部１１にて入力信号の絶対値が求められることにより、Ｓ／Ｃが図２の第３象限に位置する負の値であっても第１象限の正の値として処理され、ロムテーブルから対応する角度（アークタンゼント）値が求められる。他方、符号検出部１２では入力信号の符号が検出され、Ｓ／Ｃが負の値をとる場合には、求められた角度の極性を符号修正部１９にて負に修正し、正しいアークタンゼント値が出力されるように構成している。以上の構成によりロムテーブル１７の数を減らすことが可能となる。
【００３１】
絶対値検出部１１の出力は、次いで、大小比較部１３とＳＣ交換部１４に入力されることになる。大小比較部１３と、ＳＣ交換部１４と、位相値を修正する交換の修正部１８とにより上記第２の方法が実現される。大小比較部１３では、入力されたＳ信号とＣ信号との大小関係が検出される。ＳＣ交換部１４では、大小比較部１３の検出結果がＳ／Ｃ＞１を示す場合にのみＳとＣとの値を交換し、これを出力する。次いで、ロムアドレス部１６は、交換した値（Ｃ／Ｓ）に対応するアークタンゼント値をロムテーブル１７から求め出力する。すなわち、Ｓ／Ｃが１をこえる値であってもその逆数（１より小さい値）として処理され、ロムテーブルから対応する角度（アークタンゼント）が求められるのである。このようにして求められた値は、前述の第２の方法で示した数式に基づき正しい角度値に修正される。この処理を行うのが、交換の修正部１８であり、Ｓ／Ｃが１をこえる場合には

、角度の修正処理が実行されることになる。

【００３２】

ＳＣ交換部１４を経た信号は、次いで、除算と丸め部１５に入力される。この構成により、上記第３の方法が実現される。除算と丸め部１５は、入力されるＳ信号とＣ信号からＳ／Ｃを求め、これを表４に示すように等分に分割された代表値ａ０からａ７のいずれかの値に丸める。この代表値ａ０からａ７には、それぞれ対応するアークタンゼント値がロムテーブル１７内部にアドレス付けされて配置されており、ロムアドレス部１６は、ロムテーブル１７から対応するアークタンゼント値を読みだし、これを出力する制御を行う。

【００３３】

第２の実施形態

上記の第１の実施形態は、先の第１から第３の手法を全て取り入れた、最もロムテーブルの数が小さくなる最適な実施形態であったが、例えば、上述の第２の手法を取り入れないでもＳＮ比の悪化を抑制したアークタンゼント回路を構成することが可能である。この場合、０から９０度の間の位相を使用することになるので、前述の第３の手法で示したように、図２のグラフをＳ／Ｃ軸方向に向かって等分に区切ることはできない。ここで、本件出願人は、表３の代表値をベースにした表５に示すような代表値を検討した。

【００３４】

【表５】

S/C	S/CX7	arctan(S/C)	前との位相差
0	0	0	
1/7	1	8.13	８．１３
2/7	2	15.95	７．８２
3/7	3	23.20	７．２５
4/7	4	29.74	６．５４
5/7	5	35.54	５．８０
6/7	6	40.60	５．０６
7/7	7	45.00	４．４０
S/C	14-C/SX7	arctan(S/C)	前との位相差
7/6	8	49.40	４．４０
7/5	9	54.46	５．０６
7/4	10	60.26	５．８０
7/3	11	66.80	６．５４
7/2	12	74.05	７．２５
7/1	13	81.87	７．８２
7/0	14	90.00	８．１３

表５．代表値を示す表

【００３５】
表５の「前との位相差」の項よりわかるように、「前との位相差」の最大値　は、第１の実施形態の時と同じであるので、これらの代表値のみを使用してアークタンゼント回路を構成しても検波出力のＳＮ比には、大きな差は生じない。

【００３６】
かかる代表値を使用したアークタンゼント回路を図４に示す。図３と同様の構成に付いては同一の番号を付し、その詳細な説明は割愛する。第２の実施形態では、０から９０度の位相を使用するので、原理的には、第１の実施形態のようなＳＣ交換部１４及び交換の修正部１８は不要となる。しかしながら、本第２の実施形態では、以下のような方法でロムアドレスを決定しているのでＳＣの交換を必要としている。

【００３７】
第２の実施形態では、絶対値検出部１１の出力は、大小比較部１３とＳＣ交換部１４に入

力されることになる。大小比較部１３では、入力されたＳとＣとの大小関係が検出される。検出結果がＳ／Ｃ＞１の場合にのみＳとＣとの値を交換する。出力されるＳとＣの値は、除算部２５にて除算され、Ｓ／Ｃ（Ｓ／Ｃ＞１の場合には実質的にＣ／Ｓ）が求められ出力される。

【００３８】

ロムアドレス部２６は、Ｓ≦Ｃ（アークタンゼントが０から４５度）の場合には、Ｓ／Ｃに７を乗算する。この時、整数部としては０から７までの整数が得られるので、乗算値を整数値に丸める処理も実行される。また、Ｓ＞Ｃ（アークタンゼントが４５から９０度）の場合には、Ｃ／Ｓに７を乗算し、これを１４から減算する。この時、整数部としては８から１４までの整数が得られるので、同様に、この整数値に丸める処理も行われる。以上の処理により０から１４までの整数が導かれる。

【００３９】

ロムテーブル２７は、かかる整数値に１対１に対応付けてアークタンゼントの値を保持しており、上述の計算により求められた整数値に対応するロムアドレスがロムアドレス部２６中で求められ、そのアドレスで指定されるのアークタンゼント値がロムテーブル２７から読み出され出力される。

【００４０】

以上の第２の実施形態では、第１の実施形態に比してロムテーブルの数が倍増するが、第１の実施形態のような角度の修正処理が不要となる。また、検波出力のＳＮ比も差がないので、両方の形態を、必要に応じて使い分けることが望ましい。

【００４１】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ＳＮ比の悪化を抑制しつつ、ロムテーブルの数を減らすことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】ディジタルＦＭ検波回路の概略ブロック図である。

【図２】アークタンゼントとＳ／Ｃとの関係を示す図である。

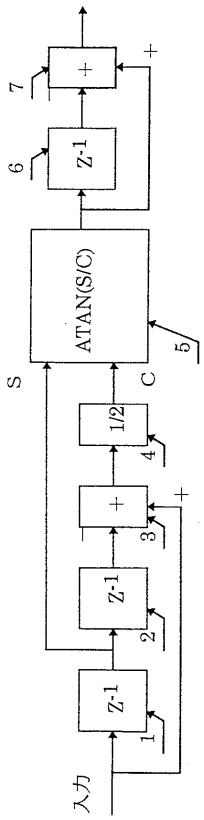
【図３】本発明のアークタンゼント回路の一例を示す図である。

【図４】本発明のアークタンゼント回路の一例を示す図である。

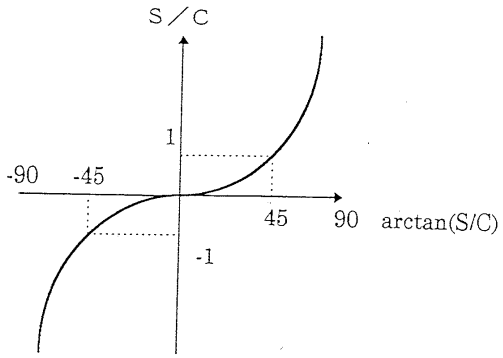
【符号の説明】

１、２、６　・・・・　遅延回路
３、７　・・・・　加算回路
４　・・・・　割算回路
５　・・・・　アークタンゼント回路
１１　・・・・　絶対値検出部
１２　・・・・　符号検出部
１３　・・・・　大小比較部
１４　・・・・　ＳＣ交換部
１５　・・・・　除算と丸め部
１６　・・・・　ロムアドレス部
１７　・・・・　ロムテーブル
１８　・・・・　交換の修正部
１９　・・・・　符号修正部
２３　・・・・　大小比較部
２４　・・・・　ＳＣ交換部
２５　・・・・　除算部
２６　・・・・　ロムアドレス部
２７　・・・・　ロムテーブル

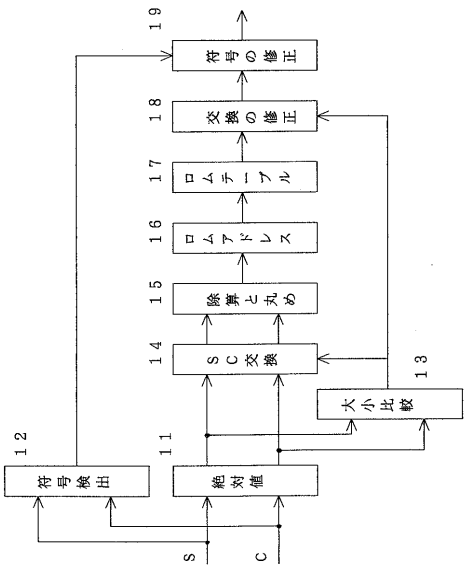
【図１】


入力
Z-1
1
Z-1
2
+
3
1/2
4
ATAN(S/C)
5
S
C
Z-1
6
+
7

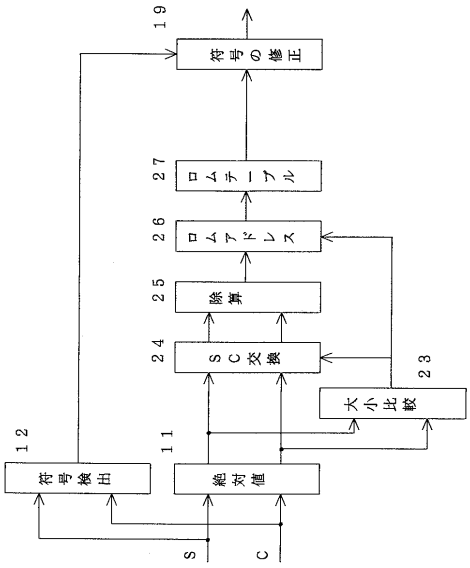
【図２】


S／C
1
-90
-45
45
90
arctan(S/C)
-1

【図３】


符号検出
12
絶対値
11
S
C
大小比較
13
SC交換
14
除算と丸め
15
ロムアドレス
16
ロムテーブル
17
交換の修正
18
符号の修正
19

【図４】


符号検出
12
絶対値
11
S
C
大小比較
23
SC交換
24
除算
25
ロムアドレス
26
ロムテーブル
27
符号の修正
19

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平６－４５８３２（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１７０１２６（ＪＰ，Ａ）
特開平９－５５７７２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－９４７０７（ＪＰ，Ａ）
特開平６－５３７４４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H03D3/00-3/42
H04L27/14