

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7740756号
(P7740756)

(45)発行日 令和7年9月17日(2025. 9. 17)

(24)登録日 令和7年9月8日(2025. 9. 8)

(51)Int. Cl.
H 0 3 D 1/22 (2006. 01)

F I
H 0 3 D 1/22 Z

請求項の数 1 (全 9 頁)

(21)出願番号	特願2024-117436(P2024-117436)	(73)特許権者	503378475
(22)出願日	令和6年7月23日(2024. 7. 23)		有限会社ファインチューン
審査請求日	令和6年7月23日(2024. 7. 23)		神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央三丁目10番26号
早期審査対象出願		(74)代理人	100166545
前置審査			弁理士 折坂 茂樹
		(72)発明者	細田 隆之
			神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央3-10-26-201
		審査官	三木 景介
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 アナログ乗算器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力信号に対し複数の異なる重み付けした複数の重み付き入力信号を生成する重み付け回路部と、

切替信号に基づいて、複数の選択端子の何れかと共通端子とを接続するアナログスイッチ部であって、前記重み付け回路部が生成した重み付き入力信号が複数の前記選択端子に入力される、アナログスイッチ部と、

所定の局部発振周波数の有理数倍の周波数の基準信号を出力する基準信号発振器と、

前記基準信号から、前記局部発振周波数の1周期を整数分割した分割区間ごとに共通端子に接続する選択端子を規定する前記切替信号を生成する切替信号生成部と

を備えるアナログ乗算器であって、

前記重み付け回路部が、局部発振周波数の正弦波の前記分割区間ごとの正規化積分値に対応した重み付けをした複数の前記重み付き入力信号を生成し、

前記重み付け回路部での重み付けが抵抗および/または容量により実現され、前記共通端子にいずれの前記選択端子が接続されるかに関わらず、前記アナログスイッチ部の出力端から見た信号源インピーダンスが一定となるように前記抵抗および/または容量の値が定められ、

前記重み付け回路部が、アナログ乗算器の後段に設けられ前記アナログ乗算器を含んで構成される検波回路の最終出力となるフィルタを構成する素子の一部として機能することを特徴とするアナログ乗算器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、送受信信号をアナログ信号で扱う乗算器（以下、「アナログ乗算器」と呼ぶ）に関し、特に、重み付きアナログスイッチ型の乗算器に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、図1に示すような、帯域通過フィルタ（バンドパスフィルタ；BPF）21および受信アンプ22を介した受信信号を、アナログスイッチ23を用いて局部発振器25が出力する局部発振信号とコヒーレントな関係にある切替信号を直交同期信号生成器26にて生成し、この切替信号で信号の極性を切り替えることにより周波数乗算を行う、単純アナログスイッチ型周波数乗算器が簡易な同期式検波回路20などに用いられている（例えば特許文献1を参照）。このような同期式検波回路20では、アナログスイッチ23の後段に低域通過フィルタ（ローパスフィルタ；LPF）を設け、その出力が検波回路20の受信回路における最終出力となる。なお、同期式検波回路20は、上記の受信回路に加え、送信アンプ27、ドライバ28等からなる送信回路を備える場合もある。

10

【0003】

また、図2に示すような、帯域通過フィルタ31および受信アンプ32を介した受信信号をAD変換器33でデジタル信号に変換した上でデジタル信号処理する方式の同期式検波回路30も存在する。この方式では、局部発振器35が出力する局部発振信号に同期したデジタル信号を数値制御発振器（Numerically controlled oscillator；NCO）341により生成し、数値ミキサ342により、AD変換器33の出力と乗算する。さらに、デジタルフィルタ343にて低域通過等のフィルタリングを行うことで検波回路30の受信回路における最終出力となる。なお、同期式検波回路30は、上記の受信回路に加え、DA変換器39、送信アンプ37、ドライバ38等からなる送信回路を備える場合もある。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平10-093430号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

単純アナログスイッチ型周波数乗算器では、クロック信号（周波数 f ）の奇数次高調波（周波数 $3f$ 、 $5f$ 、 $7f$ 、 $\dots$ ）に対してもエイリアスを生じるため、その影響を軽減するには受信信号に適用する帯域通過フィルタを狭帯域とする必要がある。このため、スイッチ部は安価で低消費電力なものの、帯域通過フィルタを実現するアナログ回路のコストや部品点数の制約が大きい。

【0006】

一方、デジタル信号処理を用いた方式では、オーバーサンプリングによって入力 of BPFを簡素化できるもののアナログ・デジタル変換やデジタル信号処理に用いるロジック回路の規模や消費電力がコストや製品化の制約となる。

40

【0007】

上記の問題に鑑み、本発明の目的は、局部発振信号の奇数次高調波の影響を受けにくく低コストで実現可能なアナログ乗算器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の課題を解決すべく、本発明の一実施形態に係るアナログ乗算器は、入力信号に対し複数の異なる重み付けした複数の重み付き入力信号を生成する重み付け回路部と、切替信号に基づいて、複数の選択端子の何れかと共通端子とを接続するアナログスイッ

50

チ部であって、重み付け回路部が生成した重み付き入力信号が複数の選択端子に入力される、アナログスイッチ部と、所定の局部発振周波数の有理数倍の周波数の基準信号を出力する基準信号発振器と、基準信号から、局部発振周波数の1周期を整数分割した分割区間ごとに共通端子に接続する選択端子を規定する切替信号を生成する切替信号生成部とを備える。そして、重み付け回路部は、局部発振周波数の正弦波の分割区間ごとの正規化積分値に対応した重み付けをした複数の重み付き入力信号を生成することを特徴とする。

【0009】

本発明では、重み付け回路部が、アナログ乗算器の後段に設けられるフィルタの一部として機能するとよい。

【0010】

本発明では、共通端子にいずれの選択端子が接続されるかに関わらず、アナログスイッチ部の出力端から見た信号源インピーダンスが一定となるように構成されるとよい。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、局部発振信号の奇数次高調波の影響を受けにくく低コストで実現可能なアナログ乗算器を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】従来の単純アナログスイッチ型周波数乗算器を有する同期式検波回路の構成を示す。

【図2】従来のデジタル信号処理方式の同期式検波回路の構成を示す。

【図3】本発明の実施形態に係るアナログ乗算器を備えた検波回路の構成を示す。

【図4】疑似正弦波の波形の一例を示す図である。

【図5】疑似正弦波および矩形波の周波数成分の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、以下の説明では、同一の部材には同一の符号を付し、一度説明した部材については適宜その説明を省略する。

【0014】

図3は、本発明の実施形態に係るアナログ乗算器10が適用された同期式検波回路1の構成を示す回路ブロック図である。

【0015】

図3に示すように、同期式検波回路1は、バンドパスフィルタ11、受信アンプ12、重み付きアナログスイッチ13、ローパスフィルタ14、基準発振器15、及び切替信号生成部16を備える。図1に示すように、これらのうち、重み付きアナログスイッチ13、基準発振器15、及び切替信号生成部16は、アナログ乗算器10を構成する。

【0016】

バンドパスフィルタ11は、入力される受信信号における所定の通過周波数帯域のみを通過させ通過周波数帯域以外の周波数の信号を遮断する。バンドパスフィルタ11は、局部発振信号の周波数を通過させ、かつ、後述する疑似正弦波においてキャンセルされない奇数次の高調波（後に例示する6値の重み付け切り替えで疑似正弦波を実現する場合には第11次以上の高調波）を遮断するように構成される。受信アンプ12は、バンドパスフィルタ11の出力と入力を分離し、適宜増幅する増幅器である。受信アンプ12の出力インピーダンスは、十分に低インピーダンスとすることが好ましい。

【0017】

重み付きアナログスイッチ13は、受信アンプ12の出力を入力信号とし、当該入力信号に、選択端子に応じた重み（増幅係数或いは減衰係数）を乗じた信号を出力する。この入力信号に、選択端子に応じた重み（増幅係数或いは減衰係数）を乗じた信号を出力する機能を、以下では「重み付け切り替え」と呼ぶ。ローパスフィルタ14は重み付きアナログスイッチ13が出力する信号について、所定の低周波の信号のみを通過させ、高周波の

10

20

30

40

50

信号を遮断する。ローパスフィルタ 14 の出力は同期式検波回路 1 の受信回路における最終出力となる。

【0018】

基準発振器 15 は、受信信号における搬送波の有理数倍の周波数周波数を有し位相が一致した、いわゆるコヒーレントな関係にある基準発振信号を出力する。受信信号に乗算すべき信号を局部発信信号と呼び、局部発振信号の周波数を局部発振周波数と呼ぶ。基準発振器 15 は、局部発振周波数と同一周期の切替信号を生成させるべく、切替信号生成部 16 に基準信号を与える。切替信号生成部 16 が、後述するように局部発振信号の 1 周期を所定数 n の区間に分割して分割区間ごとに切替信号を変化させる場合、基準信号の周波数を局部発振信号の n 倍の周波数とすると、切替信号の発生が容易となり好ましい。基準発振器 15 が出力する基準信号は、送信アンプ 17、ドライバ 18 等を備える送信回路において直交同期信号の生成等にも用いてもよい。

10

【0019】

切替信号生成部 16 は、基準発振器 15 が出力する基準信号に基づいて、重み付きアナログスイッチ 13 へ局部発振周波数と同一周期で多値の切替信号を生成して出力する。切替信号は、局部発振信号の周期を整数分割した分割区間ごとに、アナログスイッチ部 132 において共通端子 132B に接続する選択端子 132A を規定する信号である。切替信号生成部 16 は、局部発振信号の 1 周期を所定数 n の区間に分割した区間ごとに、共通端子 132B に接続する選択端子 132A を切り替えるよう切替信号を変化させる。

【0020】

重み付きアナログスイッチ 13 の構成と動作についてより詳しく説明する。重み付きアナログスイッチ 13 は、重みづけ回路部 131 とアナログスイッチ部 132 により構成される。なお、重み付け回路部 131 はアナログスイッチ部 132 のスイッチのインピーダンスを含めて構成されてもよい。

20

【0021】

重みづけ回路部 131 は、受信アンプ 12 からの入力信号に対して、複数の異なる重み付けをした（つまり、異なる増幅係数或いは減衰係数を乗じた）複数の重み付き入力信号を生成する。重み付けは、抵抗値あるいは抵抗による分圧比、カレント・ミラーの伝達比、あるいはスイッチト・キャパシタによる電荷の再分配、あるいはパルス幅変調のような時間軸での重み付け等により実現することができる。

30

【0022】

アナログスイッチ部 132 は、複数の選択端子 132A、共通端子 132B、および制御端子 132C を有する。複数の選択端子 132A のそれぞれには、複数の重み付き入力信号の何れかが入力される。共通端子 132B は、重み付きアナログスイッチ 13 の出力端子となる。制御端子 132C は、切替信号生成部 16 からの切替信号が入力される。アナログスイッチ部 132 は、制御端子 132C に入力される切替信号に基づいて、複数の選択端子 132A の何れかと共通端子 132B とを接続し、接続された選択端子 132A に入力されている重み付き入力信号を重み付きアナログスイッチ 13 の出力とする。アナログスイッチ部 132 には、市販の安価な CMOS アナログ・マルチプレクサを利用することができる。

40

【0023】

重みづけ回路部 131 が生成する複数の重み付き入力信号は、それぞれ、局部発振信号の周期を整数分割した n 個の各分割区間について局部発振周波数の正弦波の前記分割区間ごとの正規化積分値に対応した重みで重み付けされる。このような重み付き入力信号と切替信号とにより、局部発振信号の周波数の正弦波を、矩形波の重み付き組み合わせで近似した疑似正弦波を受信信号に乗算するアナログ乗算を実現することができる。

【0024】

例えば、図 4 に示すように、局部発振信号の 1 周期を 12 の区間（ $n = 12$ ）に分割する場合、各区間について 6 つの重みの組み合わせにより疑似正弦波を実現することができる。すなわち正弦波の対称性から、各区間の値の絶対値は以下の 3 つ（ $a_1 \sim a_3$ ）とな

50

る。

$$a_1 = (2 - \sqrt{3}) / 2$$

$$a_2 = (\sqrt{3} - 1) / 2$$

$$a_3 = 1 / 2$$

【0025】

最も絶対値の大きい a_3 が 1 になるように正規化すると、 a_1 / a_3 および a_2 / a_3 の近似値は次のようになる。

$$a_1 / a_3 \quad 0.268$$

$$a_2 / a_3 \quad 0.732$$

これに符号の差異を考慮して、 -1 、 -0.732 、 -2.68 、 2.68 、 0.732 、 1 の 6 つの重みの組み合わせにより疑似正弦波を実現することができる。

【0026】

具体的には、第 1 区間と第 6 区間では重みを 0.268 とし、第 2 区間と第 5 区間では重みを 0.732 とし、第 3 区間と第 4 区間では重みを 1.000 とし、第 7 区間と第 12 区間では重みを -0.268 とし、第 8 区間と第 11 区間では重みを -0.732 とし、第 9 区間と第 10 区間では重みを -1.000 とすれば、6 種類の重みの組み合わせにより疑似正弦波を実現できる。

【0027】

なお、局部発振信号の周期の分割区間数 n は、設ける重みの絶対値の種類を抑制する観点で、偶数とすることが好ましい。すなわち、 n を偶数とすれば、疑似正弦波の対称性により各区間の重みの絶対値の種類を $n / 4$ 種とすることができる（上記の例では $n = 12$ に対し重みの絶対値の種類は 3 種）。これに対し、 n を奇数とすると $(n + 1) / 2$ 種類の重みの絶対値が必要となり、回路が煩雑となり本発明の趣旨に反する。また n が奇数の場合では 1 周期に重みが 0 となる区間が 1 つ生じて、被乗算信号の $1 / n$ の区間のエネルギーあるいは情報を失うため、信号 / 雑音比などの点で不利となる恐れがあり、この点でも n を偶数とするのが好ましい。

【0028】

矩形波の周波数成分 F_s はフーリエ変換により奇数次の高調波を含むことが知られているところ、疑似正弦波では、重み付けした矩形波の組み合わせによってこの奇数次の高調波をキャンセルすることができる。図 5 は、図 4 に示した局部発振信号の 1 周期を 12 の区間に分割する 6 値の重み付け切り替えによる疑似正弦波のスペクトラムを、当該疑似正弦波と同じ周期の矩形波のスペクトラムとともに示している。図 5 において、黒丸のマークは疑似正弦波のスペクトラムを示し、白四角のマークは矩形波のスペクトラムを示している。図 5 に示すように、疑似正弦波では、3, 5, 7, 9 次の高調波をキャンセルすることができる。その結果、バンドパスフィルタ 11 では 11 次以上の高調波のエリヤスさえ対策すれば（つまり十分に低減できれば）よいため、従来の単純アナログスイッチ型周波数乗算器で必要とされた 3 次以上の高調波対策に比べて、例えば 11 次の高調波に対する減衰量が同程度で十分ならば、バンドパスフィルタ 11 の次数は $1 / 3$ 以下に低減でき、構成を簡素化することができる。場合によってはバンドパスフィルタ 11 を省略することが可能となる。

【0029】

重みづけ回路部 131 での重み付けを抵抗や容量を用いて実現する場合、テブナンの定理を用いて、アナログスイッチ部 132 において共通端子 132B にいずれの選択端子 132A が接続されるかに関わらず重みづけ回路部 131 の出力端から見た信号源インピーダンスが一定となるように抵抗・容量の値を定めるとよい。このような構成により、アナログスイッチ部 132 の動作（つまり、共通端子 132B にいずれの選択端子 132A が接続されるか）に関わらず、重み付きアナログスイッチ 13 の出力端から見た信号源インピーダンスが一定となるため、スイッチの特性や信号の振幅の影響の低減が可能となる。加えてアナログスイッチの動作点が等しくすることができる。したがって、チャージインジェクションと呼ばれるアナログスイッチの切替信号から信号経路への電荷の注入の影響

10

20

30

40

50

を補正することも可能となり、簡易な構成で大幅に特性を向上することができる。

【0030】

上述の信号源インピーダンスが一定となる重みづけ回路部131を、現実の回路のために簡素な整数比で近似する場合でも、3次や5次といった低次の高調波を、基本波に対して80dB以上抑圧可能である。したがって、市場に流通しているE24系列等の値の素子でも容易に実現することができる。

【0031】

重み付け回路部131は、後段に設けられるローパスフィルタ14を構成する素子の一部として機能してもよい。上述の信号源インピーダンスが一定となる重み付け回路部131の構成では、回路の簡素化を図ることができるとともに、アナログスイッチ部132において共通端子132Bにいずれの選択端子132Aが接続されるかによってローパスフィルタ14の特性が変わらないため好適である。またローパスフィルタ14に、動作点がグラウンド電位などで変化しないアクティブ・フィルタを用いた場合にはアナログスイッチ部132の動作点の変化も少なくなる点で好ましい。ローパスフィルタ14がキャパシタで受けるタイプのアクティブ・フィルタの場合は、チャージインジェクションによる電荷が該キャパシタに再分配されるため、チャージインジェクションの影響を低減でき、かつ信号の振幅によらず、ある程度一定化できるため、スイッチの特性による副次的な歪や高調波の発生も低減することができるので、特に好ましい。

【0032】

以上で説明した本発明に係るアナログ乗算器では、局部発振周波数の正弦波を矩形波の重み付き組み合わせで近似した疑似正弦波とし、その重み付けを分割区間の正弦波の積分値で正規化したものとした。これにより、矩形波のフーリエ変換の重ね合わせの性質により、例えば整数分割数を n ($n > 2$)、整数 m ($m \geq 1$)とした場合に、 $mn \pm 1$ 次以外の高調波が本質的に発生しなくなるため、簡易な回路構成で低次の高調波の影響を抑制することができる。図4および図5に示した例は、 $n = 12$ とした例である。この場合、 $m = 1$ のとき11次と13次に、 $m = 2$ のとき23次と25次に、 $m = 3$ のとき35次と37次に、高調波が生じるが、 $mn \pm 1$ 次以外の高調波が生じないことが図5により確認できる。

【0033】

また、本発明に係るアナログ乗算器は、従来のデジタル型周波数乗算器と比較した場合、要求性能がそれほど高くないのであれば、オーバーサンプリング用の高性能なAD変換器およびDA変換器、デジタル信号処理用のプロセッサやメモリ、並びにこれらにまつわる専用電源回路が不要となり、ベースバンドの比較的低速なオペアンプ、AD変換器、簡素な電源回路等により低コストで実現することが可能となる。

【0034】

[実施形態の変形]

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれる。また、前述の実施形態に対して、当業者が適宜、構成要素の追加、削除、設計変更を行ったものや、各実施形態の特徴を適宜組み合わせたものも、本発明の要旨を備えている限り、本発明の範囲に含有される。

【符号の説明】

【0035】

- 1 同期式検波回路
- 10 アナログ乗算器
- 11 バンドパスフィルタ
- 12 受信アンプ
- 13 重み付きアナログスイッチ
- 14 ローパスフィルタ
- 15 基準発振器
- 16 切替信号生成部

10

20

30

40

50

1 7 送信アンプ

1 8 ドライバ

【要約】

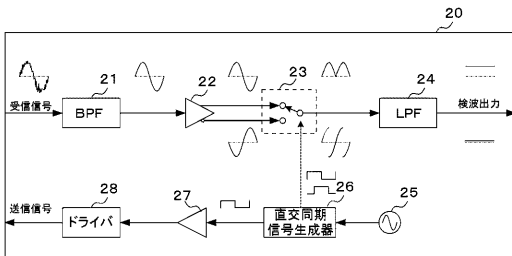
【課題】局部発振信号の奇数次高調波の影響を受けにくく低コストで実現可能なアナログ乗算器を提供する。

【解決手段】発明の一実施形態に係るアナログ乗算器は、入力信号に対し複数の異なる重み付けした複数の重み付き入力信号を生成する重み付け回路部と、切替信号に基づいて、複数の選択端子の何れかと共通端子とを接続するアナログスイッチ部であって、重み付け回路部が生成した重み付き入力信号が複数の選択端子に入力される、アナログスイッチ部と、所定の局部発振周波数の有理数倍の周波数の基準信号を出力する基準信号発振器と、基準信号から、局部発振周波数の1周期を整数分割した分割区間ごとに共通端子に接続する選択端子を規定する切替信号を生成する切替信号生成部とを備える。そして、アナログ乗算器は、重み付け回路部が、局部発振周波数の正弦波の分割区間ごとの正規化積分値に対応した重み付けをした複数の重み付き入力信号を生成することの特徴とする。

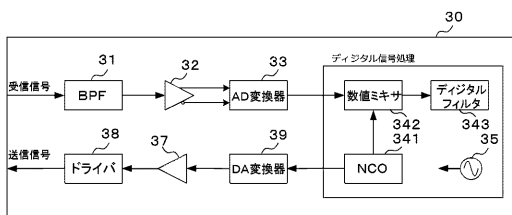
10

【選択図】図3

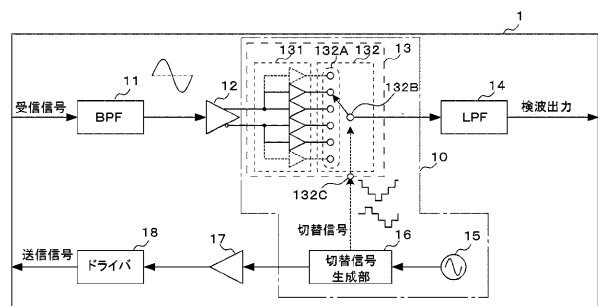
【図1】



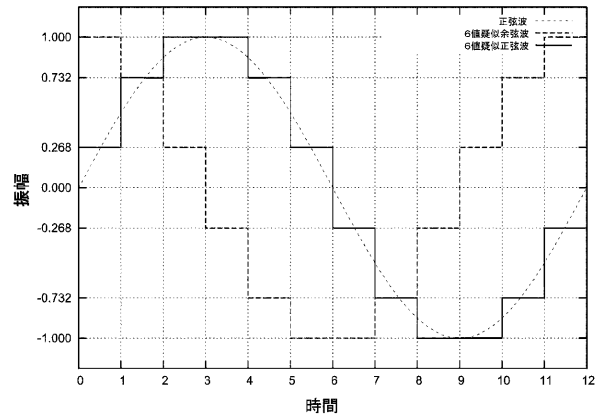
【図2】



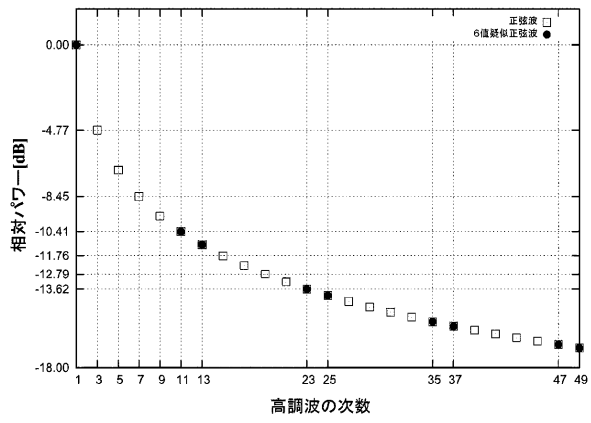
【図3】



【図4】



【図 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 5 - 3 4 8 2 0 8 (J P , A)
特開平 0 4 - 3 2 6 2 3 7 (J P , A)
特開平 1 0 - 0 2 2 8 6 0 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 4 2 9 5 3 (J P , A)
特開平 0 8 - 0 7 9 1 1 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 3 D 1 / 2 2