(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2010 年 12 月 23 日(23.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/146728 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 3/04 (2006.01) *H04L 25/03* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/000372

(22) 国際出願日: 2010 年 1 月 22 日(22.01.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2009-143609 2009 年 6 月 16 日(16.06.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町２２番２２号 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 合志清一 (GOHSHI, Seiichi).

(74) 代理人: 特許業務法人原謙三国際特許事務所 (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号 大和南森町ビル Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

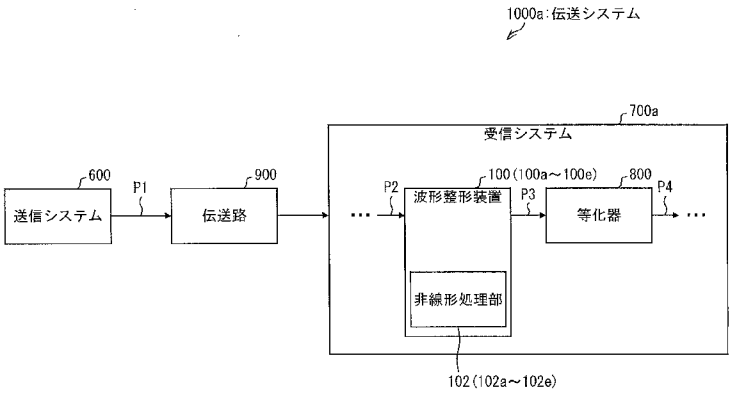
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: WAVEFORM SHAPING DEVICE, EQUALIZER, RECEIVING SYSTEM, METHOD OF CONTROLLING WAVEFORM SHAPING DEVICE, CONTROL PROGRAM, AND COMPUTER-READABLE MEDIUM IN WHICH CONTROL PROGRAM IS RECORDED

(54) 発明の名称 : 波形整形装置、等化器、受信システム、波形整形装置の制御方法、制御プログラム、および該制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

[図1]



1000a: transmission system
600 TRANSMITTING system
900 transmission PATH
700a receiving system
100 waveform shaping device
800 equalizer
102 nonlinear processing unit

(57) **Abstract**: A waveform shaping device (100) shapes the waveforms of input signals from the outside and outputs shaped output signals to an equalizer (800) which compensates for the distortion in the signals. The waveform shaping device (100) is provided with a nonlinear processing unit (102) which generates a nonlinearly processed signal which preserves the positive/negative sign of a low frequency removed signal that had been obtained by removing, from an input signal from the outside, at least the DC component among the frequency components contained in the input signal, and which is nonlinearly monotonically increasing in the wider sense, with respect to the low frequency removed signal, when at least the value of the low frequency removed signal is close to 0. The output signal is generated by adding the nonlinearly processed signal to the low frequency removed signal.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/146728 A1

波形整形装置（１００）は、外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する等化器（８００）に対して、上記整形後の出力信号を出力する装置であって、外部からの入力信号に含まれる周波数成分のうち少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって得られる低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理部（１０２）を備え、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する。

明　細　書

発明の名称 ：

波形整形装置、等化器、受信システム、波形整形装置の制御方法、制御プログラム、および該制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、信号の波形を整形する波形整形装置、等化器、受信システム、波形整形装置の制御方法、等化器の制御方法、制御プログラム、および該制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、インターネット、携帯電話、デジタル放送などの普及に伴い、デジタル信号を送受信するデジタル通信が広く行なわれている。伝送路を介したデジタル通信が行なわれると、伝送路の伝送特性によって、符号間干渉などの波形歪みが発生する。そこで、従来から、波形歪みを補償するための等化器が用いられている。

[0003] 従来から用いられている等化器（以下、従来の等化器と表記する）は、線形演算に基づいて、波形歪みを補償するものが一般的である。具体的には、図１９に示すように、受信信号の線形加重和を求めるトランスバーサル型の線形フィルタによって構成されているものが多い。同図に示す線形フィルタは、ｓタップの線形フィルタである（ｓは３以上の正の整数を示す）。すなわち、ｓ－１個の単位遅延素子Ｄｔ（ｔ＝１、２、…、ｓ－１）と、ｓ個の乗算部Ｍｕ（ｕ＝１、２、…、ｓ）と、加算部ＡＤＤとを備えている。

[0004] また、伝送特性が時間的に変化する場合は、伝送特性に応じて乗算部Ｍｕの係数Ｃｕ（ｕ＝１、２、…、ｓ）を学習する適応等化器が、一般的に用いられている。

[0005] なお、等化器に関する技術として、位相等化器を用いて群遅延歪みを補償

する技術が特許文献１に開示されている。特許文献１に開示された技術は、群遅延歪みが生じた変調信号を復調する方式において、受信信号点に関する情報に基づいて、位相変動履歴および位相誤差を学習して、位相歪みを補正するものである。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国公開特許公報「特開平１１－３４０８７８号公報（公開日：１９９９年１２月１０日）」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、従来の等化器は、図１９に示したとおり、線形演算に基づいて波形歪みを補償するものである。そのため、従来の等化器において、波形歪みの補償能力を高めるには、タップ数（図１９に示した乗算部Ｍｕ（ｕ＝１、２、…、ｓ）の数）を多くする必要がある。したがって、例えば、非線形歪みが生じている場合は、タップ数を多くする必要があった。

[0008] その結果、従来の等化器は、タップ数が数百程度になることが多くなり、回路規模が大きくなるという問題があった。さらに、非線形歪みが大きい場合、従来の等化器では、波形歪みを十分に補償できないこともある。

[0009] なお、特許文献１に開示された方法も、線形演算に基づいて位相歪みを補正するものである。

[0010] 本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、簡易な構成により、信号の波形を整形する波形整形装置等を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置は、外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、上記

入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えることを特徴としている。

[0012] また、上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置の制御方法は、外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含むことを特徴としている。

[0013] 上記の構成によれば、外部からの入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する。そして、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する。そして、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、出力信号を生成する。そして、出力信号を、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して出力する。

[0014] よって、入力信号に含まれる高周波成分に対して非線形処理を施した信号を、出力信号として生成することができ、該生成した出力信号を、信号の歪

みを補償する外部の歪み補償手段に出力することができる。

[0015] ここで、上記出力信号は、例えば、上記低周波除去信号と、該低周波除去信号を２乗する等の非線形処理を施した非線形処理信号とを加算することにより生成される。ただし、出力信号の符号の正負は、低周波除去信号の符号の正負が維持される。

[0016] このように生成される出力信号には、元の周波数成分には含まれない高い周波数成分が含まれる。その結果、上記生成された出力信号は、入力信号を離散化する場合のサンプリング周波数の１／２の周波数であるナイキスト周波数よりも高い周波数成分を含むこととなる。これに対して、従来技術のように、入力信号に対して線形演算を施す処理では、ナイキスト周波数を超える高周波域を補償することができない。

[0017] したがって、本発明に係る波形整形装置は、入力信号に対して線形演算を施す処理と比べて、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にした出力信号を生成することができる。

[0018] ここで、波形整形装置に入力される入力信号は、送信装置から伝送路を介して送信された信号であり、クロック信号が重畳されているものとする。また、出力信号の出力先である外部の歪み補償手段は、例えば、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタを備えた等化器であって、出力信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なうものとする。

[0019] この場合において、入力信号に含まれるクロック信号の立ち上がり部分が特定し難いときであっても、波形整形装置にて、信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするので、波形整形装置の後段に設けた等化器としての歪み補償手段は、正しいタイミングで立ち上がりおよび立ち下がりを有する正確なクロックを再生することが可能となる。そして、クロックを正確に再生することができれば、等化器としての歪み補償手段は、少ないタップ数であっても、波形歪みを十分に補償することが可能となる。つまり、クロックを正確に再生することができれば、等化器としての歪み補償手段のタップ数は

、通常のトランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合と比べて、少なくすることができる。

[0020] したがって、本発明によれば、波形整形装置の後段に設ける歪み補償手段の小型化、低コスト化、および、処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0021] さらに、位相歪みやフェージング等の影響により、通常のトランスバーサル型の等化器のみでは十分に補償することができない程度の大きさの歪みが入力信号に生じている場合においても、上述したように、波形整形装置にて予め信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするので、後段の歪み補償手段（等化器）にてクロックの再生が可能となり、その結果、波形歪みを補償することが可能となり得るという効果を奏する。

[0022] さらに、伝送路上に設けるスイッチや交換機等の中継装置が、本発明に係る波形整形装置、および、その後段に歪み補償手段（等化器）を備える構成としてもよい。この場合、当該中継装置は、波形整形装置および歪み補償手段（等化器）によって、上述と同様に、波形歪みを十分に補償することが可能となる。そのため、伝送路上に設ける当該中継装置の個数は、本発明に係る波形整形装置を備えない中継装置を設ける場合よりも、少なくすることが可能となり、例えば、伝送路上に設ける中継装置の設置や維持に要するコストの低減を図ることができるという効果を奏する。

[0023] 上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置は、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えるこ

とを特徴としている。

[0024] また、上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置の制御方法は、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含むことを特徴としている。

[0025] 上記の構成によれば、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する。そして、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する。そして、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、出力信号を生成する。

[0026] よって、外部の歪み補償手段からの入力信号に含まれる高周波成分に対して非線形処理を施した信号を、出力信号として生成することができる。

[0027] ここで、上記出力信号は、例えば、上記低周波除去信号と、該低周波除去信号を２乗する等の非線形処理を施した非線形処理信号とを加算することにより生成される。ただし、出力信号の符号の正負は、低周波除去信号の符号の正負が維持される。

[0028] このように生成される出力信号には、元の周波数成分には含まれない高い周波数成分が含まれる。その結果、上記生成された出力信号は、入力信号を離散化する場合のサンプリング周波数の１／２の周波数であるナイキスト周波数よりも高い周波数成分を含むこととなる。

[0029] これに対して、従来技術のように、入力信号に対して線形演算を施す処理では、ナイキスト周波数を超える高周波域を補償することができない。

[0030] したがって、本発明に係る波形整形装置は、入力信号に対して線形演算を施す処理と比べて、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができる。

[0031] ここで、外部の歪み補償手段にて歪みを補償する信号は、送信装置から伝送路を介して送信された信号であり、クロック信号が重畳されているものとする。また、外部の歪み補償手段とは、例えば、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタを備えた等化器であって、出力信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なうものとする。

[0032] この場合において、波形整形装置の前段に設けた、歪み補償手段としての等化器にて、信号の波形歪みを十分に補償することができない場合（つまり、歪み補償処理を行なっても、波形歪みが残存する場合）であっても、後段の波形整形装置にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするため、波形歪みを十分に補償することが可能となる。

[0033] よって、歪み補償手段としての等化器が、信号の波形歪みを補償するのに十分でないタップ数の線形フィルタを備えるものであっても、後段の波形整形装置にて波形歪みの十分に補償することが可能となる。つまり、歪み補償手段としての等化器のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合に必要となるタップ数より少なくてよい。

[0034] したがって、波形整形装置の前段に設ける歪み補償手段の小型化、低コスト化、および、処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0035] さらに、位相歪みやフェージング等の影響により、通常のトランスバーサル型の等化器のみでは十分に補償することができない程度の大きさの歪みが生じている場合においても、上述したように、歪み補償手段（等化器）の後段の波形整形装置にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするので、波形歪みを補償することが可能となり得るという効果を奏する。

[0036] さらに、伝送路上に設けるスイッチや交換機等の中継装置が、本発明に係る波形整形装置、および、その前段に歪み補償手段（等化器）を備える構成としてもよい。この場合、当該中継装置は、歪み補償手段（等化器）および波形整形装置によって、上述と同様に、波形歪みを十分に補償することが可能となる。そのため、伝送路上に設ける当該中継装置の個数は、本発明に係る波形整形装置を備えない中継装置を設ける場合よりも、少なくすることが可能となり、例えば、伝送路上に設ける中継装置の設置や維持に要するコストの低減を図ることができるという効果を奏する。

[0037] 本発明の他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分分かるであろう。また、本発明の利点は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]本発明に係る波形整形装置を含む伝送システムの構成を示すブロック図である。

[図2]図１に示した伝送システムに含まれる等化器に備わるトランスバーサル型の線形フィルタの構成例を示すブロック図である。

[図3]本発明に係る波形整形装置を含む中継装置の構成を示すブロック図である。

[図4]図４の（ａ）は、図１に示した伝送システムにて伝送される信号のうち、伝送路を通る前の信号のアイパターンを示す模式図である。図４の（ｂ）は、図１に示した伝送システムにて伝送される信号のうち、伝送路を通った直後の信号のアイパターンを示す模式図である。図４の（ｃ）は、図１に示した伝送システムにて伝送される信号のうち、波形整形装置が出力した信号のアイパターンを示す模式図である。図４の（ｄ）は、図１に示した伝送システムにて伝送される信号のうち、等化器から出力された信号のアイパターンを示す模式図である。図４の（ｅ）は、図１に示した伝送システムにて伝送される信号のうち、伝送路を通った直後の信号に対して、等化器にて波形歪みを補償した場合において、等化器から出力される信号のアイパターンを

示す模式図である。

[図5]本発明に係る波形整形装置を含む伝送システムの他の構成を示すブロック図である。

[図6]本発明に係る波形整形装置を含む中継装置の他の構成を示すブロック図である。

[図7]本発明に係る波形整形装置の構成を示すブロック図である。

[図8]図７に示した波形整形装置に含まれる高周波成分抽出部の構成を示すブロック図である。

[図9]図８に示した高周波成分抽出部に含まれるフィルタの他の構成例を示すブロック図である。

[図10]図１０の（ａ）は、図７に示した波形整形装置に入力される信号の波形を模式的に示す図である。図１０の（ｂ）は、図７に示した波形整形装置にて生成される高周波信号の波形を模式的に示す図である。図１０の（ｃ）は、図７に示した波形整形装置にて生成される非線形信号の波形を模式的に示す図である。図１０の（ｄ）は、図７に示した波形整形装置にて生成される符号変換信号の波形を模式的に示す図である。図１０の（ｅ）は、図７に示した波形整形装置にて生成される出力信号の波形を模式的に示す図である。

[図11]図１１の（ａ）は、図７に示した波形整形装置に入力される信号の波形を模式的に示す図である。図１１の（ｂ）は、図１１の（ａ）に示した信号を、従来技術によりエンハンスした波形を模式的に示す図である。

[図12]本発明に係る波形整形装置の他の構成を示すブロック図である。

[図13]図１２に示した波形整形装置に含まれる微分部の構成を示すブロック図である。

[図14]図１４の（ａ）は、図１２に示した波形整形装置に入力される信号の波形を模式的に示す図である。図１４の（ｂ）は、図１２に示した波形整形装置にて生成される高周波信号の波形を模式的に示す図である。図１４の（ｃ）は、図１２に示した波形整形装置にて生成される非線形信号の波形を模

式的に示す図である。図１４の（ｄ）は、図１２に示した波形整形装置にて生成される微分信号の波形を模式的に示す図である。図１４の（ｅ）は、図１２に示した波形整形装置にて生成される符号変換信号の波形を模式的に示す図である。図１４の（ｆ）は、図１２に示した波形整形装置にて生成される出力信号の波形を模式的に示す図である。

[図15]本発明に係る波形整形装置のさらなる他の構成を示すブロック図である。

[図16]図１６の（ａ）は、図１５に示した波形整形装置に入力される信号の波形を模式的に示す図である。図１６の（ｂ）は、図１５に示した波形整形装置にて生成される高周波信号の波形を模式的に示す図である。図１６の（ｃ）は、図１５に示した波形整形装置にて生成される非線形信号の波形を模式的に示す図である。図１６の（ｄ）は、図１５に示した波形整形装置にて生成される出力信号の波形を模式的に示す図である。

[図17]本発明に係る波形整形装置のさらなる他の構成を示すブロック図である。

[図18]本発明に係る波形整形装置のさらなる他の構成を示すブロック図である。

[図19]従来から用いられている等化器が備えるトランスバーサル型の線形フィルタの構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0039] 本発明の一実施形態について図１から図１８に基づいて説明すると以下の通りである。

[0040] （１．波形整形装置の概要）

本実施の形態に係る波形整形装置１００は、外部から入力される入力信号に対して、該入力信号の波形を鮮鋭化するための鮮鋭化処理を施し、該鮮鋭化された出力信号を出力する装置である。ここで、鮮鋭化処理とは、入力信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にする（エンハンスする）処理を指すものとする。

[0041] 以下では、波形整形装置１００に入力される入力信号を、入力信号Ｓｉｎと表記する。また、波形整形装置１００から出力される出力信号を、出力信号Ｓｏｕｔと表記する。

[0042] なお、後述するように、波形整形装置１００は、入力信号Ｓｉｎの高周波成分に対して、非線形演算を施すことにより、入力信号Ｓｉｎに含まれない高周波成分（具体的には、入力信号Ｓｉｎを離散化する場合のサンプリング周波数の１／２の周波数であるナイキスト周波数より高い周波数成分）を、出力信号Ｓｏｕｔに含ませることができる。そのため、波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を行なうと、線形演算に基づく鮮鋭化処理と比べて、入力信号の立ち上がりおよび立ち下がりを、より急峻なものにすることが可能となる。

[0043] 波形整形装置１００の詳細な構成については、後述する。

[0044] （２．波形整形装置を含む伝送システム）

次に、図１から図６を参照しながら、波形整形装置１００を含む伝送システムの構成例、および、波形整形装置１００を含むことにより奏される効果等について説明する。

[0045] なお、後述する波形整形装置１００ａ～１００ｅを区別しないときは、単に「波形整形装置１００」と表記するものとする。また、後述する非線形処理部１０２ａ～１０２ｅを区別しないときは、単に「非線形処理部１０２」と表記するものとする。

[0046] また、後述する受信システム７００ａはおよび７００ｂを区別しないときは、単に「受信システム７００」と表記するものとする。また、後述する中継装置９１０ａはおよび９１０ｂを区別しないときは、単に「中継装置９１０」と表記するものとする。

[0047] （２－１．伝送システムの構成例１）

図１は、波形整形装置１００を含む伝送システム１０００ａの構成を示すブロック図である。同図に示すように、伝送システム１０００ａは、少なくとも送信システム６００および受信システム７００ａを備えており、送信シ

ステム６００および受信システム７００ａは、伝送路９００を介して通信可能に接続されている。

[0048] 送信システム６００は、映像や音声などの各種データを表す信号を、伝送路９００を介して、受信システム７００ａに向けて送信するものであり、信号の符号化および変調等の、送信側に通常設けられる機能を具備しているものとする。なお、送信システム６００から送信される信号には、クロック信号が重畳されているものとする。

[0049] 受信システム７００ａは、伝送路９００を介して送信システム６００から送信される信号を受信するものであり、信号の復調、復号化、および、いわゆる３Ｒ機能（reshaping、retiming、regenerating）等の、受信側に通常設けられる機能を具備しているものとする。

[0050] そして、同図に示すように、受信システム７００ａは、特に、波形整形装置１００および等化器（外部の歪み補償手段）８００を備えている。波形整形装置１００は、等化器８００の前段に設けられており、波形整形装置１００からの出力信号Ｓｏｕｔが、等化器８００に入力されるように構成されている。なお、波形整形装置１００は、少なくとも非線形処理部（非線形処理手段）１０２を備えている。

[0051] 等化器８００は、少なくとも、送信システム６００から送信される信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理（以下、クロック再生処理）、および、伝送路９００の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理（以下、歪み補償処理）を行なうものである。なお、波形整形装置１００は、等化器８００が再生したクロックを基準として動作するものとする。

[0052] また、等化器８００が行なう歪み補償処理は、例えば、図２に示す構成のトランスバーサル型の線形フィルタ８１０によって行なわれることを想定している。図２は、等化器８００に備わるトランスバーサル型の線形フィルタ８１０の構成例を示すブロック図である。この例では、線形フィルタ８１０は、ｒタップの線形フィルタである（ｒは３以上の正の整数を示す）。すな

わち、ｒ－１個の単位遅延素子８０１ｑ（ｑ＝１、２、…、ｒ－１）と、ｒ個の乗算部８０２ｐ（ｐ＝１、２、…、ｒ）と、加算部８０３とを備えている。なお、Ｃｐ（ｐ＝１、２、…、ｒ）は、乗算部Ｍｕで乗算する係数である。

[0053] ところで、送信システム６００と受信システム７００ａとが、長距離の通信を行なう場合、通常、１または複数のスイッチや交換機等の中継装置を介して行なわれる。この場合、中継装置においても、自装置が受信した信号の歪み補償処理を行なうことが好ましい。伝送途中で歪み補償処理を行なうことにより、受信システム７００ａにて受信した信号の波形歪みが軽減されるからである。そのため、中継装置が、波形整形装置１００および等化器８００を備える構成としてもよい。

[0054] 図３は、中継装置９１０ａの構成を示すブロック図である。中継装置９１０ａは、送信システム６００と受信システム７００ａとの間で送信される信号を中継するスイッチや交換機等であり、中継装置に通常設けられる機能を具備しているものとする。そして、中継装置９１０ａは、同図に示すように、特に、波形整形装置１００および等化器８００を備えている。そして、波形整形装置１００は、等化器８００の前段に設けられており、波形整形装置１００からの出力信号Ｓｏｕｔが、等化器８００に入力されるように構成されている。

[0055] （２－２．波形整形装置を等化器の前段に備えることにより奏される効果）

背景技術の欄にて説明したように、トランスバーサル型の線形フィルタにより構成される等化器（以下、トランスバーサル型等化器）において、波形歪みの補償能力を高めるには、タップ数（線形フィルタの乗算部の数）を多くする必要がある（例えば、数百タップ等）。その結果、トランスバーサル型等化器は、回路規模およびコストが大きくなるのが一般的である。

[0056] これに対して、受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａは、波形整形装置１００を、等化器８００の前段に備える構成としている。これにより

、まず、波形整形装置１００が施す鮮鋭化処理によって、受信した信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にする。よって、受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａにて受信した信号に含まれるクロック信号の立ち上がり部分が特定し難い場合であっても、波形整形装置１００にて施す鮮鋭化処理により、伝送信号の立ち上がりが急峻となる。信号伝送では、伝送情報とクロックとをまとめて伝送するのが一般的であり、等化器８００では、伝送信号からクロックを再生し、再生したクロックを元に伝送信号をラッチして伝送情報を検出する。そのため、伝送信号が急峻に立ち上がっていれば、等化器８００では、正しいタイミングで立ち上がりおよび立ち下がりを有する正確なクロックを再生することが可能となる。なお、緩やかに立ち上がる信号の場合、立ち上がりのタイミングが正確に補足できず、再生したクロックにジッタ（揺らぎ）が生じることがある。

[0057] なお、ここでは、受信した信号に含まれるクロック信号の揺れは少なく、等化器８００にて再生されるクロックの再生タイミングのずれは、微小であるものとする。つまり、伝送路９００にて発生するジッタは、小さいものとする。

[0058] そして、クロックを正確に再生することができれば、等化器８００は、少ないタップ数であっても、波形歪みを十分に補償することが可能となる。つまり、クロックを正確に再生することができれば、等化器８００のタップ数（乗算部８０２ｐの数）は、トランスバーサル型等化器のみを用いて波形歪みを十分に補償する場合に必要となるタップ数ほど多くは必要とならない。

[0059] したがって、波形整形装置１００を等化器８００の前段に備える構成とすることにより、等化器８００の小型化および低コスト化、並びに、等化器８００の処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0060] さらに、位相歪みやフェージング等の影響により、通常のトランスバーサル型等化器のみでは十分に補償することができない程度の大きさの歪みが生じている場合においても、受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａでは、上述したように、波形整形装置１００にて予め信号の立ち上がりおよび

立ち下がりを急峻にするので、等化器８００にてクロックの再生が可能となり、その結果、波形歪みを補償することが可能となり得る。

[0061] また、上述したように、波形整形装置１００を等化器８００の前段に備える構成とすることにより、中継装置９１０ａは、波形歪みを十分に補償することが可能となる。そのため、伝送路９００上に設ける中継装置９１０ａの個数は、波形整形装置１００を備えない中継装置を伝送路９００上に設ける場合より、少なくすることが可能となる。つまり、伝送路９００上に設ける中継装置の個数を減らすことができ、中継装置の設置や維持に要するコストの低減を図ることができる。

[0062] （２－３．アイパターン）

次に、図４を参照しながら、伝送システム１０００ａにて伝送される信号の波形について説明する。図４の（ａ）から図４の（ｄ）は、伝送システム１０００ａにて伝送される信号の、いわゆるアイパターン（アイダイアグラム）（複数の信号の波形を重ね合わせて図式化したもの）を示す模式図である。

[0063] まず、図４の（ａ）は、送信システム６００が送信する信号であって、伝送路９００を通る前の信号のアイパターンを示す模式図である。すなわち、図１に示した位置Ｐ１を流れる信号のアイパターンを示す模式図である。位置Ｐ１を流れる信号は、伝送路９００を通る前であるため、波形歪みは生じていない。そのため、同図に示すアイパターンのアイ開口の領域Ｅ１は広い（つまり、いわゆるアイ開口率は高い）。

[0064] 次に、図４の（ｂ）は、伝送路９００を通った直後の信号のアイパターンを示す模式図である。すなわち、図１に示した位置Ｐ２を流れる信号のアイパターンを示す模式図である。伝送路９００を通った信号には、伝送特性に応じた波形歪みが生じる。そのため、同図に示すアイパターンのアイ開口の領域Ｅ２は、領域Ｅ１より狭い（つまり、アイ開口率は低い）。

[0065] 次に、図４の（ｃ）は、波形整形装置１００が出力した信号のアイパターンを示す模式図である。すなわち、図１に示した位置Ｐ３を流れる信号のア

イパターンを示す模式図である。上述したように、波形整形装置１００にて行われる鮮鋭化処理により、波形整形装置１００への入力信号Ｓｉｎの立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にした出力信号Ｓｏｕｔが出力される。そのため、同図に示すアイパターンのアイ開口の領域Ｅ３は、領域Ｅ２と比べて縦長の形状となる。

[0066] 最後に、図４の（ｄ）は、等化器８００から出力された信号のアイパターンを示す模式図である。すなわち、図１に示した位置Ｐ４を流れる信号のアイパターンを示す模式図である。等化器８００により、信号の波形歪みが補償される。そのため、同図に示すアイパターンのアイ開口の領域Ｅ４は、領域Ｅ１とほぼ同じになる。

[0067] なお、比較のために、図４の（ｅ）を参照しながら、波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施さずに、等化器８００のみにて波形歪みを補償した信号のアイパターンを例示する。図４の（ｅ）は、伝送路９００を通った直後の位置Ｐ２を流れる信号に対して、等化器８００にて波形歪みを補償した場合において、等化器８００から出力される信号のアイパターンを示す模式図である。

[0068] 図４の（ｅ）に示すアイパターンのアイ開口の領域Ｅ５は、領域Ｅ２より広くなるものの、図４の（ｄ）に示したアイパターンのアイ開口の領域Ｅ４ほど広くならない。したがって、波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施した後、等化器８００にて波形歪みを補償する方が、単に等化器８００のみによって波形歪みを補償するよりも、より高度に補償することが可能であることが分かる。

[0069] （２－４．構成例１の変形例）

受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａは、波形整形装置１００と等化器８００とを隣接して設ける構成としたが、必ずしも隣接して設けなくてもよい。つまり、波形整形装置１００と等化器８００との間に他の装置（機器）を設け、波形整形装置１００からの出力信号Ｓｏｕｔを、当該他の装置を介して、等化器８００に入力する構成にしてもよい。この場合にも、上

述した効果と同様の効果を奏する。

[0070] なお、波形整形装置１００と等化器８００との間に設ける他の装置（機器）としては、例えば、信号を複数に分配する信号分配器、固定的な位相ずれがある場合に位相調整を行なう位相回転器などが挙げられる。

[0071] また、上述では、受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａは、波形整形装置１００と等化器８００とをそれぞれ備える構成としたが、これに代えて、波形整形装置１００が備える機能と等化器８００が備える機能とを一体化した装置を備える構成としてもよい。例えば、波形整形装置１００が備える機能（波形整形機能）と等化器８００が備える機能（クロック再生機能、歪み補償機能）とを一体化した等化器にて、信号の鮮鋭化処理を行った後、歪み補償処理を行なうようにしてもよい。この場合にも、上述した効果と同様の効果を奏する。

[0072] （２－５．構成例１が適しているケース）

受信した信号の立ち上がり部分が特定し易い状態である場合、等化器８００にてクロック信号を容易に抽出することが可能である。この場合は、等化器８００の前段にて、波形整形装置１００による鮮鋭化処理を施す必要はない。逆に、受信した信号の立ち上がり部分が特定し難い状態である場合、等化器８００にてクロック信号を抽出することが容易ではない。この場合は、等化器８００の前段にて、波形整形装置１００による鮮鋭化処理を施し、信号の立ち上がりを急峻にすることが望ましい。つまり、等化器８００の前段に波形整形装置１００を設けた伝送システム１０００ａの構成は、受信した信号の立ち上がり部分が特定し難い場合に適している。

[0073] また、伝送路９００にて発生するジッタが大きい場合、等化器８００の前段の波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施すと、ジッタにより揺らいだ信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にすることになるため、等化器８００にてクロック信号が誤まって抽出される可能性がある。したがって、この場合、等化器８００の前段にて、波形整形装置１００による鮮鋭化処理を施さない方が好ましい。言い換えれば、等化器８００の前段に波形整形装置１

００を設けた伝送システム１０００ａの構成は、伝送路９００にて発生するジッタが小さい場合に適している。

[0074] （２－６．伝送システムの構成例２）

図１に示した受信システム７００ａおよび中継装置９１０ａでは、波形整形装置１００が、等化器８００の前段に設けられ、波形整形装置１００からの出力信号Ｓｏｕｔが、等化器８００に入力される構成とした。

[0075] しかしながら、波形整形装置１００を、等化器８００の後段に設ける構成としてもよい。

[0076] 図５を参照しながら、波形整形装置１００を含む伝送システム１０００ｂの構成について説明する。図５は、波形整形装置１００を含む伝送システム１０００ｂの構成を示すブロック図である。同図に示すように、伝送システム１０００ｂは、伝送システム１０００ｂの受信システム７００ａに代えて、受信システム７００ｂを備えている。

[0077] 受信システム７００ｂは、受信システム７００ａと同様に、伝送路９００を介して送信システム６００から送信される信号を受信するものであり、信号の復調、復号化、および３Ｒ機能等の、受信側に通常設けられる機能を具備しているものとする。

[0078] そして、同図に示すように、受信システム７００ｂは、特に、等化器８００、および等化器８００の後段に波形整形装置１００を備えており、等化器８００から出力される信号を、波形整形装置１００への入力信号Ｓｉｎとするように構成されている。

[0079] ところで、送信システム６００と受信システム７００ｂとの間で送信される信号を中継する、１または複数のスイッチや交換機等の中継装置においても、上述したように、自装置に到着した信号の波形歪みを補償することが好ましい。

[0080] 図６は、中継装置９１０ｂの構成を示すブロック図である。中継装置９１０ｂは、送信システム６００と受信システム７００ｂとの間で送信される信号を中継するものであり、中継装置に通常設けられる機能を具備しているも

のとする。中継装置９１０ｂは、同図に示すように、特に、等化器８００、および等化器８００の後段に波形整形装置１００を備えており、等化器８００から出力される信号を、波形整形装置１００への入力信号Ｓｉｎとするように構成されている。

[0081] （２－７．波形整形装置を等化器の後段に備えることにより奏される効果）

上述したように、受信システム７００ｂおよび中継装置９１０ｂは、波形整形装置１００を等化器８００の後段に備える構成である。よって、まず、等化器８００にて、受信システム７００ｂにて受信した信号からクロック信号を抽出し、クロックの再生を行なうとともに、信号の波形歪みを補償する。その後、波形歪みを補償した後の信号に対して、波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施すことによって、該信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にする。

[0082] そのため、前段の等化器８００にて、信号の波形歪みを十分に補償することができない場合（つまり、等化器８００にて歪み補償処理を行なっても、波形歪みが残存する場合）であっても、後段の波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施すことによって、信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするため、波形歪みを十分に補償することが可能となる。

[0083] よって、前段に設けられた等化器８００が、信号の波形歪みを補償するのに十分でないタップ数の等化器であっても、後段の波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施すことにより、波形歪みの十分に補償することが可能となる。つまり、等化器８００のタップ数（乗算部８０２ｐの数）は、トランスバーサル型等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合に必要なタップ数ほど多くは必要とならない。

[0084] したがって、波形整形装置１００を等化器８００の後段に備える構成とする場合にも、等化器８００の小型化および低コスト化、並びに、等化器８００の処理負荷の低減を図ることができる。

[0085] さらに、位相歪みやフェージング等の影響により、トランスバーサル型等

化器のみでは十分に補償することができない程度の歪みが生じている場合においても、受信システム７００ｂおよび中継装置９１０ｂでは、上述したように、波形整形装置１００にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするので、波形歪みを補償することが可能となり得る。

[0086] また、上述したように、波形整形装置１００を等化器８００の後段に備える構成とすることにより、中継装置９１０ｂは、波形歪みを十分に補償することが可能となる。そのため、伝送路９００上に設ける中継装置９１０ｂの個数は、波形整形装置１００を備えない中継装置を伝送路９００上に設ける場合より、少なくすることが可能となる。つまり、伝送路９００上に設ける中継装置の個数を減らすことができ、中継装置の設置や維持に要するコストの低減を図ることができる。

[0087] （２－８．構成例２の変形例）

受信システム７００ｂおよび中継装置９１０ｂは、等化器８００と波形整形装置１００とを隣接して設ける構成としたが、必ずしも隣接して設けなくてもよい。つまり、等化器８００と波形整形装置１００との間に他の装置（機器）を設け、等化器８００から出力される信号を、当該他の装置を介して、波形整形装置１００に入力する構成になっていてもよい。この場合にも、上述した効果と同様の効果を奏する。

[0088] また、上述では、受信システム７００ｂおよび中継装置９１０ｂは、等化器８００と波形整形装置１００とをそれぞれ備える構成としたが、これに代えて、等化器８００が備える機能と波形整形装置１００が備える機能とを一体化した装置を備える構成としてもよい。例えば、等化器８００が備える機能（クロック再生機能、歪み補償機能）と波形整形装置１００が備える機能（波形整形機能）とを一体化した等化器にて、歪み補償処理を行なった後、信号の鮮鋭化処理を行なうようにしてもよい。この場合にも、上述した効果と同様の効果を奏する。

[0089] （２－９．構成例２が適しているケース）

上述したように、受信した信号の立ち上がり部分が特定し易い場合、等化

器８００にてクロック信号を容易に抽出することが可能であり、等化器８００にて歪み補償処理を行なうことができる。その後、残存している歪みをできるだけ補償するために、後段の波形整形装置１００にて鮮鋭化処理を施せばよい。つまり、等化器８００の後段に波形整形装置１００を設けた伝送システム１０００ｂの構成は、受信した信号の立ち上がり部分が特定し易い場合に適している。

[0090] また、伝送路９００にて発生するジッタが大きい場合に、等化器８００の前段に波形整形装置１００を設けて鮮鋭化処理を施すと、ジッタにより揺らいだ信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にすることになるため、等化器８００にてクロック信号が誤まって抽出される可能性がある。したがって、ジッタが大きい場合は、等化器８００の後段に波形整形装置１００を設けた伝送システム１０００ｂの構成が適している。

[0091] （３．波形整形装置の構成）

次に、波形整形装置１００の詳細な構成について説明する。

[0092] （３－１．波形整形装置の構成例１）

図７は、波形整形装置１００ａの構成を示すブロック図である。同図に示すとおり、波形整形装置１００ａは、高周波成分抽出部（低周波成分除去手段）１１、非線形処理部１０２ａ、および加算部（加算手段）１５を備えている。

[0093] まず、高周波成分抽出部１１について説明する。高周波成分抽出部１１は、概略的には、入力信号Ｓｉｎに含まれる高周波成分を抽出し、高周波信号Ｓ１１（低周波除去信号）として出力するものである。図８を参照しながら、高周波成分抽出部１１の構成について説明する。図８は、高周波成分抽出部１１の構成を示すブロック図である。

[0094] 同図に示すように、高周波成分抽出部１１は、フィルタ１１０と、丸め処理部（低レベル信号除去手段）１３２、およびリミッタ（高レベル信号除去手段）１３３とを備えている。

[0095] フィルタ１１０は、フィルタ１１０は、ｍ－１個の単位遅延素子１１１ｈ

（ｈ＝１、２、…、ｍ－１：ｍは３以上の正の整数を示す）と、ｍ個の乗算部１１２ｋ（ｋ＝１、２、…、ｍ）と、加算部１３１とを備える、ｍタップのトランスバーサル型の高域通過フィルタであり、入力信号Ｓｉｎを入力とし、高域信号ＳＨ１を出力する。

[0096] 単位遅延素子１１１ｈのそれぞれは、入力された信号を単位時間ずつ遅延させた信号を出力するものである。なお、単位遅延素子１１１１（ｈ＝１）には、入力信号Ｓｉｎが入力される。

[0097] 乗算部１１２ｋのそれぞれは、入力される信号に係数Ｃｋを乗算し、該乗算した結果を加算部１３１に出力する。ここで、係数Ｃｋは、フィルタ１１０が高域通過フィルタとして機能するように予め設定されるものである。例えば、ｍ＝３の場合、Ｃ１＝０．５、Ｃ２＝－１、Ｃ３＝０．５と設定することにより、フィルタ１１０は、高域通過フィルタとして機能する。

[0098] 加算部１３１は、乗算部１１２ｋから出力される信号を加算することによって、高域信号ＳＨ１を生成する。

[0099] なお、一般的に知られているように、高域通過フィルタよりも低域通過フィルタの方が容易に実現可能である。そこで、フィルタ１１０は、低域通過フィルタを用いて構成してもよい。図９に、フィルタ１１０の他の構成例を示す。同図に示すように、フィルタ１１０は、低域通過フィルタ１１０１と減算部１１０２とによって構成してもよい。

[0100] 丸め処理部１３２は、後段の非線形処理部１０２にてノイズを増幅させないために、高域信号ＳＨ１に含まれるノイズとみなせる低レベル信号を除去することによって、低レベル除去信号ＳＨ２を生成する。

[0101] 具体的には、高域信号ＳＨ１の信号値のうち、絶対値が所定の下限値ＬＶ以下の信号値を“０”に変更することによって、低レベル除去信号ＳＨ２を生成する。

[0102] 例えば、入力信号Ｓｉｎが、－２５５から２５５のいずれかの整数値を取り得る場合において、下限値ＬＶを“２”とすると、高域信号ＳＨ１の信号値のうち、絶対値が“２”以下の信号値を全てノイズとみなして“０”に変

更する（つまり、丸める）。

[0103] 次に、リミッタ１３３は、既に十分なエネルギーを有する信号を後段の非線形処理部１０２にてさらに増幅させないために、低レベル除去信号ＳＨ２に含まれる高レベルの信号値を除去することによって、高周波信号Ｓ１１を生成する。

[0104] 具体的には、低レベル除去信号ＳＨ２の信号値が所定の上限値ＵＶ１以下となるように、低レベル除去信号ＳＨ２の信号のうち、絶対値が上限値ＵＶ１よりも大きい部分について、絶対値を上限値ＵＶ１以下に変更する処理（以下、クリップ処理とも表記する）を行なうことによって、高周波信号Ｓ１１を生成する。

[0105] 例えば、低レベル除去信号ＳＨ２の信号値の絶対値が“６４”を超える部分について、当該部分の信号値を、符号に応じて“６４”または“－６４”に変更する。または、“０”に変更してもよい。

[0106] なお、入力信号Ｓｉｎが８ビット信号である場合、上述したフィルタ１１０では、この８ビット信号に対して、例えば１２ビット演算で３ｒｄＭＳＢ（８ビット信号で６４または－６４程度）以下に制限した信号を入力信号Ｓｉｎに加算する。そのため、丸め処理部１３２およびリミッタ１３３は、フィルタ１１０で行なわれた演算結果を、８ビット信号相当に制限する処理を行なっている。

[0107] また、上述では、高周波成分抽出部１１は、丸め処理部１３２とリミッタ１３３とをそれぞれ備える構成としたが、これらを一体にした部材を備える構成としてもよい。

[0108] 次に、非線形処理部１０２ａについて説明する。非線形処理部１０２ａは、図７に示すように、非線形演算部（偶数冪乗演算手段）２１、符号変換部（符号変換手段）４１、およびリミッタ（振幅調整手段）５１を備えている。

[0109] 非線形演算部２１は、高周波信号Ｓ１１に対して非線形演算を施し、非線形信号Ｓ２１を生成する。

[0110] ここで、非線形演算部２１にて行なう非線形演算について説明する。以下では、非線形演算部２１への入力信号値をｘとし、非線形演算部２１からの出力信号値をｙとし、非線形演算部２１にて行なう非線形演算を、ｙ＝ｆ（ｘ）という関数で表す。

[0111] ここで、関数ｆ（ｘ）は、正負対称（原点対称）に単調増加する非線形関数であるものとする。なお、単調増加とは広義の単調増加を意味するものとする。ただし、関数ｆ（ｘ）は、少なくともｘ＝“０”の近傍で単調増加するものであればよい。また、関数ｆ（ｘ）は、少なくともｘ＝“０”の近傍で、｜ｆ（ｘ）｜＞｜ｘ｜であることが好ましい。

[0112] このような関数ｆ（ｘ）として、例えば、下記数式（１）～（３）で示されるものが挙げられる。なお、下記数式（２）および（３）で示される関数ｆ（ｘ）を用いる場合、当該関数ｆ（ｘ）は、０≦ｘ≦１の区間での値の増加が大きいため、当該区間で用いることが好ましい。

[0113] [数1]

$$f(x) = x^{2n} \quad (n\text{は自然数}) \qquad \cdots (1)$$

[0114] [数2]

$$f(x) = |x|^{1/2} \qquad \cdots (2)$$

[0115] [数3]

$$f(x) = |x|^{1/10} \qquad \cdots (3)$$

関数ｆ（ｘ）として上記数式（１）を用いる場合、非線形演算部２１は、２以上の偶数を冪指数として高周波信号Ｓ１１を冪乗することにより非線形信号Ｓ２１（偶数冪乗信号）を生成する。例えば、上記数式（１）においてｎ＝１の場合（つまり、ｆ（ｘ）＝x^2である場合）、非線形演算部２１は、高周波信号Ｓ１１を２乗することにより、非線形信号Ｓ２１を生成する。この場合、高周波信号Ｓ１１を構成するデータ列が、Ｘ１，Ｘ２，Ｘ３、…で

あるとすると、高周波信号Ｓ１１を２乗した非線形信号Ｓ２１は、データ列Ｘ１^2，Ｘ２^2，Ｘ３^2、…で構成されるデジタル信号となる。

[0116] ところで、高周波信号Ｓ１１の信号値が、－２５５～２５５のいずれかの整数値である場合、関数ｆ（ｘ）を用いるにあたり、ｘを２５５で正規化してもよい。例えば、上記数式（２）を用いる代わりに、上記数式（２）で示される関数ｆ（ｘ）の右辺のｘを、ｘ／２５５で正規化するとともに、右辺に２５５を乗算した下記数式（４）を用いてもよい。なお、下記数式（４）は、ｆ（ｘ）＞ｘという条件を満たす。

[0117] [数4]

$$f(x)=255\left|x/255\right|^{1/2} \quad \cdots(4)$$

上記数式（４）では、上記数式（２）で示される関数ｆ（ｘ）の右辺のｘを、２５５で正規化するとともに、右辺に２５５を乗算したが、右辺に乗算する数値は正規化するための値（この例では２５５）と同じ値である必要はなく、｜ｆ（ｘ）｜＞｜ｘ｜という条件を満たすものであればよい。例えば、２５５の代わりに右辺に１００を乗算した下記数式（５）を用いてもよい。

[0118] [数5]

$$f(x)=100\left|x/255\right|^{1/2} \quad \cdots(5)$$

また、関数ｆ（ｘ）は、下記数式（６）に示す三角関数を用いたものであってもよい。

[0119] [数6]

$$f(x)=255\left|\sin\{(x/255)(\pi/2)\}\right| \quad \cdots(6)$$

次に、符号変換部４１は、高周波信号Ｓ１１の符号ビット情報に基づき、非線形信号Ｓ２１に高周波信号Ｓ１１の符号を反映させたものを、符号変換信号Ｓ４１として生成する。すなわち、符号変換部４１は、非線形信号Ｓ２

１のうち、符号が、高周波信号Ｓ１１と同じ部分については、符号をそのまま維持する。一方、非線形信号Ｓ２１のうち、符号が、高周波信号Ｓ１１と異なる部分については、符号の正負を反転させる。

[0120] 次に、リミッタ５１は、符号変換部４１が生成する符号変換信号Ｓ４１の振幅（信号レベル、強度）を調整する処理（以下、振幅調整処理とも表記する）を行なうことにより、非線形処理信号Ｓ１２を生成する。具体的には、リミッタ５１は、符号変換信号Ｓ４１に、所定の倍率値α（｜α｜＜１）を乗算することにより、符号変換信号Ｓ４１の振幅を調整する。なお、倍率値αは、伝送路の特性に応じて、適切に設定されるものとする。

[0121] さらに、リミッタ５１は、既に十分なエネルギーを有する信号をさらに増幅させないために、非線形処理信号Ｓ１２の信号値が所定の上限値ＵＶ２以下となるように、非線形処理信号Ｓ１２の信号のうち、絶対値が上限値ＵＶ２よりも大きい部分について、絶対値を当該上限値ＵＶ２以下に変更する処理（以下、クリップ処理とも表記する）を行なう。例えば、非線形処理信号Ｓ１２の信号値の絶対値が“６４”を超える部分について、当該部分の信号値を、符号に応じて“６４”または“－６４”に変更する。または、“０”に変更してもよい。

[0122] なお、非線形処理部１０２ａは、リミッタ５１を備えず、符号変換信号Ｓ４１の振幅調整処理およびクリップ処理を行なわない構成としてもよい。この場合、符号変換部４１が生成する符号変換信号Ｓ４１が、非線形処理信号Ｓ１２として非線形処理部１０２ａから出力される。

[0123] 最後に、加算部１５について説明する。加算部１５は、非線形処理信号Ｓ１２を補償用信号として、入力信号Ｓｉｎに加算することにより、出力信号Ｓｏｕｔを生成するものである。なお、加算部１５には、入力信号Ｓｉｎと非線形処理信号Ｓ１２との間のタイミングを調整するための遅延素子が適宜含まれているものとする。

[0124] （３－２．信号の波形）

次に、図１０の（ａ）～（ｅ）を参照しながら、波形整形装置１００ａの

各部にて生成される信号の波形について説明する。図１０の（ａ）～（ｅ）は、波形整形装置１００ａの各部にて生成される信号の波形を模式的に示す図である。ここでは、図１０の（ａ）に示す信号が、入力信号Ｓｉｎとして波形整形装置１００ａに入力されるものとする。

[0125] まず、入力信号Ｓｉｎが高周波成分抽出部１１に入力されると、入力信号Ｓｉｎに含まれる高周波成分が抽出され、図１０の（ｂ）に示される高周波信号Ｓ１１が生成される。

[0126] 続いて、非線形処理部１０２ａの非線形演算部２１にて行なわれる非線形演算が、ｆ（ｘ）＝ｘ^{2}である場合、高周波信号Ｓ１１を２乗した非線形信号Ｓ２１が、非線形演算部２１にて生成される（図１０の（ｃ）参照）。

[0127] 続いて、非線形信号Ｓ２１が符号変換部４１に入力されると、図１０の（ｄ）に示される符号変換信号Ｓ４１が生成される。同図に示すとおり、符号変換信号Ｓ４１は、図１０の（ｂ）に示される高周波信号Ｓ１１の符号の正負が維持されている。

[0128] 続いて、符号変換信号Ｓ４１がリミッタ５１に入力されると、振幅調整処理およびクリップ処理が行なわれ、非線形処理信号Ｓ１２が生成される。その後、加算部１５によって、非線形処理信号Ｓ１２が入力信号Ｓｉｎに加算されると、出力信号Ｓｏｕｔが生成される（図１０の（ｅ）参照）。

[0129] なお、図１０の（ｅ）に示した非線形処理信号Ｓ１２における信号の立ち上がりおよび立ち下がりは、線形演算を用いて入力信号Ｓｉｎをエンハンスした場合における信号の立ち上がりおよび立ち下がりよりも、急峻となるので、図１１を参照しながら説明する。

[0130] 図１１の（ａ）に示す信号は、図１０の（ａ）に示した入力信号Ｓｉｎと同じものである。そして、図１１の（ａ）に示す入力信号Ｓｉｎをエンハンスする場合、線形演算を用いた鮮鋭化処理では、図１１の（ａ）に示す入力信号Ｓｉｎから高域信号を抽出し、該抽出した高域信号に入力信号Ｓｉｎを加算するという方法が用いられる。したがって、線形演算を用いた鮮鋭化処理では、入力信号Ｓｉｎに含まれていないナイキスト周波数を超えた信号成

分が付加されることはない。

[0131] そのため、線形演算を用いた鮮鋭化処理では、図１１の（ｂ）で示される信号が生成される。図１１の（ｂ）で示される信号における立ち上がりは、図１１の（ａ）に示す入力信号Ｓｉｎにおける信号の立ち上がりよりも急峻となるものの、波形整形装置１００ａにて生成される非線形処理信号Ｓ１２（図１０の（ｅ））における信号の立ち上がりの方が、より急峻となる。

[0132] （３－３．波形整形装置の構成例２）

上述した非線形処理部１０２ａにおいて、非線形演算部２１にて生成される非線形信号Ｓ２１を微分する構成としてもよい。非線形信号Ｓ２１を微分することによって、非線形信号Ｓ２１に含まれる直流成分を除去することができるからである。

[0133] そこで、図１２を参照しながら、波形整形装置１００ｂの構成例について説明する。図１２は、波形整形装置１００ｂの構成を示すブロック図である。

[0134] 同図に示すとおり、波形整形装置１００ｂは、高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２ｂ、および加算部１５を備えている。そして、非線形処理部１０２ｂは、図７に示した非線形処理部１０２ａの構成に加え、非線形演算部２１と符号変換部４１との間に、微分部（微分手段）３１を備えている。高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２ｂの微分部３１以外の部材、および加算部１５は、上述したものと同じものであるので、ここではその詳細な説明を省略する。

[0135] 微分部３１は、非線形演算部２１にて生成される非線形信号Ｓ２１を微分することにより、微分信号Ｓ３１を生成するものである。

[0136] 図１３を参照しながら、微分部３１の構成について説明する。図１３は、微分部３１の構成を示すブロック図である。同図に示すように、微分部３１は、単位遅延素子３１１１と減算部３１１２とから構成されており、微分部３１に入力される信号に対して後退差分を算出するものである。

[0137] そして、微分部３１が生成した微分信号Ｓ３１に対して、符号変換部４１

は、高周波信号Ｓ１１の符号ビット情報に基づき、非線形信号Ｓ２１に高周波信号Ｓ１１の符号を反映させたものを、符号変換信号Ｓ４２として生成する。すなわち、符号変換部４１は、微分信号Ｓ３１のうち、符号が、高周波信号Ｓ１１と同じ部分については、符号をそのまま維持する。一方、非線形信号Ｓ２１のうち、符号が、高周波信号Ｓ１１と異なる部分については、符号の正負を反転させる。

[0138] そして、リミッタ５１は、符号変換部４１にて生成される符号変換信号Ｓ４２に対して、振幅調整処理およびクリップ処理を行なうことによって、非線形処理信号Ｓ１２を生成する。振幅調整処理では、符号変換信号Ｓ４２に、所定の倍率値αを乗算することにより、符号変換信号Ｓ４２の振幅を調整する。

[0139] なお、非線形処理部１０２ｂは、リミッタ５１を備えず、符号変換信号Ｓ４２の振幅調整処理およびクリップ処理を行なわない構成としてもよい。この場合、符号変換部４１が生成する符号変換信号Ｓ４２が、非線形処理信号Ｓ１２として非線形処理部１０２ｂから出力される。

[0140] （３－４．信号の波形）

次に、図１４の（ａ）～（ｆ）を参照しながら、波形整形装置１００ｂの各部にて生成される信号の波形について説明する。図１４の（ａ）～（ｆ）は、波形整形装置１００ｂの各部にて生成される信号の波形を模式的に示す図である。ここでは、図１４の（ａ）に示す信号が、入力信号Ｓｉｎとして波形整形装置１００ｂに入力されるものとする。なお、図１４の（ａ）に示す信号は、図１０の（ａ）に示す信号と同じである。

[0141] まず、入力信号Ｓｉｎが高周波成分抽出部１１に入力されると、入力信号Ｓｉｎに含まれる高周波成分が抽出され、図１４の（ｂ）に示される高周波信号Ｓ１１が生成される。

[0142] 続いて、非線形処理部１０２ｂの非線形演算部２１にて行なわれる非線形演算が、ｆ（ｘ）＝ｘ^{2}である場合、高周波信号Ｓ１１を２乗した非線形信号Ｓ２１が、非線形演算部２１にて生成される（図１４の（ｃ）参照）。

[0143] 続いて、非線形信号Ｓ２１が微分部３１に入力されると、図１４の（ｄ）に示される微分信号Ｓ３１が生成される。なお、微分信号Ｓ３１では、非線形信号Ｓ２１に含まれていた直流成分が除去されている。

[0144] 続いて、微分信号Ｓ３１が符号変換部４１に入力されると、図１４の（ｅ）に示される符号変換信号Ｓ４２が生成される。同図に示すとおり、符号変換信号Ｓ４２は、図１４の（ｂ）に示される高周波信号Ｓ１１の符号の正負が維持されている。

[0145] 続いて、符号変換信号Ｓ４１がリミッタ５１に入力されると、振幅調整処理およびクリップ処理が行なわれ、非線形処理信号Ｓ１２が生成される。最後に、加算部１５によって、非線形処理信号Ｓ１２が入力信号Ｓｉｎに加算されると、出力信号Ｓｏｕｔが生成される（図１４の（ｆ）参照）。

[0146] なお、図１４の（ｆ）に示される出力信号Ｓｏｕｔにおける信号の立ち上がりおよび立ち下がりは、線形演算を用いて鮮鋭化する場合よりも、急峻となる。

[0147] （３－５．波形整形装置の構成例３）

上述した非線形処理部１０２ａおよび非線形処理部１０２ｂの構成では、符号変換部４１を備える構成としたが、高周波信号Ｓ１１に対して施す非線形演算が、高周波信号Ｓ１１の符号の正負を維持するものであれば、符号変換部４１を備える必要はない。

[0148] そこで、図１５を参照しながら、符号変換部４１を備えない波形整形装置１００ｃの構成例について説明する。図１５は、波形整形装置１００ｃの構成を示すブロック図である。

[0149] 同図に示すとおり、波形整形装置１００ｃは、高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２ｃ、および加算部１５を備えている。そして、非線形処理部１０２ｃは、非線形演算部（奇数冪乗演算手段）２２、およびリミッタ５１を備えている。高周波成分抽出部１１、リミッタ５１、および加算部１５は、上述したものと同じものであるので、ここではその詳細な説明を省略する。

[0150] 非線形演算部２２は、高周波信号Ｓ１１に対して非線形演算を施し、非線形信号Ｓ２２を生成する。

[0151] ここで、非線形演算部２２にて行なう非線形演算について説明する。以下では、非線形演算部２２への入力信号値をｘとし、非線形演算部２２からの出力信号値をｙとし、非線形演算部２２にて行なう非線形演算を、ｙ＝ｇ（ｘ）という関数で表す。

[0152] ここで、関数ｇ（ｘ）は、正負対称（原点対称）に単調増加する非線形関数であるものとする。なお、単調増加とは、広義の単調増加を意味するものとする。ただし、関数ｇ（ｘ）は、少なくともｘ＝“０”の近傍で単調増加するものであればよい。また、関数ｇ（ｘ）は、少なくともｘ＝“０”の近傍で、｜ｇ（ｘ）｜＞｜ｘ｜であることが好ましい。

[0153] このような関数ｇ（ｘ）として、例えば、下記数式（７）が挙げられる。

[0154] [数7]

$$g(x) = x^{3n} \quad (n\text{は自然数}) \qquad \cdots (7)$$

関数ｇ（ｘ）として上記数式（７）を用いる場合、非線形演算部２２は、３以上の奇数を冪指数として高周波信号Ｓ１１を冪乗することにより非線形信号Ｓ２２を生成する。例えば、上記数式（７）においてｎ＝１の場合（つまり、ｇ（ｘ）＝x^3である場合）、非線形演算部２２は、高周波信号Ｓ１１を３乗することにより、非線形信号Ｓ２２を生成する。この場合、高周波信号Ｓ１１を構成するデータ列が、Ｘ１，Ｘ２，Ｘ３、…であるとすると、高周波信号Ｓ１１を３乗した非線形信号Ｓ２２は、データ列$X1^3$，$X2^3$，$X3^3$、…で構成されるデジタル信号となる。

[0155] そして、リミッタ５１は、非線形演算部２２にて生成される非線形信号Ｓ２２に対して、振幅調整処理およびクリップ処理を行なうことによって、非線形処理信号Ｓ１２を生成する。

[0156] なお、非線形処理部１０２ｃは、リミッタ５１を備えず、非線形信号Ｓ２２の振幅調整処理およびクリップ処理を行なわない構成としてもよい。この

場合、非線形演算部２２が生成する非線形信号Ｓ２２が、非線形処理信号Ｓ１２として非線形処理部１０２ｃから出力される。

[0157] （３－６．信号の波形）

次に、図１６の（ａ）～（ｄ）を参照しながら、波形整形装置１００ｃの各部にて生成される信号の波形について説明する。図１６の（ａ）～（ｄ）は、波形整形装置１００ｃの各部にて生成される信号の波形を模式的に示す図である。ここでは、図１６の（ａ）に示す信号が、入力信号Ｓｉｎとして波形整形装置１００ｃに入力されるものとする。なお、図１６の（ａ）に示す信号は、図１０の（ａ）に示す信号と同じである。

[0158] まず、入力信号Ｓｉｎが高周波成分抽出部１１に入力されると、入力信号Ｓｉｎに含まれる高周波成分が抽出され、図１６の（ｂ）に示される高周波信号Ｓ１１が生成される。

[0159] 続いて、非線形演算部２２にて行なわれる非線形演算が、ｆ（ｘ）＝ｘ^{3}である場合、高周波信号Ｓ１１を３乗した非線形信号Ｓ２２が、非線形演算部２２にて生成される（図１６の（ｃ）参照）。

[0160] 続いて、非線形信号Ｓ２２がリミッタ５１に入力されると、振幅調整処理およびクリップ処理が行なわれ、非線形処理信号Ｓ１２が生成される。最後に、加算部１５によって、非線形処理信号Ｓ１２が入力信号Ｓｉｎに加算されると、出力信号Ｓｏｕｔが生成される（図１６の（ｄ）参照）。

[0161] なお、図１６の（ｄ）に示される出力信号Ｓｏｕｔにおける信号の立ち上がりおよび立ち下がりは、線形演算を用いて鮮鋭化する場合よりも、急峻となっている。

[0162] （３－７．ナイキスト周波数を超える周波数が生成される理由）

次に、波形整形装置１００が生成する出力信号Ｓｏｕｔが、入力信号Ｓｉｎが有する高調波成分等のナイキスト周波数ｆｓ／２を超える高周波成分を含む理由について説明する。

[0163] ここでは、入力信号Ｓｉｎが、時間をｘとした関数Ｆ（ｘ）で表現されるものとする。そして、入力信号Ｓｉｎの基本角周波数をωとすると、関数Ｆ

（ｘ）は、下記数式（８）のようにフーリエ級数で表現することができる。

[0164] [数8]

$$F(x) = a_{-N}\cos(-N)\omega x + a_{-N+1}\cos(-N+1)\omega x + \cdots + a_{-1}\cos(-1)\omega x + a_0 + a_1\cos\omega x + a_2\cos 2\omega x + \cdots + a_N\cos N\omega x + b_{-N}\sin(-N)\omega x + b_{-N+1}\sin(-N+1)\omega x + \cdots + b_{-1}\sin(-1)\omega x + b_1\sin\omega x + b_2\sin 2\omega x + \cdots + b_N\sin N\omega x \quad \cdots (8)$$

ここで、Ｎは、サンプリング周波数ｆｓに対するナイキスト周波数ｆｓ／２を超えない最高周波数の高調波の次数である。すなわち、下記数式（９）が満たされる。

[0165] [数9]

$$N\omega/(2\pi) < fs/2 \leqq (N+1)\omega/(2\pi) \quad \cdots (9)$$

次に、関数Ｆ（ｘ）で表される入力信号Ｓｉｎの直流成分a_0以外の信号をＧ（ｘ）と表記すると、Ｇ（ｘ）は下記数式（１０）で表される。

[0166] [数10]

$$G(x) = a_{-N}\cos(-N)\omega x + a_{-N+1}\cos(-N+1)\omega x + \cdots + a_{-1}\cos(-1)\omega x + a_1\cos\omega x + a_2\cos 2\omega x + \cdots + a_N\cos N\omega x + b_{-N}\sin(-N)\omega x + b_{-N+1}\sin(-N+1)\omega x + \cdots + b_{-1}\sin(-1)\omega x + b_1\sin\omega x + b_2\sin 2\omega x + \cdots + b_N\sin N\omega x \quad \cdots (10)$$

ここで、波形整形装置１００に入力される入力信号Ｓｉｎは、信号Ｇ（ｘ）または信号Ｇ（ｘ）の高周波成分を含む。

[0167] そして、例えば、非線形演算部２１にて行なわれる非線形演算が、ｆ（ｘ）＝x^2である場合、非線形演算部２１にて生成される非線形信号Ｓ２１は、高周波信号Ｓ１１を２乗することにより得られる信号である。ここで、上記数式（１０）により、$(G(x))^2$の各項は、下記数式（１１）～（１３）のいずれかで表される（ｉ＝±１、±２、…、±Ｎ；ｊ＝±１、±２、…、±Ｎ）。

[0168] [数11]

$$a_i\cos i\omega x \cdot a_j\cos j\omega x \quad \cdots (11)$$

[0169] [数12]

$$a_i \cos i\omega x \cdot b_j \sin j\omega x \quad \cdots (12)$$

[0170] [数13]

$$b_i \sin i\omega x \cdot b_j \sin j\omega x \quad \cdots (13)$$

ここで、三角関数に関する公式を用いることにより、上記数式（１１）～（１３）は、それぞれ、下記数式（１４）～（１６）に書き直すことができる。

[0171] [数14]

$$(a_i a_j / 2) \{\cos (i+j)\omega x + \cos (i-j)\omega x\} \quad \cdots (14)$$

[0172] [数15]

$$(a_i b_j / 2) \{\sin (i+j)\omega x - \sin (i-j)\omega x\} \quad \cdots (15)$$

[0173] [数16]

$$(-b_i b_j / 2) \{\cos (i+j)\omega x - \cos (i-j)\omega x\} \quad \cdots (16)$$

上記数式（１４）～（１６）から分かるように、$(G(x))^2$は、（Ｎ＋１）ω、（Ｎ＋２）ω、…、２Ｎω等の角周波数成分を含む。

[0174] よって、$(G(x))^2$は、ナイキスト周波数ｆｓ／２より高い周波数成分を含むこととなる。つまり、非線形演算部２１にて生成される非線形信号Ｓ２１は、周波数２Ｎω／（２π）といった高調波成分等のように、ナイキスト周波数ｆｓ／２より高い周波数成分を含むこととなる。

[0175] 同様に、例えば、非線形演算部２２にて行なわれる非線形演算が、$f(x) = x^3$である場合、非線形演算部２２にて生成される非線形信号Ｓ２２は、高周波信号Ｓ１１を３乗することにより得られる信号である。ここで、上記数式（１０）により、$(G(x))^3$の各項は、下記数式（１７）～（２０）

のいずれかで表される（ｉ＝±１、±２、…、±Ｎ；ｊ＝±１、±２、…、±Ｎ；ｋ＝±１、±２、…、±Ｎ）。

[0176] [数17]

$$a_i \cos i\omega x \cdot a_j \cos j\omega x \cdot a_k \cos k\omega x \quad \cdots (17)$$

[0177] [数18]

$$a_i \cos i\omega x \cdot a_j \cos j\omega x \cdot b_k \sin k\omega x \quad \cdots (18)$$

[0178] [数19]

$$a_i \cos i\omega x \cdot b_j \sin j\omega x \cdot b_k \sin k\omega x \quad \cdots (19)$$

[0179] [数20]

$$b_i \sin i\omega x \cdot b_j \sin j\omega x \cdot b_k \sin k\omega x \quad \cdots (20)$$

ここで、例えば、ｉ＝ｊ＝ｋ＝Ｎである項のうち、上記数式（１７）および（２０）で示される項に着目すると、これらの項は、三角関数に関する公式を用いることにより、下記数式（２１）および（２２）に書き直すことができる。

[0180] [数21]

$$(a_N \cos N\omega x)^3 = a_N^3 \{(3/4)\cos N\omega x + (1/4)\cos 3N\omega x\} \quad \cdots (21)$$

[0181] [数22]

$$(b_N \sin N\omega x)^3 = b_N^3 \{(3/4)\sin N\omega x - (1/4)\sin 3N\omega x\} \quad \cdots (22)$$

また、例えば、ｉ＝ｊ＝ｋ＝－Ｎである項のうち、上記数式（１７）および（２０）で示される項に着目すると、これらの項は、三角関数に関する公式を用いることにより、下記数式（２３）および（２４）に書き直すことができる。

[0182] [数23]

$$[a_N\cos(-N\omega x)]^3 = a_N^3[(3/4)\cos(-N\omega x)+(1/4)\cos(-3N\omega x)] \quad \cdots(23)$$

[0183] [数24]

$$[b_N\sin(-N\omega x)]^3 = b_N^3[(3/4)\sin(-N\omega x)-(1/4)\sin(-3N\omega x)] \quad \cdots(24)$$

上記数式（２１）～（２４）から分かるように、（Ｇ（ｘ））^{3}は、基本角周波数ωの３Ｎ倍の周波数成分、および、－３Ｎ倍の周波数成分を含む。（Ｇ（ｘ））^{3}の他の項についても三角関数の公式によって書き直すことにより、（Ｇ（ｘ））^{3}は、基本角周波数ωの－３Ｎ倍から３Ｎ倍までの様々な周波数成分を含むことが分かる。

[0184] よって、（Ｇ（ｘ））^{3}は、ナイキスト周波数ｆｓ／２より高い周波数成分を含むこととなる。つまり、非線形演算部２２にて生成される非線形信号Ｓ２２は、周波数３Ｎω／（２π）といった高調波成分等のように、ナイキスト周波数ｆｓ／２より高い周波数成分を含むこととなる。

[0185] 以上のように、波形整形装置１００にて生成される出力信号Ｓｏｕｔは、入力信号Ｓｉｎに含まれない高周波成分、すなわちナイキスト周波数より高い周波数成分を含むこととなる。

[0186] （４．変形例）

（４－１．波形整形装置の他の構成例１）

波形整形装置１００にて施す非線形演算は、上述した以外にも様々に考えられる。そこで、図１７および図１８を参照しながら、波形整形装置１００ｄおよび１００ｅの構成例について説明する。

[0187] まず、図１７は、波形整形装置１００ｄの構成を示すブロック図である。同図に示すとおり、波形整形装置１００ｄは、高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２ｄ、および加算部１５を備えている。高周波成分抽出部１１および加算部１５は、上述したものと同じものであるので、ここではその詳

細な説明を省略する。

[0188] 非線形処理部１０２ｄは、２乗演算部６１、第１微分部７１、第２微分部８１、および乗算部９１を備えている。

[0189] ２乗演算部６１は、高周波信号Ｓ１１を２乗することにより２乗信号Ｓ６１を生成するものである。すなわち、高周波信号Ｓ１１を構成するデータ列が、Ｘ１、Ｘ２、Ｘ３、…であるとすると、高周波信号Ｓ１１を２乗した２乗信号Ｓ６１は、データ列$X1^2$、$X2^2$、$X3^2$、…によって構成されるデジタル信号となる。

[0190] 次に、第１微分部７１は、２乗演算部６１にて生成される２乗信号Ｓ６１を微分することにより、第１微分信号Ｓ７１を生成する。なお、第１微分部７１の構成は、例えば、微分部３１と同様の構成である。

[0191] 次に、第２微分部８１は、入力信号Ｓｉｎを微分することにより、第２微分信号Ｓ８１を生成する。なお、第２微分部８１の構成は、例えば、微分部３１と同様の構成である。

[0192] そして、乗算部９１は、第１微分信号Ｓ７１と第２微分信号Ｓ８１とを乗算することにより、非線形処理信号Ｓ１２を生成する。すなわち、第１微分信号Ｓ７１を構成するデータ列が、Ｕ１、Ｕ２、Ｕ３、…であるとし、第２微分信号Ｓ８１を構成するデータ列が、Ｖ１、Ｖ２、Ｖ３、…であるとすると、非線形処理信号Ｓ１２は、データ列Ｕ１・Ｖ１、Ｕ２・Ｖ２、Ｕ３・Ｖ３、…によって構成されるデジタル信号となる。

[0193] なお、上述では、非線形演算を施すために２乗演算部６１を設ける構成としたが、２乗演算部６１に代えて、高周波信号Ｓ１１を４乗する４乗演算部を用いてもよい。より一般的には、２以上の偶数を冪指数とする高周波信号Ｓ１１の冪乗に相当する信号を生成する冪乗演算部を用いてもよい。

[0194] （４－２．波形整形装置の他の構成例２）

上述した波形整形装置１００ｄの構成では、２乗演算部６１を備える構成としたが、２乗演算部６１に代えて、入力された信号の絶対値を計算する絶対値処理部６２を備える構成としてもよい。

[0195] そこで、図１８を参照しながら、絶対値処理部６２を備える波形整形装置１００ｅの構成例について説明する。図１８は、波形整形装置１００ｅの構成を示すブロック図である。

[0196] 同図に示すとおり、波形整形装置１００ｅは、高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２ｅ、および加算部１５を備えている。高周波成分抽出部１１および加算部１５は、上述したものと同じものであるので、ここではその詳細な説明を省略する。

[0197] 非線形処理部１０２ｅは、絶対値処理部６２、第１微分部７１、第２微分部８１、および乗算部９１を備えている。第１微分部７１、第２微分部８１、および乗算部９１は、上述したものと同じものであるので、ここではその詳細な説明を省略する。

[0198] 絶対値処理部６２は、高周波信号Ｓ１１の絶対値に相当する信号である絶対値信号Ｓ６２を生成する。すなわち、高周波信号Ｓ１１を構成するデータ列が、Ｘ１，Ｘ２，Ｘ３、…であるとすると、絶対値信号Ｓ６２は、データ列｜Ｘ１｜、｜Ｘ２｜、｜Ｘ３｜、…によって構成されるデジタル信号となる。

[0199] 次に、第１微分部７１は、絶対値処理部６２にて生成される絶対値信号Ｓ６２を微分することにより、第１微分信号Ｓ７２を生成する。

[0200] そして、乗算部９１は、第１微分信号Ｓ７２と第２微分信号Ｓ８１とを乗算することにより、非線形処理信号Ｓ１２を生成する。

[0201] （５．付記事項）

最後に、波形整形装置１００、等化器８００、受信システム７００、中継装置９１０の各機能は、ハードウェアロジックによって構成してもよいし、次のようにＣＰＵ（central processing unit）を用いてソフトウェアによって実現してもよい。

[0202] ソフトウェアによって実現する場合は、波形整形装置１００（特に、高周波成分抽出部１１、非線形処理部１０２、および加算部１５）・等化器８００・受信システム７００・中継装置９１０は、各機能を実現する制御プログ

ラムの命令を実行するＣＰＵ、上記プログラムを格納したＲＯＭ（read only memory）、上記プログラムを展開するＲＡＭ（random access memory）、上記プログラム及び各種データを格納するメモリ等の記憶装置（記録媒体）などを備えている。そして、本発明の目的は、上述した機能を実現するソフトウェアである波形整形装置１００・等化器８００・受信システム７００・中継装置９１０の制御プログラムのプログラムコード（実行形式プログラム、中間コードプログラム、ソースプログラム）をコンピュータで読み取り可能に記録した記録媒体を、上記波形整形装置１００・等化器８００・受信システム７００・中継装置９１０に供給し、そのコンピュータ（またはＣＰＵやＭＰＵ）が記録媒体に記録されているプログラムコードを読み出し実行することによっても、達成可能である。

[0203] 上記記録媒体としては、例えば、磁気テープやカセットテープ等のテープ系、フロッピー（登録商標）ディスク／ハードディスク等の磁気ディスクやＣＤ－ＲＯＭ／ＭＯ／ＭＤ／ＤＶＤ／ＣＤ－Ｒ等の光ディスクを含むディスク系、ＩＣカード（メモリカードを含む）／光カード等のカード系、あるいはマスクＲＯＭ／ＥＰＲＯＭ／ＥＥＰＲＯＭ／フラッシュＲＯＭ等の半導体メモリ系などを用いることができる。

[0204] また、波形整形装置１００・等化器８００・受信システム７００・中継装置９１０を通信ネットワークと接続可能に構成し、上記プログラムコードを、通信ネットワークを介して供給してもよい。この通信ネットワークとしては、特に限定されず、例えば、インターネット、イントラネット、エキストラネット、ＬＡＮ、ＩＳＤＮ、ＶＡＮ、ＣＡＴＶ通信網、仮想専用網（virtual private network）、電話回線網、移動体通信網、衛星通信網等が利用可能である。また、通信ネットワークを構成する伝送媒体としては、特に限定されず、例えば、ＩＥＥＥ１３９４、ＵＳＢ、電力線搬送、ケーブルＴＶ回線、電話線、ＡＤＳＬ回線等の有線でも、ＩｒＤＡやリモコンのような赤外線、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）、ＩＥＥＥ８０２．１１無線、ＨＤＲ、携帯電話網、衛星回線、地上波デジタル網等の無線でも利用可能である。

なお、本発明は、上記プログラムコードが電子的な伝送で具現化された、搬送波に埋め込まれたコンピュータデータ信号の形態でも実現され得る。

[0205] このように本明細書において、手段とは必ずしも物理的手段を意味するものではなく、各手段の機能がソフトウェアによって実現される場合も含む。さらに、１つの手段の機能が２つ以上の物理的手段により実現されても、もしくは２つ以上の手段の機能が１つの物理的手段により実現されてもよい。

[0206] 以上のように、本発明に係る波形整形装置は、外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えている。

[0207] また、本発明に係る波形整形装置の制御方法は、外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含んでいる。

[0208] よって、入力信号に含まれる高周波成分に対して非線形処理を施した信号を、出力信号として生成することができ、該生成した出力信号を、信号の歪

みを補償する外部の歪み補償手段に出力することができる。出力信号には、元の周波数成分には含まれない高い周波数成分が含まれる。その結果、上記生成された出力信号は、入力信号を離散化する場合のサンプリング周波数の１／２の周波数であるナイキスト周波数よりも高い周波数成分を含むこととなる。したがって、本発明に係る波形整形装置は、入力信号に対して線形演算を施す処理と比べて、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができる。

[0209] ここで、波形整形装置に入力される入力信号が、送信装置から伝送路を介して送信される信号であって、クロック信号が重畳されている信号であるものとする。また、出力信号の出力先である外部の歪み補償手段が、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタを備え、出力信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なう等化器であるとする。

[0210] この場合において、入力信号に含まれるクロック信号の立ち上がり部分が特定し難いときであっても、波形整形装置にて、信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にするので、後段の等化器では、正しいタイミングで立ち上がりおよび立ち下がりを有する正確なクロックを再生することが可能となる。そして、クロックを正確に再生することができれば、等化器のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合と比べて、少なくすることができる。

[0211] したがって、本発明によれば、波形整形装置の後段に設ける歪み補償手段の小型化および低コスト化、並びに、該等化器の処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0212] また、上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置は、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、上記低周波除去信号

の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えている。

[0213] また、上記課題を解決するために、本発明に係る波形整形装置の制御方法は、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含んでいる。

[0214] よって、外部の歪み補償手段からの入力信号に含まれる高周波成分に対して非線形処理を施した信号を、出力信号として生成することができる。

[0215] ここで、外部の歪み補償手段にて歪みを補償する信号は、送信装置から伝送路を介して送信された信号であり、クロック信号が重畳されているものとする。また、外部の歪み補償手段とは、例えば、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタを備えた等化器であって、出力信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なうものとする。

[0216] この場合において、波形整形装置の前段に設けた、歪み補償手段としての等化器にて、信号の波形歪みを十分に補償することができない場合（つまり、歪み補償処理を行なっても、波形歪みが残存する場合）であっても、後段の波形整形装置にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするため、波形歪みを十分に補償することが可能となる。

[0217] よって、歪み補償手段としての等化器が、信号の波形歪みを補償するのに十分でないタップ数の線形フィルタを備えるものであっても、後段の波形整形装置にて波形歪みの十分に補償することが可能となる。つまり、歪み補償手段としての等化器のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合に必要となるタップ数より少なくてよい。

[0218] したがって、波形整形装置の前段に設ける歪み補償手段の小型化、低コスト化、および、処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0219] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記非線形処理手段は、２以上の偶数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗することにより偶数冪乗信号を生成する偶数冪乗演算手段と、上記偶数冪乗信号のうち、符号の正負が上記低周波除去信号と異なる部分の符号を反転することによって、上記非線形処理信号を生成する符号変換手段とを備える構成としてもよい。

[0220] 上記の構成によれば、さらに、２以上の偶数を冪指数として、低周波除去信号を冪乗することにより偶数冪乗信号を生成するとともに、上記偶数冪乗信号のうち、符号の正負が上記冪乗前の周波数成分と異なる部分の符号を反転することによって、非線形処理信号を生成する。

[0221] よって、低周波除去信号を、２以上の偶数を冪指数として冪乗するとともに、符号の正負は、上記冪乗前の低周波除去信号の符号の正負を維持したものが、非線形処理信号として生成されるので、低周波除去信号と非線形処理信号とを加算することによって得られる出力信号は、低周波除去信号には含まれない（すなわち、入力信号に含まれない）高い周波数成分が含まれる。

[0222] したがって、入力信号に対して線形演算を施す方法よりも、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができるという効果を奏する。

[0223] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記非線形処理手段は、２以上の偶数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗することにより偶数冪乗信号を生成する偶数冪乗演算手段と、上記偶数冪乗信号を微分することによって微分信号を生成する微分手段と、上記微分信号のうち、符号の正負が上記

低周波除去信号と異なる部分の符号を反転することによって、上記非線形処理信号を生成する符号変換手段とを備える構成としてもよい。

[0224] 上記の構成によれば、さらに、２以上の偶数を冪指数として、低周波除去信号を冪乗することによって偶数冪乗信号を生成するとともに、偶数冪乗信号を微分することによって微分信号を生成し、上記微分信号のうち、符号の正負が上記冪乗前の周波数成分と異なる部分の符号を反転することによって、非線形処理信号を生成する。

[0225] よって、低周波除去信号を、２以上の偶数を冪指数として冪乗し、冪乗後の信号に含まれ得る直流成分を微分することによって除去するとともに、符号の正負は、上記冪乗前の低周波除去信号の符号の正負を維持したものが、非線形処理信号として生成されるので、低周波除去信号と非線形処理信号とを加算することによって得られる出力信号は、低周波除去信号には含まれない（すなわち、入力信号に含まれない）周波数成分が含まれる。

[0226] したがって、入力信号に対して線形演算を施す方法よりも、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができるという効果を奏する。なお、冪乗後の信号に含まれ得る直流成分を微分することによって除去しているので、冪乗後の信号に含まれ得る直流成分を除去しない場合と比べて、信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができる。

[0227] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記非線形処理手段は、３以上の奇数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗することによって、上記非線形処理信号を生成する奇数冪乗演算手段を備える構成としてもよい。

[0228] 上記の構成によれば、さらに、３以上の奇数を冪指数として、低周波除去信号を冪乗することによって、非線形処理信号を生成する。

[0229] よって、低周波除去信号を、３以上の奇数を冪指数として冪乗したものが、非線形処理信号として生成されるので、低周波除去信号と非線形処理信号とを加算することによって得られる出力信号は、低周波除去信号には含まれない（すなわち、入力信号に含まれない）周波数成分が含まれる。

[0230] したがって、入力信号に対して線形演算を施す方法よりも、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができるという効果を奏する。

[0231] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記非線形処理手段は、上記非線形処理信号の振幅を、所定の倍率値を乗算することによって調整する振幅調整手段をさらに備える構成としてもよい。

[0232] 上記の構成によれば、低周波除去信号と非線形処理信号とを加算することによって得られる出力信号の振幅を適切な大きさに調整することができる。したがって、出力信号の振幅が大きくなりすぎることを防止できるという効果を奏する。

[0233] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記非線形処理手段は、上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、絶対値が上記低周波除去信号の絶対値よりも大きい上記非線形処理信号を生成する構成としてもよい。

[0234] 上記の構成によれば、低周波除去信号の値が０の近傍のとき、絶対値が低周波除去信号の絶対値よりも大きい非線形処理信号を生成する。

[0235] よって、低周波除去信号の値が０の近傍の区間では、出力信号を生成する際に低周波除去信号に加算する非線形処理信号の値を、低周波除去信号より大きい値にすることができる。

[0236] したがって、低周波除去信号の値が０の近傍の区間において、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができるという効果を奏する。

[0237] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記低周波成分除去手段は、タップ数が３以上の高域通過型のフィルタである構成としてもよい。

[0238] 上記の構成によれば、低周波成分除去手段は、タップ数が３以上の高域通過型のフィルタであるので、入力信号から、少なくとも直流成分を適切に除去することができる。

[0239] よって、入力信号に含まれる直流成分を除いた低周波除去信号に対して非線形処理を施した非線形処理信号と低周波除去信号とを加算することによっ

て得られる出力信号は、低周波除去信号には含まれない（すなわち、入力信号に含まれない）高い周波数成分が含まれる。

[0240] したがって、入力信号に対して線形演算を施す方法よりも、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にすることができるという効果を奏する。

[0241] さらに、本発明に係る波形整形装置は、上記低周波成分除去手段は、上記低周波除去信号のうち、絶対値が所定下限値よりも小さい部分の信号値を０に変更する低レベル信号除去手段と、上記低周波除去信号のうち、絶対値が所定上限値よりも大きい部分の信号値を、符号を維持して絶対値のみ当該上限値以下に変更する高レベル信号除去手段とをさらに備える構成としてもよい。

[0242] 上記の構成によれば、低周波除去信号のうち、絶対値が所定下限値よりも小さい部分の信号値を０に変更するとともに、低周波除去信号のうち、絶対値が所定上限値よりも大きい部分の信号値を、符号を維持して絶対値のみ当該上限値以下に変更する。

[0243] よって、低周波除去信号に含まれるノイズを除去することができるとともに、低周波除去信号に含まれるエネルギーが大きい高周波成分が、非線形処理によって増幅されることを防ぐことができる。

[0244] したがって、出力信号においても、ノイズが除去されており、かつ、エネルギーが大きい高周波成分が増幅されることを防止できるという効果を奏する。

[0245] また、本発明に係る等化器は、上記波形整形装置を備えるとともに、上記波形整形装置から出力される上記出力信号の歪みを補償する上記歪み補償手段、または、信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成するとともに、上記歪み補償信号を上記波形整形装置への上記入力信号として出力する上記歪み補償手段を備えることを特徴としている。

[0246] 上記の構成によれば、等化器は、（Ａ）波形整形装置と、該波形整形装置から出力される出力信号の歪みを補償する歪み補償手段とを備えるか、また

は、（Ｂ）信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成する歪み補償手段と、歪み補償信号を入力信号とする波形整形装置とを備える。

[0247] ここで、当該等化器に入力される入力信号が、送信装置から伝送路を介して送信される信号であって、クロック信号が重畳されている信号であるものとする。また、歪み補償手段が、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタ備え、伝送信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なうものであるとする。

[0248] この場合、上記（Ａ）の構成によれば、入力信号に含まれるクロック信号の立ち上がり部分が特定し難いときであっても、まず、波形整形装置によって、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にするので、後段の歪み補償手段では、正しいタイミングで立ち上がりおよび立ち下がりを有する正確なクロックを再生することが可能となる。そして、クロックを正確に再生することができれば、歪み補償手段は、少ないタップ数であっても、波形歪みを十分に補償することが可能となる。つまり、クロックを正確に再生することができれば、歪み補償手段のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合と比べて、少なくすることができる。

[0249] 一方、上記（Ｂ）の構成によれば、前段の歪み補償手段にて、信号の波形歪みを十分に補償することができない場合（つまり、歪み補償手段にて歪み補償処理を行なっても、波形歪みが残存する場合）であっても、後段の波形整形装置にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするため、波形歪みを十分に補償することが可能となる。

[0250] よって、前段の歪み補償手段が、信号の波形歪みを補償するのに十分でないタップ数の線形フィルタであっても、後段の波形整形装置にて波形歪みの十分に補償することが可能となる。つまり、歪み補償手段のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合に必要となるタップ数より少なくてよい。

[0251] したがって、上記（Ａ）および（Ｂ）のいずれの構成であっても、等化器の小型化、低コスト化、および、処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0252] また、本発明に係る受信システムは、上記波形整形装置を備えるとともに、上記波形整形装置から出力される上記出力信号の歪みを補償する上記歪み補償手段、または、信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成するとともに、上記歪み補償信号を上記波形整形装置への上記入力信号として出力する上記歪み補償手段を備えた等化器を備えることを特徴としている。

[0253] 上記の構成によれば、受信システムは、（Ｃ）波形整形装置と、該波形整形装置から出力される出力信号の歪みを補償する歪み補償手段を備えた等化器とを備えるか、または、（Ｄ）信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成する歪み補償手段を備えた等化器と、歪み補償信号を入力信号とする波形整形装置とを備える。

[0254] ここで、当該受信システムに入力される入力信号が、送信装置から伝送路を介して送信される信号であって、クロック信号が重畳されている信号であるものとする。また、等化器が備える歪み補償手段が、一般的なトランスバーサル型の線形フィルタを備え、伝送信号からクロック信号を抽出するとともにクロックを再生する処理、および、伝送路の伝送特性に応じて生じる信号の波形歪みを補償する処理を行なうものであるとする。

[0255] この場合、上記（Ｃ）の構成によれば、入力信号に含まれるクロック信号の立ち上がり部分が特定し難いときであっても、まず、波形整形装置によって、入力信号に含まれるエッジ部分に相当する信号の立ち上がりおよび立ち下がりをより急峻にするので、後段の等化器では、正しいタイミングで立ち上がりおよび立ち下がりを有する正確なクロックを再生することが可能となる。そして、クロックを正確に再生することができれば、等化器は、少ないタップ数であっても、波形歪みを十分に補償することが可能となる。つまり、クロックを正確に再生することができれば、等化器のタップ数は、トラン

スバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合と比べて、少なくすることができる。

[0256] 一方、上記（Ｄ）の構成によれば、前段の等化器にて、信号の波形歪みを十分に補償することができない場合（つまり、等化器にて歪み補償処理を行なっても、波形歪みが残存する場合）であっても、後段の波形整形装置にて信号の立ち上がりおよび立ち下がりを急峻にするため、波形歪みを十分に補償することが可能となる。

[0257] よって、前段の等化器が、信号の波形歪みを補償するのに十分でないタップ数の線形フィルタであっても、後段の波形整形装置にて波形歪みの十分に補償することが可能となる。つまり、等化器のタップ数は、トランスバーサル型の等化器のみを用いて波形歪みを補償する場合に必要となるタップ数より少なくてよい。

[0258] したがって、上記（Ｃ）および（Ｄ）のいずれの構成であっても、受信システムの小型化、低コスト化、および、処理負荷の低減を図ることができるという効果を奏する。

[0259] なお、上記波形整形装置および上記等化器は、コンピュータによって実現してもよく、この場合には、コンピュータを上記各手段として動作させることにより波形整形装置および上記等化器をコンピュータにて実現させる波形整形装置および上記等化器の制御プログラム、およびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体も、本発明の範疇に入る。

[0260] 本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

[0261] 発明の詳細な説明の項においてなされた具体的な実施形態または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する特許請求事項の範囲内で、いろいろと変更して実施することが

できるものである。

産業上の利用可能性

[0262] 本発明は、デジタル通信装置に適用できる。特に、デジタル通信が行われる伝送路上の中継装置、受信装置などの通信装置に好適に適用できる。

符号の説明

[0263]

１１	高周波成分抽出部（低周波成分除去手段）
１５	加算部（加算手段）
２１	非線形演算部（偶数冪乗演算手段）
２２	非線形演算部（奇数冪乗演算手段）
３１	微分部（微分手段）
４１	符号変換部（符号変換手段）
５１	リミッタ（振幅調整手段）
１００、１００ａ～１００ｅ	波形整形装置
１０２、１０２ａ～１０２ｅ	非線形処理部（非線形処理手段）
１３２	丸め処理部（低レベル信号除去手段）
１３３	リミッタ（高レベル信号除去手段）
７００、７００ａ、７００ｂ	受信システム
８００	等化器（外部の歪み補償手段）
Ｓｉｎ	入力信号
Ｓｏｕｔ	出力信号
Ｓ１１	高周波信号（低周波除去信号）
Ｓ１２	非線形処理信号
Ｓ２１	非線形信号（偶数冪乗信号）
Ｓ２２	非線形信号
Ｓ３１	微分信号

請求の範囲

[請求項1] 外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、

上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、

上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、

上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えることを特徴とする波形整形装置。

[請求項2] 信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置であって、

上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去手段と、

上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理手段と、

上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算手段とを備えることを特徴とする波形整形装置。

[請求項3] 上記非線形処理手段は、

２以上の偶数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗すること

により偶数冪乗信号を生成する偶数冪乗演算手段と、

上記偶数冪乗信号のうち、符号の正負が上記低周波除去信号と異なる部分の符号を反転することによって、上記非線形処理信号を生成する符号変換手段とを備えることを特徴とする請求項１または２に記載の波形整形装置。

[請求項4] 上記非線形処理手段は、

２以上の偶数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗することにより偶数冪乗信号を生成する偶数冪乗演算手段と、

上記偶数冪乗信号を微分することによって微分信号を生成する微分手段と、

上記微分信号のうち、符号の正負が上記低周波除去信号と異なる部分の符号を反転することによって、上記非線形処理信号を生成する符号変換手段とを備えることを特徴とする請求項１または２に記載の波形整形装置。

[請求項5] 上記非線形処理手段は、３以上の奇数を冪指数として、上記低周波除去信号を冪乗することによって、上記非線形処理信号を生成する奇数冪乗演算手段を備えることを特徴とする請求項１または２に記載の波形整形装置。

[請求項6] 上記非線形処理手段は、上記非線形処理信号の振幅を、所定の倍率値を乗算することによって調整する振幅調整手段をさらに備えることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の波形整形装置。

[請求項7] 上記非線形処理手段は、上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、絶対値が上記低周波除去信号の絶対値よりも大きい上記非線形処理信号を生成することを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の波形整形装置。

[請求項8] 上記低周波成分除去手段は、タップ数が３以上の高域通過型のフィルタであることを特徴とする請求項１から７のいずれか１項に記載の波形整形装置。

[請求項9] 上記低周波成分除去手段は、

上記低周波除去信号のうち、絶対値が所定下限値よりも小さい部分の信号値を０に変更する低レベル信号除去手段と、

上記低周波除去信号のうち、絶対値が所定上限値よりも大きい部分の信号値を、符号を維持して絶対値のみ当該上限値以下に変更する高レベル信号除去手段とをさらに備えることを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の波形整形装置。

[請求項10] 請求項１から９のいずれか１項に記載の波形整形装置を備えるとともに、

上記波形整形装置から出力される上記出力信号の歪みを補償する上記歪み補償手段、または、信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成するとともに、上記歪み補償信号を上記波形整形装置への上記入力信号として出力する上記歪み補償手段を備えることを特徴とする等化器。

[請求項11] 請求項１から９のいずれか１項に記載の波形整形装置を備えるとともに、

上記波形整形装置から出力される上記出力信号の歪みを補償する上記歪み補償手段、または、信号の歪みを補償することによって歪み補償信号を生成するとともに、上記歪み補償信号を上記波形整形装置への上記入力信号として出力する上記歪み補償手段を備えた等化器を備えることを特徴とする受信システム。

[請求項12] 外部からの入力信号の波形を整形するとともに、信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段に対して、上記整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、

上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、

上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上

記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、

上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含むことを特徴とする波形整形装置の制御方法。

[請求項13] 信号の歪みを補償する外部の歪み補償手段からの入力信号の波形を整形し、該整形後の出力信号を出力する波形整形装置の制御方法であって、

上記入力信号に含まれる周波数成分のうち、少なくとも直流成分を上記入力信号から除去することによって低周波除去信号を生成する低周波成分除去ステップと、

上記低周波除去信号の符号の正負が維持され、かつ、少なくとも上記低周波除去信号の値が０の近傍のとき、上記低周波除去信号に対して非線形に広義に単調増加する非線形処理信号を生成する非線形処理ステップと、

上記非線形処理信号を上記低周波除去信号に加算することによって、上記出力信号を生成する加算ステップとを含むことを特徴とする波形整形装置の制御方法。

[請求項14] 請求項１から９のいずれか１項に記載の波形整形装置が備えるコンピュータを動作させる制御プログラムであって、上記コンピュータを上記の各手段として機能させるための制御プログラム。

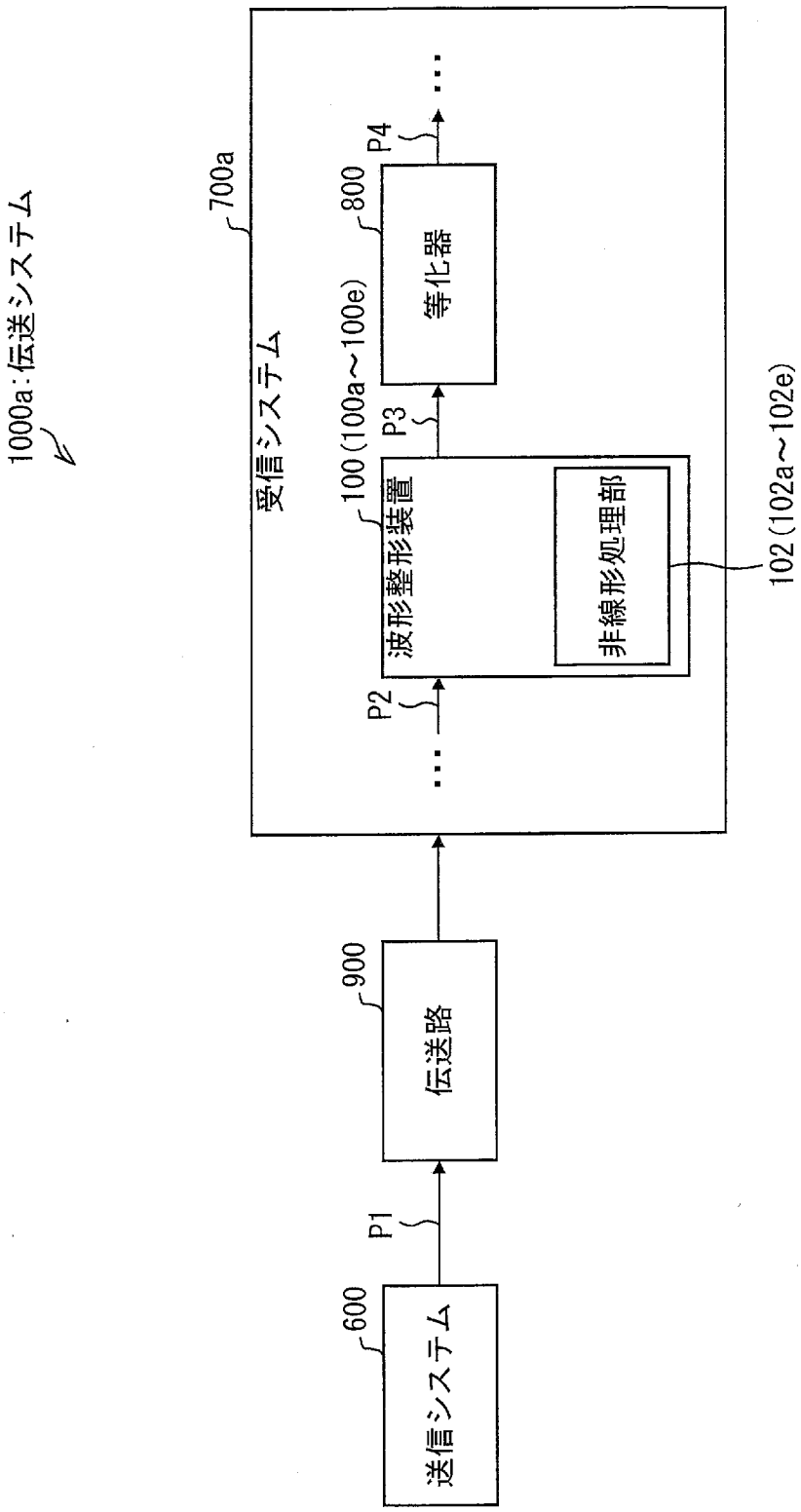
[請求項15] 請求項１０に記載の等化器が備えるコンピュータを動作させる制御プログラムであって、上記コンピュータを上記の各手段として機能させるための制御プログラム。

[請求項16] 請求項１４に記載の制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

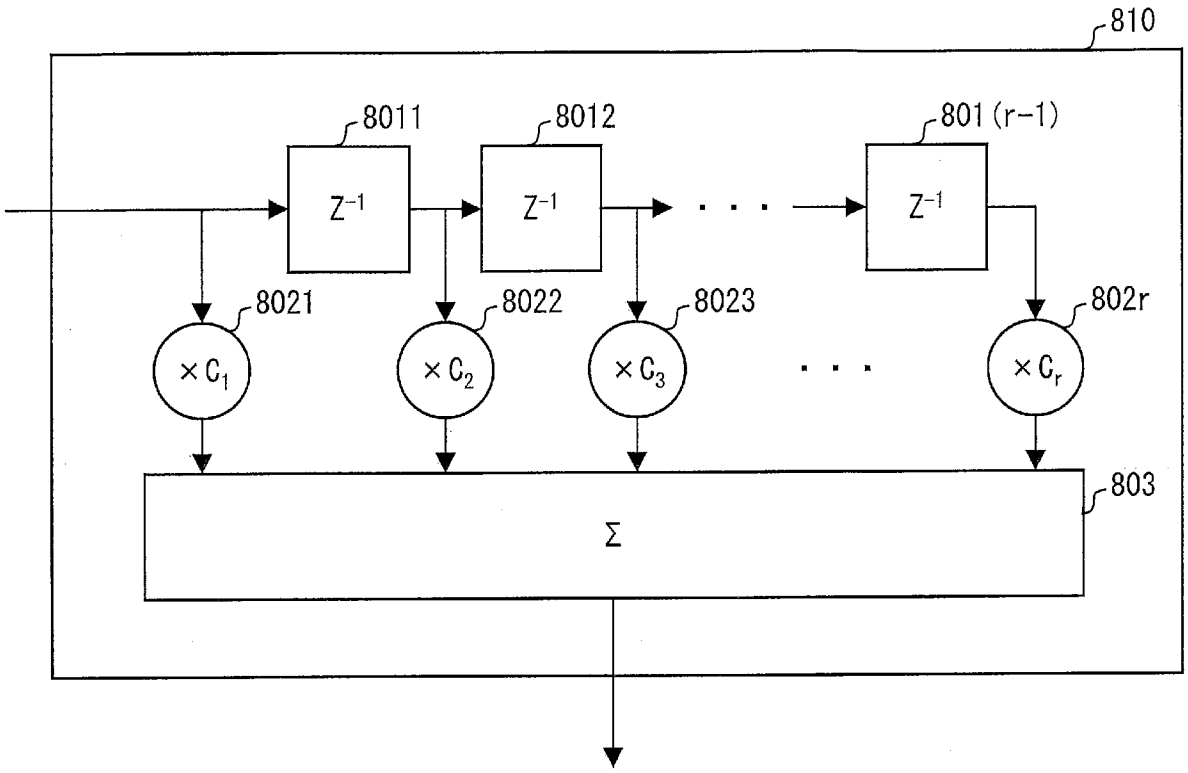
[請求項17] 請求項１５に記載の制御プログラムを記録したコンピュータ読み取

り可能な記録媒体。

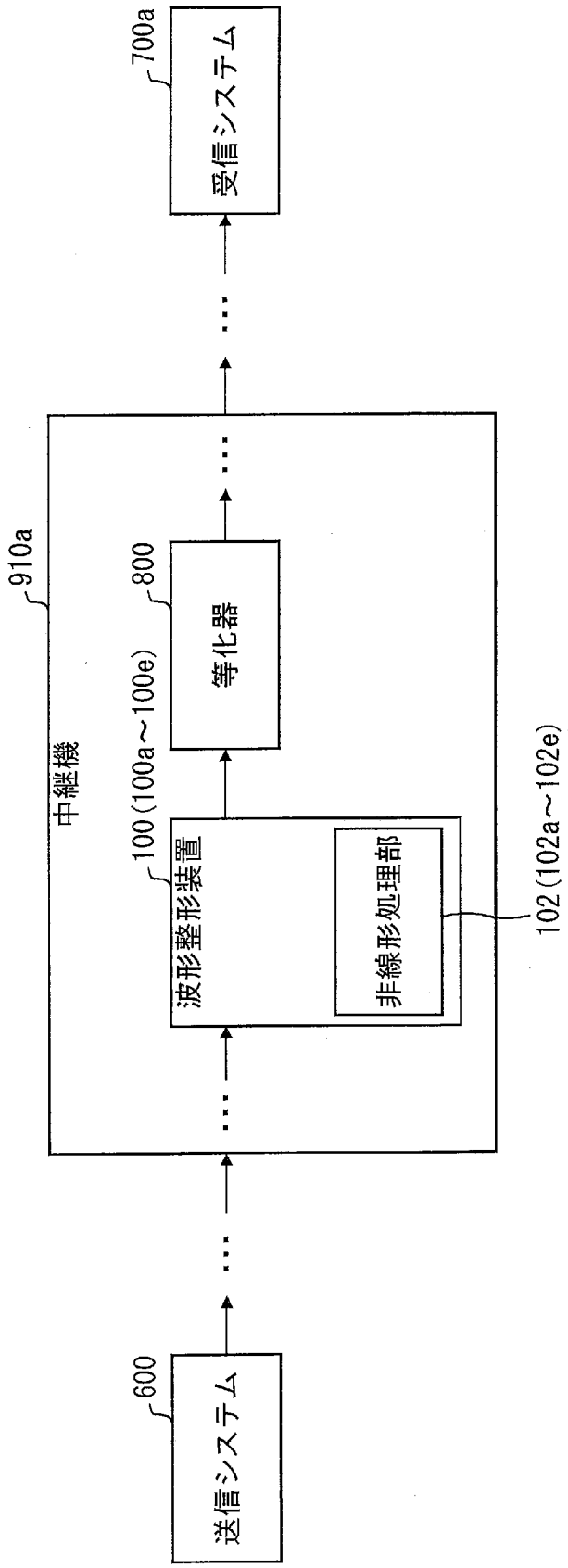
[図1]


1000a:伝送システム
700a
受信システム
600
送信システム
P1
900
伝送路
P2
100(100a～100e)
波形整形装置
非線形処理部
102(102a～102e)
P3
800
等化器
P4

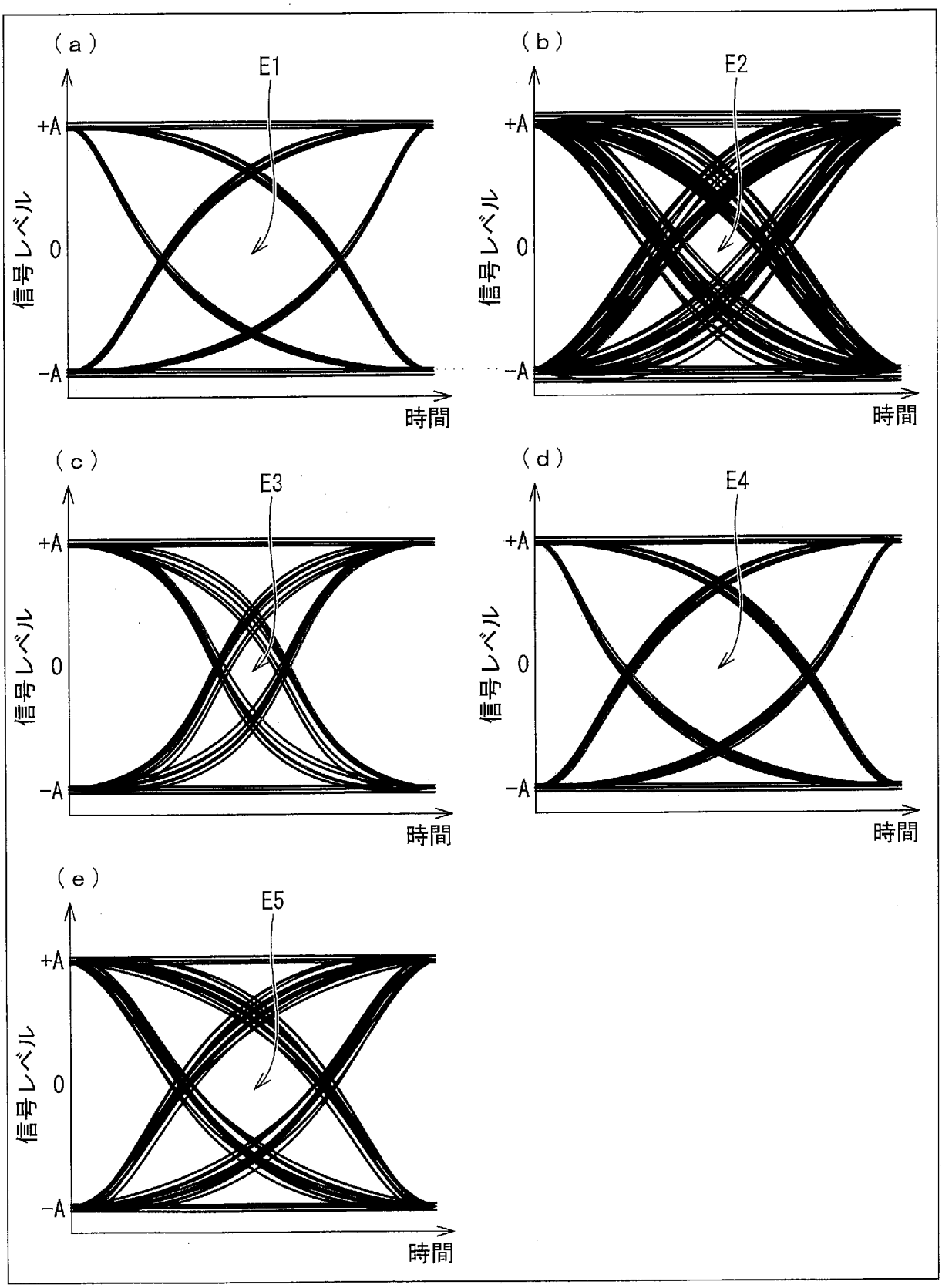
[図2]


810
8011
8012
801 (r−1)
Z−1
Z−1
Z−1
8021
8022
8023
802r
× C1
× C2
× C3
× Cr
803
Σ

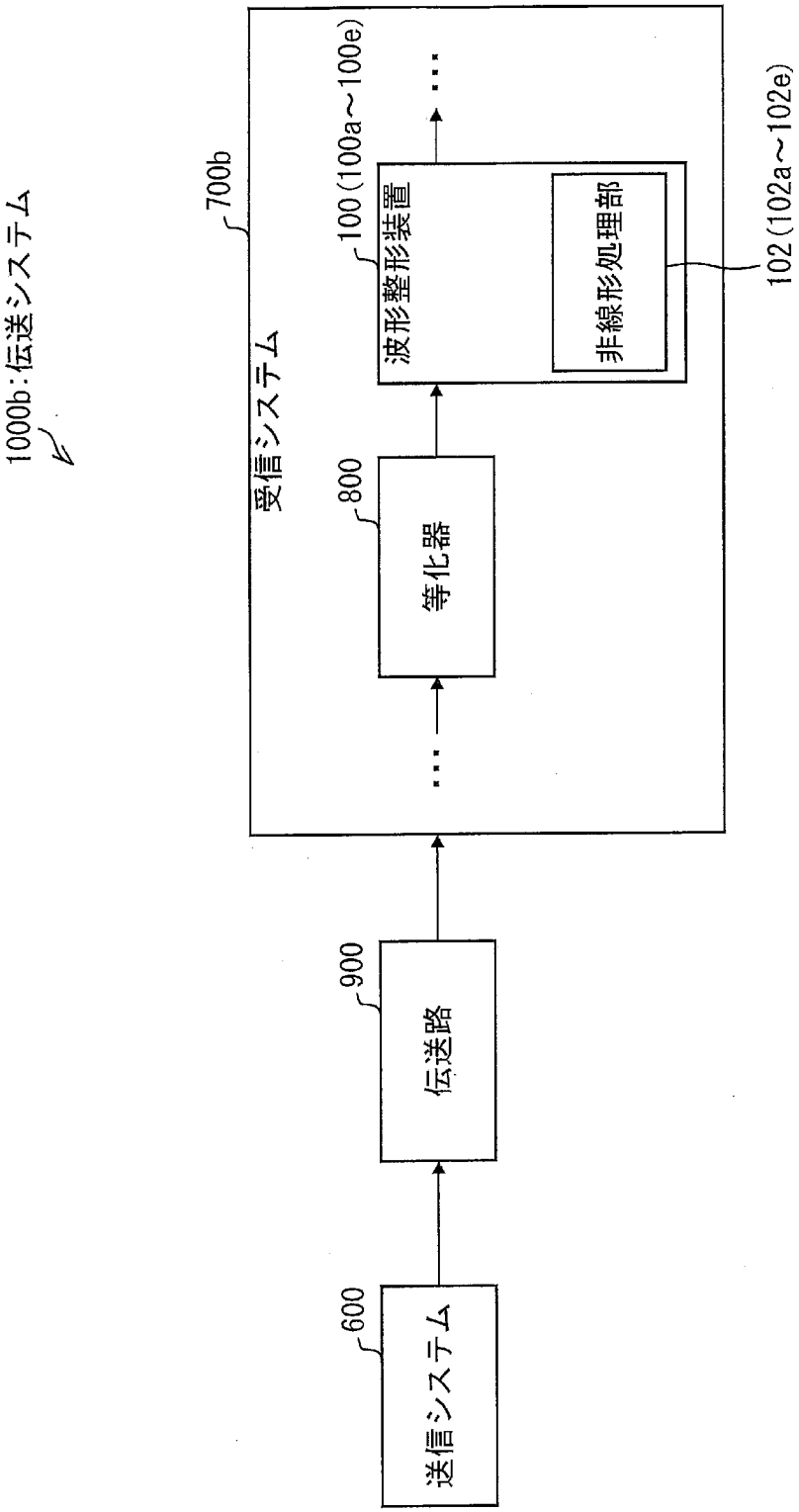
[図3]


送信システム
600
中継機
910a
波形整形装置
100 (100a～100e)
非線形処理部
102 (102a～102e)
等化器
800
受信システム
700a

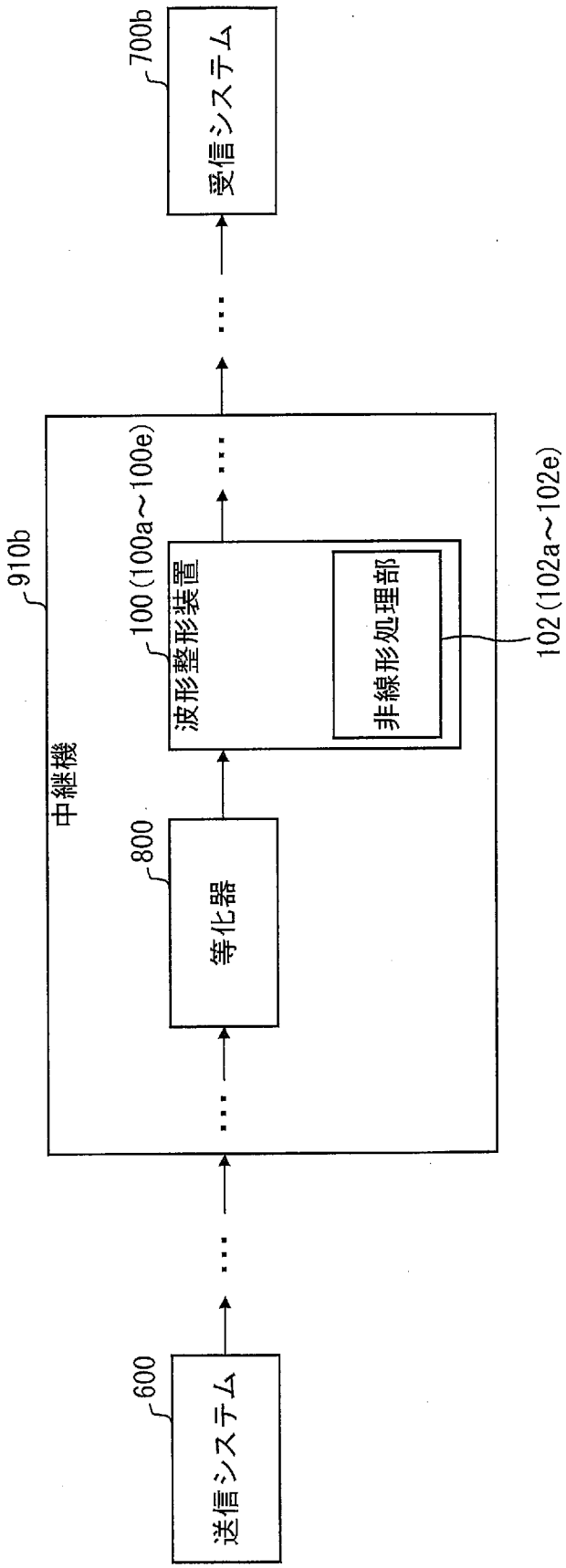
[図4]


(a)
E1
+A
0
-A
信号レベル
時間
(b)
E2
+A
0
-A
信号レベル
時間
(c)
E3
+A
0
-A
信号レベル
時間
(d)
E4
+A
0
-A
信号レベル
時間
(e)
E5
+A
0
-A
信号レベル
時間

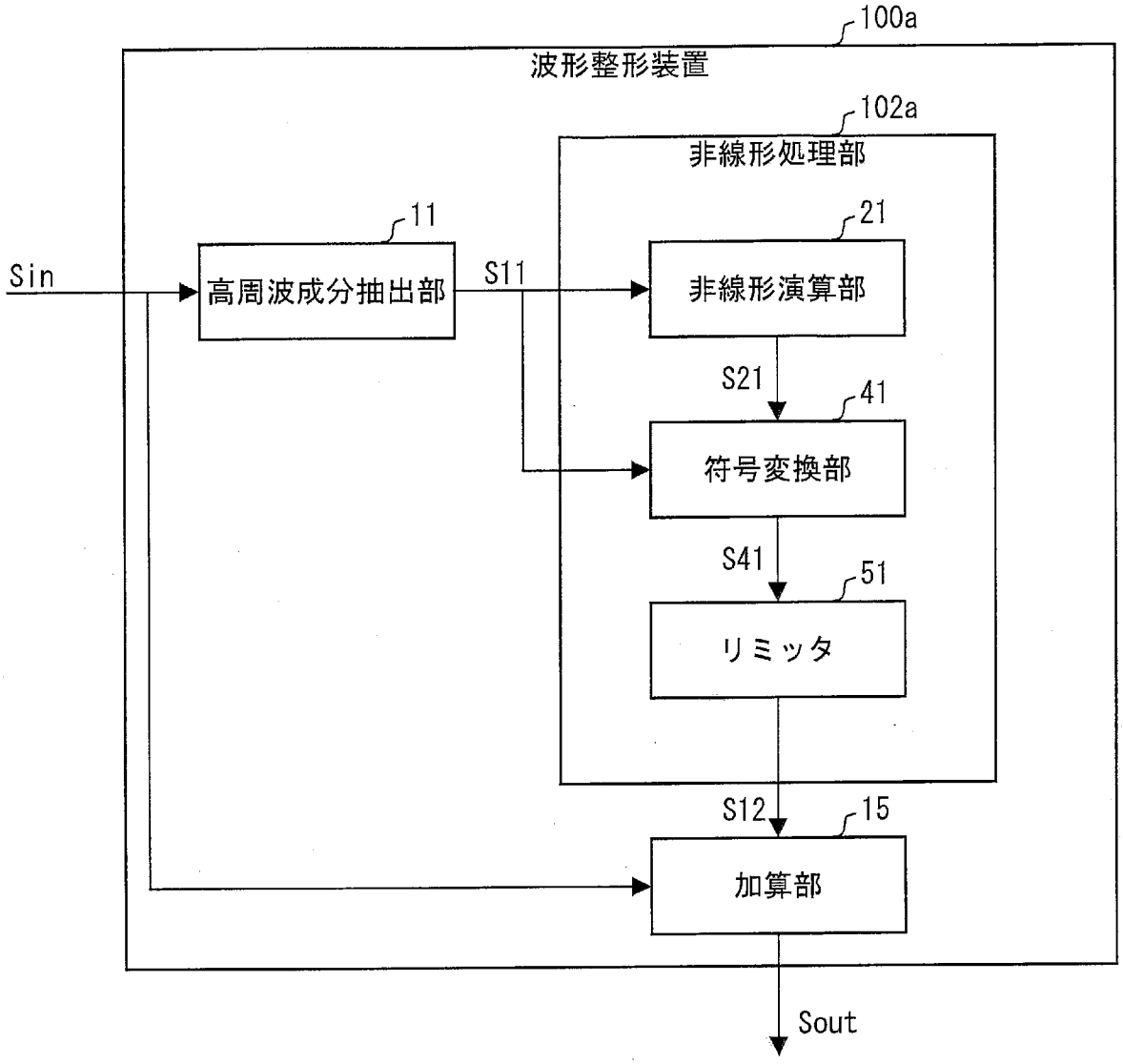
[図5]


1000b:伝送システム
700b
受信システム
100(100a～100e)
波形整形装置
非線形処理部
102(102a～102e)
800
等化器
900
伝送路
600
送信システム

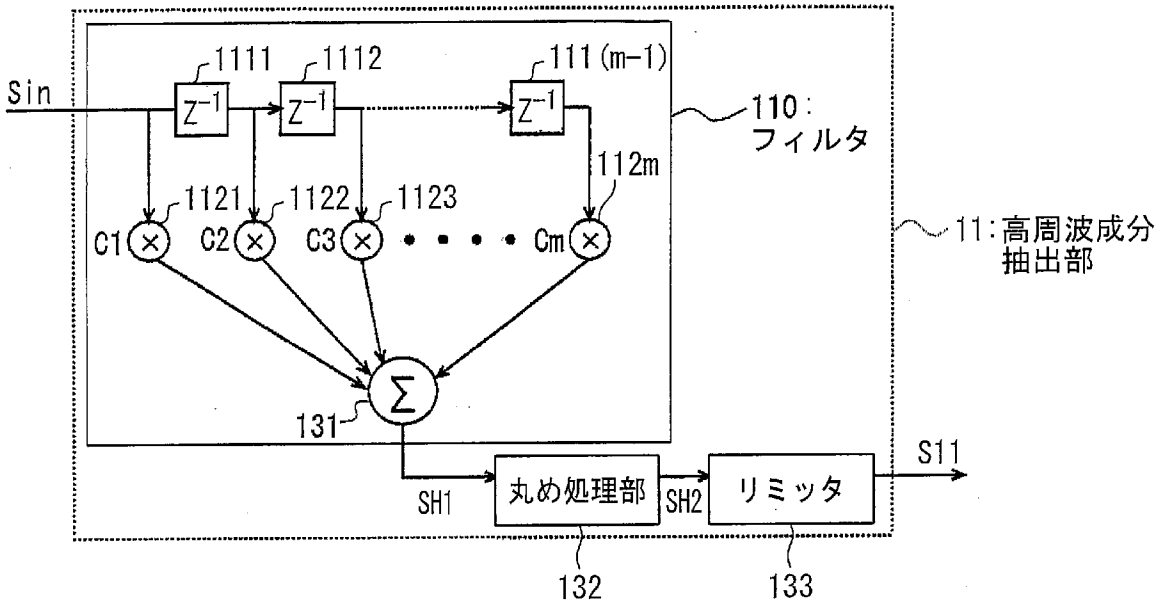
[図6]


送信システム
600
等化器
800
中継機
910b
波形整形装置
100(100a～100e)
非線形処理部
102(102a～102e)
受信システム
700b

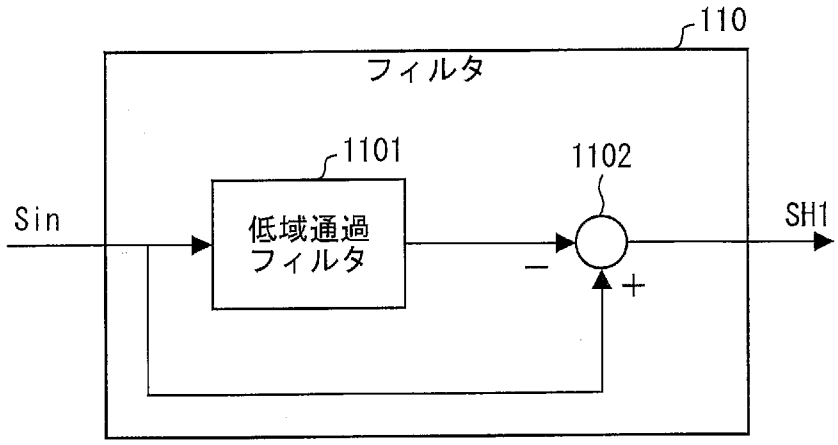
[図7]


100a
波形整形装置
102a
非線形処理部
11
21
Sin
高周波成分抽出部
S11
非線形演算部
S21
41
符号変換部
S41
51
リミッタ
S12
15
加算部
Sout

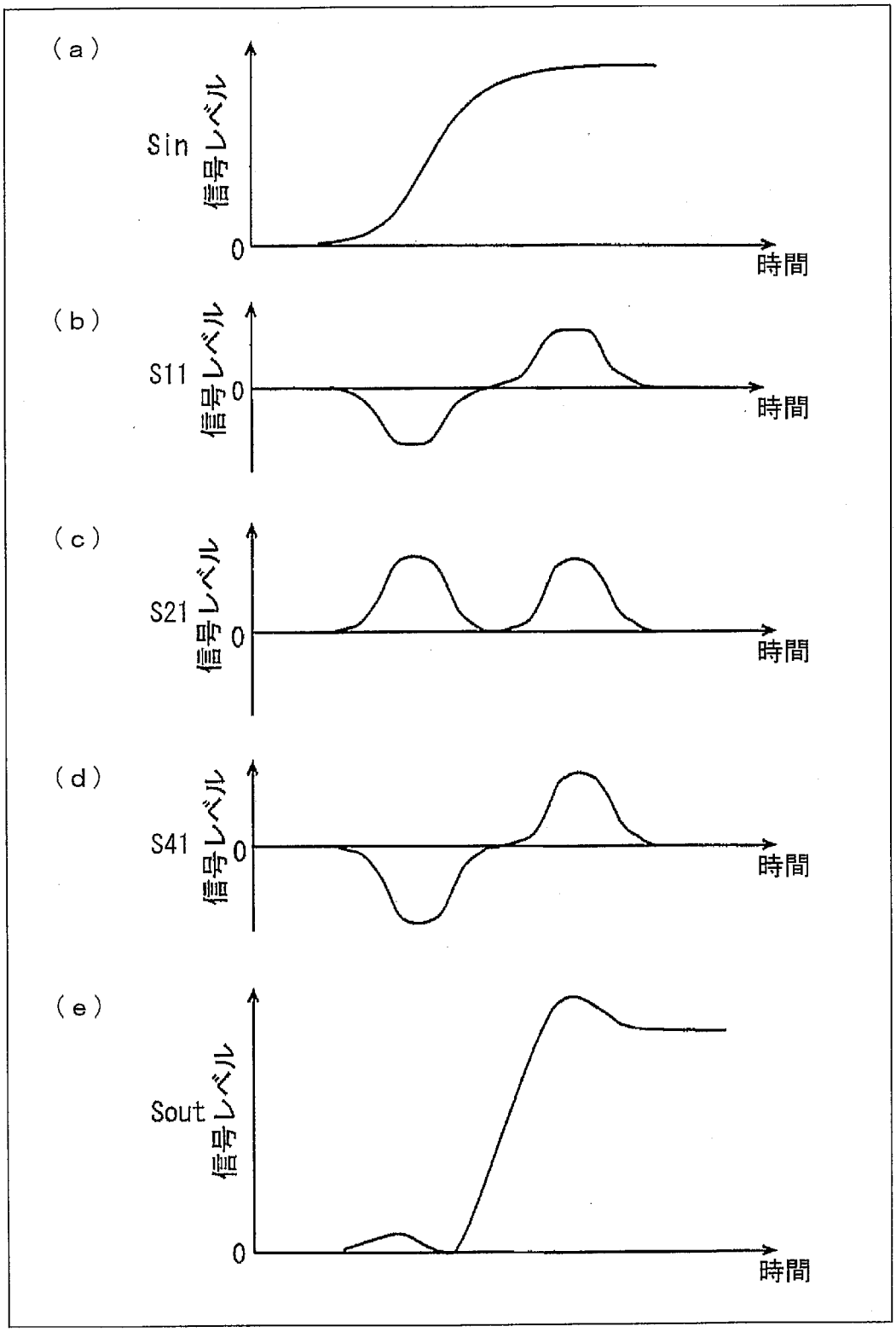
[図8]


Sin
1111
1112
111(m-1)
Z-1
Z-1
Z-1
110:
フィルタ
112m
1121
1122
1123
C1
C2
C3
Cm
11:高周波成分
抽出部
131
Σ
SH1
丸め処理部
SH2
リミッタ
S11
132
133

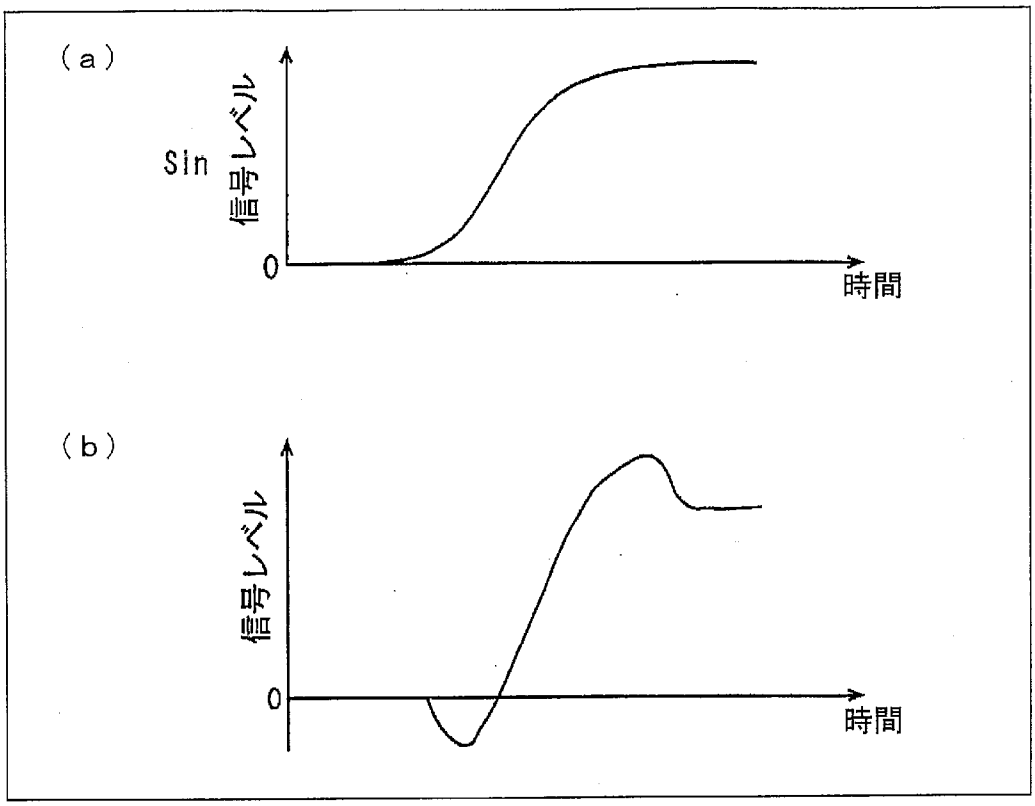
[図9]


110
フィルタ
1101
1102
Sin
低域通過
フィルタ
SH1
−
+

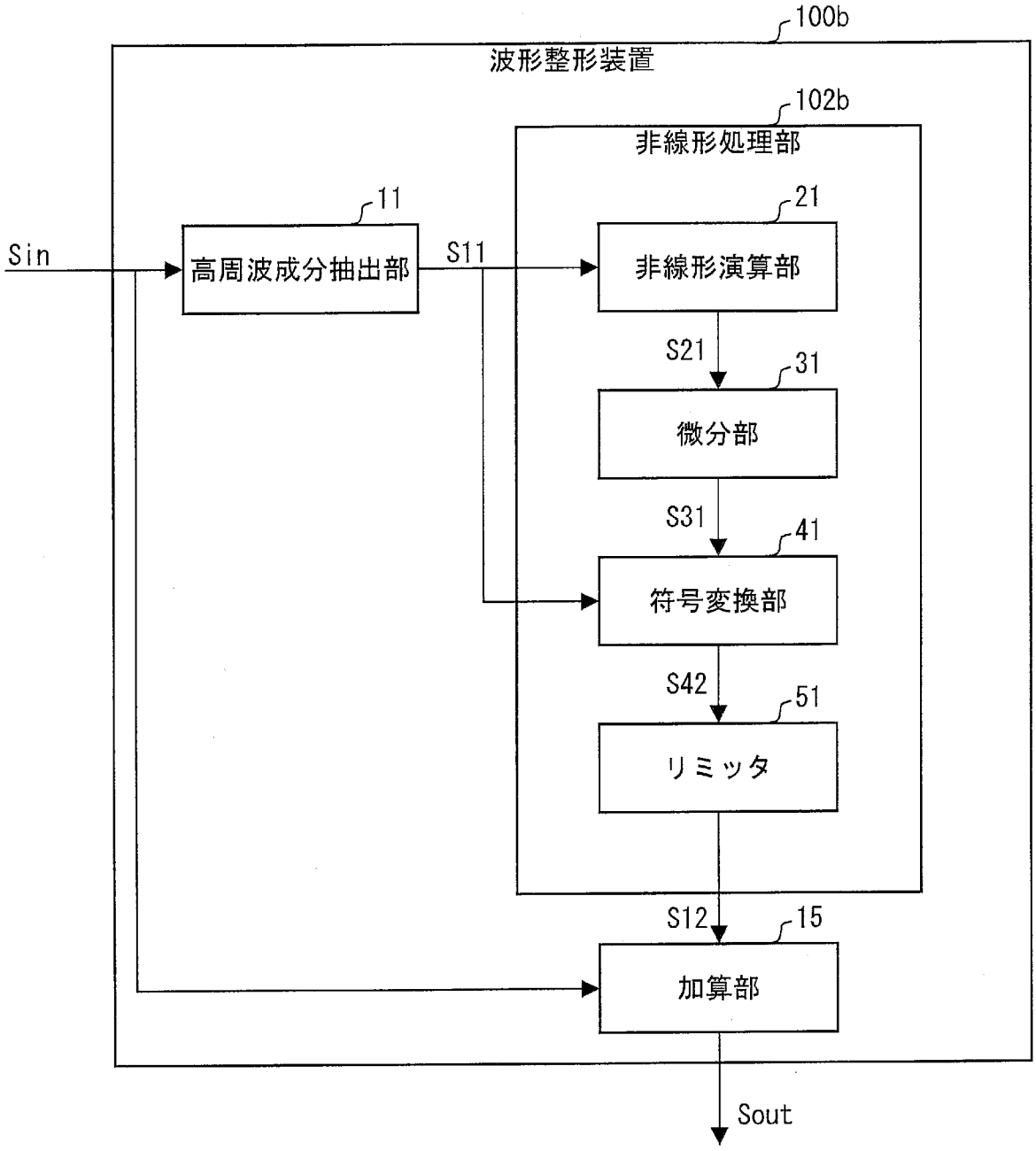
[図10]


(a)
Sin
信号レベル
0
時間
(b)
S11
信号レベル
0
時間
(c)
S21
信号レベル
0
時間
(d)
S41
信号レベル
0
時間
(e)
Sout
信号レベル
0
時間

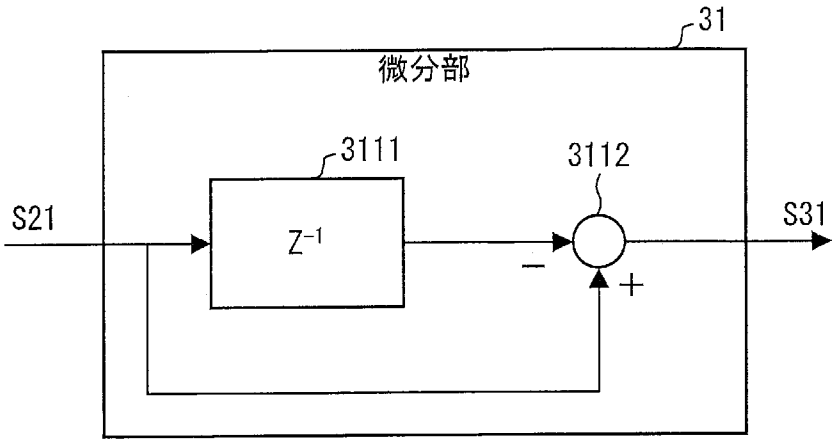
[図11]



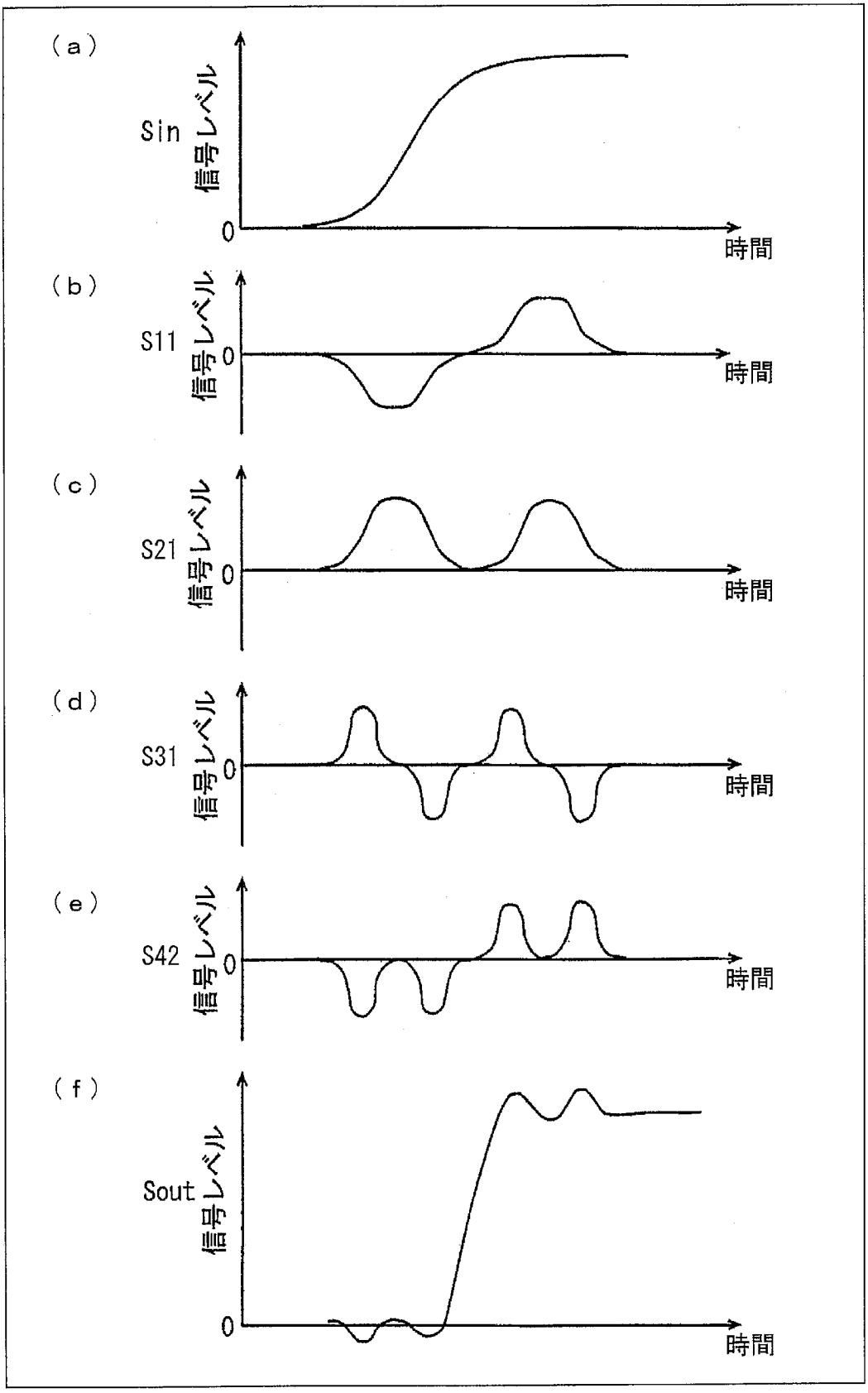
[図12]


100b
波形整形装置
102b
非線形処理部
11
21
Sin
高周波成分抽出部
S11
非線形演算部
S21
31
微分部
S31
41
符号変換部
S42
51
リミッタ
S12
15
加算部
Sout

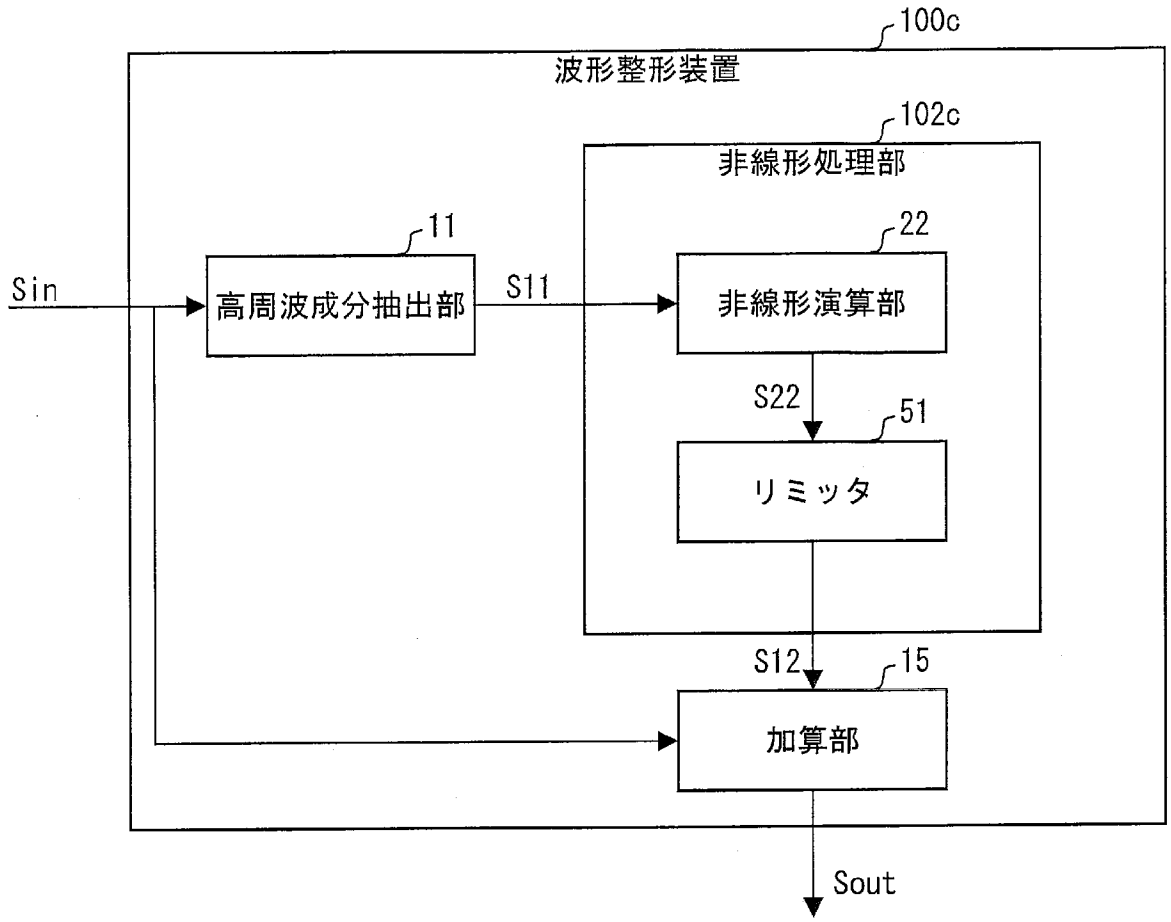
[図13]



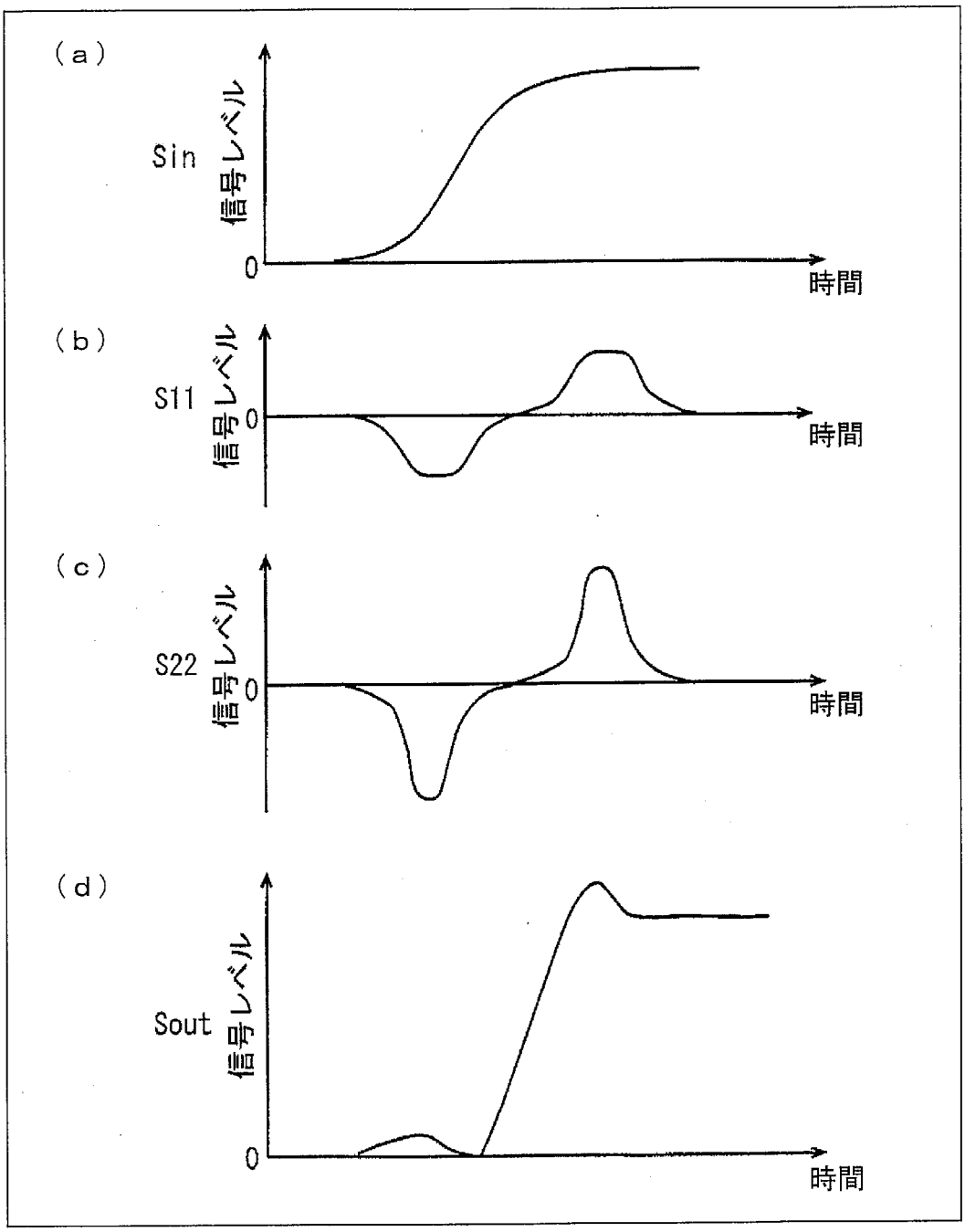
[図14]


(a)
Sin
信号レベル
0
時間
(b)
S11
信号レベル
0
時間
(c)
S21
信号レベル
0
時間
(d)
S31
信号レベル
0
時間
(e)
S42
信号レベル
0
時間
(f)
Sout
信号レベル
0
時間

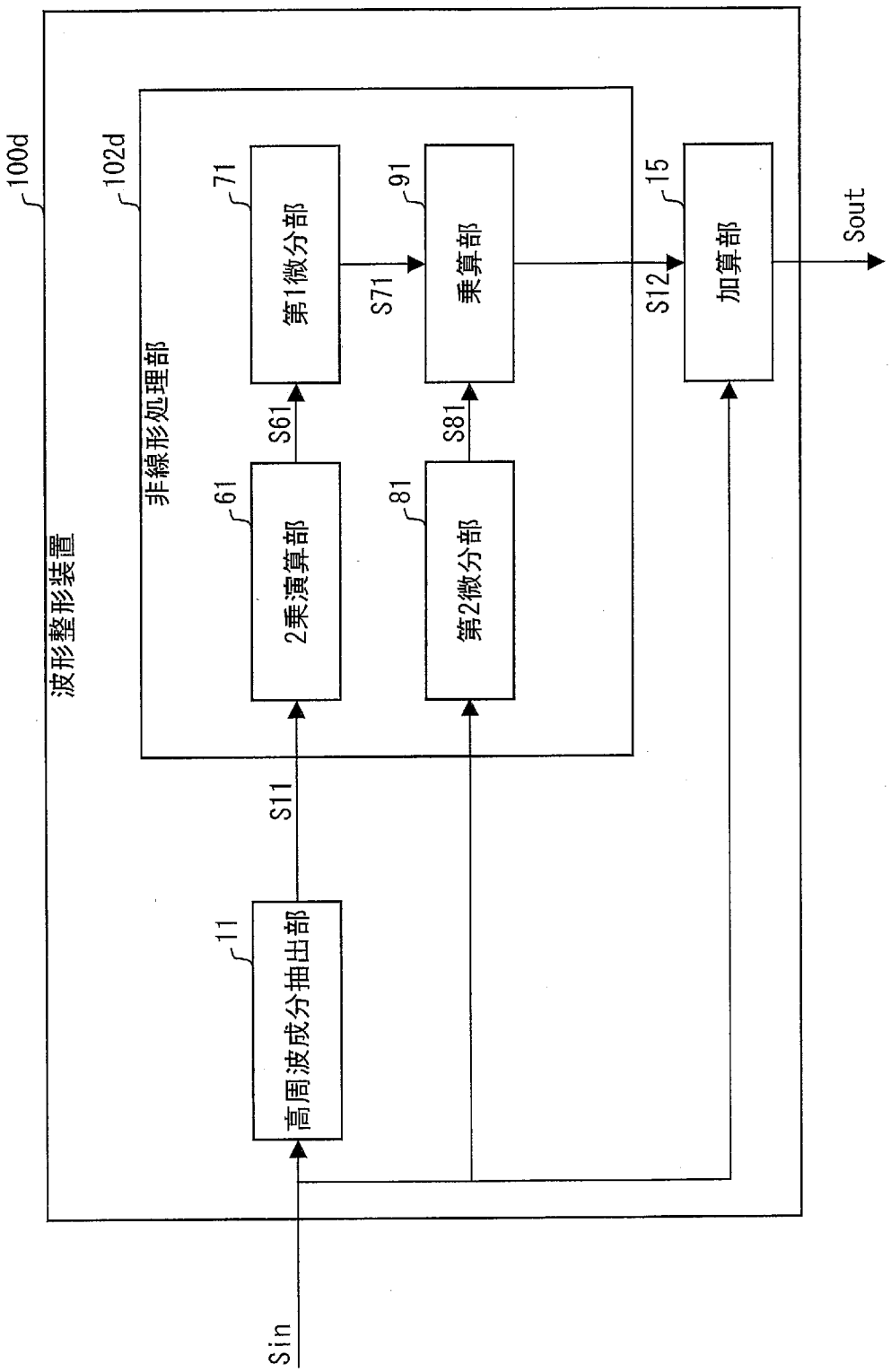
[図15]


100c
波形整形装置
102c
非線形処理部
11
22
Sin
高周波成分抽出部
S11
非線形演算部
S22
51
リミッタ
S12
15
加算部
Sout

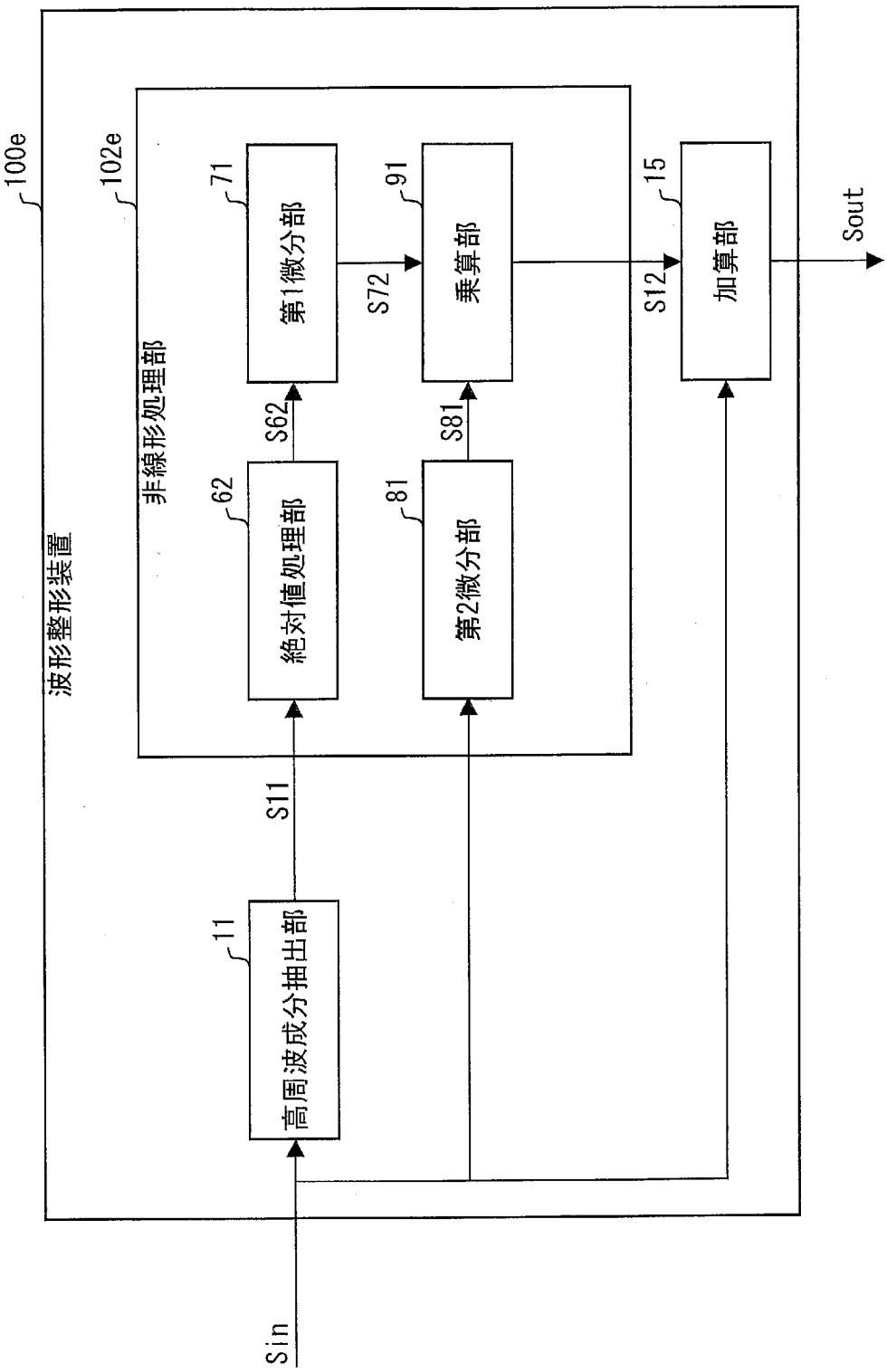
[図16]



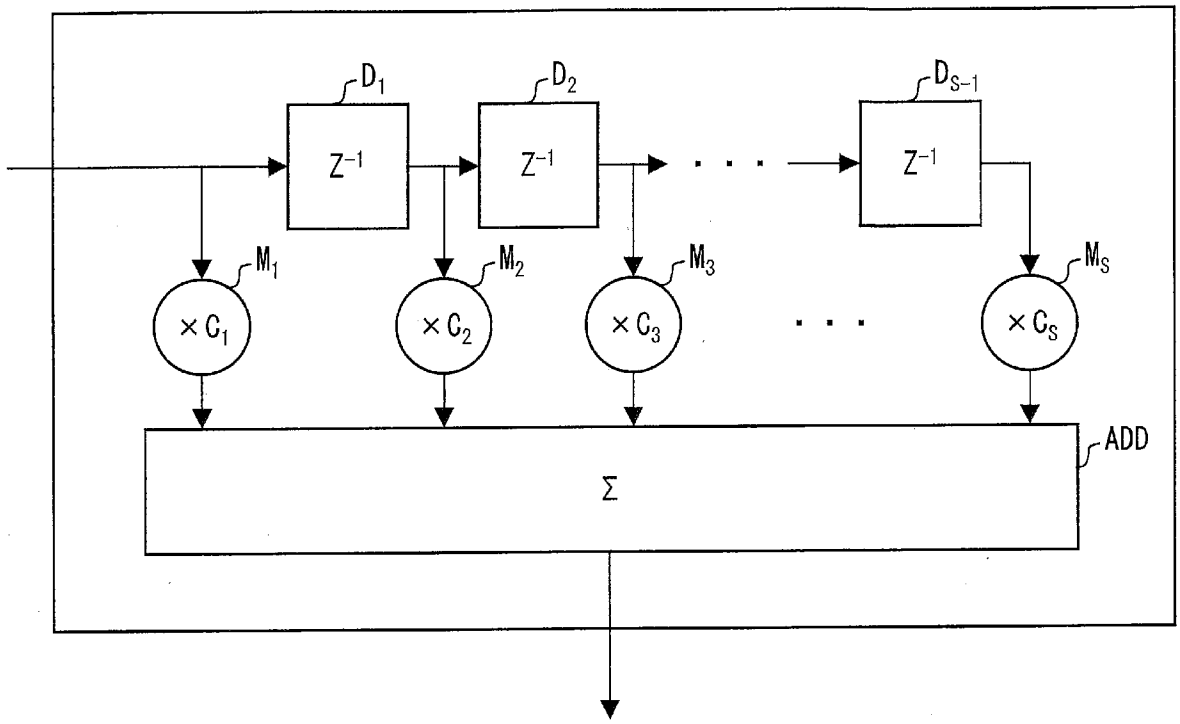
[図17]


100d
波形整形装置
102d
非線形処理部
11
高周波成分抽出部
61
2乗演算部
71
第1微分部
81
第2微分部
91
乗算部
15
加算部
Sin
S11
S61
S71
S81
S12
Sout

[図18]


100e
波形整形装置
102e
非線形処理部
11
高周波成分抽出部
62
絶対値処理部
71
第1微分部
81
第2微分部
91
乗算部
15
加算部
Sin
S11
S62
S81
S72
S12
Sout

[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/000372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04B3/04(2006.01)i, *H04L25/03*(2006.01)i

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)
H04B3/00-3/60, H04L25/00-25/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-174637 A (Altera Corp.), 05 July 2007 (05.07.2007), paragraphs [0046] to [0055]; fig. 1, 4 & US 2007/0140387 A1 & EP 1806850 A2	1-17
A	JP 2005-191895 A (Sony Corp.), 14 July 2005 (14.07.2005), paragraphs [0014] to [0027]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-17

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family 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 application or patent 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 citation or other special reason (as specified)
"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 claimed
"T" later 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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
30 March, 2010 (30.03.10)	06 April, 2010 (06.04.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０００３７２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H04B3/04(2006.01)i, H04L25/03(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H04B3/00-3/60, H04L25/00-25/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2007-174637 A (アルテラ　コーポレイション) 2007.07.05, 段落【００４６】～【００５５】,【図１】,【図４】 & US 2007/0140387 A1 & EP 1806850 A2	1-17
A	JP 2005-191895 A (ソニー株式会社) 2005.07.14, 段落【００１４】～【００２７】,【図１】～【図４】 (ファミリーなし)	1-17

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
３０．０３．２０１０	０６．０４．２０１０

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｊ　３１３９
東　昌秋
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５３４