

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年3月5日 (05.03.2009)

PCT

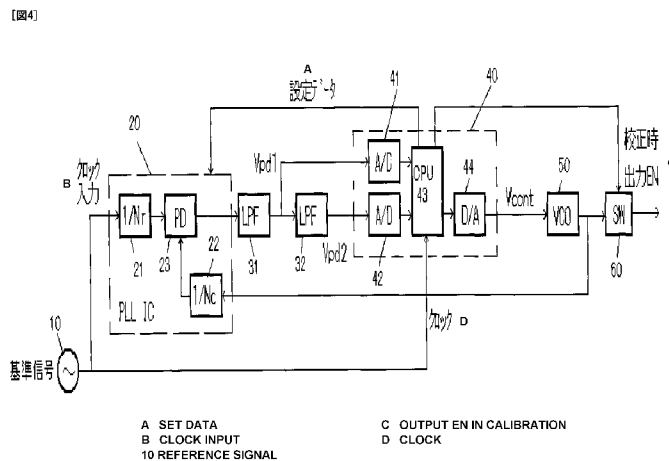
(10) 国際公開番号  
WO 2009/028010 A1

- (51) 国際特許分類:  
H03L 7/093 (2006.01) H03L 7/099 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/000922
- (22) 国際出願日: 2007年8月28日 (28.08.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 本郷廣信 (HONGO, Hironobu) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 林恒徳, 外 (HAYASHI, Tsunenori et al.); 〒2220033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-9-5 第三東昇ビル3階 林・土井国際特許事務所 Kanagawa (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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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,

[ 続葉有 ]

(54) Title: PHASE-LOCKED OSCILLATOR AND RADAR DEVICE INCLUDING THE SAME

(54) 発明の名称: 位相同期発振器及びそれを備えたレーダ装置



(57) Abstract: An error detecting means of a phase-locked oscillator including a PLL loop evaluates difference between a reference phase error signal output from a phase comparator and a phase error signal actually output from the phase comparator when a reference frequency modulation signal is output from a voltage-controlled oscillator and further detects a frequency error of the frequency modulation signal from the voltage-controlled oscillator based on a rate of change of the difference. A compensating means of the phase-locked oscillator calculates an average value of the frequency error in a predetermined section of the frequency modulation signal and compensates center frequency of the frequency modulation signal by compensating the average value to be zero, and changes the rate of change of control voltage per control step based on comparison between at least two frequency errors in one cycle of the frequency modulation signal. Thus frequency shift of the frequency modulation signal is compensated.

(57) 要約: PLLループを備えた位相同期発振器の誤差検出手段は、電圧制御発振器から基準周波数変調信号が出力された場合の前記位相比較器から出力される基準位相誤差信号と、位相比較器から実際に出力される位相誤差信号との差分を求め、さらに当該差分の変化率に基づいて電圧制御発振器からの周波数変調信号の周波数誤差を検出する。位相同期発振器の補正手段は、周波数変調信号の所定区間の周波数誤差の平均値を算出し、平均値が0となるように補正することにより周波数変調信号

[ 続葉有 ]

WO 2009/028010 A1



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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

### 位相同期発振器及びそれを備えたレーダ装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、位相同期発振器及びその制御方法に関し、更に詳しくは、FM-CWレーダなどのレーダ装置に好適な位相同期発振器及びそれを備えたレーダ装置に関する。

#### 背景技術

[0002] FM-CW(Frequency Modulated Continuous Wave)レーダは、例えば、自動車に搭載され、衝突防止や車間距離制御などの機能に適用されている。

[0003] 図1は、FM-CWレーダの基本構成を示す図である。発振部のファンクションジェネレータFGは、例えば500Hz程度の三角波上の変調信号(制御電圧)を生成し、この三角波でVCOに周波数変調をかける。VCOより出力される周波数変調信号は、送信信号としてアンテナから放射される。目標物に当たって反射した信号はアンテナで受信され、ミキサで送信信号と受信信号をミキシングすることでビート信号が得られ、ビート信号を解析することで、目標物までの距離及び相対速度を求めることができる。

[0004] FM-CWレーダで重要なことは、周波数変調信号の中心周波数を基準にして、その最大及び最小周波数偏移が変化しないこと、そして、周波数が時間とともに直線的(リニア)に変化することが必要である。しかしながら、一般に、VCOの周波数変調特性はリニアではない。

[0005] 図2は、VCOの周波数変調特性を説明する図である。図2(a)は、VCOの周波数変調特性を示す図であって、制御電圧に対して、出力周波数がリニアに変化しない。従って、図2(b)に示すように、発振周波数がリニアに変化する正確な三角波状の周波数変調信号を出力させるためには、図2(c)に示すように、三角波状の制御電圧の傾斜(変化率)を補正する必要がある。具体的には、中心周波数 $f_0$ 、下限周波数 $f_1$ 、上限周波数 $f_2$ の

リニアに変化する三角波を発振させる場合、例えば、図2(c)に示すように、中心周波数  $f_0$  に対応する制御電圧  $V_0$  と下限周波数  $f_1$  に対応する制御電圧  $f_1$  との間(区間A、D)の傾斜と、中心周波数  $f_0$  と上限周波数  $f_2$  との間(区間B、C)の傾斜とを変えることにより、VCOの周波数変調特性を補正することができる。

[0006] 出力周波数をリニアに変化させるリニアリティ校正手段として、従来は、例えば、工場出荷時に、VCOの周波数変調特性に対する補正データを作成し記憶させておき、制御電圧を補正データによって補正することが知られている。また、目標物からの受信信号を利用して、VCOの周波数変調特性を検出する手法が知られている(特許文献1)。

[0007] また、VCOの周波数変調特性は、リニアな特性を有していないことに加え、さらに、温度変化や経時変化に対して変化する。

[0008] 図3は、VCOの周波数変調特性の変化を説明する図である。図3(a)に示すように、温度変化や経時変化によりVCOの周波数変調特性が変化すると、変化前と変化後とにおいて、同一の周波数特性(中心周波数、周波数偏移)を有する周波数変調信号(図3(b))を出力するには、図3(c)に示すように、その変化に応じて制御電圧を補正する必要がある。

[0009] 温度変化に対応するためには、各温度毎に制御電圧の補正データをあらかじめ作成する必要があるが、データ量が膨大となり、温度センサも必要となる。また、補正精度も低い。さらに、経時変化については、補正データを記憶しておく方式では対応できず、リアルタイムに周波数変調特性の変化を検出することはできない。

特許文献1：特開2003-28951号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0010] そこで、本発明の目的は、温度変化や経時変化などによるVCOの周波数変調特性の変動によらず、簡単な構成及び制御で常に高安定なVCO出力が得られる位相同期発振器及びそれを備えたレーダ装置を提供することにある

。

[0011] また、本発明の更なる目的は、レーダ動作中においても、リアルタイムにVCOの周波数変調特性の変化を検出し、その変化に応じてリアルタイムに周波数変調特性を補正し、リニアリティ校正を実施できる位相同期発振器及びそれを備えたレーダ装置を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0012] 上記目的を達成するための本発明の位相同期発振器の第一の構成は、基準信号と第一の比較信号の位相を比較し、位相差に応じた位相誤差信号を出力する第一の位相比較器と、前記第一の位相比較器の位相誤差信号の交流成分をカットする第一のローパスフィルタと、前記第一のローパスフィルタからの出力信号に応じて制御電圧を制御し、所定の制御ステップ毎に制御電圧を出力する制御部と、前記制御電圧に従って、所定の中心周波数から所定の周波数偏移分所定周期で周波数が増加する周波数変調信号を発生する電圧制御発振器と、前記電圧制御発振器の周波数変調信号を分周して前記第一の比較信号を形成する第一の可変分周器とを有するPLLループを備え、前記制御部は、前記位相誤差信号に基づいて、あらかじめ設定された基準中心周波数及び基準周波数偏移で変調された基準周波数変調信号に対する制御ステップ毎の前記周波数変調信号の周波数誤差を検出する誤差検出手段と、前記検出された周波数誤差に基づき、前記制御電圧を補正する補正手段とを備えることを特徴とする。

[0013] 本発明の位相同期発振器の第二の構成は、上記第一の構成において、前記誤差検出手段は、前記電圧制御発振器から前記基準周波数変調信号が出力された場合の前記位相比較器から出力される基準位相誤差信号と、前記位相比較器から実際に出力される位相誤差信号との差分を求め、さらに当該差分の変化率に基づいて前記周波数変調信号の周波数誤差を検出することを特徴とする。

[0014] 本発明の位相同期発振器の第三の構成は、上記第二の構成において、前記補正手段は、前記周波数変調信号の所定区間の周波数誤差の平均値を算出し

、当該平均値が所定のオフセット値になるように、制御電圧を補正することを特徴とする。

[0015] 本発明の位相同期発振器の第四の構成は、上記第三の構成において、前記補正手段は、前記オフセット値を0とすることにより、前記周波数変調信号の中心周波数を補正することを特徴とする。

[0016] 本発明の位相同期発振器の第五の構成は、上記第三の構成において、前記補正手段は、前記オフセット値を0以外の所定値とすることにより、前記可変分周器の分周数を変えずに、前記周波数変調信号の中心周波数を変化させることを特徴とする。

[0017] 本発明の位相同期発振器の第六の構成は、上記第二の構成において、前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における少なくとも2つの周波数誤差の比較に基づいて、制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることにより、前記周波数変調信号の周波数偏移を補正することを特徴とする。

[0018] 本発明の位相同期発振器の第七の構成は、上記第六の構成において、前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における第一の区間の周波数誤差の最大値と最小値の平均値と第二の区間の周波数誤差の最大値と最小値の平均値とが等しくなるように、制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることを特徴とする。

[0019] 本発明の位相同期発振器の第八の構成は、上記第六の構成において、前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における第一の区間に含まれる所定の2つの周波数誤差が等しくなるように、前記第一の区間における制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させ、前記周波数変調信号の1周期内における第二の区間に含まれる所定の2つの周波数誤差が等しくなるように、前記第二の区間における制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることを特徴とする。

[0020] 本発明の位相同期発振器の第九の構成は、上記第六の構成において、前記補正手段は、前記周波数変調信号の制御ステップ毎の周波数誤差に基づいて

、制御ステップ毎の制御電圧の変化率に従って出力される制御電圧を制御ステップ毎に変化させることを特徴とする。

[0021] 本発明の位相同期発振器の第十の構成は、上記第二の構成において、前記補正手段は、前記制御電圧の変化率に対応する前記周波数変調信号の周波数変化率に対応する前記電圧制御発振器の変調感度に応じて、前記周波数誤差に対応する制御電圧の補正值を算出し、当該補正值を用いて前記制御電圧を補正することを特徴とする。

[0022] 本発明の位相同期発振器の第十一の構成は、上記第二の構成において、前記制御部は、さらに、前記周波数誤差が所定の許容範囲を超えているか判定し、超えている場合に、前記電圧制御発振器からの周波数変調信号の出力を停止する警告手段を備えることを特徴とする。

[0023] 本発明の位相同期発振器の第十二の構成は、上記第一の構成において、前記位相誤差信号における前記周波数変調信号の所定周期に対応する周波数成分を通過させる第二のローパスフィルタを有し、前記第二のローパスフィルタの出力信号は、前記制御部に入力され、前記誤差検出手段は、前記第二のローパスフィルタの出力信号に基づいて、前記周波数誤差を検出することを特徴とする。

[0024] 本発明の位相同期発振器の第十三の構成は、上記第一の構成において、基準信号と第二の比較信号の位相を比較し、位相差に応じた位相誤差信号を出力する第二の位相比較器と、該電圧制御発振器の周波数変調信号を、前記第一の可変分周器の分周数と異なる分周数により分周して前記第二の比較信号を形成する第二の可変分周器と前記第二の位相比較器からの位相誤差信号における前記周波数変調信号の所定周期に対応する周波数成分を通過させる第二のローパスフィルタとを有し、前記第二のローパスフィルタの出力信号は、前記制御部に入力され、前記誤差検出手段は、前記第二のローパスフィルタの出力信号に基づいて、前記周波数誤差を検出することを特徴とする。

[0025] 本発明のレーダ装置は、上記第一乃至第十三の構成のいずれかの位相同期発振器を有することを特徴とする。また、レーダ装置は、好ましくは、FM

－CWレーダ又は2周波CWレーダである。

### 発明の効果

[0026] 本発明によれば、レーダ動作を止めることなく、レーダ動作中において、周波数変調特性の変化を検出し、その変化に応じた周波数誤差をリアルタイムに補正することができ、レーダ動作中におけるリアルタイムのリニアリティ校正が可能となる。

### 図面の簡単な説明

- [0027] [図1] FM-CWレーダの基本構成を示す図である。
- [図2] VCOの周波数変調特性を説明する図である。
- [図3] VCOの周波数変調特性の変化を説明する図である。
- [図4] 本発明の実施の形態における位相同期発振器の第一の構成例を示す図である。
- [図5A] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）を説明するための図である。
- [図5B] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）を説明するための図である。
- [図5C] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）を説明するための図である。
- [図5D] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）を説明するための図である。
- [図5E] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）を説明するための図である。
- [図6A] 基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）を説明するための図である。
- [図6B] 基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）を説明するための図である。
- [図6C] 基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）を説明するための図である。

[図6D] 基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）を説明するための図である。

[図6E] 基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）を説明するための図である。

[図7A] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）を説明するための図である。

[図7B] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）を説明するための図である。

[図7C] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）を説明するための図である。

[図7D] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）を説明するための図である。

[図7E] 基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）を説明するための図である。

[図8A] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第一の補正方法を説明する図である。

[図8B] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第一の補正方法を説明する図である。

[図8C] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第一の補正方法を説明する図である。

[図9A] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第二の補正方法を説明する図である。

[図9B] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第二の補正方法を説明する図である。

[図9C] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第二の補正方法を説明する図である。

[図10A] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第三の補正方法を説明する図である。

[図10B] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第三の補正方法を説明する図である。

[図10C] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第三の補正方法を説明する図である。

[図11A] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第四の補正方法を説明する図である。

[図11B] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第四の補正方法を説明する図である。

[図11C] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第四の補正方法を説明する図である。

[図12] 中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出方法及びそれに対する補正方法の実施タイミングを説明する図である。

[図13] 本発明の実施の形態における位相同期発振器の第二の構成例を示す図である。

[図14] 本発明の実施の形態における位相同期発振器の第三の構成例を示す図である。

[図15A] 2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例（例4）を説明するための図である。

[図15B] 2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例（例4）を説明するための図である。

[図15C] 2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例（例4）を説明するための図である。

[図15D] 2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例（例4）を説明するための図である。

[図15E] 2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例（例4）を説明するための図である。

## 符号の説明

[0028] 10 : クロック発振器、20 : 位相比較部、21 : 分周器、22 : 分周器

、 23 : 位相比較器 (PD)、 31 : LPF、 32 : LPF、 40 : プロセッサユニット (PU)、 41 : A/D、 42 : A/D、 43 : CPU、 44 : D/A、 50 : 電圧制御発振器、 60 : RFスイッチ

### 発明を実施するための最良の形態

[0029] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。しかしながら、かかる実施の形態例が、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

[0030] FM-CWレーダの運用開始後の任意の時間において、温度変化や経時変化により変化するVCOの周波数変調特性を求め、それに対応して、VCOの出力周波数のリニアリティ校正を行う。リニアリティ校正方法の原理は、端的に述べると、任意の時間において、出力周波数における中心周波数  $f_0$ 、下限周波数  $f_1$  及び上限周波数  $f_2$  それぞれにおいて、位相同期発振器 (PLL) をロックし、各周波数に対応する制御電圧  $V_0$ 、 $V_1$ 、 $V_2$  を測定する。周波数変調特性が変化した場合でも、中心周波数などに対応する制御電圧を直接測定することで、周波数変調特性の変化を検出することができる。そして、測定された各周波数の制御電圧間の周波数変化率 (変調感度) を求め (例えば直線近似)、この周波数変化率を用いて、測定された周波数の間の周波数に対応する制御電圧を求めることで、出力周波数のリニアリティ校正が実現される。この手法によれば、測定する周波数間隔を細かくすればするほど、周波数変化率の精度が向上し、出力周波数の変化をよりリニアにすることができる。

[0031] 上述したリニアリティ校正方法は、任意の時間に実施できるが、実施する場合は、レーダ動作を停止する必要がある。自動車の走行中は、レーダ動作を停止することはできないので、例えば、エンジンスタート直後のレーダ動作開始前に、実施されることが想定される。

[0032] しかしながら、自動車走行中はレーダ装置自体が振動・温度変化にさらされる環境で、常にVCOの周波数変調特性が変化する可能性のある環境であり、自動車走行前にリニアリティ校正を実施しても、走行中に、周波数変調特性が変化すると、レーダ動作の測定誤差が生じたり、誤作動が生じるおそ

れがある。

- [0033] そこで、以下、レーダ動作中においても、リアルタイムに周波数変調特性の変化を検出し、その変化に応じてリアルタイムに周波数変調特性を補正し、リニアリティ校正を実施できる位相同期発振器の構成について説明する。
- [0034] 図4は、本発明の実施の形態における位相同期発振器の第一の構成例を示す図である。図4において、クロック発振器10は、PLLの基準クロック信号CKを発生する。位相比較部20は、クロック信号CKを分周する分周器(1/N<sub>r</sub>)21、VCO出力を分周する分周器(1/N<sub>c</sub>)22及び分周器21からの基準信号と分周器22からの比較信号を比較し、その位相誤差に応じた電圧信号(位相誤差信号)を出力する位相比較器(PD)23を備える。
- [0035] ローパスフィルタ(LPF)31は位相比較器13から出力される位相誤差信号から三角波の周期に対応する周波数より高周波成分をカットし、三角波の周波数成分は通過させるローパスフィルタであり、その後段に接続するローパスフィルタ(LPF)32は、三角波の周波数成分もカットし(交流成分をカットし)、位相誤差信号を積分するローパスフィルタ(LPF)である。
- [0036] プロセッサユニット(PU)40は本発明の制御部に相当し、A/D変換器41は、LPF31から出力される位相誤差信号V<sub>pd1</sub>をサンプリングし、A/D変換器42は、LPF32から出力される位相誤差信号V<sub>pd2</sub>をサンプリングする。
- [0037] CPU43は、LPF32からの位相誤差信号V<sub>pd2</sub>に基づいて、電圧制御発振器(以下、単に、VCOという)50に供給するための制御電圧を生成し、D/A変換器44はCPU15出力の制御電圧をアナログの制御電圧V<sub>c</sub>に変換する。VCO50は、制御電圧V<sub>c</sub>に対応する周波数の発振信号を出力する。RFスイッチ(SW)60は、VCO50の出力を通過/遮断するスイッチである。
- [0038] なお、レーダ動作開始前において、上述したリニアリティ校正方法により

、三角波変調における中心周波数、下限周波数及び上限周波数に対応する制御電圧を測定し、さらに各周波数の制御電圧間の周波数変化率（変調感度）もあらかじめ求められ、レーダ動作中において、CPU 43が生成する制御電圧は、当該測定された制御電圧及び変調感度に基づいて生成する。

[0039] さらに、本発明では、CPU 43は、LPF 31からの位相誤差信号Vpd1に基づいて、以下に詳細に説明するように、レーダ動作中において、VCO 50の周波数変調特性の変化をリアルタイムに検出し、その変化に基づいて、ステップ毎の制御電圧を随時補正することで、リアルタイムのリニアリティ校正を実現する。

[0040] まず、VCOの周波数変調特性の変化を検出する原理について説明する。本発明では、VCOの周波数変調特性の変化により生じるVCOの出力周波数の周波数誤差（中心周波数誤差及び周波数偏移誤差）を検出する。検出はCPU 43により実行される。以下、基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差を算出する例（例1）、基準に対するVCOの出力周波数の周波数偏移誤差を算出する例（例2）、基準に対するVCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の両方を算出する例（例3）について順に説明する。

[0041] 図5A－図5Eは、例1を説明する図である。例1は、図5Aに示すように、VCOの出力周波数の中心周波数が、基準と比較して1.0MHz高い場合であり、周波数偏移は、基準と同じく10MHzである。ここでは、出力周波数の中心周波数が1.0MHz高く、周波数偏移には誤差がないことを計算により導く方法を説明する。

[0042] ここでいう基準とは、あらかじめ設定された中心周波数及び周波数偏移であり、例えば、VCOの発振周波数（中心周波数）2.5GHz、周波数偏移10MHz、三角波周波数100Hzとすると、基準の出力周波数は図5Aの点線の波形となる。これに対して、基準の出力周波数より中心周波数が1.0MHz高い波形（周波数偏移誤差なし）が図5Aの実線で示される。

[0043] 位相比較器は、三角波変調された比較周波数（VCOの出力周波数）の基

準周波数に対する位相変化を出力する。基準周波数は、クロック発振器で生成された基準信号を分周した信号であり、その分周された周波数は例えば20kHz程度とすると、VCOの出力周波数の中心周波数も20kHz程度に分周され、位相比較される。比較周波数は、三角波変調されているため、位相比較器は、図5Bに示されるように正弦波状の誤差電圧信号を出力し、図5Bの点線波形は、VCOの出力周波数が基準と同一の場合における位相比較器の誤差電圧信号であり、図5Bの実線波形は、出力周波数の中心周波数が、基準と比較して1.0MHz高い場合（周波数偏移誤差なし）における位相比較器の誤差電圧信号である。すなわち、出力周波数の中心周波数が基準と比較して1.0MHz高い場合（周波数偏移誤差なし）は、基準周波数との位相差が広がっていくため、正弦波状に変化しながら、徐々に出力値が増加していき、基準と同一の場合の出力値と比較して、その差が大きくなっていく。

[0044] 図5Cは、図5Bの点線波形と実線波形の差分を示し、VCOの出力周波数の中心周波数が基準と比較して1.0MHz高い場合（周波数偏移誤差なし）の誤差電圧信号の基準に対する差分を表す。図5Cによれば、直線的に位相差が広がっていくことがわかる。

[0045] 図5Dは、図5Cで求めた差分値を微分した結果を示す。具体的には、微小区間 $\Delta t$ を三角波の分解能（100Hzを例えば40ステップでカウント）とし、誤差電圧（ $V_e$ ）の変化（微分値） $V_e'(n)$ を求める。

[0046]  $V_e'(n) = V_e(n) - V_e(n-1)$ （ $n$ はステップ番号）

が計算され、例1の場合、位相差が直線的に変化していくので（図5C）、誤差電圧の変化（微分値）は一定となる。

[0047] 誤差電圧の変化（微分値）を求めると、次に、求めた微分値を位相比較器の感度 $K_d$ (V/Hz)を用いて次式により周波数変化 $\Delta f(n)$ に変換する。

[0048]  $\Delta f(n) = (V_e'(n)/K_d)/\Delta t$ （ $n$ はステップ番号）

図5Eは、上式により算出された例1の場合の周波数変化を示し、VCOの出力周波数が基準と比較してどのステップにおいても+1MHzずれていることから、中心周波数が+1MHzずれており、周波数偏移に誤差はないことがわかる

。このように、位相比較器の出力（図5B）を基準と比較しその差分を求め、その差分の微分結果から、中心周波数誤差を検出することができる。

[0049] 図5Eの周波数変化を変調感度 $K_v$ （例えば、 $K_v=10\text{MHz/V}$ ）で除算することにより、周波数変化に対応する制御電圧補正量 $\Delta V_{\text{cont}}$ を求めることができる。すなわち、各ステップにおける制御電圧補正量 $\Delta V_{\text{cont}}(n)$ は、

$$\Delta V_{\text{cont}}(n) = \Delta f(n) / K_v \quad (n \text{はステップ番号})$$

となり、三角波の1周期の平均値に対する制御電圧補正量 $\Delta V_{\text{cont}}$ は、

$$\Delta V_{\text{cont}} = (\Delta f(1) + \Delta f(2) + \dots + \Delta f(n)) / K_v / n \quad (n \text{はステップ番号})$$

となる。後述では、一例として、検出された周波数誤差（中心周波数誤差及び周波数偏移誤差）に対して、一定の補正量により制御電圧値をずらしていくフィードバック制御を行う例について説明するが、制御電圧補正量 $\Delta V_{\text{cont}}$ が直接求められることにより、求められた制御電圧補正量 $\Delta V_{\text{cont}}$ 分だけ制御電圧を変化させることにより、よりすばやく補正することが可能となる。

[0050] 図6A-図6Eは、例2を説明する図である。例2は、図6Aに示すように、VCOの出力周波数の周波数偏移が、基準と比較して1.0MHz少ない場合であり、中心周波数の誤差はない場合である。ここでは、中心周波数に誤差はなく、周波数偏移が1MHz少ないことを計算により導く方法を説明する。基準は、例1の場合と同様に、例えば、VCOの発振周波数（中心周波数）2.5GHz、周波数偏移10MHz、三角波周波数100Hzとすると、基準の出力周波数は図6Aの点線の波形となる。これに対して、基準の出力周波数よりその周波数偏移が1.0MHz少ない波形（中心周波数誤差なし）が図6Aの実線で示される。

[0051] 図6Bは、図6Aの点線及び実線に対応する位相比較器の出力（誤差電圧信号）を示し、図6Bの点線波形は、VCOの出力周波数が基準と同一の場合における位相比較器の誤差電圧信号であり、図6Bの実線波形は、出力周波数の周波数偏移が、基準と比較して1.0MHz少ない場合（中心周波数誤差なし）における位相比較器の誤差電圧信号である。すなわち、出力周波数の周波数偏移が基準と比較して1.0MHz少ない場合（中心周波数誤差なし）は、基

準周波数との位相変化が、基準と比較して小さいため、正弦波の振幅が基準の場合と比較して小さい。

- [0052] 図6Cは、図6Bの点線波形と実線波形の差分を示し、VCOの出力周波数の周波数偏移が基準と比較して1.0MHz少ない場合（中心周波数誤差なし）の誤差電圧信号の基準に対する差分を表す。図6Cによれば、差分は、正弦波状に周期的に変化することがわかる。
- [0053] 図6Dは、図6Cで求めた差分値を微分した結果を示す。微分の計算方法は、例1の場合と同様であり、誤差電圧（ $V_e$ ）の変化（微分値） $V_e'(n)$ を求める。例2の場合、位相差が正弦波状に周期的に変化していくので（図6C）、誤差電圧の変化（微分値）は三角波状に周期的に変化する。
- [0054] 誤差電圧の変化（微分値）を求めると、例1の場合と同様にして、求めた微分値を位相比較器の感度 $K_d$ (V/Hz)を用いて周波数変化 $\Delta f(n)$ に変換する。
- [0055] 図6Eは、例2の場合の周波数変化を示し、VCOの出力周波数が基準と比較して、中心周波数部分で誤差はなく、最大周波数偏移部分で+1MHzずれていることから、中心周波数に誤差はなく、周波数偏移が1.0MHz少ないことがわかる。このように、位相比較器の出力（図6B）を基準と比較しその差分を求め、その差分の微分結果から、周波数偏移誤差を検出することができる。また、図6Eの場合も、図5Eで説明したように、周波数誤差量に対応した制御電圧補正量 $\Delta V_{cont}$ を求めることができる。
- [0056] 図7A－図7Eは、例3を説明する図である。例3は、図7Aに示すように、VCOの出力周波数の中心周波数が基準と比較して1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合である。すなわち、上記例1及び例2を組み合わせた場合であり、中心周波数が1MHz高く、周波数偏移が1MHz少ないことを計算により導く方法を説明する。基準は、例1及び2の場合と同様に、例えば、VCOの発振周波数（中心周波数）2.5GHz、周波数偏移10MHz、三角波周波数100Hzとすると、基準の出力周波数は図7Aの点線の波形となる。これに対して、基準の出力周波数よりその中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない波形が図7Aの実線で示される。

- [0057] 図7Bは、図7Aの点線及び実線に対応する位相比較器の出力（誤差電圧信号）を示し、図7Bの点線波形は、VCOの出力周波数が基準と同一の場合における位相比較器の誤差電圧信号であり、図7Bの実線波形は、出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合における位相比較器の誤差電圧信号である。すなわち、出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合は、例1のように、基準周波数との位相差が広がっていくため、正弦波状に変化しながら、徐々に出力値が増加していき、基準の出力値との差が大きくなっていくとともに、基準周波数との位相変化が、基準と比較して小さいため、正弦波の振幅が基準の場合と比較して小さくなる。
- [0058] 図7Cは、図7Bの点線波形と実線波形の差分を示し、VCOの出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合の誤差電圧信号の基準に対する差分を表す。図7Cによれば、差分は、正弦波状に周期的に変化しながら、その大きさが徐々に増加していくことがわかる。
- [0059] 図7Dは、図7Cで求めた差分値を微分した結果を示す。微分の計算方法は、例1の場合と同様であり、誤差電圧 ( $V_e$ ) の変化（微分値） $V_e'(n)$  を求める。例3の場合、位相差が正弦波状に周期的に変化していくとともに、差分値が増加していくので（図7C）、誤差電圧の変化（微分値）は、三角波状に周期的に変化するとともに、その中心電圧が一定値(0.025V)分ずれている。
- [0060] 誤差電圧の変化（微分値）を求めると、例1の場合と同様にして、求めた微分値を位相比較器の感度 $K_d(V/Hz)$ を用いて周波数変化 $\Delta f(n)$ に変換する。
- [0061] 図7Eは、例3の場合の周波数変化を示し、VCOの出力周波数が基準と比較して、中心周波数部分で+1MHzの誤差が生じ、且つ最大周波数偏移部分で+1MHzずれていることから、基準に対して、VCOの出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ないことがわかる。このように、位相比較器の出力（図7B）を基準と比較しその差分を求め、その差分の微分結果から、中心周波数誤差と周波数偏移誤差の両方を検出することができる。

また、図7Eの場合も、図5Eで説明したように、周波数誤差量に対応した制御電圧補正量 $\Delta V_{cont}$ を求めることができる。

[0062] 上記のとおり、位相比較器の出力から、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差が検出する方法について説明したが、この検出方法は、レーダ動作中に実施可能であり、CPU43は、図4におけるLPF31を通過した位相比較器20の出力に基づいて、VCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する。

[0063] 次に、上述の検出方法で検出された中心周波数誤差及び周波数偏移誤差に基づいて、リアルタイムに周波数変調特性を補正する方法について説明する。CPU43は、VCO50に供給する制御電圧を制御して、VCO50からの出力周波数を制御する。従って、以下に説明する補正方法では、初期値としてあらかじめ与えられている中心周波数の制御電圧及び1ステップあたりの制御電圧の変化率を、検出された中心周波数誤差及び周波数偏移誤差に基づいて補正する。なお、以下において、1ステップあたりの制御電圧の変化率を傾斜 $K_c$  (V/step)と称する。三角波を1周期あたり40ステップで制御し、出力周波数が中心周波数に対して $\pm 10$ MHz偏移する場合、傾斜 $K_c$ は出力周波数を0.5MHz変化させるための制御電圧に相当することとなる。

[0064] 傾斜 $K_c$  (V/step)と変調感度 $K_v$  (MHz/V)は、

$$\text{傾斜 } K_c \text{ (V/step)} = \frac{1 \text{ ステップあたりの周波数変化量 (MHz/step)}}{\text{変調感度 } K_v \text{ (MHz/V)}}$$

の関係にあり、1ステップあたりの周波数変化量 (MHz/step)は、基準となる三角波の振幅（最大周波数偏移）、周期から求まる定数となることから、傾斜 $K_c$ を補正することで、実質的に変調感度 $K_v$ を補正することになる。

[0065] 補正の原理は、中心周波数誤差が0になるように、中心周波数の制御電圧を補正し、また、周波数偏移誤差が0になるように、傾斜 $K_c$ を補正することである。

[0066] 図8A-8Cは、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第一の補正方法を説明する図である。第一の補正方法は、三角波の1周期分にわたっ

て一つの傾斜 $Kc1$ が設定されている場合の補正方法である。

[0067] 図8Aは、VCO50の周波数変調特性の例を示す図であり、周波数変調特性は、図示されるように、制御電圧に対して直線的ではないが、この周波数変調特性を近似する傾斜 $Kc1$ の初期値をあらかじめ設定しておく。また、中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center$ の初期値もあらかじめ設定しておく。

[0068] 上述した方法により、位相比較器の出力から、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差が検出されると、CPU43は、次の制御に従って、中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center$ と傾斜 $Kc1$ を補正する。

[0069] (1-1) 中心周波数の補正

図8Bは、三角波の波形を示す図であり、点線は、基準の三角波の波形であり、実線は、第一の補正方法により補正された三角波の波形である。図8Cは、基準との周波数誤差の例を示す図であり、三角波1周期における平均周波数誤差 $C$ がオフセット値0になるように制御電圧値 $Vc\_center$ を制御する。具体的には、フィードバック制御により、検出された中心周波数誤差の三角波1周期分の平均値 $C$ が小さくなる方向に中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center$ を所定値ずつオフセットし、平均値 $C$ がオフセット値0になるように制御電圧値 $Vc\_center$ を制御する。

[0070] (1-2) 周波数偏移の補正

例えば図8Cに示すような周波数誤差が発生した場合において、三角波の下凸部分(1-20ステップ)における周波数誤差の最大値と最小値の平均値 $A$ (図8CのA)と上凸部分(21-40ステップ)における周波数誤差の最大値と最小値の平均値 $B$ (図8のB)とを比較し、両平均値 $A$ と $B$ が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜 $Kc1$ を所定値ずつ変化させる。具体的には、平均値 $A >$  平均値 $B$ の場合は、傾斜 $Kc1$ を大きくするように制御し、平均値 $A <$  平均値 $B$ の場合は、傾斜 $Kc1$ を小さくするように制御する。

[0071] 上述の方法により、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差が補正され、図8Bの実線波形の三角波となる。

[0072] なお、第一の補正方法では、周波数変調特性を一本の傾斜 $Kc1$ で近似してい

るため、リニアリティ補正は行われず、周波数偏移誤差は、最大-10%、最小-2%（誤差幅8.0ポイント）となっている。

[0073] 図9A-9Cは、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第二の補正方法を説明する図である。第二の補正方法は、三角波の1周期における下凸部分の区間（中心周波数より周波数が低い区間）と上凸部分の区間（中心周波数より周波数が高い区間）に対してそれぞれ異なる傾斜 $Kc1$ 、 $Kc2$ が設定されている場合の補正方法である。

[0074] 図9Aは、VCO50の周波数変調特性の例を示す図であり、図8Aと同一である。この周波数変調特性に対して、第二の補正方法では、三角波の下凸部分の制御電圧の傾斜 $Kc1$ 、上凸部分の制御電圧の傾斜 $Kc2$ それぞれをそれぞれ定義し、その初期値をあらかじめ設定しておく。また、中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center$ の初期値もあらかじめ設定しておく。制御電圧値 $Vc\_center$ の初期値は、三角波の下凸部分及び上凸部分の各区間で同一である。

[0075] (2-1) 中心周波数の補正

図9Bは、三角波の波形を示す図であり、点線は、基準の三角波の波形であり、実線は、第二の補正方法により補正された三角波の波形であり（図面上、点線と実線がほぼ重なっているが、厳密な差分が存在する）、図9Cは、基準との周波数誤差の例を示す図である。第二の補正方法では、中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center$ の補正も、三角波の下凸部分と上凸部分とに分けて補正する。

[0076] すなわち、三角波の下凸部分の平均周波数誤差 $C$ が0になるように、当該区間の制御電圧値 $Vc\_center\_A$ を制御し、三角波の上凸部分の平均周波数誤差 $C'$ がオフセット値0になるように、当該区間の制御電圧値 $Vc\_center\_B$ を制御する。具体的には、フィードバック制御により、検出された中心周波数誤差の三角波上凸部分の平均値 $C$ と下凸部分の平均値 $C'$ それぞれが小さくなる方向に中心周波数に対する制御電圧値 $Vc\_center\_A$ 及び $Vc\_center\_B$ を所定値ずつオフセットし、それぞれがオフセット値0になるように制御電圧値 $Vc\_center\_A$ 及び $Vc\_center\_B$ を制御する。

[0077] (2-2) 周波数偏移の補正

例えば図9Cに示すような周波数誤差が発生した場合において、三角波の下凸部分(1-20ステップ)をさらに上下半分に区分し、下凸部分の上半分(1-5ステップ, 16-20ステップ)における中心周波数付近の周波数誤差Aと下凸部分の下半分(6-15ステップ)における最大周波数偏移付近の周波数誤差Bが等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜Kc1を所定値ずつ変化させる。具体的には、値A<値Bの場合は、傾斜Kc1を大きくするように制御し、値A>値Bの場合は、傾斜Kc1を小さくするように制御する。

[0078] さらに、同様の制御を三角波の上凸部分についても実施する。すなわち、三角波の上凸部分(21-40ステップ)をさらに上下半分に区分し、上凸部分の下半分(21-25ステップ, 36-40ステップ)における中心周波数付近の周波数誤差A'と上凸部分の上半分(26-35ステップ)における最大周波数偏移付近の周波数誤差B'が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜Kc2を所定値ずつ変化させる。具体的には、値A'>値B'の場合は、傾斜Kc2を大きくするように制御し、値A'<値B'の場合は、傾斜Kc2を小さくするように制御する。

[0079] 上述の方法により、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差が補正され、図9Bの実線波形の三角波となる。

[0080] なお、第二の補正方法では、周波数変調特性を2本の傾斜Kc1、Kc2で近似しているため、リニアリティ補正がかかり、周波数偏移誤差は、最大+1.0%、最小-1.7%(誤差幅2.7ポイント)となり、図8Cの場合と比較して、誤差幅が小さく収まっている。

[0081] 図10A-10Cは、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を補正する第三の補正方法を説明する図である。第三の補正方法は、三角波の1周期における下凸部分の上半分の区間(1-5, 16-20ステップ)と下半分の区間(6-15ステップ)、上凸部分の下半分の区間(21-25, 36-40ステップ)と上半分の区間(26-35ステップ)それぞれに対してそれぞれ異なる傾斜Kc1、Kc2、Kc3、Kc4が設定されている場合の補正方法である。

[0082] なお、傾斜Kc1区間における1-5ステップ区間と16-20ステップ区間は、その周波数変化が互いに対称関係にあるので（変化方向が異なるのみ）、いずれか一方の区間の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出すれば足り、以下の説明では、傾斜Kc1区間は、1-5ステップ区間を指すものとする。同様に、傾斜Kc2区間は、6-10ステップ区間を指し、傾斜Kc3区間は、21-25区間を指し、傾斜Kc4区間は26-30区間を指すものとする。

[0083] 図10Aは、VCO50の周波数変調特性の例を示す図であり、図8A及び図9Aと同一である。この周波数変調特性に対して、第三の補正方法では、三角波1周期を4分割した上述の区間それぞれに対して4つの傾斜Kc1、Kc2、Kc3、Kc4をそれぞれ定義し、その初期値をあらかじめ設定しておく。また、中心周波数に対する制御電圧値Vc\_centerの初期値もあらかじめ設定しておく。制御電圧値Vc\_centerの初期値は、三角波の上記各区間で同一である。

[0084] (3-1) 中心周波数の補正

図10Bは、三角波の波形を示す図であり、点線は、基準の三角波の波形であり、実線は、第三の補正方法により補正された三角波の波形である（図面上、点線と実線がほぼ重なっているが、厳密な差分が存在する）。図10Cは、基準との周波数誤差の例を示す図である。第三の補正方法では、第二の補正方法よりも更に細かく三角波を区分して補正するが、その補正原理は上記補正方法と同様である。すなわち、三角波の傾斜Kc1の区間（下凸部分の上半分）の平均周波数誤差Cが0になるように制御電圧値Vc\_center\_Aを制御し、三角波の傾斜Kc2の区間（下凸部分の下半分）の平均周波数誤差C'が0になるように制御電圧値Vc\_center\_Bを制御し、三角波の傾斜Kc3の区間（上凸部分の下半分）の平均周波数誤差C''が0になるように制御電圧値Vc\_center\_Cを制御し、三角波の傾斜Kc4の区間（上凸部分の上半分）の平均周波数誤差C'''が0になるように制御電圧値Vc\_center\_Dを制御する。具体的には、フィードバック制御により、各区間における検出された中心周波数誤差の各平均値C、C'、C''、C'''それぞれが小さくなる方向に中心周波数に対する制御電圧値Vc\_center\_A~Vc\_center\_Dを所定値ずつオフセット

し、それぞれがオフセット値0になるように制御電圧値 $V_{c\_center\_A} \sim V_{c\_center\_D}$ を制御する。

[0085] (3-2) 周波数偏移の補正

例えば図10Cに示すような周波数誤差が発生した場合において、三角波の傾斜 $K_{c1}$ 区間(1-5ステップ)における区間先頭(1ステップ目)の周波数誤差 $A$ と区間最後尾(5ステップ目)の周波数誤差 $B$ が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜 $K_{c1}$ を所定値ずつ変化させる。具体的には、値 $A < 値B$ の場合は、傾斜 $K_{c1}$ を大きくするように制御し、値 $A > 値B$ の場合は、傾斜 $K_{c1}$ を小さくするように制御する。

[0086] さらに、同様の制御を三角波の傾斜 $K_{c2}$ 区間、傾斜 $K_{c3}$ 区間、傾斜 $K_{c4}$ 区間についても実施する。すなわち、三角波の傾斜 $K_{c2}$ 区間(6-10ステップ)における区間先頭(6ステップ目)の周波数誤差 $A'$ と区間最後尾(10ステップ目)の周波数誤差 $B'$ が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜 $K_{c2}$ を所定値ずつ変化させる。

[0087] また、三角波の傾斜 $K_{c3}$ 区間(21-25ステップ)における区間先頭(21ステップ目)の周波数誤差 $A''$ と区間最後尾(25ステップ目)の周波数誤差 $B''$ が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜 $K_{c3}$ を所定値ずつ変化させる。

[0088] さらに、三角波の傾斜 $K_{c4}$ 区間(26-30ステップ)における区間先頭(26ステップ目)の周波数誤差 $A'''$ と区間最後尾(30ステップ目)の周波数誤差 $B'''$ が等しくなる方向に、フィードバック制御により傾斜 $K_{c4}$ を所定値ずつ変化させる。具体的には、値 $A' < 値B'$ の場合は、傾斜 $K_{c2}$ を大きくするように制御し、値 $A' > 値B'$ の場合は、傾斜 $K_{c2}$ を小さくするように制御する。そして、値 $A'' < 値B''$ の場合は、傾斜 $K_{c3}$ を大きくするように制御し、値 $A'' > 値B''$ の場合は、傾斜 $K_{c3}$ を小さくするように制御する。そして、値 $A''' < 値B'''$ の場合は、傾斜 $K_{c4}$ を大きくするように制御し、値 $A''' > 値B'''$ の場合は、傾斜 $K_{c4}$ を小さくするように制御する。

[0089] なお、第三の補正方法では、周波数変調特性を4本の傾斜 $K_{c1}$ 、 $K_{c2}$ 、 $K_{c3}$ 、

Kc4で近似しているため、リニアリティ補正がかかり、周波数偏移誤差は、最大+0.9%、最小-1.7%（誤差幅2.6ポイント）となり、図8Cの場合と比較して、誤差幅が小さく収まっている。

[0090] 図11A-11Cは、中心周波数誤差及び周波数変位誤差を補正する第四の補正方法を説明する図である。図11Aは、VCO50の周波数変調特性の例を示す図であり、図8A、図9A及び図10Aと同一である。また、図11Bは、三角波の波形を示す図であり、点線は、基準の三角波の波形であり、実線は、第四の補正方法により補正された三角波の波形である。図11Cは、第四の補正方法における基準との周波数誤差の例を示す図である。

[0091] 第四の補正方法は、上述の第二又は第三の補正方法のように、三角波を複数区間に分割して、各区間に傾斜Kcの設定は行うことは行わず、検出された周波数誤差に基づいて、CPU43の出力する制御電圧値をステップ毎に補正する（ステップ毎の補正は、実質的に、ステップ毎に分割したことと同義）。具体的には、各ステップ毎に、各ステップにおける周波数誤差に基づいて、周波数が基準より高い（周波数誤差がプラス値）であれば、制御電圧値を所定値分下げ、周波数が基準より低い（周波数誤差がマイナス値）であれば、制御電圧値を所定値分上げる制御が行われる。例えば、CPU43は、1ステップ目において、1ステップ目における周波数誤差のプラス/マイナスを判定して、プラスであれば、1ステップ目に対してあらかじめ設定された制御電圧値を所定値分上げて出力し、マイナスであれば、所定値分下げて出力する。各ステップ毎に、補正が行われるので、上述の第一乃至第三の補正方法よりも精度良く補正することができる。

[0092] また、第四の補正方法では、各ステップ毎の制御電圧値の補正によりリニアリティ補正がかかり、周波数偏移誤差は、最大+1.5%、最小-1.0%（誤差幅2.5ポイント）となり、図8Cの場合と比較して、誤差幅が小さく収まっている。

[0093] 上述において、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出方法及びそれに対する補正方法について説明した。当該検出方法及び補正方法の各プロセス

は、レーダ動作を止めることなく、レーダ動作と並行して実行することができる。

[0094] 図12は、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出方法及びそれに対する補正方法の実施タイミングを説明する図である。図12では、三角波4周期を1ブロックとして、1ブロック毎にPLL動作を行い、且つ1ブロック内で中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出及びそれに対する補正を実行する例を示す。Vcontは、制御電圧値であり三角波変調されている。Vpd2はLPF32からの位相誤差信号であり、Vpd1は、LPF31からの位相誤差信号である。PLL動作は、三角波4周期毎に実施され、PLL動作の間で、本発明における中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出方法及びそれに対する補正方法が実施される。具体的には、CPU43は、PLL動作間の三角波2周期分の位相誤差信号Vpd1を取り込んで（「入力」）、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差の検出を行い（「計算」）、検出結果に基づいて、中心周波数に対する制御電圧値Vc\_center及び傾斜Kcなど各種パラメータの補正値を更新し（「実行」）、CPU43は、更新結果に基づいて制御電圧値を出力する。

[0095] 周波数偏移誤差が所定の許容範囲を超えている場合は、アラームを出力するようにしてもよい。許容範囲は、例えば周波数誤差±2%以内である。周波数偏移誤差が所定の許容範囲を超えている場合は、フィードバック制御によっても修正できない場合が想定され、CPU43は、アラーム信号を出力するとともに、レーダ動作を中断するようにしてもよい。VCOに周波数ジャンプなどの不連続変化が生じた場合に特に有効である。

[0096] また、上述では、周波数誤差の平均周波数Cがオフセット値0となるように、中心周波数に対応する制御電圧値Vc\_centerを制御するが、このオフセット値を変更することで、中心周波数を変更（微調整）することができる。一般的な周波数変更は、分周器の分周数を変更する必要があるが、本実施の形態例では、分周器の分周数を変更することなく、中心周波数の補正を行いながら、中心周波数の変更も可能となる。

[0097] 図13は、本発明の実施の形態における位相同期発振器の第二の構成例を示す図である。第二の構成例は、図4の第一の構成と比較して、位相比較部20を2つ有する構成である。

位相比較部20-1の位相比較器(PD)23-1は、PLLループ用のローパスフィルタ(LPF)32に、位相誤差信号(位相誤差電圧)を出力し、位相比較部20-2の位相比較器(PD)23-2は、本発明における周波数誤差検出用のローパスフィルタ(LPF)31に、位相誤差信号を出力する。位相比較器(PD)において、比較周波数と位相誤差感度は比例することから、PLLループ用と周波数誤差検出用の2つの位相比較部を用い独立して分周数を設定し比較周波数を設定することで、それぞれの用途に応じた最適な位相誤差感度を独立に設定することができる。

[0098] 基準の三角波に対応するVCOの発振周波数2.5GHz、周波数偏移10MHz、三角波周期100Hzとすると、位相比較器(PD)から出力される正弦波状の位相変化は、10 $\mu$ s幅となる。この位相変化に、位相比較器(PD)の位相誤差感度(V/rad)をかけると、位相比較器(PD)の出力である位相誤差電圧が得られる。位相比較器(PD)は、比較周波数に対する位相変化を出力するので、位相変化量が同じでも比較周波数により位相誤差感度(V/rad)が異なる。このため、分周の組み合わせにより比較周波数を変化させることで、位相誤差感度を変えることができる。従って、位相比較部20-1の分周器21-1、22-1の分周数と、位相比較部20-2の分周器21-2、22-2の分周数とを変えることで、位相比較器(PD)23-1と23-2の位相誤差感度を変えることができ、その機能実現のために最適な位相誤差感度を独立に設定することができる。

[0099] 図14は、本発明の実施の形態における位相同期発振器の第三の構成例を示す図である。第三の構成例は、図4の第一の構成と比較して、ローパスフィルタ(LPF)32をデジタルフィルタで構成する例である。ローパスフィルタ(LPF)32をデジタルフィルタとすることで、A/D42を省略することができ、一つのA/D41のみの構成とすることができる。ここで

はローパスフィルタ（LPF）をデジタルで構成する例を示したが、タイムインターバルをカウントするデジタル位相比較器（DPD）を使用しても構成が可能である。位相比較器（PD）、ローパスフィルタ（LPF）については、デジタルでもアナログどちらで構成してもよい。

[0100] 上述した本発明の実施の形態は、FM-CWレーダに適用する例を用いて説明したが、FM-CWレーダに限らず、他の方式のレーダ（例えば、2周波CWレーダ）にも適用可能である。2周波CWレーダに適用する場合も、周波数誤差の検出は、基準の位相変化と比較して、各ステップの位相誤差を算出し、この位相誤差を微分することで周波数誤差量を求めることができる。以下に、FM-CWレーダについて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出例として図7A-7Eを用いて説明した例3に対応する例4として、2周波CWレーダにおいて中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出する例を説明する。

[0101] 図15A-図15Eは、例4を説明する図である。例4は、例3と同様に、VCOの出力周波数の中心周波数が基準と比較して1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合であり、中心周波数が1MHz高く、周波数偏移が1MHz少ないことを計算により導く方法を説明する。基準の出力周波数は図15Aの点線の波形となる。これに対して、基準の出力周波数よりその中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない波形が図15Aの実線で示される。

[0102] 図15Bは、図15Aの点線及び実線に対応する位相比較器の出力（誤差電圧信号）を示し、図15Bの点線波形は、VCOの出力周波数が基準と同一の場合における位相比較器の誤差電圧信号であり、図15Bの実線波形は、出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合における位相比較器の誤差電圧信号である。すなわち、出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合は、基準周波数との位相差が広がっていくため、三角波状に変化しながら、徐々に出力値が増加していき、基準の出力値との差が大きくなっていくとともに、基準周波数との位相変化が、基準と比較して小さいため、三角波の振幅が基準の場合と比較して

小さくなる。

- [0103] 図15Cは、図15Bの点線波形と実線波形の差分を示し、VCOの出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ない場合の誤差電圧信号の基準に対する差分を表す。図15Cによれば、差分は、三角波状に周期的に変化しながら、その大きさが徐々に増加していくことがわかる。
- [0104] 図15Dは、図15Cで求めた差分値を微分した結果を示す。微分の計算方法は、例3の場合と同様であり、誤差電圧 ( $V_e$ ) の変化 (微分値)  $V_e'(n)$  を求める。位相差が三角波状に周期的に変化していくとともに、差分値が増加していくので (図15C)、誤差電圧の変化 (微分値) は、上限周波数と下限周波数の区間に応じて、矩形波状に周期的に変化するとともに、その中心電圧が一定値 (0.005V) 分ずれている。
- [0105] 誤差電圧の変化 (微分値) を求めると、求めた微分値を位相比較器の感度  $K_d$  (V/Hz) を用いて周波数変化  $\Delta f(n)$  に変換する。
- [0106] 図15Eは、例4の場合の周波数変化を示し、VCOの出力周波数が基準と比較して、中心周波数部分で+1MHzの誤差が生じ、且つ周波数偏移が+1MHzずれていることから、基準に対して、VCOの出力周波数の中心周波数が1MHz高く且つ周波数偏移が1.0MHz少ないことがわかる。このように、位相比較器の出力 (図15B) を基準と比較しその差分を求め、その差分の微分結果から、中心周波数誤差と周波数偏移誤差の両方を検出することができる。また、2周波CWレーダの場合も、FM-CWレーダの場合と同様に、周波数誤差量に対応した制御電圧補正量  $\Delta V_{cont}$  を求めることができる。このように、2周波CWレーダについても、FM-CWレーダと同様に、VCOの出力周波数の中心周波数誤差及び周波数偏移誤差を検出することができる。
- [0107] 上述の実施の形態により、レーダ動作を止めることなく、中心周波数誤差及び周波数偏移誤差をリアルタイムに検出且つ補正することができる。これにより、レーダ動作の精度向上、誤作動防止が実現され、信頼性向上に寄与する。また、周波数帯域の効率的な利用が可能となり、チャンネル数の増大を可能とする。さらに、レーダ動作中に随時周波数が補正されるので、リニアリ

ティ・変調感度の温度特性、エージングの規格を大幅に緩和してVCOを設計することができる。

- [0108] 上記本発明に好適なる複数の実施の形態を述べたが、本発明の思想を逸脱しない範囲内で各部の構成、制御、処理及びこれらの組み合わせの様々な変更が行えることは言うまでもない。

#### **産業上の利用可能性**

- [0109] 本発明は、自動車に搭載され、衝突防止や車間距離制御などの機能を実現するためのFM-CWレーダなどのレーダ装置に用いる位相同期発振器に好適である。

## 請求の範囲

- [1] 基準信号と第一の比較信号の位相を比較し、位相差に応じた位相誤差信号を出力する第一の位相比較器と、  
前記第一の位相比較器の位相誤差信号の交流成分をカットする第一のローパスフィルタと、  
前記第一のローパスフィルタからの出力信号に応じて制御電圧を制御し、所定の制御ステップ毎に制御電圧を出力する制御部と、  
前記制御電圧に従って、所定の中心周波数から所定の周波数偏移分所定期で周波数が変化する周波数変調信号を発生する電圧制御発振器と、  
前記電圧制御発振器の周波数変調信号を分周して前記第一の比較信号を形成する第一の変分周器とを有するPLLループを備え、  
前記制御部は、  
前記位相誤差信号に基づいて、あらかじめ設定された基準中心周波数及び基準周波数偏移で変調された基準周波数変調信号に対する制御ステップ毎の前記周波数変調信号の周波数誤差を検出する誤差検出手段と、  
前記検出された周波数誤差に基づき、前記制御電圧を補正する補正手段とを備えることを特徴とする位相同期発振器。
- [2] 請求項1において、  
前記誤差検出手段は、前記電圧制御発振器から前記基準周波数変調信号が出力された場合の前記位相比較器から出力される基準位相誤差信号と、前記位相比較器から実際に出力される位相誤差信号との差分を求め、さらに当該差分の変化率に基づいて前記周波数変調信号の周波数誤差を検出することを特徴とする位相同期発振器。
- [3] 請求項2において、  
前記補正手段は、前記周波数変調信号の所定区間の周波数誤差の平均値を算出し、当該平均値が所定のオフセット値になるように、制御電圧を補正することを特徴とする位相同期発振器。
- [4] 請求項3において、

前記補正手段は、前記オフセット値を0とすることにより、前記周波数変調信号の中心周波数を補正することを特徴とする位相同期発振器。

[5] 請求項3において、

前記補正手段は、前記オフセット値を0以外の所定値とすることにより、前記可変分周器の分周数を変えずに、前記周波数変調信号の中心周波数を変化させることを特徴とする位相同期発振器。

[6] 請求項2において、

前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における少なくとも2つの周波数誤差の比較に基づいて、制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることにより、前記周波数変調信号の周波数偏移を補正することを特徴とする位相同期発振器。

[7] 請求項6において、

前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における第一の区間の周波数誤差の最大値と最小値の平均値と第二の区間の周波数誤差の最大値と最小値の平均値とが等しくなるように、制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることを特徴とする位相同期発振器。

[8] 請求項6において、

前記補正手段は、前記周波数変調信号の1周期内における第一の区間に含まれる所定の2つの周波数誤差が等しくなるように、前記第一の区間における制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させ、前記周波数変調信号の1周期内における第二の区間に含まれる所定の2つの周波数誤差が等しくなるように、前記第二の区間における制御ステップ毎の制御電圧の変化率を変化させることを特徴とする位相同期発振器。

[9] 請求項6において、

前記補正手段は、前記周波数変調信号の制御ステップ毎の周波数誤差に基づいて、制御ステップ毎の制御電圧の変化率に従って出力される制御電圧を制御ステップ毎に変化させることを特徴とする位相同期発振器。

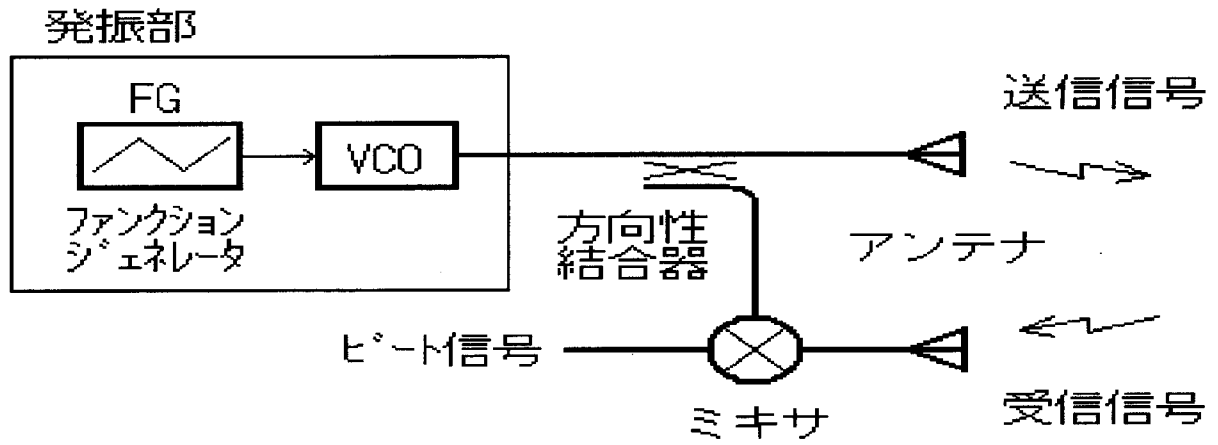
[10] 請求項2において、

前記補正手段は、前記制御電圧の変化率に対応する前記周波数変調信号の周波数変化率に対応する前記電圧制御発振器の変調感度に応じて、前記周波数誤差に対応する制御電圧の補正值を算出し、当該補正值を用いて前記制御電圧を補正することを特徴とする位相同期発振器。

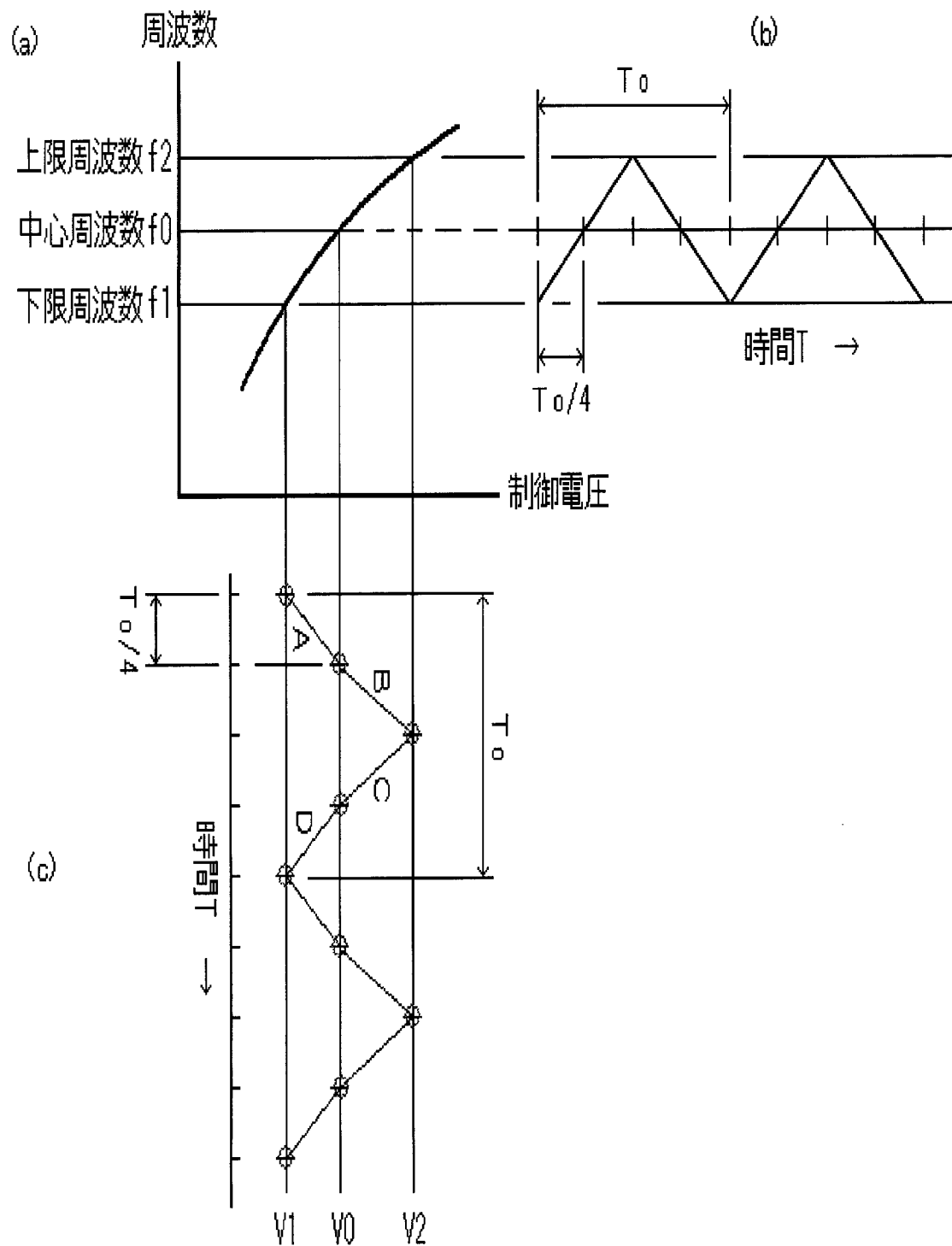
- [11] 請求項 2 において、  
前記制御部は、さらに、  
前記周波数誤差が所定の許容範囲を超えているか判定し、超えている場合に、前記電圧制御発振器からの周波数変調信号の出力を停止する警告手段を備えることを特徴とする位相同期発振器。
- [12] 請求項 1 において、  
前記位相誤差信号における前記周波数変調信号の所定期間に対応する周波数成分を通過させる第二のローパスフィルタを有し、前記第二のローパスフィルタの出力信号は、前記制御部に入力され、  
前記誤差検出手段は、前記第二のローパスフィルタの出力信号に基づいて、前記周波数誤差を検出することを特徴とする位相同期発振器。
- [13] 請求項 1 において、  
基準信号と第二の比較信号の位相を比較し、位相差に応じた位相誤差信号を出力する第二の位相比較器と、  
該電圧制御発振器の周波数変調信号を、前記第一の可変分周器の分周数と異なる分周数により分周して前記第二の比較信号を形成する第二の可変分周器と  
前記第二の位相比較器からの位相誤差信号における前記周波数変調信号の所定期間に対応する周波数成分を通過させる第二のローパスフィルタとを有し、前記第二のローパスフィルタの出力信号は、前記制御部に入力され、  
前記誤差検出手段は、前記第二のローパスフィルタの出力信号に基づいて、前記周波数誤差を検出することを特徴とする位相同期発振器。
- [14] 請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の位相同期発振器を有することを特徴とするレーダ装置。

- [15] 請求項 1 4 において、  
FM-CWレーダ又は2周波CWレーダであることを特徴とするレーダ装置。

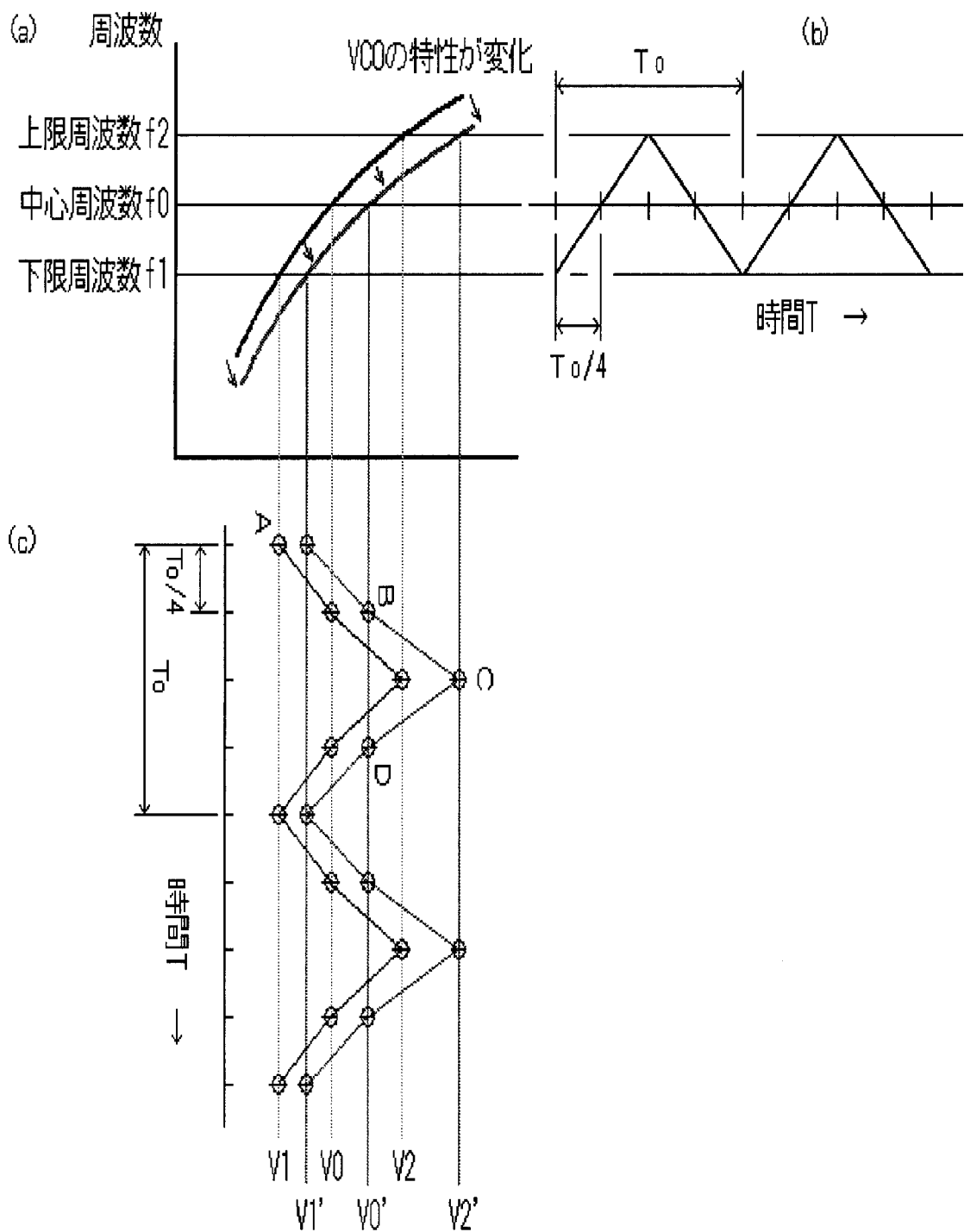
[図1]



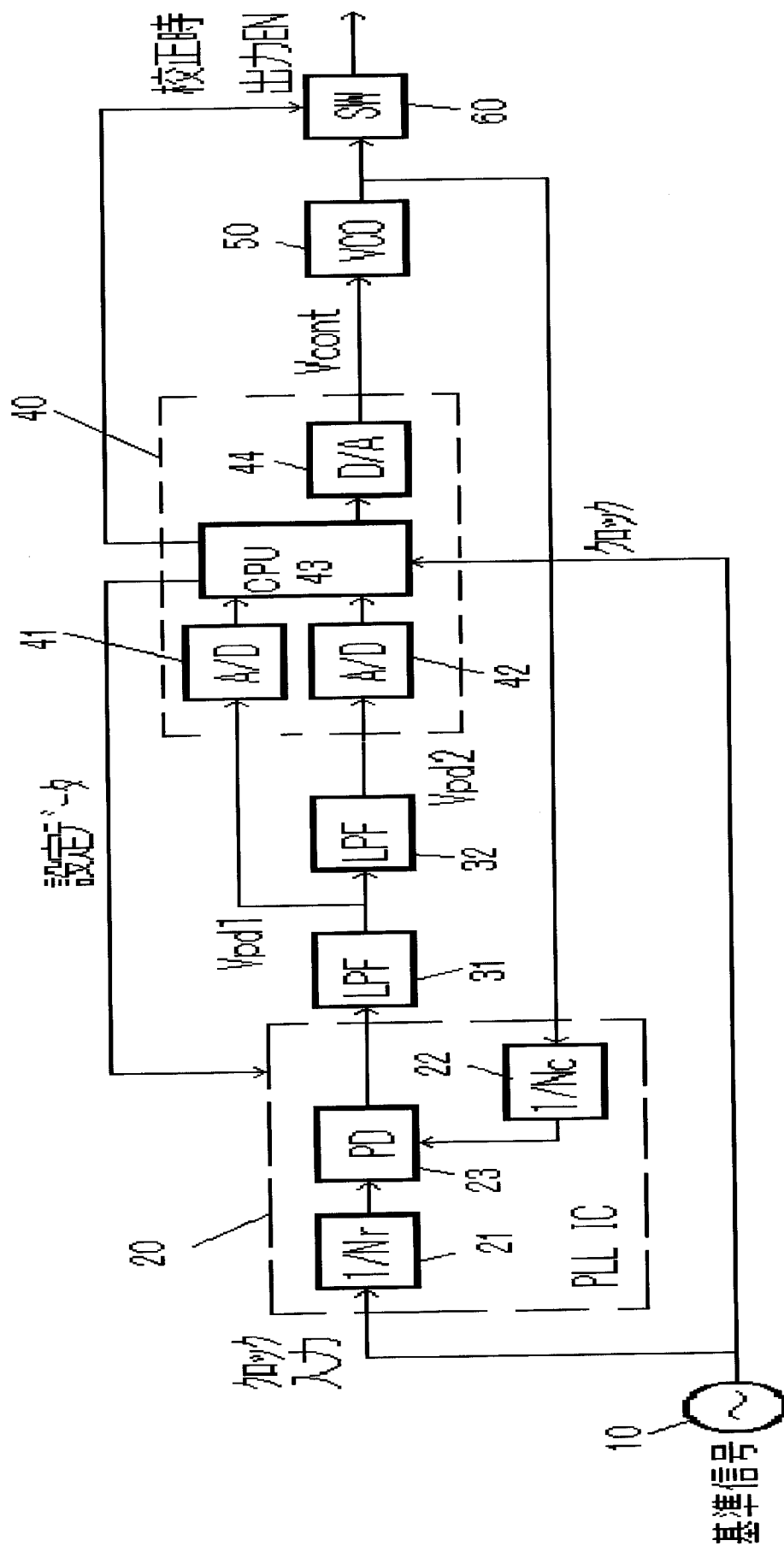
[図2]



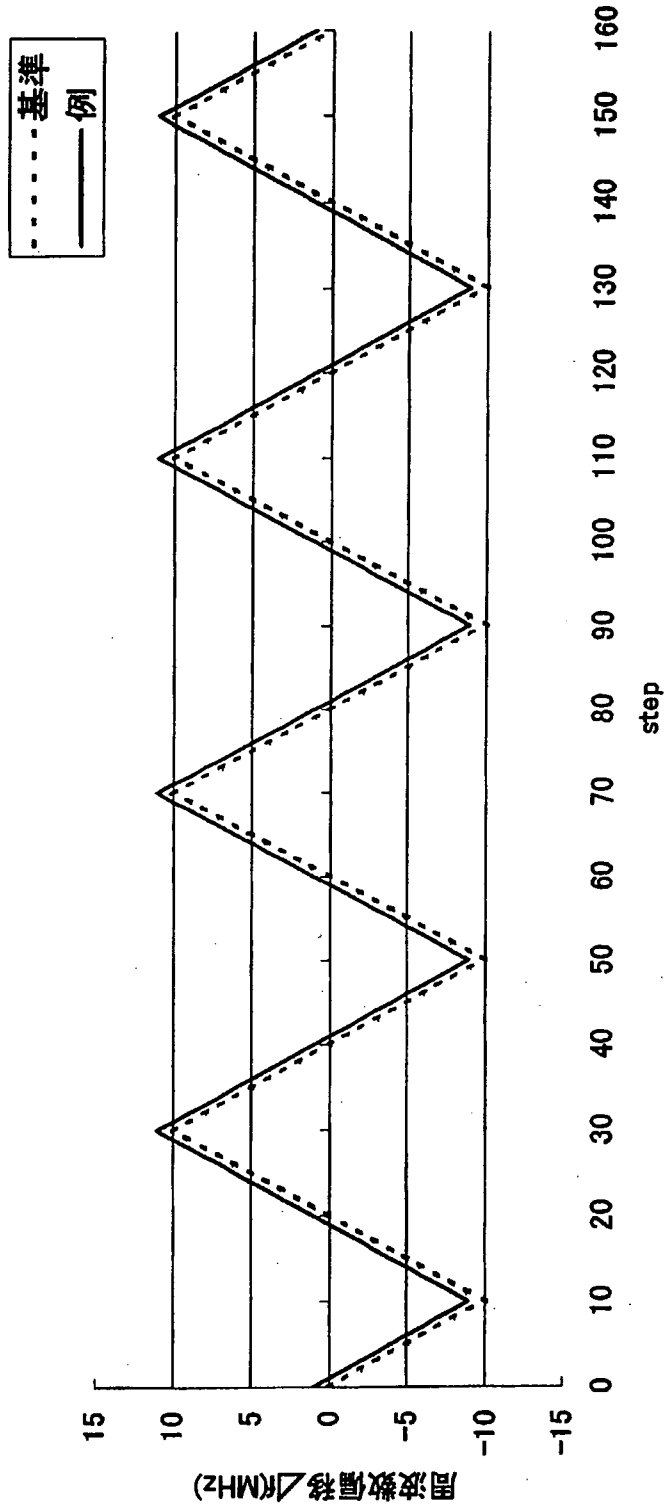
[図3]



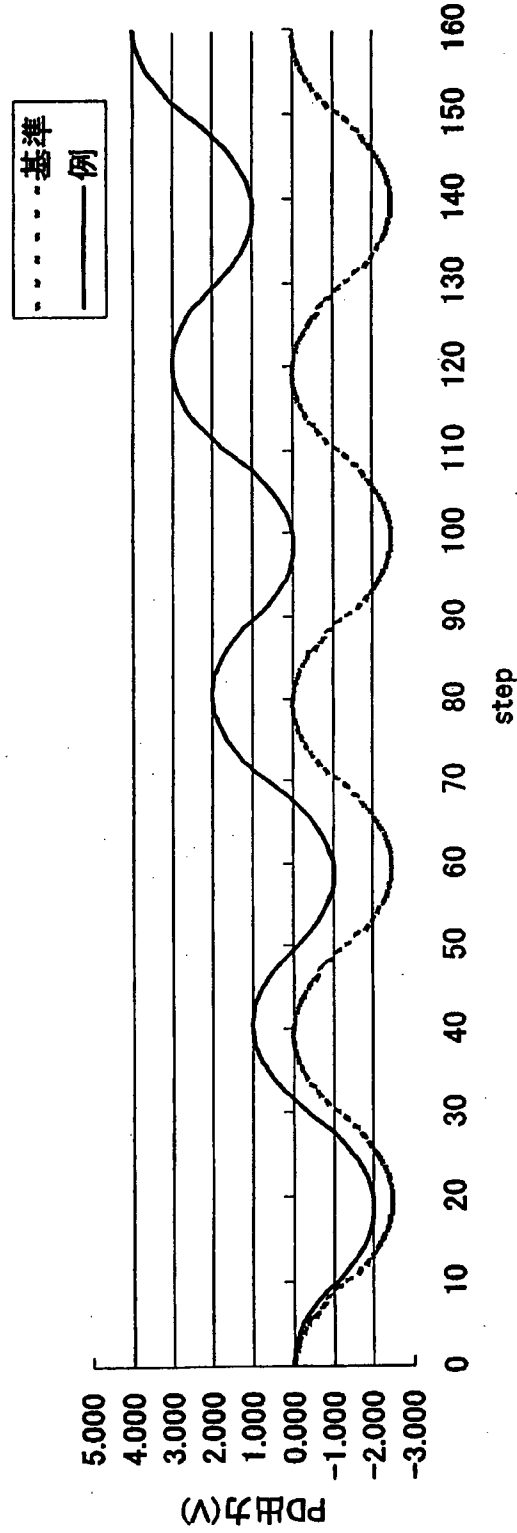
[図4]



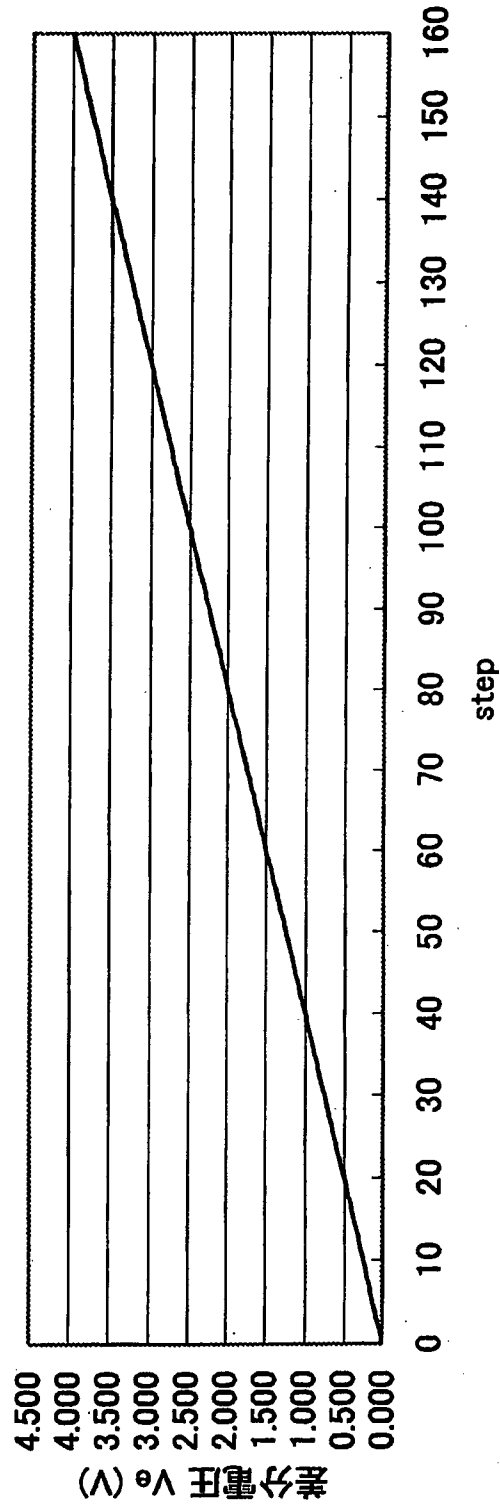
[図 5A]



(図 5B)

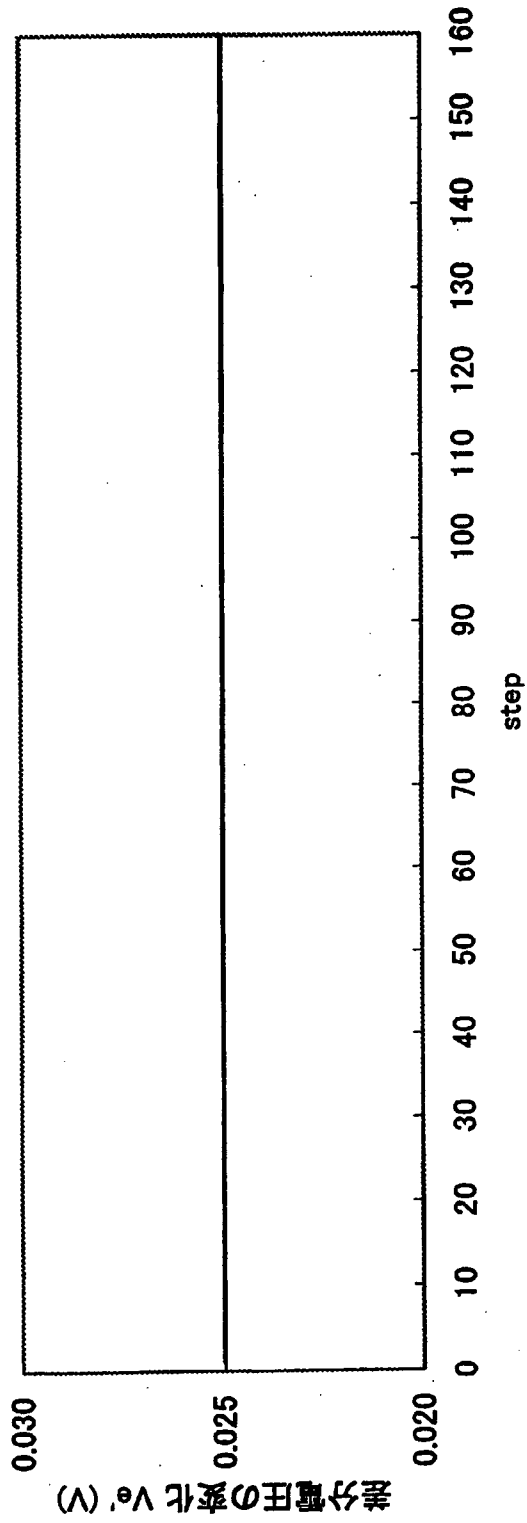


[図 5C]

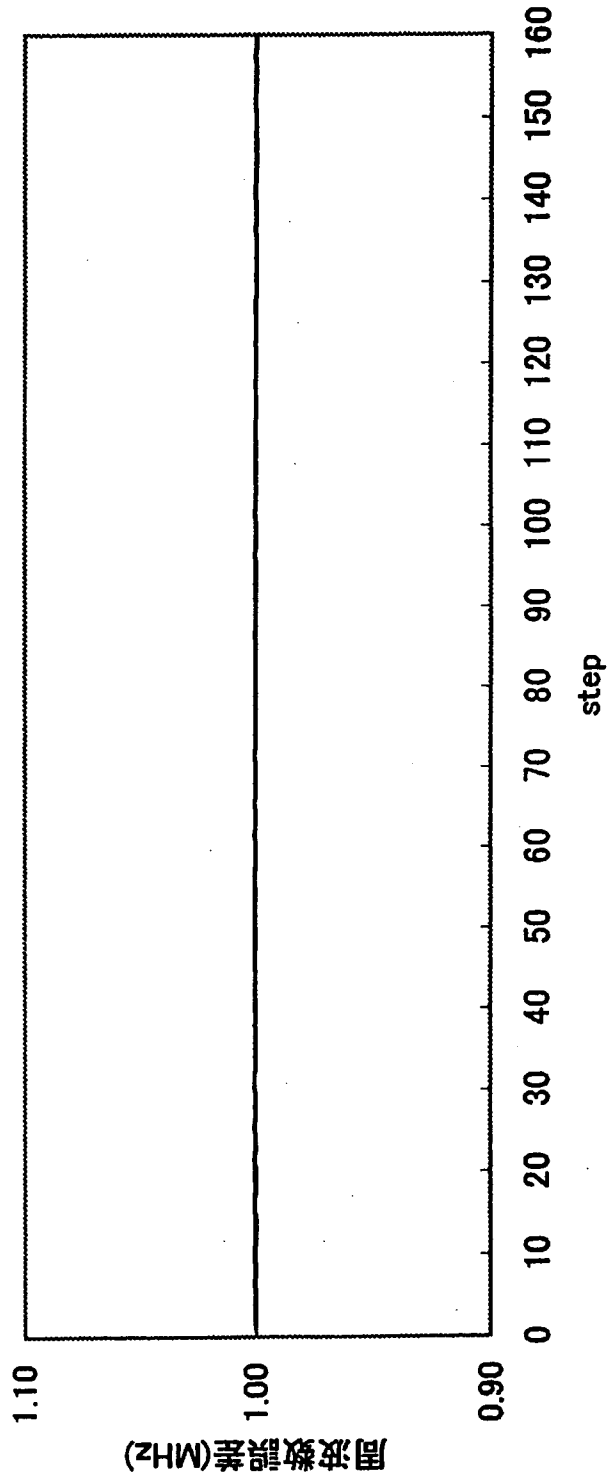


差替え用紙 (規則26)

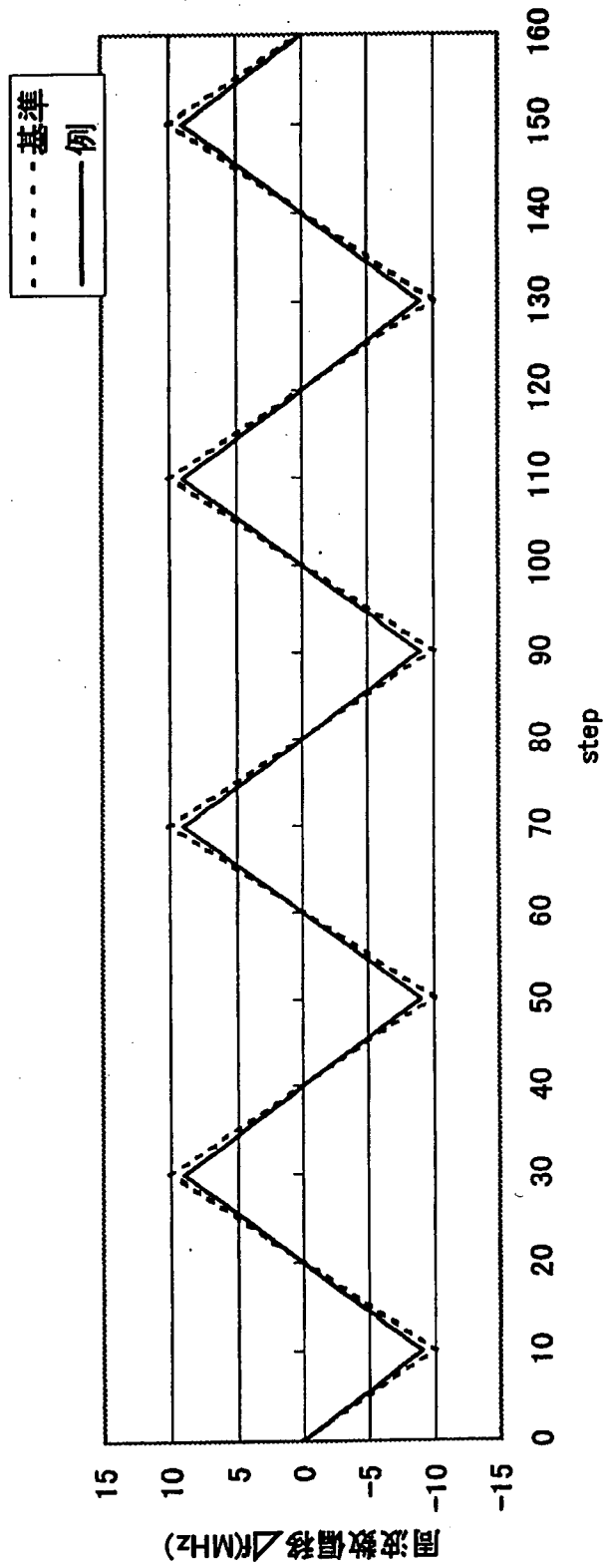
[図 5D]



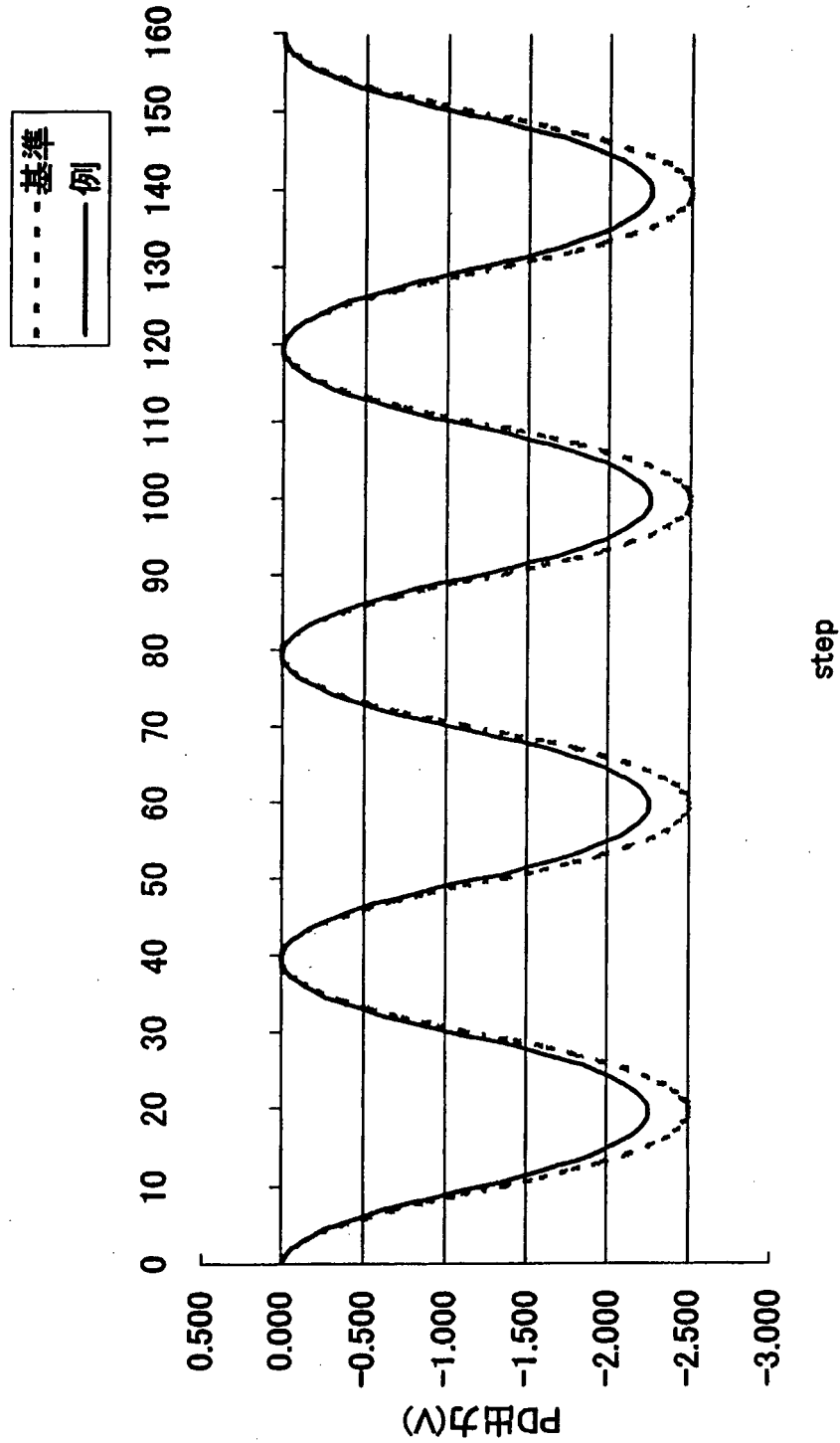
[図 5E]



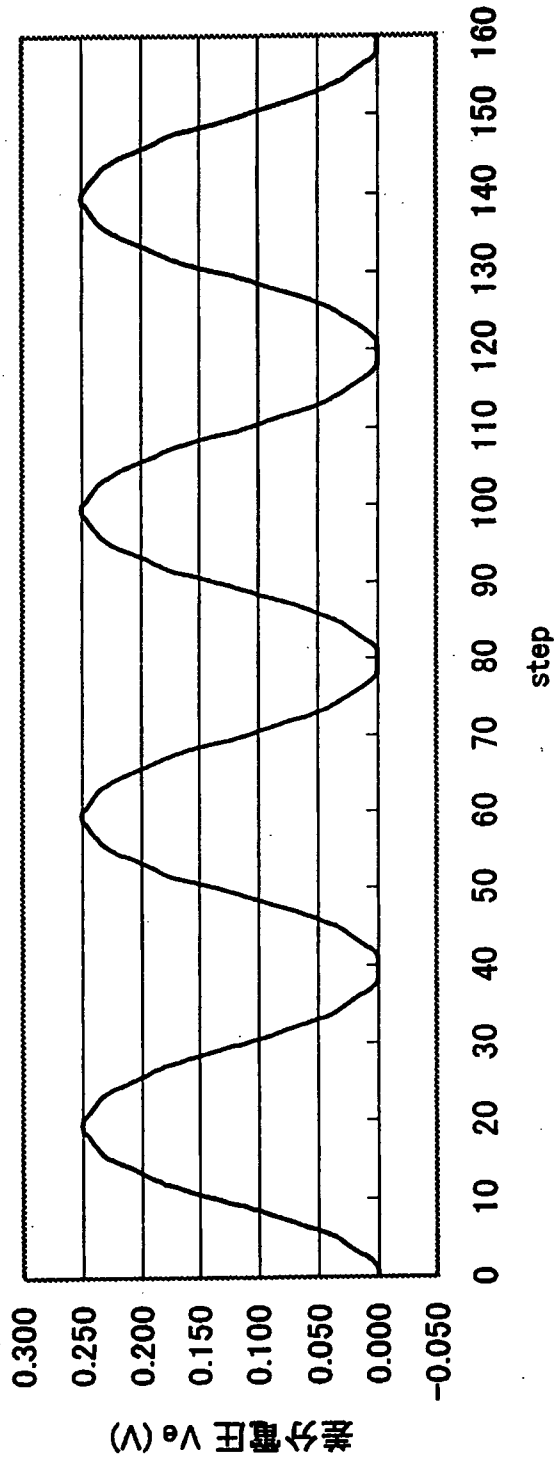
[図 6A]



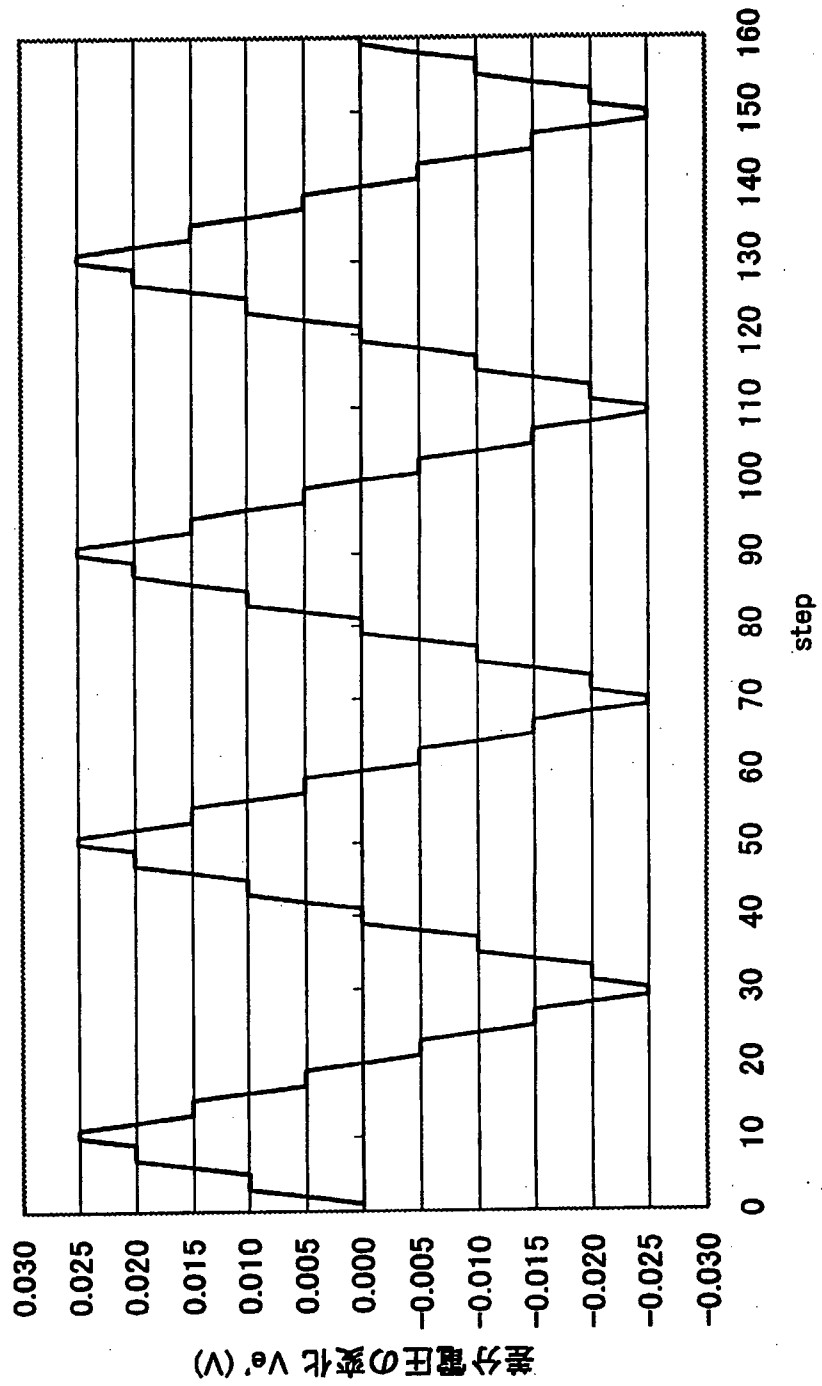
[図 6B]



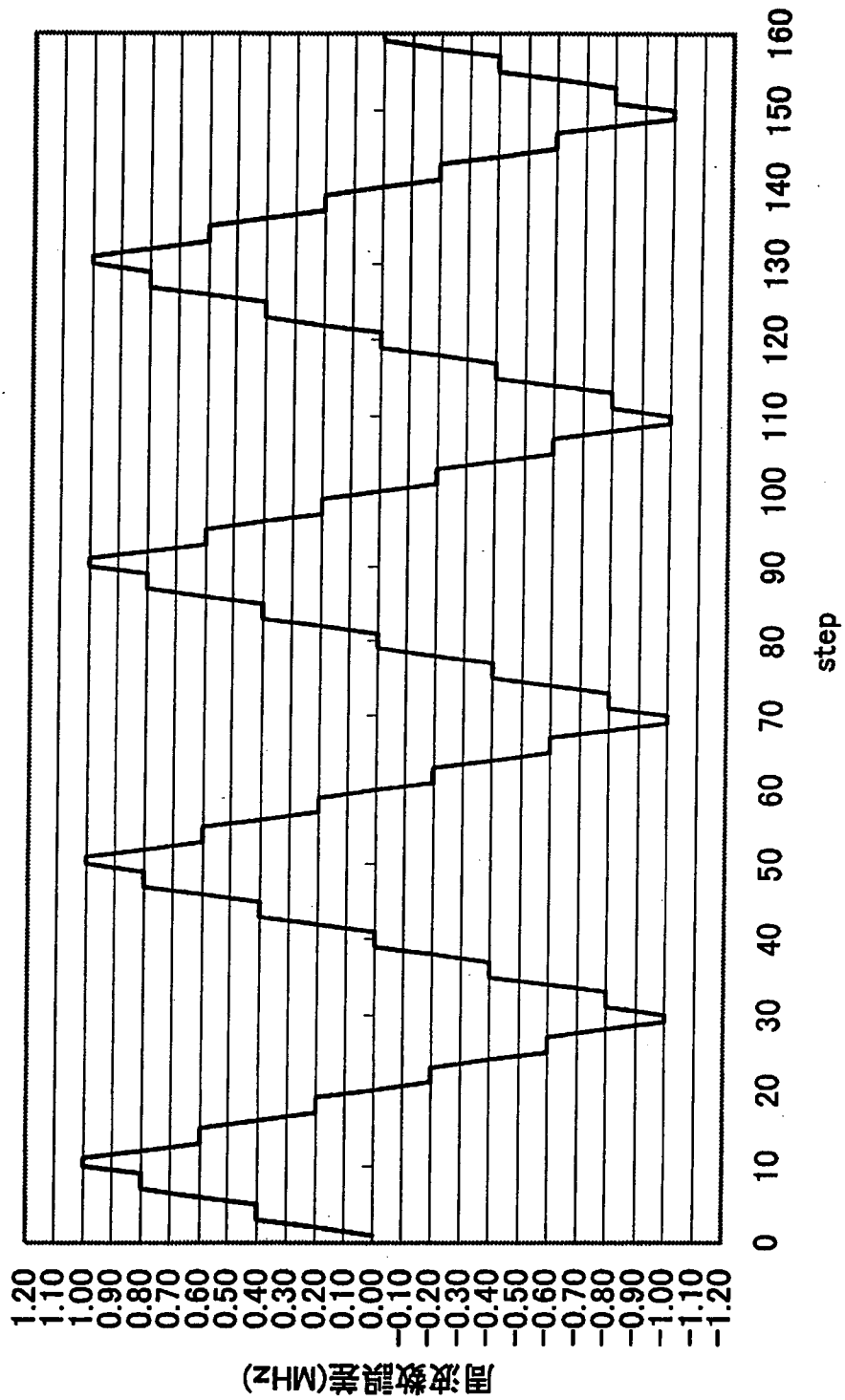
[図 6C]



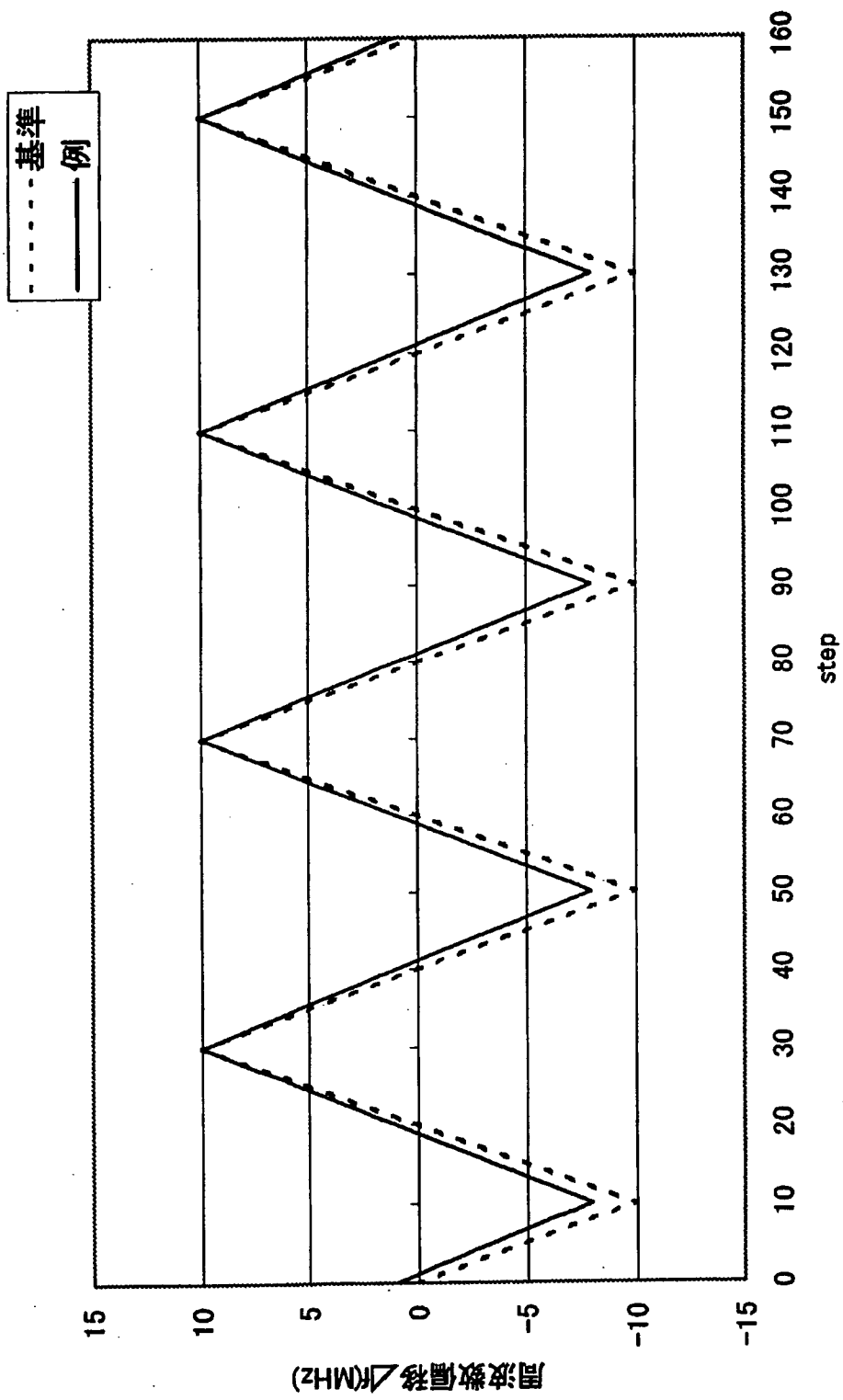
[図 6D]



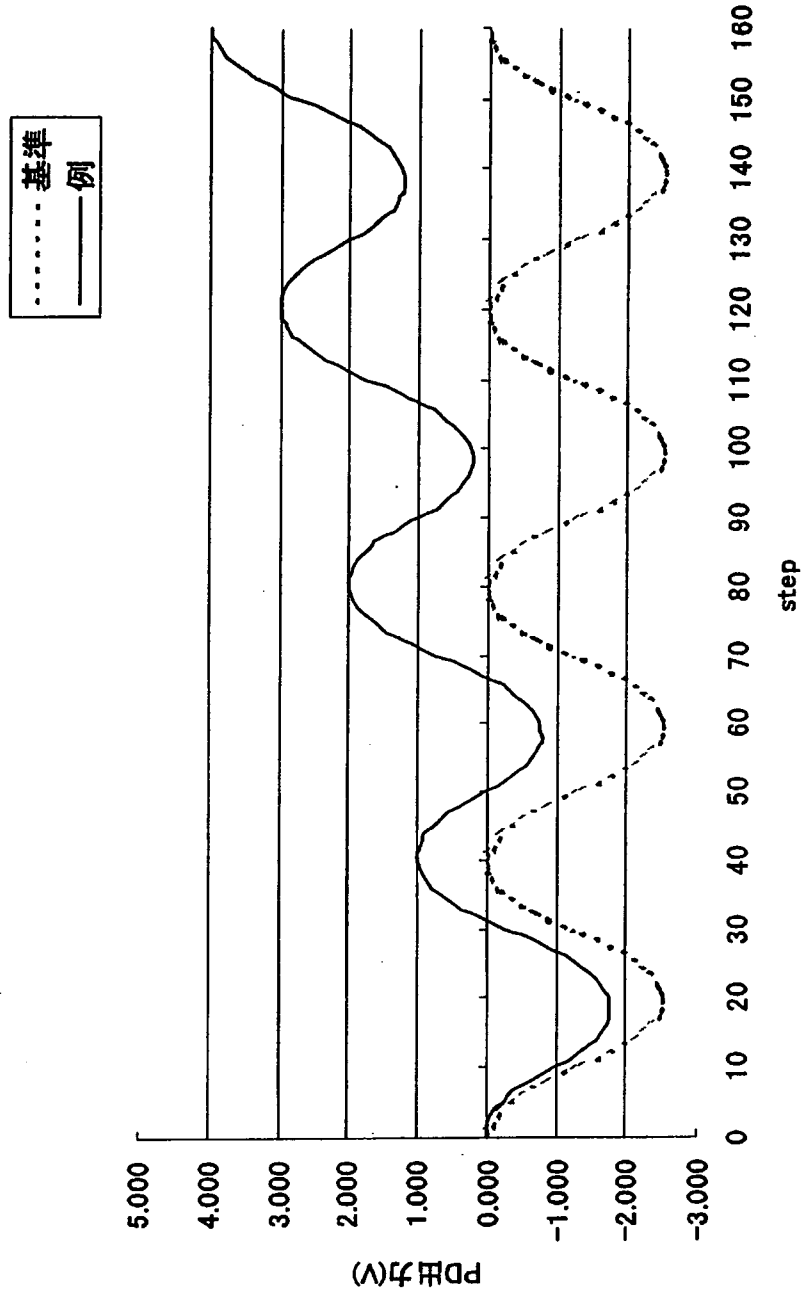
[図 6E]



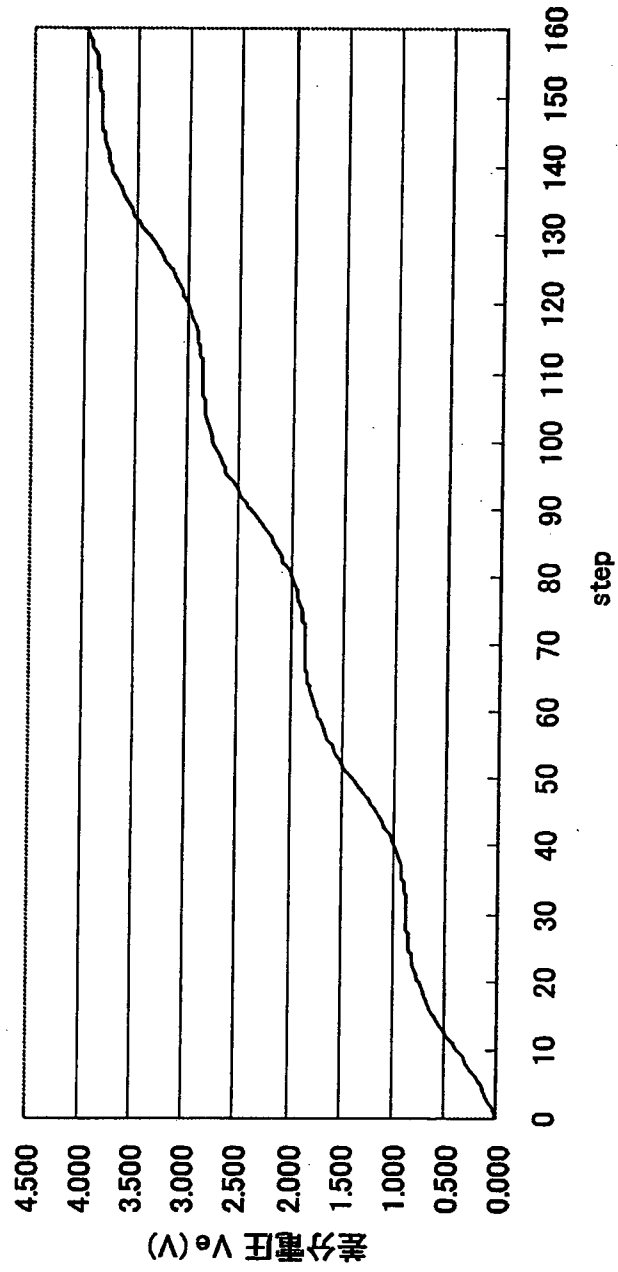
[図 7A]



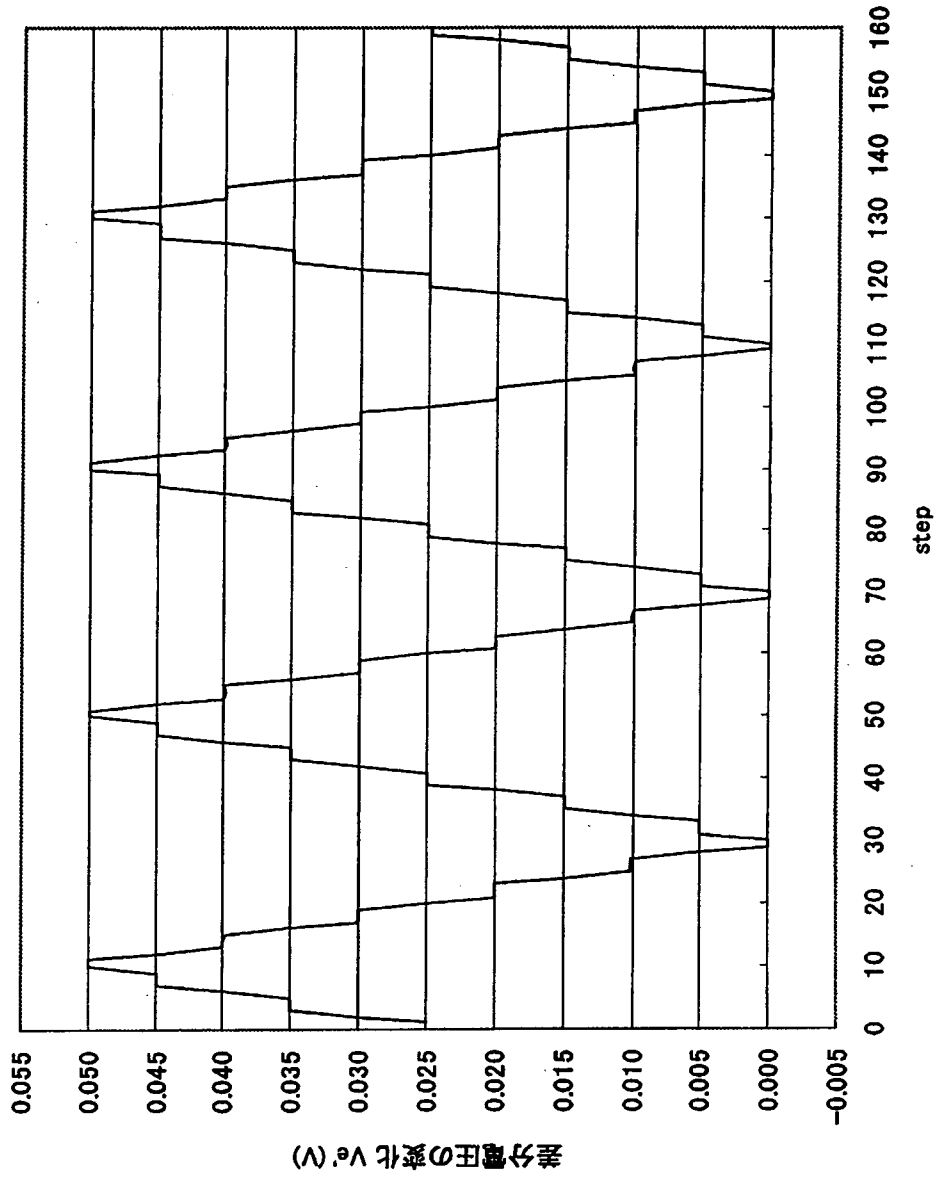
[図 7B]



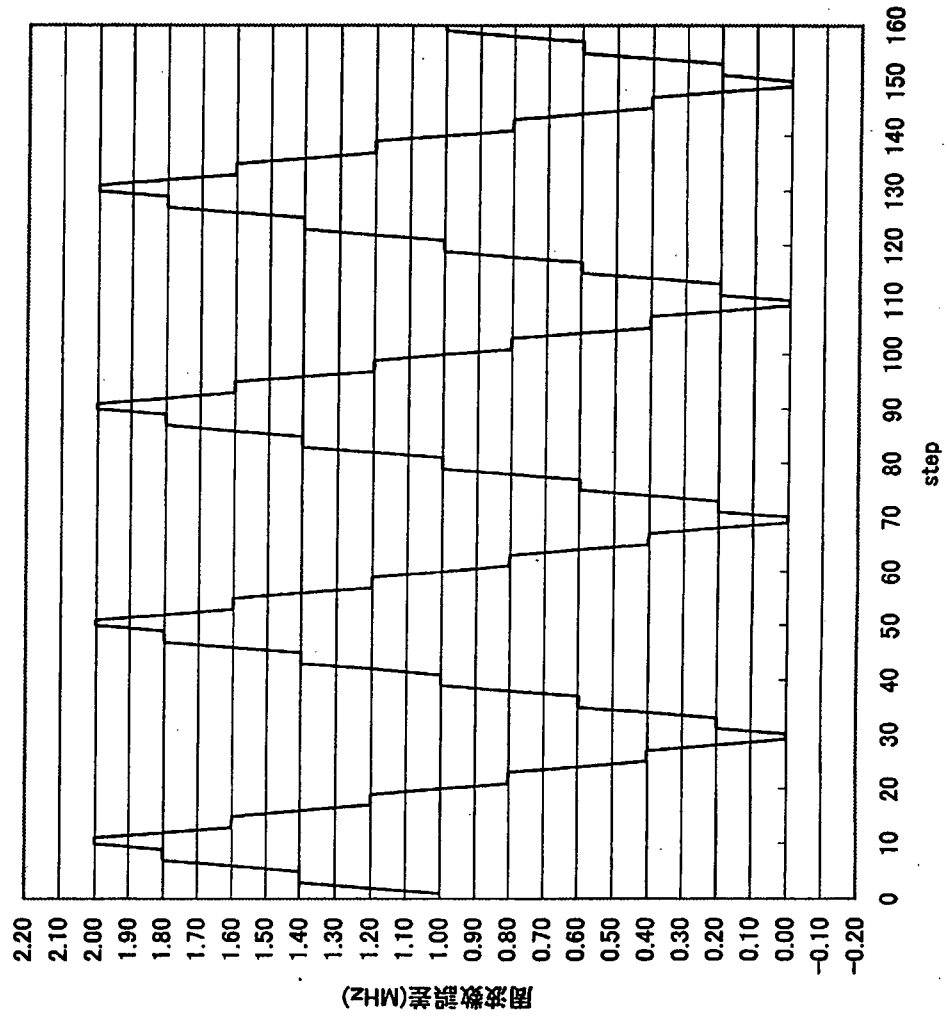
[図 7C]



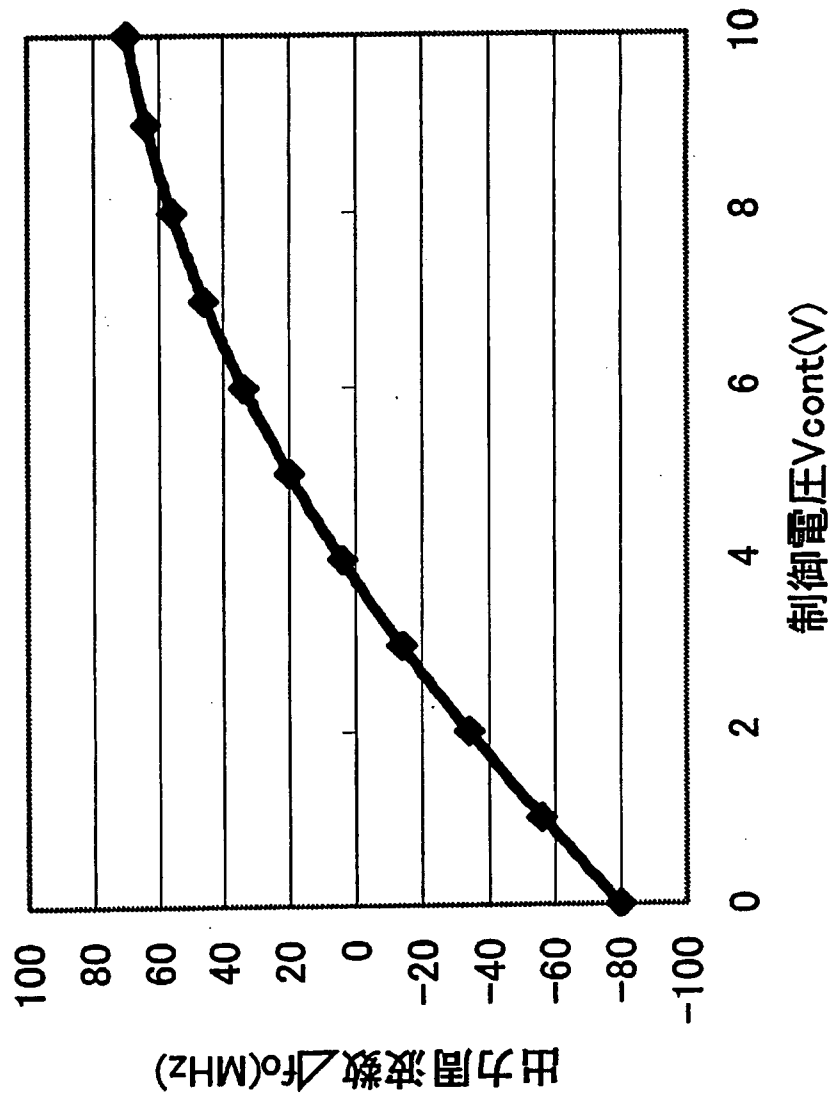
[図 7D]



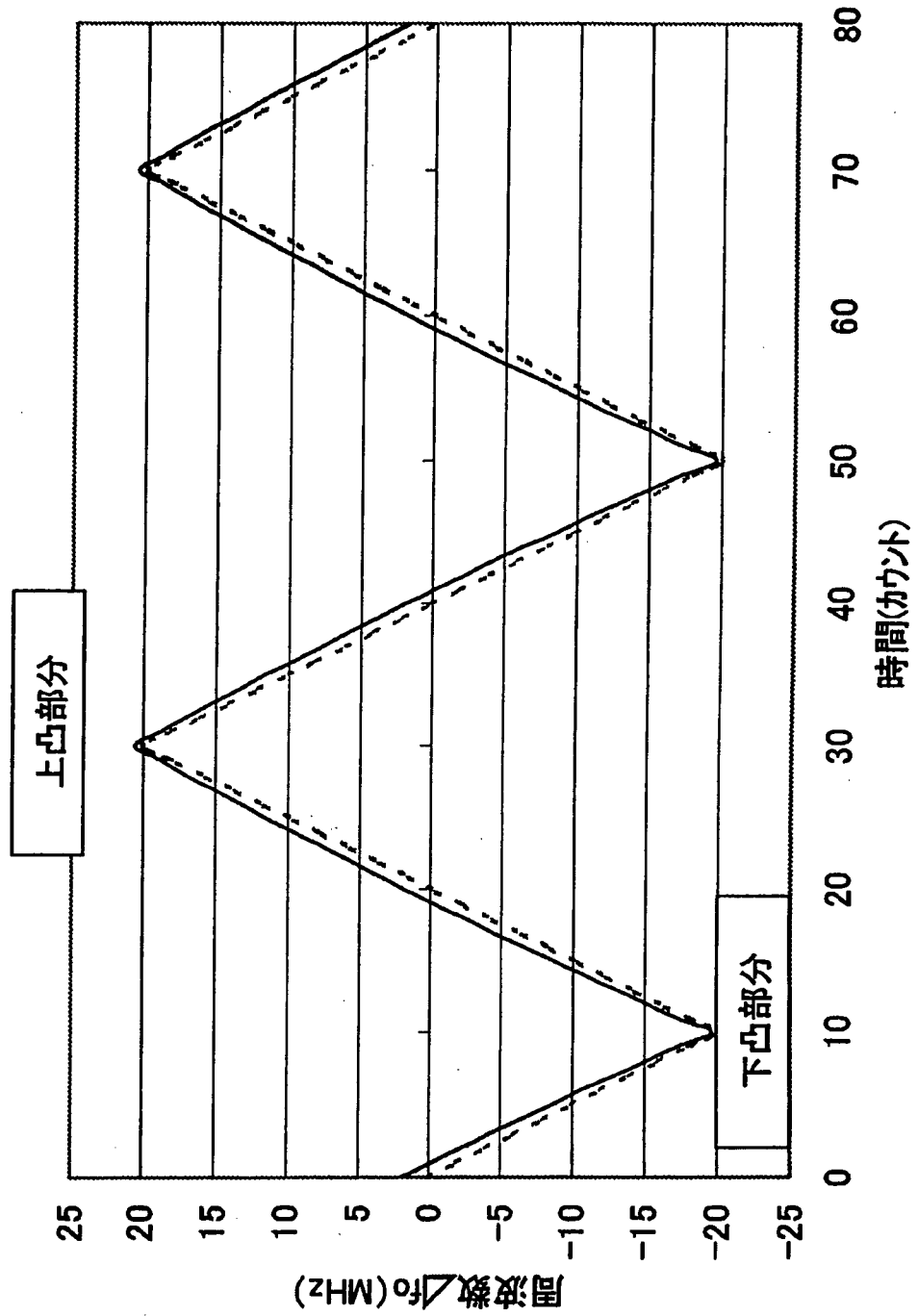
[図 7E]



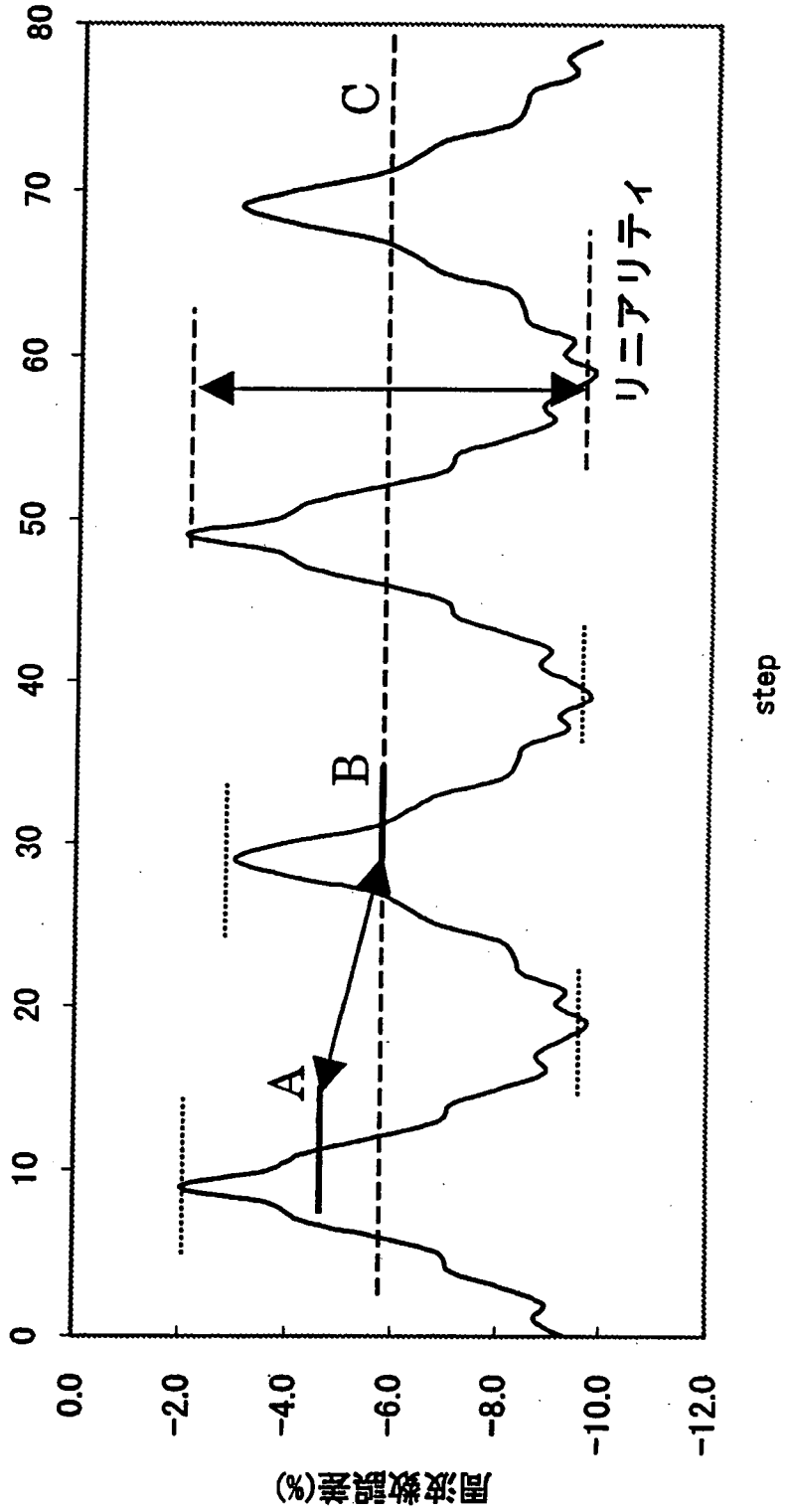
[図 8A]



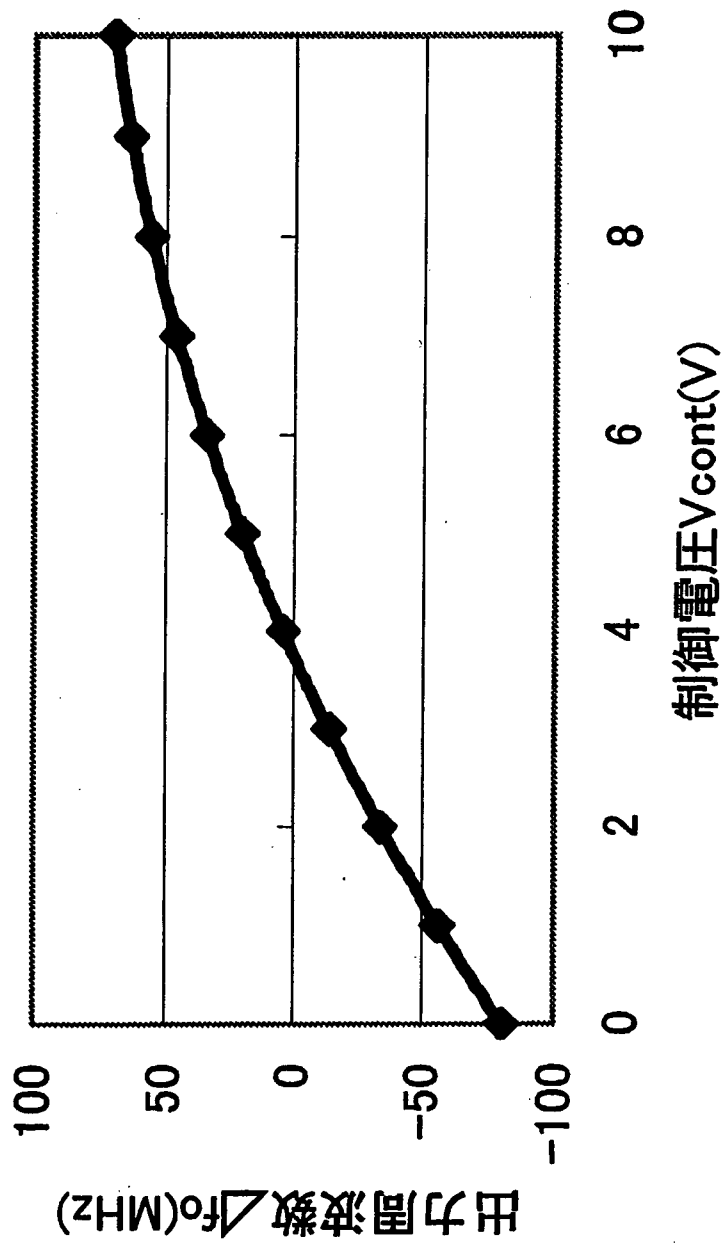
[図 8B]



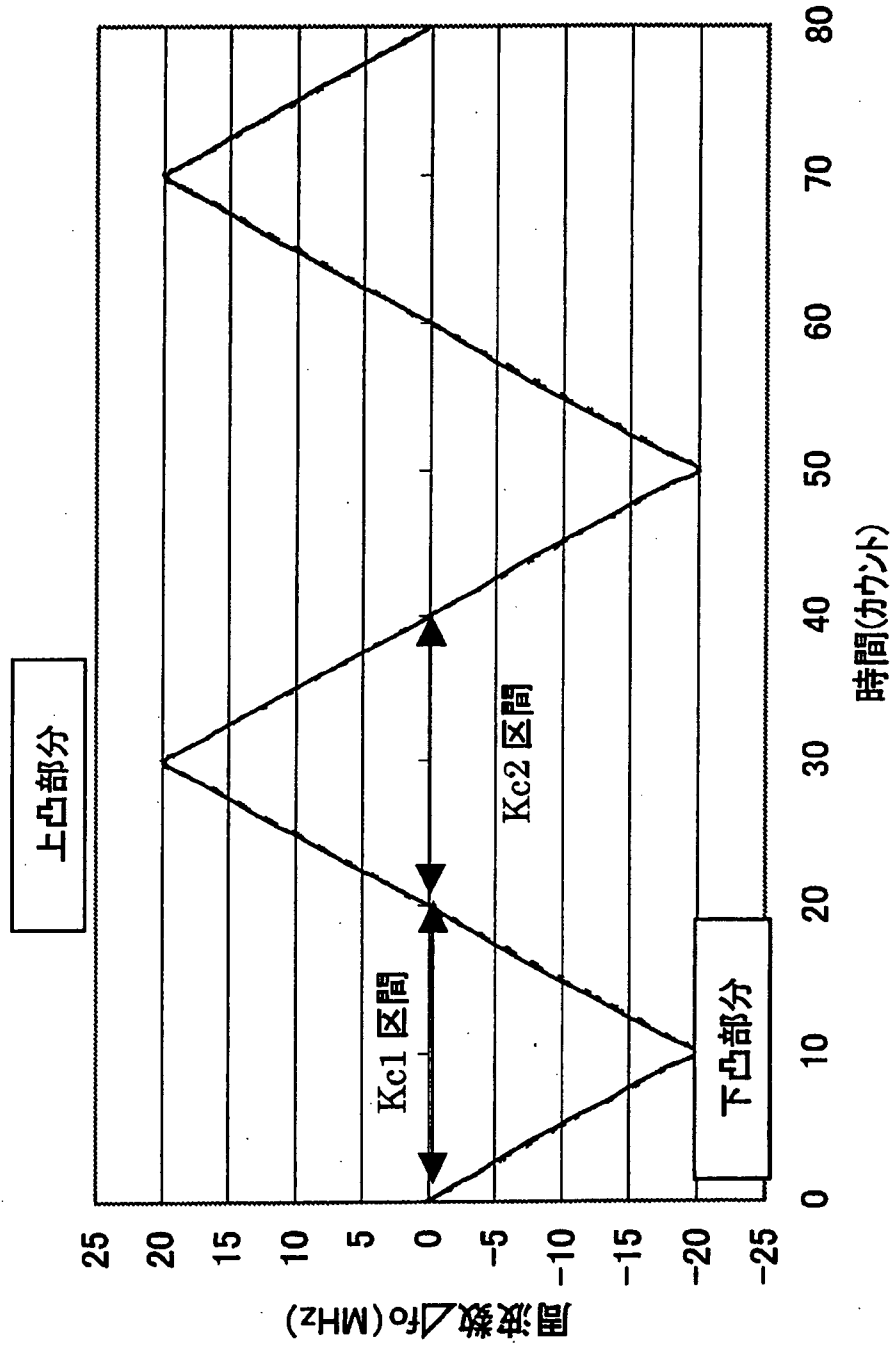
[図 8C]



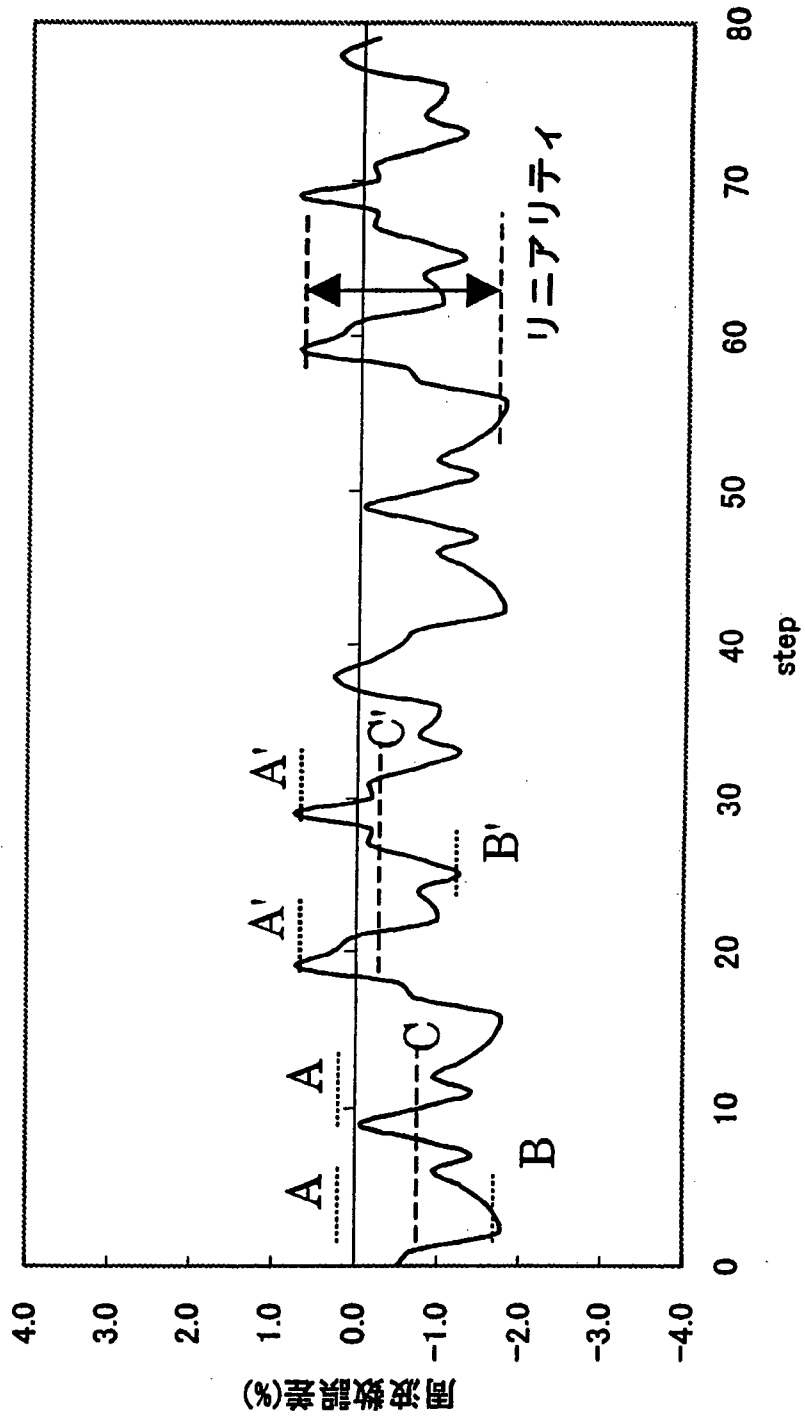
[図 9A]



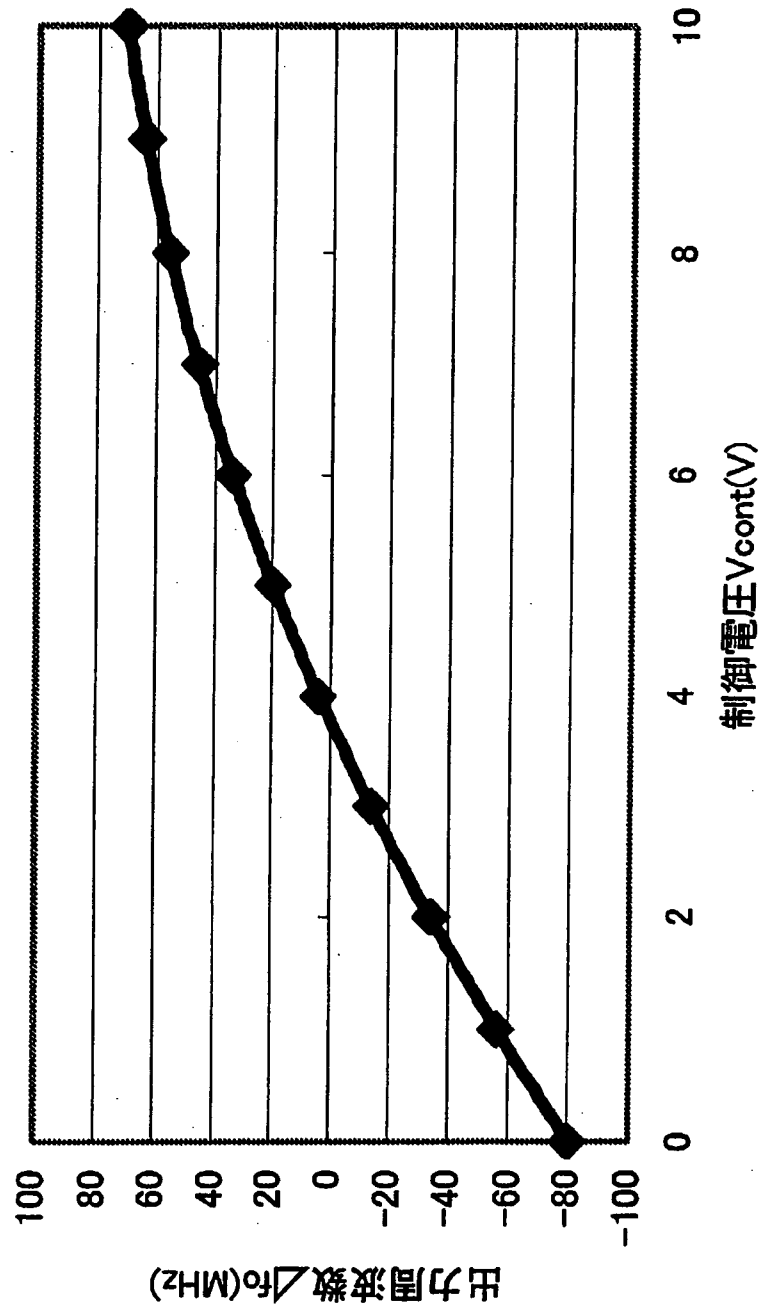
[図 9B]



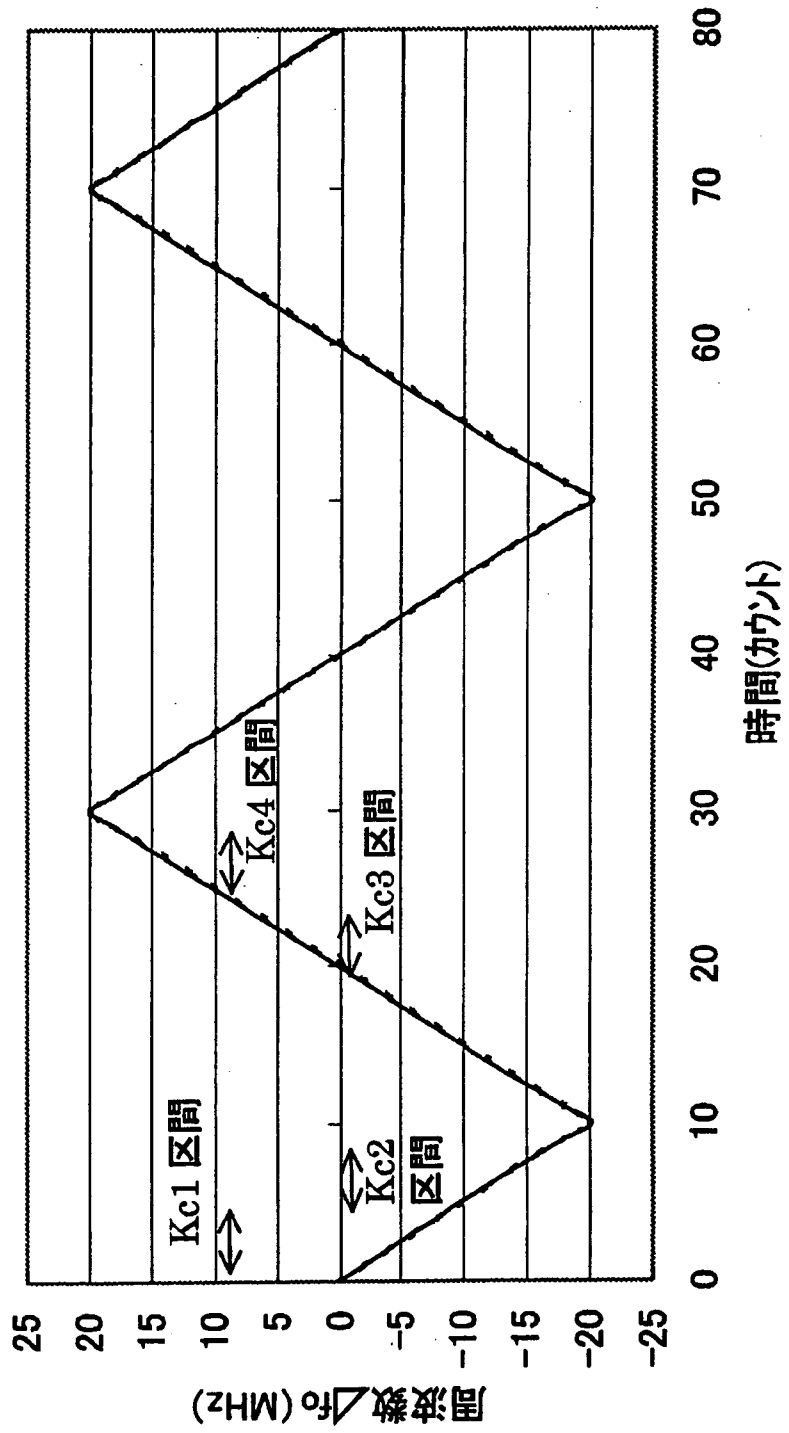
[図 9C]



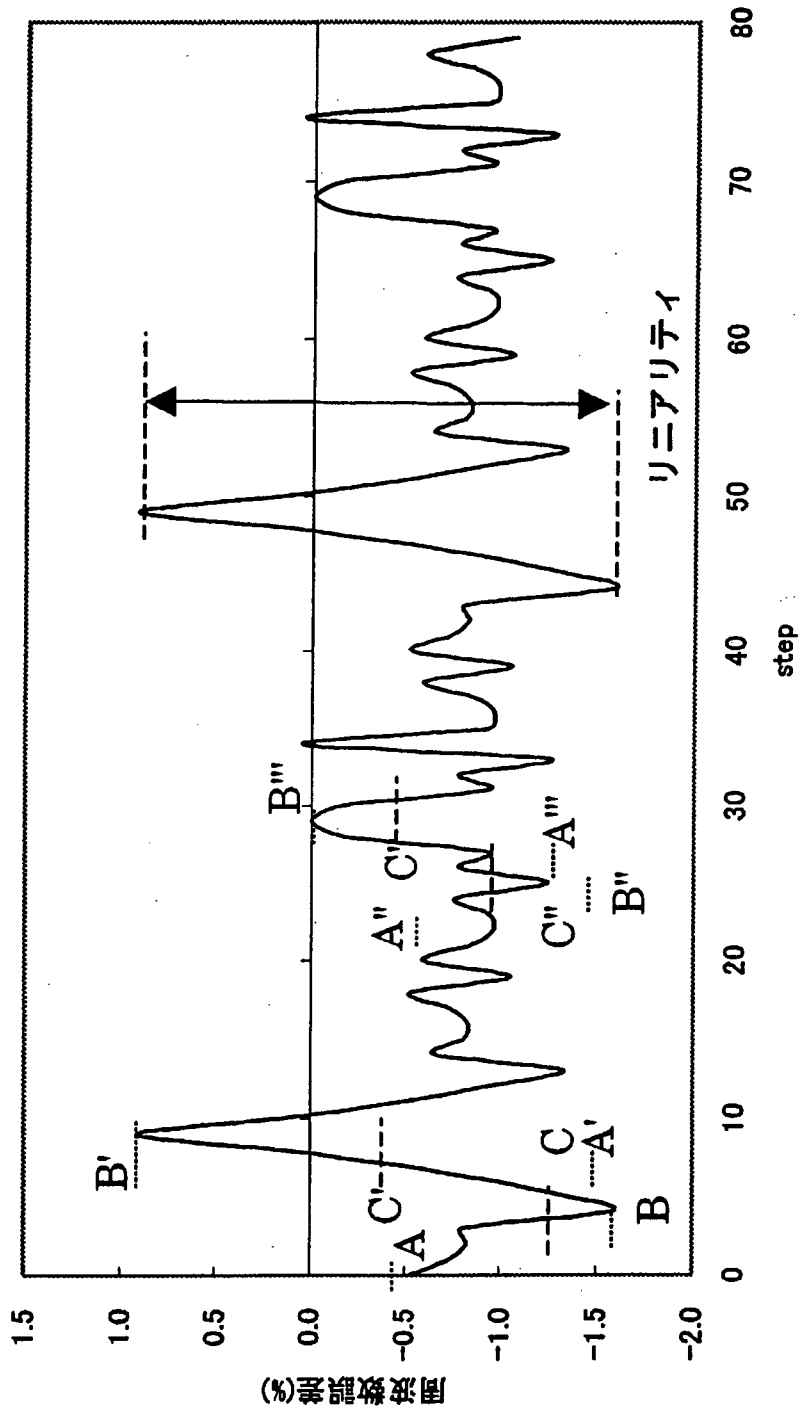
[図 10A]



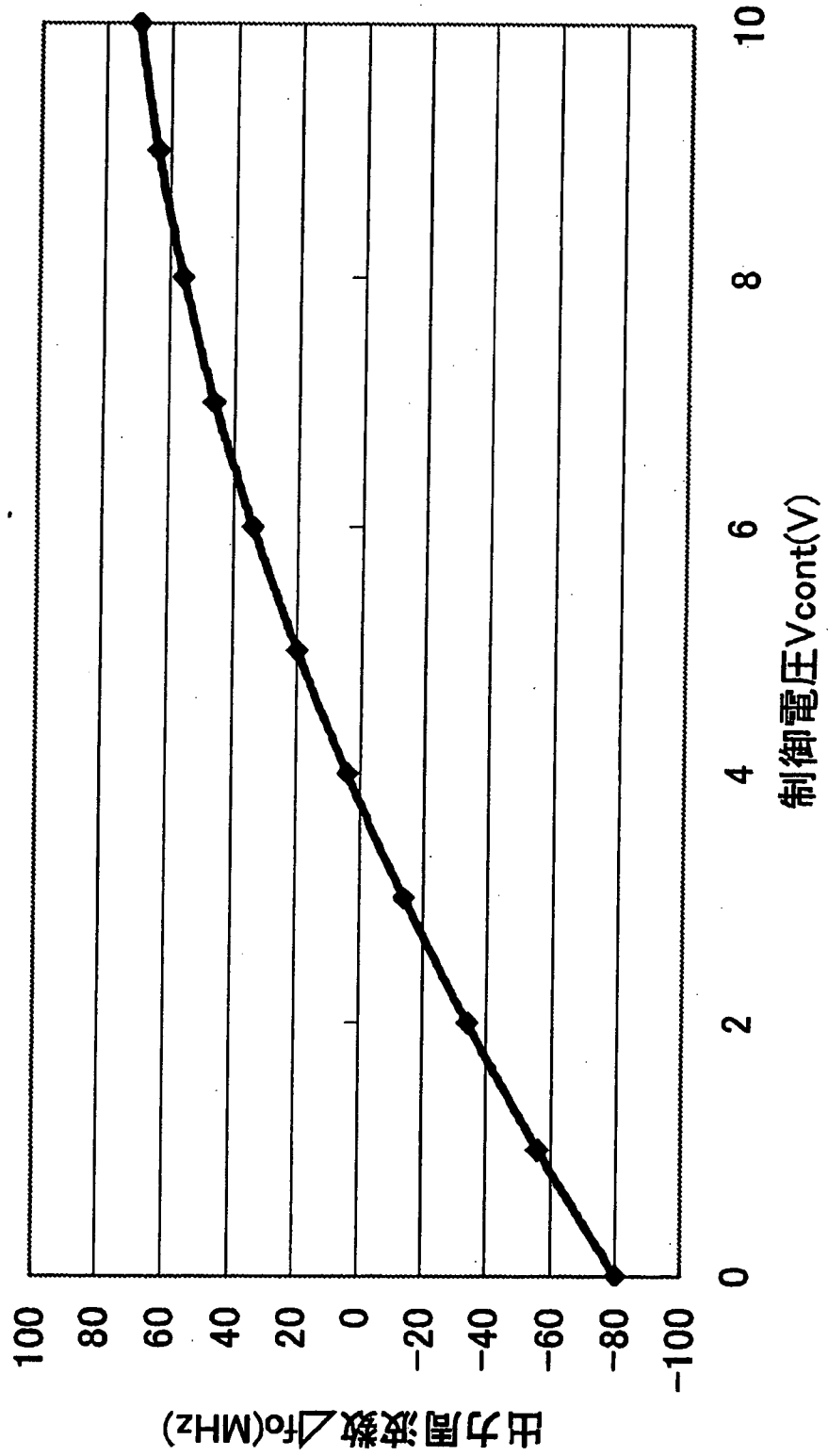
[図 10B]



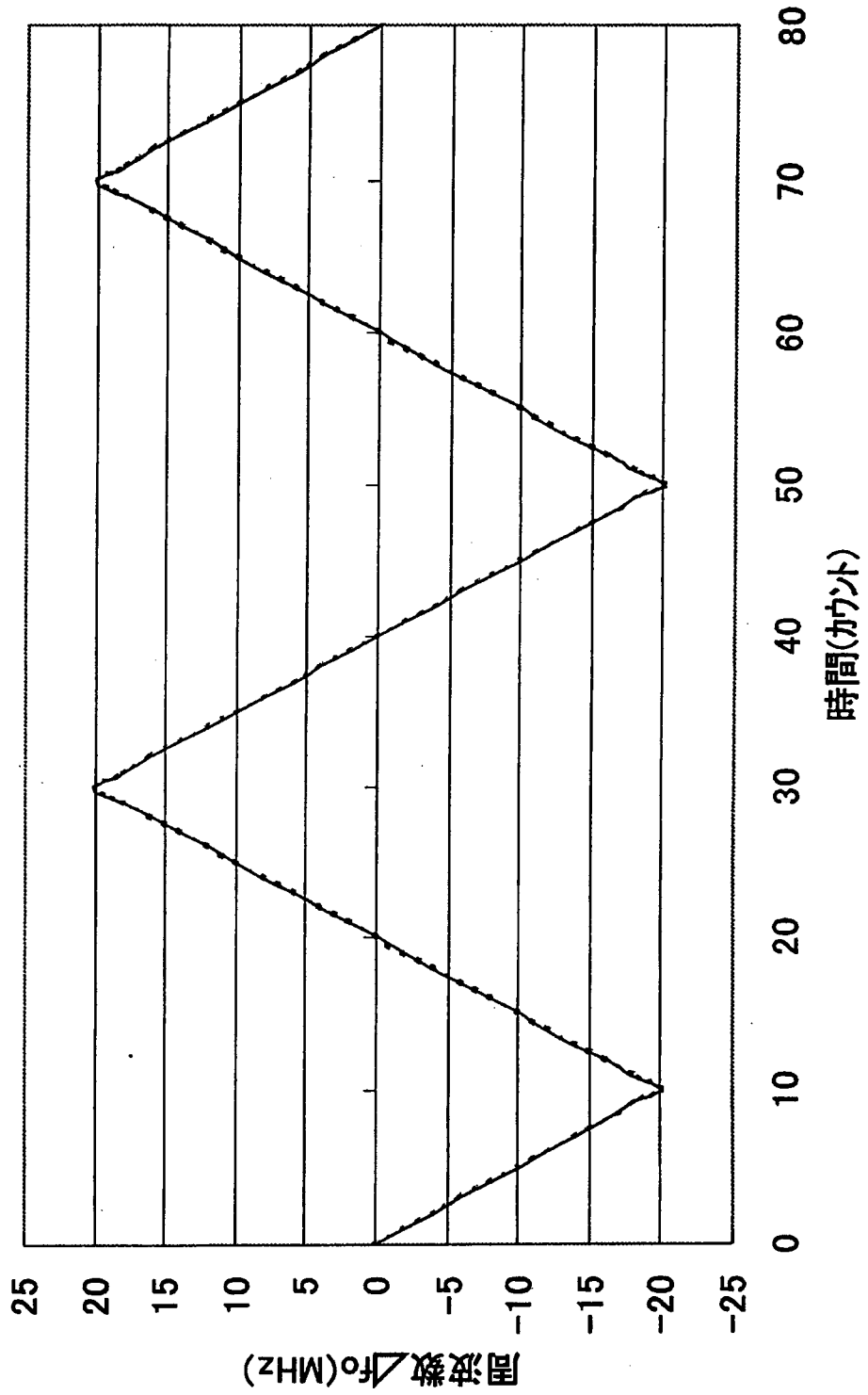
[図 10C]



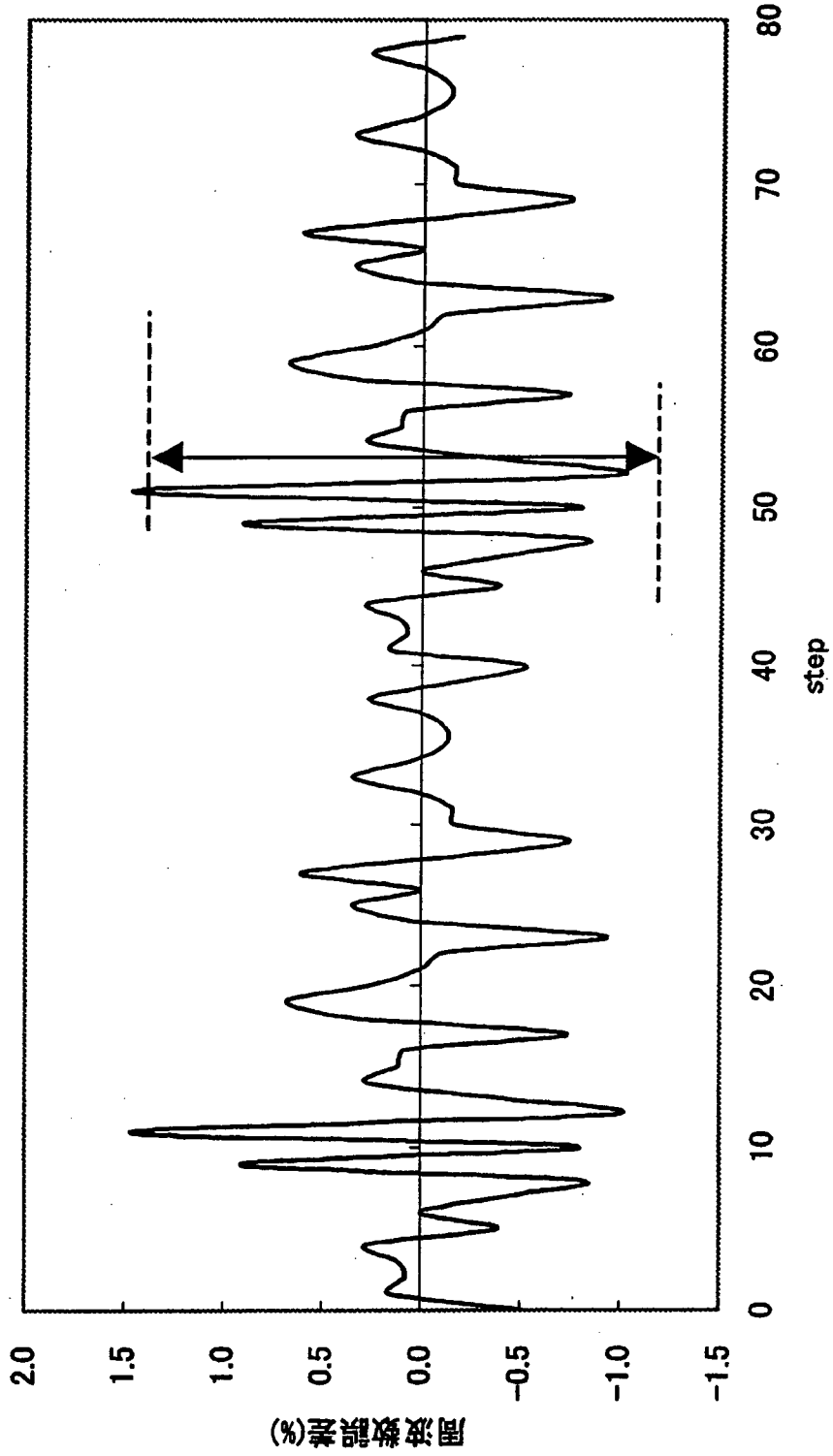
[図 11A]



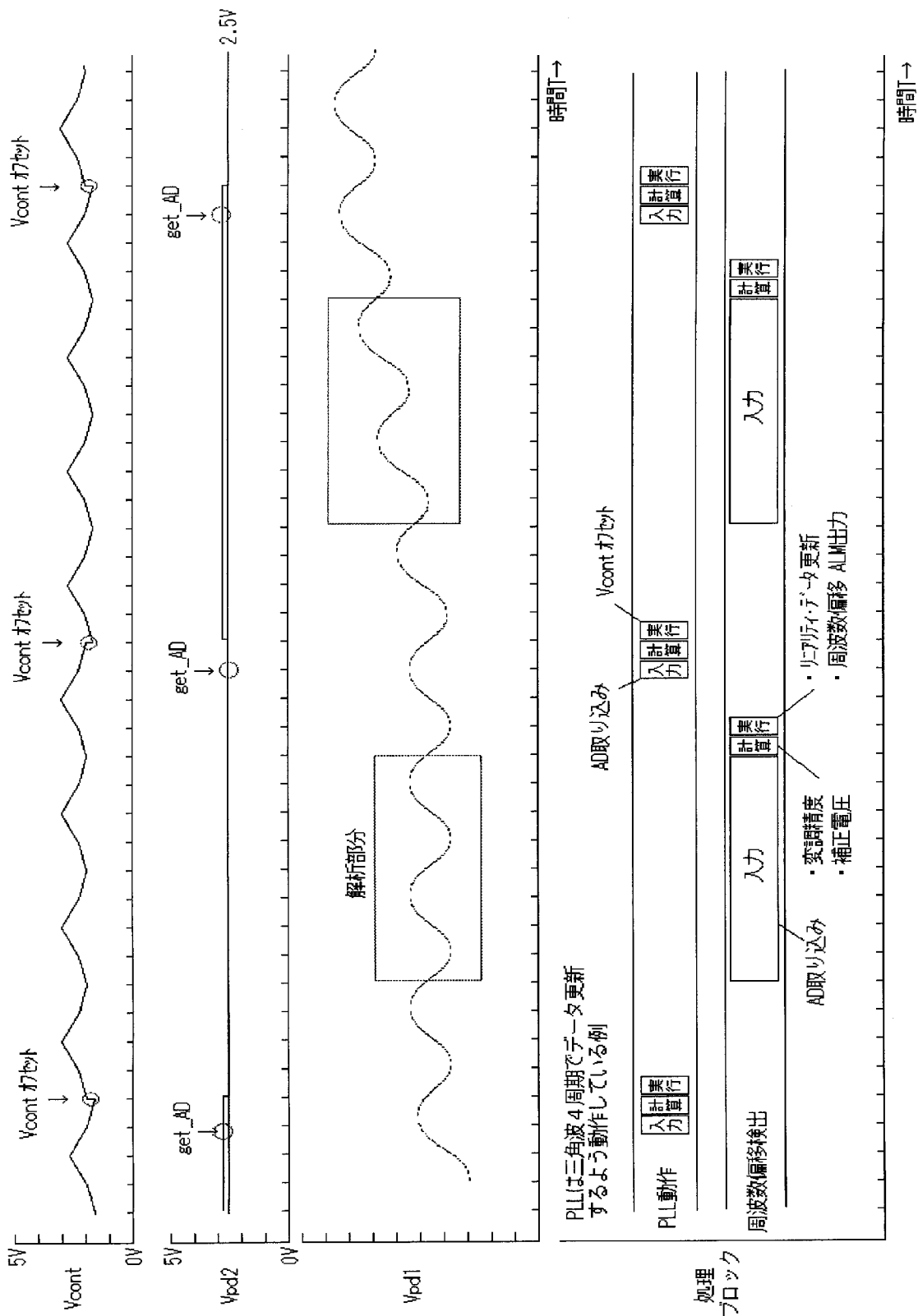
[図 11B]



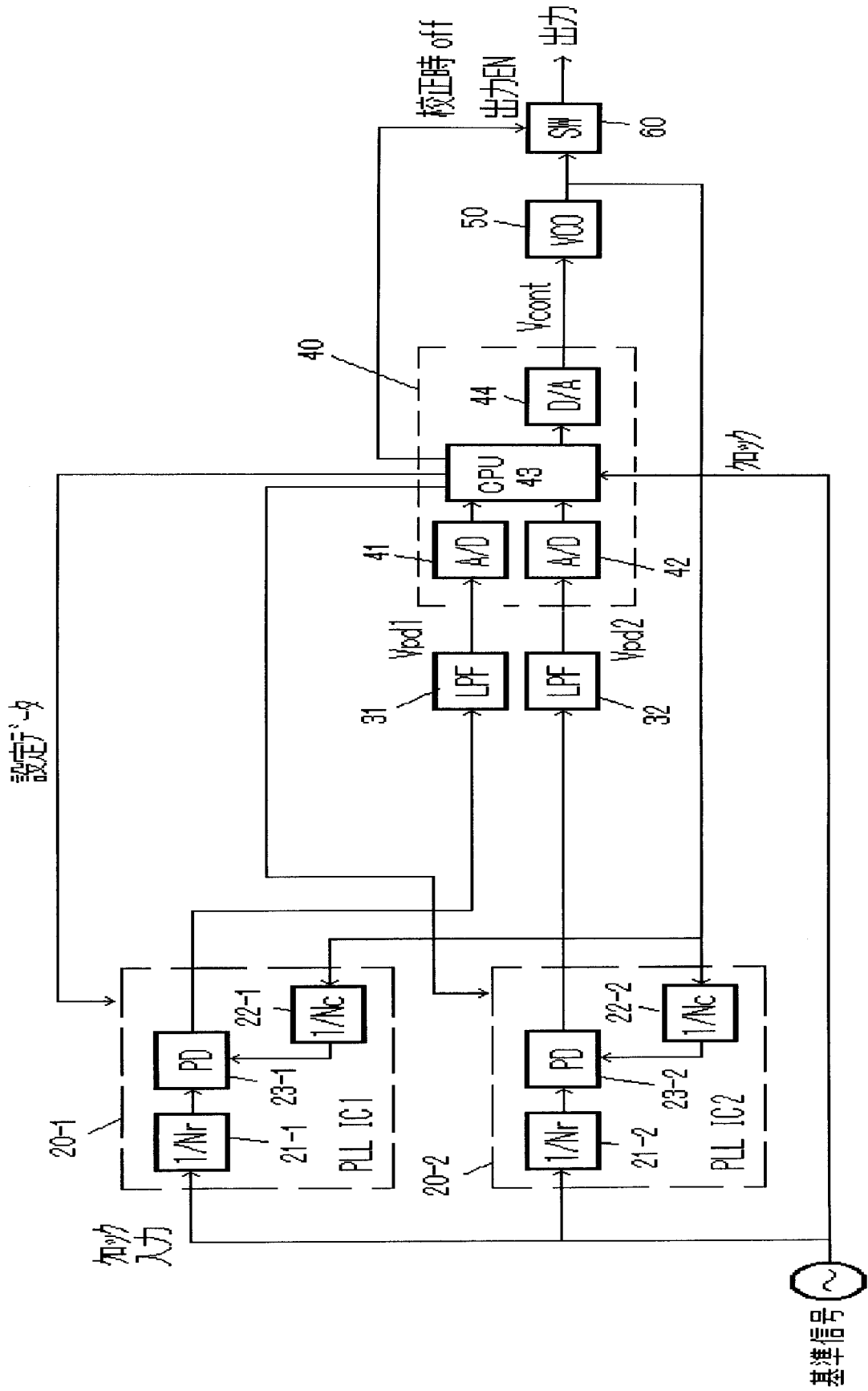
[図 11C]



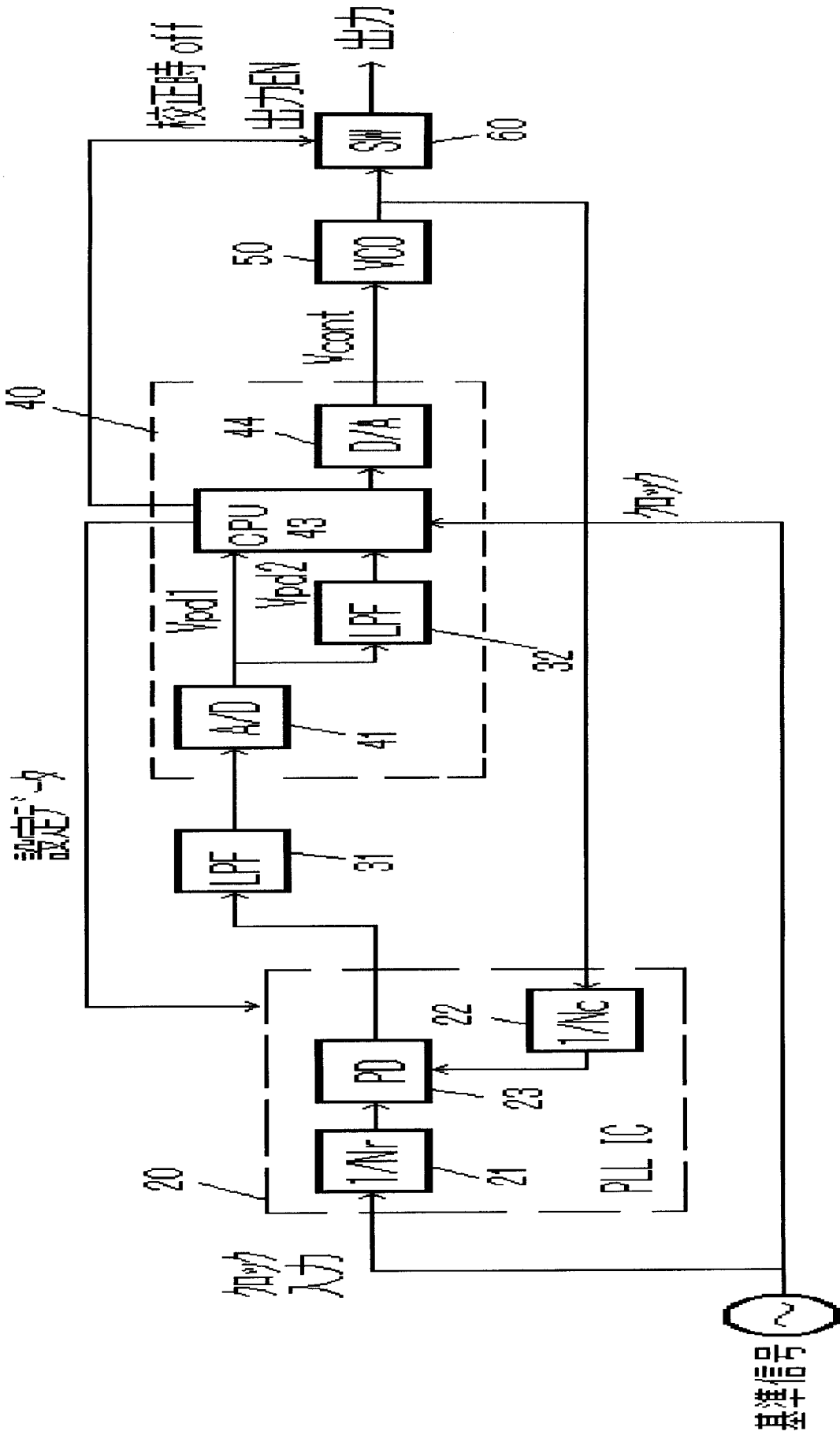
[図12]



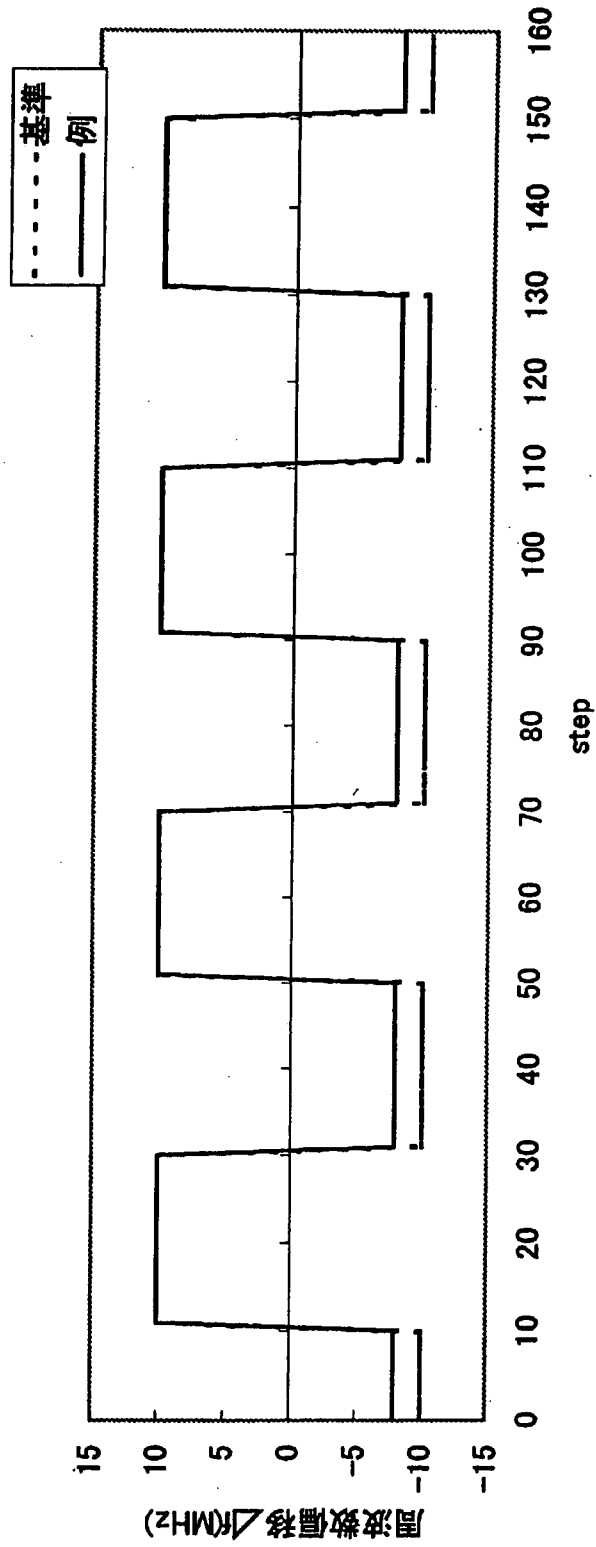
[図13]



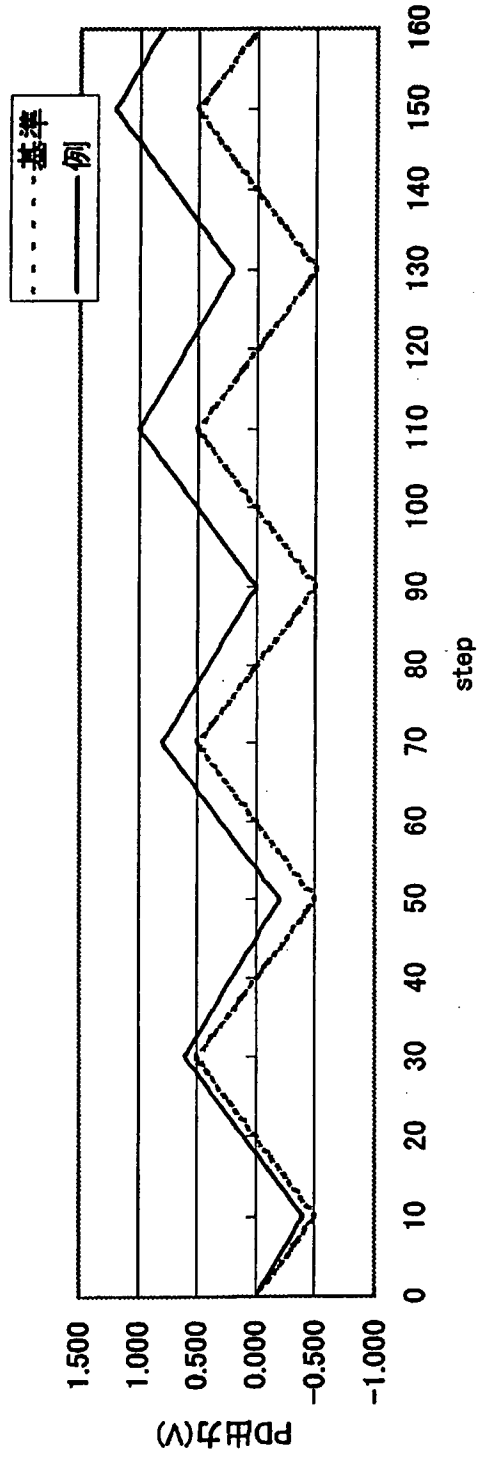
[図14]



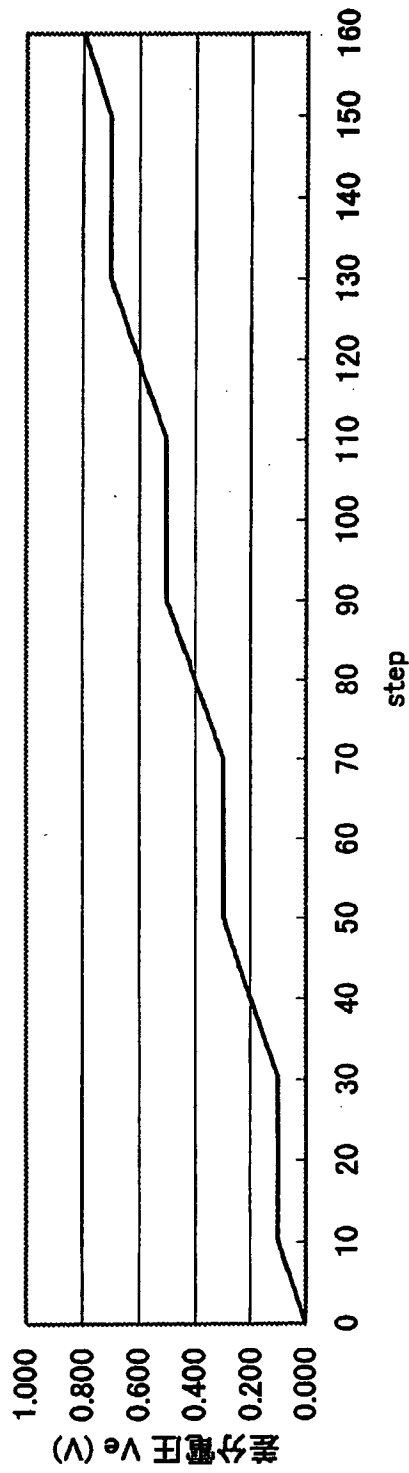
[図 15A]



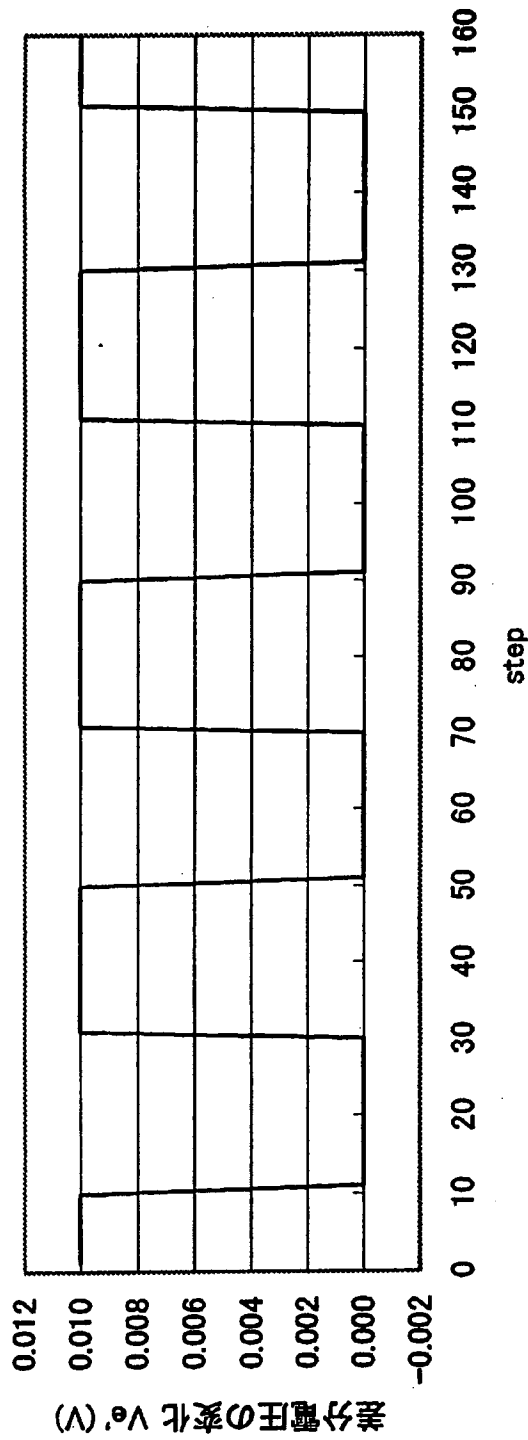
[図 15B]



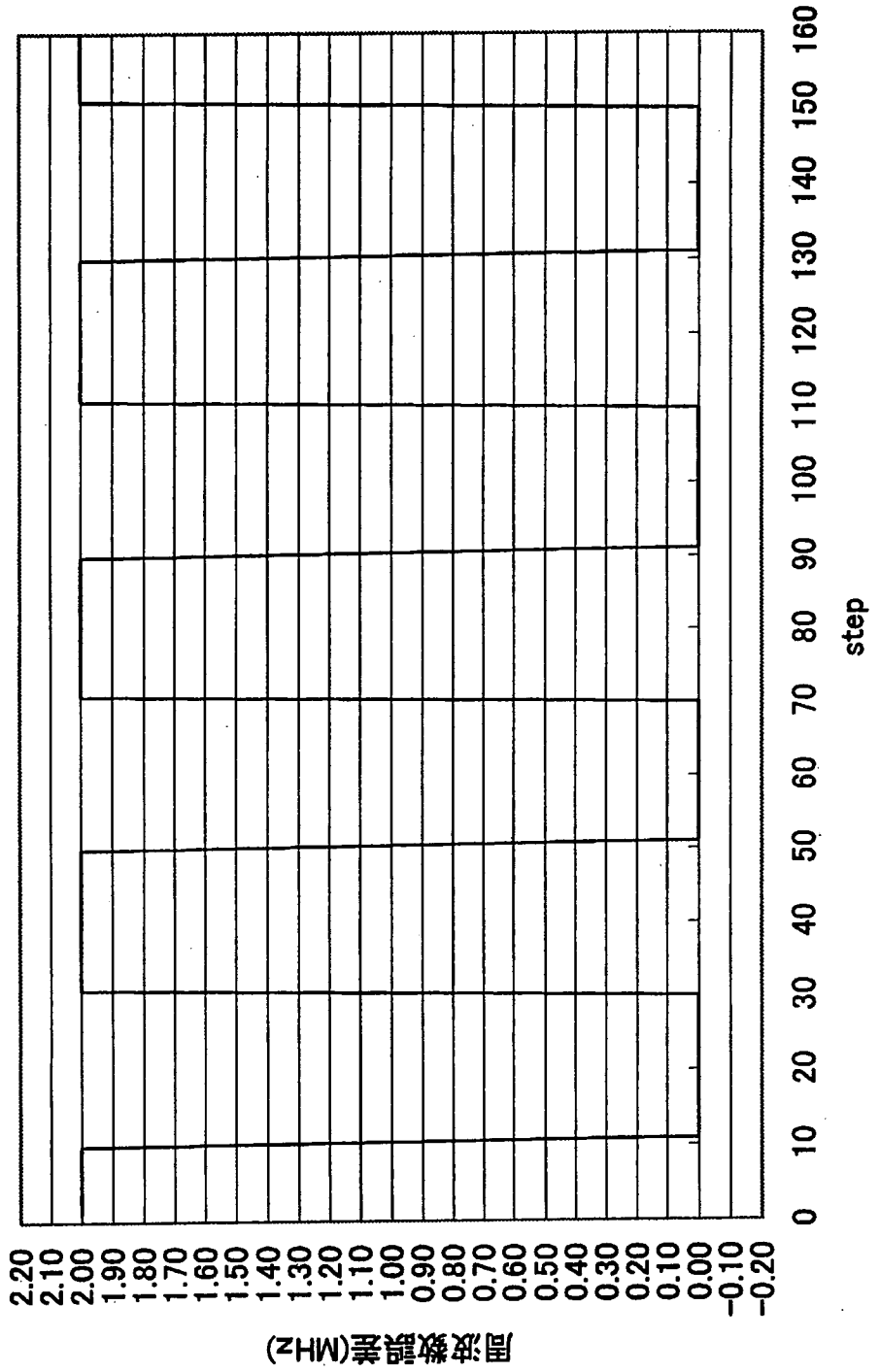
[図 15C]



[図 15D]



[図 15E]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2007/000922

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
H03L7/093 (2006.01) i, H03L7/099 (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)  
H03L7/06-H03L7/23, G01S13/34

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	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

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 2003-294835 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 15 October, 2003 (15.10.03), Full text; all drawings & US 2003/184470 A1 & EP 1353194 A2	1-15
A	JP 9-312521 A (Toyo Communication Equipment Co., Ltd.), 02 December, 1997 (02.12.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2004-56172 A (Hitachi, Ltd.), 19 February, 2004 (19.02.04), Full text; all drawings & US 2004/12447 A1 & EP 1383244 A1 & DE 60202673 T	14, 15

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 30 October, 2007 (30.10.07)	Date of mailing of the international search report 06 November, 2007 (06.11.07)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H03L7/093(2006.01)i, H03L7/099(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. H03L7/06-H03L7/23, G01S13/34		
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 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007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 請求の範囲の番号
A	J P 2 0 0 3 - 2 9 4 8 3 5 A (株式会社村田製作所), 2 0 0 3 . 1 0 . 1 5 , 全文, 全図 & U S 2 0 0 3 / 1 8 4 4 7 0 A 1 & E P 1 3 5 3 1 9 4 A 2	1 - 1 5
A	J P 9 - 3 1 2 5 2 1 A (東洋通信機株式会社), 1 9 9 7 . 1 2 . 0 2 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 1 5
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 3 0 . 1 0 . 2 0 0 7	国際調査報告の発送日 0 6 . 1 1 . 2 0 0 7	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 井上 弘亘 電話番号 03-3581-1101 内線 3574	5W 3664

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
A	JP 2004-56172 A (株式会社日立製作所) 2004.02.19, 全文, 全図 & US 2004/12447 A1 & EP 1383244 A1 & DE 60202673 T	14, 15