

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年2月12日 (12.02.2009)

PCT

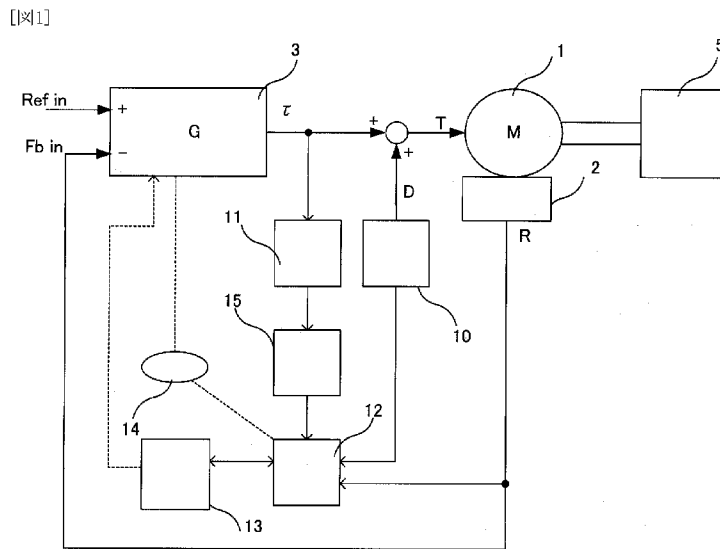
(10) 国際公開番号
WO 2009/019953 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/062467
- (22) 国際出願日: 2008年7月10日 (10.07.2008)
- (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2007-202758 2007年8月3日 (03.08.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI)
[JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石
2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小宮 剛彦
- (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, 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, ST, 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,
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,

[続葉有]

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE AND GAIN ADJUSTMENT METHOD THEREOF

(54) 発明の名称: 電動機制御装置およびそのゲイン調整方法



(57) Abstract: A motor control device and a gain adjustment method thereof which can adjust a gain while updating the gain value of a control part by detecting the occurrence of oscillation of a feedback loop. The motor control device has a motor (1), an operation quantity detection part (2), a control part (3), a machine (5), a disturbance signal generation part (10) generating a sweeping sine wave, a compensation drive force detection part (11), an oscillation calculation part (12), an oscillation occurrence detection part (13), an oscillation simulation gain calculation part (15), a gain change part (14), an open loop simulation gain calculation part (15), a gain automatic change part (30), and a gain automatic change part (31). According to a first threshold related to the amplitude of oscillation and a second threshold related to a frequency, the time series signal of a response is processed to detect the occurrence of the oscillation.

(57) 要約: フィードバックループの発振を検出し、制御部のゲイン値を更新しながらゲイン調整することができる電動機制御装置およびそのゲイン調整方法を提供する。 電動機 (1) と、動作量検出部 (2) と、制御部 (3) と、機械 (5) と、掃引正弦波を発生する外乱信

[続葉有]

WO 2009/019953 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, 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

号発生部（10）と、補償駆動力検出部（11）と、振動算出部（12）と、発振検出部（13）と、振動記憶部（14）と、開ループ模擬ゲイン演算部（15）と、ゲイン変更部（30）と、ゲイン自動変更部（31）とを備え、振動の大きさに係わる第1の閾値と、周波数に係わる第2の閾値とに従い、応答の時系列信号を処理して発振を検出する。

明 細 書

電動機制御装置およびそのゲイン調整方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体製造装置などの位置決め装置あるいは工作機械や産業用ロボットに用いられる電動機制御装置に関するものである。本発明は、外乱信号を掃引正弦波として駆動力に加えて、振動の大きさ基準とする第1の閾値と振動周波数を基準とする第2の閾値とで制御部のフィードバックループの発振を検出し、簡便にゲイン余裕を評価する電動機制御装置およびそのゲイン調整方法に関する。

背景技術

[0002] 従来のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法は、最適な制御ゲインが自動的に設定できるサーボ制御装置の限界ゲインを抽出するために、サーボ制御装置で、振動検出手段と、制御ゲインを上げたところであるレベルの振動を与えるような模擬外乱トルクをトルク指令に加える加振手段を持っている。従来は、調整して加振し振動検出手段で振動検出を行い、あるレベルの振動を検出するまで制御ゲインを上げ模擬外乱トルクを加える処理を繰り返し、あるレベルを超えた振動を検出した時の制御ゲインを限界ゲインとする限界ゲイン抽出方法で、最大ゲインを予め決めてそこで制御ゲインを抑える方法としている。(例えば、特許文献1参照)。

[0003] 従来の電動機制御装置の共振周波数検出装置は、簡単な演算で共振周波数を高速に計測でき、安価な演算装置で共振周波数が検出できる電動機制御装置の共振周波数検出装置を提供するために、機械を駆動する電動機203と、その機械の動作量を検出する検出手段205と、制御指令を受けて電動機203を駆動する制御部202とからなる。この従来の電動機制御系において、掃引正弦波信号を発生して電動機制御系に入力する指令発生器201と、指令発生器201が出力する掃引正弦波信号の周波数情報と検出手段205の信号を入力し、検出手段205の信号の絶対値が最大となる掃引正弦波信号の周波数を共振周波数として出力するようにしている。(例えば、特許文献2参照)

[0004] また、従来のデジタルサーボの安定理論と判別法では、(1)特性根からの判別(2

)開ループからの安定判別について紹介し、(2)の開ループからの安定判別として、実用的なナイキスト判定法である、開ループ(一巡開ループ伝達関数)のボード線図によるゲイン余裕・位相余裕有りの安定、安定限界、不安定を明記しているものもある。(例えば、非特許文献1参照)。

特許文献1:特開2005-45937号公報(図2、図4、図6)

特許文献2:特開2003-134868号公報(図1、図8)

非特許文献1:本田・城谷著「図解と実践で学ぶデジタルサーボの理論と実践」日刊工業新聞社、1998年6月30日、p. 42-46

[0005] 第1の従来技術である特許文献1のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法について説明する。

図27は第1の従来技術である特許文献1のサーボ制御装置の制御ブロック図、図28は第1の従来技術である特許文献1のゲインを上げた時の振動の発生、振動発生時のゲイン低下および限界ゲイン抽出タイミングを示す図、図29は第1の従来技術である特許文献1の限界ゲイン抽出処理のフローチャートである。

図27、28のように疑似外乱トルクをステップ信号で加えることにより、摩擦等の機械負荷に打ち勝って安定状態を壊し振動を誘発する。

この限界ゲインの具体的な検出手順は、以下、図29のフローチャートを参照すると、最初に、位置ループや速度ループといった制御系のゲインを低ゲインとしておき、通常運転或いは運転して機械特有の運転時の振動レベルを振動検出手段により検出する。(S1)

次に、位置ループや速度ループといった制御系のゲインを低ゲインとしておき、図28の制御ブロック図のトルク指令 τ_{ref} に模擬外乱トルクをステップで加えて(S2)、位置偏差或いは速度等の応答がある振動レベルを超えているかどうかを判断する(S3)。ステップS3で、振動レベルを超えていなければ(Noならば)、加えた模擬外乱トルクが機械負荷を超えられなかったと考え、模擬外乱トルクを大きくする(S4)。あらかじめ定めたレベルまで、応答が大きくなるように模擬外乱トルクを大きくする。

そして模擬外乱トルクをあるレベルまで大きくしても応答が大きくなる場合、応答の検出レベルを下げる。このようにして模擬外乱トルクの大きさとその応答の検出レ

ベルを調整する。

ステップS3で、振動レベルを超えていれば(Yesならば)、模擬外乱トルクの大きさを決めた後で、次に図28に示すような時間タイミングで段階的にゲインを上げる(S5)。ステップS5の処理のように制御ゲインを上げた後、ゲインが設定最大ゲインかどうかを判断する(S6)。ステップS6でNoならば、トルク指令に模擬外乱トルクを加え(S7)、振動検出手段1にて、振動を確認する(S8)。振動検出手段1は例えばトルク又は速度等の振幅を振動検出レベルと比較し、大きい場合振動として検出する。

模擬外乱トルクを加えた後に、あるレベルを超えて振動を検出したら、図28のようなタイミングで模擬外乱トルクを加えるのは停止し、制御ゲインを振動しないレベル迄下げる(S9)。あるいは、確実に振動を止めるため、トルク指令を絞るか、位置偏差を一瞬ゼロにする。そして振動した時のゲインの1つ前のゲインをマイクロコンピュータ内の記憶手段内に限界ゲインとして記憶しておく。この記憶したゲインが検出すべき限界ゲインである。

また、ステップS6で既に最大ゲインの設定値等になった(Yes)ならば、模擬外乱トルクを増やし(S10)、S11~14の処理を行って、振動レベルを超えると(S14)、限界ゲインを更新する(S15)というゲイン余裕度を確保する処理を行う。

模擬外乱トルクを大きくしていくと機械への衝撃も大きくなり、振動が発生しないような制御ゲインは小さくなる。

模擬外乱トルクを少し大きくして(S10)、同様に次のS11~S14で限界ゲインの抽出を行う。このように模擬外乱トルクを少し大きくして限界ゲインの抽出を行うと、制御ゲインは下がりその分が、実際の運転時における制御ゲインの余裕となり、余裕を持って運転ができる。そして用途等に応じて余裕を変えることができる。

このように、従来のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法は、最適な制御ゲインが自動的に設定できるサーボ制御装置の限界ゲインを抽出するのである。

[0006] 第2の従来技術である特許文献2の電動機制御装置の共振周波数検出装置について説明する。

図30は第2の従来技術である特許文献2の共振周波数検出装置の構成を示すブロック図である。また、図31は、第2の従来技術である特許文献2の時間応答波形で

ある。

指令発生器201は最小周波数 F_{min} から最大周波数 F_{max} まで周波数が変化する掃引正弦波指令を指令信号Cとして出力し、同時に、時々刻々と変化する指令信号Cの周波数の情報Aも出力する。制御器202は、指令発生器201から受けた指令信号Cに従って電動機203を駆動し、連結された機械204が動作する。電動機203に連結された検出手段205の出力は図30のように電動機動作量 m を検出し、これを応答信号Sとして信号処理器206に送る。この図では電動機203と機械204が連結されているため、電動機動作量 m を検出すれば、機械204の共振特性を検出できる。この応答信号Sは機械204が周波数に依存して少しの外乱でも大きな反応を示す共振特性を持つため、共振周波数では振幅が最大となる。信号処理器206は掃引正弦波指令の周波数情報Aと応答信号Sを受け取り、最小周波数 F_{min} を過ぎた検出最小下限周波数 F_{lim} から共振周波数の検出のための演算を行なう。検出最小下限周波数 F_{lim} 以上で、図31のように、応答信号Sの絶対値が最大となるときの掃引正弦波の周波数を共振周波数と判断して共振周波数検出結果 f を出力する。

このように、従来の電動機制御装置の共振周波数検出装置は、掃引正弦波で電動機を駆動して共振周波数を検出するのである。

[0007] 第3の従来技術である非特許文献1のデジタルサーボの安定理論と判別法について説明する。

図32は第3の従来技術である非特許文献1の開ループ(一巡開ループ伝達関数)ボード線図による動特性推定の例である。このボード線図は制御系の安定度を理論的に示す方法であり、左から (a)安定(b)安定限界(c)不安定を示している。

ゲインが0dBのとき、(a)安定の場合は、位相が0Hz時より-180度変化しておらず、これを位相余裕と呼ぶ。また、位相が-180度変化しても、ゲインが0dB以下のレベルであり、このゲインをゲイン余裕と呼ぶ。

(b) 安定限界ではゲインが0dBのとき、位相が-180度変化している。つまり、位相が-180度変化したとき、ゲインは0dBであり、ゲイン余裕、位相余裕共に限界にある。

(c) 不安定では、ゲインが0dBのとき、位相がすでに-180度以上変化している。ま

た、位相が -180 度変化したとき、ゲインは 0 dB以上ある。ゲイン余裕、位相余裕共に無く、不安定である。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] 第1の従来技術である特許文献1のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法は、振動の発生の判定は大きさ(振幅)のみとなっていて周波数を考慮することができないという問題があった。また、模擬外乱トルクをステップ信号で加えており、ステップ形状により誘発できる発振が、実動作時の動作とは必ずしも一致しない場合は、実動作時に最適なゲイン値にならず、発振するというような問題もあった。
- [0009] 第2の従来技術である特許文献2の電動機制御装置の共振周波数検出装置は、共振周波数検出結果を求めるもので、制御器202のゲイン値を求めることができなかった。ゲイン値を上げすぎていると、適用時に発振する問題もあるが、作業者が判断しなければならないという問題もあった。
- [0010] 第3の従来技術である非特許文献1のデジタルサーボの安定理論と判別法は、周波数分析とその結果を用いた数値演算により開ループ(一巡開ループ伝達関数)ボード線図を算出する必要があり、ゲイン値を変更しながら開ループ(一巡開ループ伝達関数)ボード線図を観察するのは煩雑であるという問題があった。また、図31に示すようなボード線図は、剛体系のみであり、実際の機械では多慣性の特性を持ち、ボード線図の形状が図31とは異なるという問題もあった。
- [0011] 本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、多慣性の特性を持った機械においても、ゲイン値を変更しながら開ループ(一巡開ループ伝達関数)ボード線図を観察する必要もなく、実動作に沿った状況で、フィードバックループの発振を検出し、制御部のゲイン値を更新しながらゲイン調整することができる電動機制御装置およびそのゲイン調整方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0012] 上記問題を解決するため、本発明は、次のように構成したのである。

請求項1に記載の発明は、電動機または機械の動作量を検出する動作量検出部の検出信号を入力し、指令信号を受けて前記電動機を駆動するための駆動力を発

生ずる制御部と、前記制御部が発生した駆動力に外乱信号を加える外乱信号発生部と、前記制御部が発生した駆動力を検出する補償駆動力検出部と、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号の絶対値もしくは二乗値に基づいて算出した振動の大きさおよび振動周波数を算出する振動算出部と、を備え、前記指令信号と前記動作量が一致するように前記制御部を介して前記電動機を制御するためのフィードバックループを構成した電動機制御装置において、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号の大きさを基準とする予め決められた少なくとも1つの第1の閾値と、振動周波数を基準とする予め決められた少なくとも1つの第2の閾値と、に基づいて、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号を判定して前記フィードバックループの発振を検出する発振検出部と、を備えたことを特徴とするものである。

[0013] また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の電動機制御装置において、前記補償駆動力検出部の信号を用いて、模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する開ループ模擬ゲイン演算部をさらに備えたことを特徴とするものである。

[0014] また、請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の電動機制御装置において、前記外乱信号発生部は、前記制御部が発生した駆動力に掃引正弦波の外乱信号を加えることを特徴とするものである。

[0015] また、請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の電動機制御装置において、前記振動算出部は、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号に基づいて振動が大きい時系列地点の振動周波数を算出することを特徴とするものである。

[0016] また、請求項5に記載の発明は、請求項1に記載の電動機制御装置において、前記制御部は、その応答性を可変にするゲイン変更部を備えたことを特徴とするものである。

[0017] また、請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の電動機制御装置において、前記振動算出部が検出した振動周波数および振動の大きさの値を記憶する振動記憶部を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の電動機制御装置において、前記振動記憶部は、前記ゲイン変更部の値を記憶することを特徴とするものである。

また、請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の電動機制御装置において、前記制御部は前記ゲイン変更部を自動変更し、前記発振検出部に従い自動変更を停止し、振動記憶部に記憶したゲインに戻すゲイン自動変更部を備えたことを特徴とするものである。

[0018] また、請求項9に記載の発明は、請求項1に記載の電動機制御装置において、前記外乱信号発生部は、前記制御部が発生した駆動力に広域周波数成分を持つ外乱信号を加えることを特徴とするものである。

また、請求項10に記載の発明は、請求項9に記載の電動機制御装置において、前記補償駆動力検出部と、前記外乱信号発生部と、の信号から一巡開ループ伝達関数を算出する一巡開ループ伝達関数演算部と、を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項11に記載の発明は、請求項9に記載の電動機制御装置において、前記動作量検出部と、前記外乱信号発生部と、の信号から前記電動機と駆動される前記機械の特性を算出する機械特性演算部を備えたことを特徴とするものである。

[0019] また、請求項12に記載の発明は、電動機または機械の動作量を検出する動作量検出部の検出信号を入力し、指令信号を受けて前記電動機を駆動するための駆動力を発生する制御部を備え、前記指令信号と前記動作量が一致するように前記制御部を介して前記電動機を制御するためのフィードバックループを構成し、外乱信号として掃引正弦波を発生し、前記制御部が発生した駆動力に前記外乱信号を加えて前記電動機を駆動し、前記制御部が発生した駆動力を検出し、前記制御部が発生した駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の絶対値もしくは二乗値に基づいて振動の大きさを算出し、前記駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の周波数に基づいて振動が大きい時系列地点の振動周波数を算出する電動機制御装置のゲイン調整方法において、前記駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の大きさを基準とする予め決められた少なくとも1つの第1の閾値と、振動周波数を基準とする予め決められた少なくとも1つの第2の閾値と、に基づいて、前記制御部が発生した駆動力もしく

は前記動作量検出部の信号を判定して前記フィードバックループの発振を検出する処理を行うことを特徴とするものである。

[0020] また、請求項13に記載の発明は、請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、前記制御部が発生した駆動力を用いて、模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する処理を行うことを特徴とするものである。

[0021] また、請求項14に記載の発明は、請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、応答性を可変にする前記制御部のゲインを変更する処理を行うことを特徴とするものである。

[0022] また、請求項15に記載の発明は、請求項14に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、前記制御部が発生した駆動力もしくは、前記動作量検出部の信号より求めた振動周波数と振動の大きさを記憶する処理を行うことを特徴とするものである。

[0023] また、請求項16に記載の発明は、請求項15に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、前記制御部のゲインの値を記憶する処理を行うことを特徴とするものである。

[0024] また、請求項17に記載の発明は、請求項16に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、前記制御部のゲインを自動変更し、発振の検出に従い自動変更を停止し、記憶したゲインの値に戻す処理を行うことを特徴とするものである。

[0025] また、請求項18に記載の発明は、請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、外乱信号として前記掃引正弦波に代えて、広域周波数成分を持つ信号を発生し、前記広域周波数成分を持つ信号と、前記制御部が発生した駆動力と、から一巡開ループ伝達関数を算出する処理を行うことを特徴とするものである。

[0026] また、請求項19に記載の発明は、請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法において、外乱信号として前記掃引正弦波に代えて、広域周波数成分を持つ信号を発生し、前記広域周波数成分を持つ信号と、前記動作量検出部が検出した信号と、から前記電動機と前記機械を含む特性を算出する処理を行うことを特徴とするものである。

発明の効果

- [0027] 本発明によると、補償駆動力検出部もしくは検出部の応答信号の大きさに対する第1の閾値と、周波数に対する第2の閾値との、2種類の閾値を用いて発振を検出することができ、請求項3および請求項4ならびに請求項12ないし請求項17に記載の発明によると、第2の閾値を周波数に代えて時系列地点に対する閾値とできるので、簡便に制御部の発振限界を評価することができる。
- [0028] また、請求項5ないし請求項8、および請求項14ないし請求項17に記載の発明によると、制御部のゲイン値を可変にでき、ゲインを調整しながら簡便に制御部の発振限界を検出することができる。
- [0029] また、請求項6および請求項15に記載の発明によると、振動周波数と振動の大きさを記憶することができる。
- また、請求項7、および請求項16に記載の発明によると、振動周波数と振動の大きさと、制御部のゲイン値を記憶することができる。
- また、請求項6、請求項7、請求項15および請求項16に記載の振動周波数と振動の大きさを記憶することにより、第1の閾値と、第2の閾値と対比させ、制御部の発振限界を検出することができる。
- また、請求項7と請求項16に記載のゲイン値を記憶することにより、制御部の発振限界を検出した後に、発振しないゲイン値に戻すことができる。
- [0030] また、請求項8と請求項17とに記載の発明によると、制御部のゲインを変更して、自動的にゲイン・パラメータを調整することができ、発振を検出すると、発振しないゲイン値に戻すことができるので、制御部のゲイン値を自動調整することができる。
- [0031] また、請求項2と請求項13とに記載の発明によると、一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線の特性を模擬的に算出することができ、簡便に一巡開ループ伝達関数を評価することができる。
- [0032] また、請求項10と請求項18とに記載の発明によると、簡便な一巡開ループ伝達関数の評価だけでなく、詳細に一巡開ループ伝達関数を評価することができる。最終的な制御部のゲイン余裕・位相余裕を把握することができる。
- [0033] また、請求項11と請求項19とに記載の発明によると、予め電動機と前記機械の特性を算出することができ、予め第1の閾値と、第2の閾値と対比させる領域を把握して

おくことができる。また、予め制御部によるフィルタの適用を行うことができる。

図面の簡単な説明

- [0034] [図1]本発明の第1実施例を示す電動機制御装置の構成図
- [図2]本発明の第1実施例を示す制御部の構成図
- [図3]本発明の第1実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順
- [図4]本発明の第1実施例を示す電動機制御装置の開ループ模擬ゲイン演算部による模擬的な一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線の算出を示す簡略化したブロック図(一巡開ループ伝達関数演算部による一巡開ループ伝達関数の算出を示す簡略化したブロック図)
- [図5]本発明の第1実施例を示す第1の閾値と第2の閾値による発振検出の概念図
- [図6]本発明の第1実施例を示す外乱信号である掃引正弦波を示す図
- [図7]本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力を示す図
- [図8]本発明の第1実施例を示す検出部が検出する外乱信号入力時の応答を示す図
- [図9]本発明の第1実施例を示す閉ループ特性を示す図
- [図10]本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力の絶対値を示す図
- [図11]本発明の第1実施例を示す一巡開ループ伝達関数を示す図
- [図12]本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力に基づいて模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出した結果を示す図
- [図13]本発明の第1実施例を示す閉ループ特性および一巡開ループ伝達関数を示す図
- [図14]本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力に基づいて模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出した結果を示す図
- [図15]本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の指令速度と速度応答を示す図
- [図16]本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の位置偏差を示す図(低応答)
- [図17]本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の位置偏差を示す図(高応答)
- [図18]本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の位置偏差を示す図(不安定)
- [図19]本発明の第2実施例を示す電動機制御装置の構成図

[図20]本発明の第2実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順の概略

[図21]本発明の第2実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の詳細な手順

[図22]本発明の第2実施例を示す電動機制御装置の一巡開ループ伝達関数を示す図

[図23]本発明の第3実施例を示す電動機制御装置の構成図

[図24]本発明の第3実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順の概略

[図25]本発明の第3実施例を示す電動機制御装置の機械特性演算部による電動機と機械の特性の算出を示す簡略化したブロック図

[図26]本発明の第3実施例を示す電動機制御装置電動機と機械の特性を示す図

[図27]第1の従来技術である特許文献1のサーボ制御装置の制御ブロック図

[図28]第1の従来技術である特許文献1のゲインを上げた時の振動の発生、振動発生時のゲイン低下および限界ゲイン抽出タイミングを示す図

[図29]第1の従来技術である特許文献1の限界ゲイン抽出処理のフローチャート

[図30]第2の従来技術である特許文献2の共振周波数検出装置の構成を示すブロック図

[図31]第2の従来技術である特許文献2の時間応答波形

[図32]第3の従来技術である非特許文献1の開ループ(一巡開ループ伝達関数)ボード線図による動特性推定の例

符号の説明

- [0035] 1 電動機
2、2a、2b 動作量検出部
3 制御部
5 機械
10 外乱信号発生部
11 補償駆動力検出部
12 振動算出部
13 発振検出部
14 振動記憶部

- 15 開ループ模擬ゲイン演算部
- 21 一巡開ループ伝達関数演算部
- 22 機械特性演算部
- 30 ゲイン変更部
- 31 ゲイン自動変更部
- 111 K_p
- 112 速度制御
- 113 モータ
- 114 積分
- 201 指令発生器
- 202 制御器
- 203 電動機
- 204 機械
- 205 検出手段
- 206 信号処理器
- C 指令信号
- m 電動機動作量
- x 機械動作量
- S 応答信号
- A 掃引正弦波指令の周波数情報
- f 共振周波数検出結果

発明を実施するための最良の形態

[0036] 以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

実際の電動機制御装置には様々な機能や手段が内蔵されているが、図には本発明に関係する機能や手段のみを記載し説明することとする。また、以下同一名称には極力同一符号を付け重複説明を省略する。

実施例 1

[0037] 図1は、本発明の第1実施例を示す電動機制御装置の構成図、図2は、本発明の

第1実施例を示す制御部の構成図である。図1において、1は電動機、2は検出部、3は制御部、5は機械、10は外乱信号発生部、11は補償駆動力検出部、12は振動算出部、13は発振検出部、14は振動記憶部、15は開ループ模擬ゲイン演算部となっている。また、図2において、30はゲイン変更部、31はゲイン自動変更部となっている。なお、発振検出部13は図示していない第1の閾値と第2の閾値とに従い、発振を検出する。

[0038] 図3は本発明の第1実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順である。

図3において、ST.01は掃引正弦波を発生する処理を行うステップ、ST.02は制御部3が発生した駆動力に外乱信号を加えて電動機1を駆動する処理を行うステップである。ST.03は制御部3が発生した駆動力を検出する処理を行うステップ(ST.03a)もしくは検出部2の信号を検出する処理を行うステップ(ST.03b)、ST.04は模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する処理を行うステップである。ST.05は振動の大きさを検出する処理を行うステップ、ST.06は振動周波数を検出する処理を行うステップ、ST.07は振動周波数と振動の大きさを記憶する処理を行うステップである。ST.08はフィードバックループの発振を検出する処理を行うステップ、ST.09はゲイン値を更新する処理を行うステップである。ST.10はゲイン値の更新を記憶する処理を行うステップ、ST.11はゲイン値更新停止の処理を行うステップである。

[0039] 本発明が第1の従来技術と異なる部分は、開ループ模擬ゲイン演算部15を有する点と、外乱信号発生部10が掃引正弦波を発生する点と、発振検出部13が図示していない第1の閾値と第2の閾値とに従い、発振を検出する点である。

また、本発明が第2の従来技術と異なる部分は、補償駆動力検出部11、発振検出部13、振動記憶部14、開ループ模擬ゲイン演算部15、ゲイン変更部30、ゲイン自動変更部31を備えた部分である。

また、本発明が第3の従来技術と異なる部分は、周波数分析の結果である一巡開ループ伝達関数を算出しない点である。このため、開ループ模擬ゲイン演算部15を備え、さらに振動算出部12、発振検出部13、振動記憶部14、ゲイン変更部30、ゲイン自動変更部31を備えている点が第3の従来技術と異なる。

[0040] その動作は、図3の手順に示すように処理することで、制御部3のゲイン値を更新し、発振を検出して、制御部3のゲイン値を調整することができる。

動作を詳細に説明する前に、本発明の第1実施例の基本原理について説明する。

図4は、本発明の第1実施例を示す電動機制御装置の開ループ模擬ゲイン演算部による模擬的な一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線の算出を示す簡略化したブロック図である。図4において、 G_1 は第1の制御部、 G_2 は第2の制御部、 b はフィードバック補償部、 H は機械である。機械 H には電動機と制御される機械の特性が含まれる。

なお、図4は公知である一巡開ループ伝達関数の算出を示す簡略化したブロック図でもある。

第3の従来技術にも述べられている一巡開ループ伝達関数 Z_o は、図4の外乱信号 D と制御部3が発生した駆動力 τ を計測して、式(1)に従い閉ループ特性 Z_c を算出した後、式(2)に従い、一巡開ループ伝達関数 Z_o を算出する。

[0041]

$$Z_c(\omega) = \frac{\tau(\omega)}{D(\omega)} = -\frac{b(\omega) \cdot H(\omega) \cdot G_1(\omega) \cdot G_2(\omega)}{1 + b(\omega) \cdot H(\omega) \cdot G_1(\omega) \cdot G_2(\omega)} = -\frac{Z_o(\omega)}{1 + Z_o(\omega)} \quad \text{式(1)}$$

[0042]

$$Z_o(\omega) = -\frac{Z_c(\omega)}{1 + Z_c(\omega)} = b(\omega) \cdot H(\omega) \cdot G_1(\omega) \cdot G_2(\omega) \quad \text{式(2)}$$

[0043] 駆動力 τ と外乱信号 D は周波数分析し、 $\tau(\omega)$ 、 $D(\omega)$ とし、簡便に示すと、式(1)のように外乱信号 $D(\omega)$ により駆動力 $\tau(\omega)$ を割ることで、閉ループ特性 $Z_c(\omega)$ を得る。

。

閉ループ特性 $Z_c(\omega)$ は、一巡開ループ伝達関数 $Z_o(\omega)$ から構成されているので、式(2)に従い算出すれば、一巡開ループ伝達関数 $Z_o(\omega)$ を得る。

但し、本方法は、既に述べたように、周波数分析等高性能な演算装置が必要となる。ゲイン値変更の度に一巡開ループ伝達関数 $Z_o(\omega)$ を得るのは非効率的である。

[0044] 図5は本発明の第1実施例を示す第1の閾値と第2の閾値による発振検出の概念図である。補償駆動力検出部11の信号を図5の様なグラフに挿入して第1の閾値と第2の閾値により発振を検出する。

第1の閾値は図5のグラフの縦軸側の閾値であり、信号の大きさを判定する。第2の閾値は図5のグラフの横軸側の閾値であり、周波数を判定する。周波数の判定は、入力される外乱信号が掃引正弦波であるため、掃引正弦波の時系列のある地点の周波数は既知である。応答側の信号の周波数は、入力側の信号の周波数に依存するとすれば、補償駆動力検出部11の信号のある時系列地点の周波数を判定できる。

なお、補償駆動力検出部11の信号は掃引正弦波に対する応答であり、正負値を持つため絶対値とする。また、検出部2の信号についても、縦軸と横軸に対する閾値を設けて判定することもできる。

[0045] 図6は本発明の第1実施例を示す外乱信号である掃引正弦波を示す図である。これは、正弦波の周波数0Hzから F_{max} Hzまでを、直線的に、 t_n 秒で変化させたものである。

また、図7は本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力を示す図、図8は本発明の第1実施例を示す検出部が検出する外乱信号入力時の応答を示す図である。図1もしくは図4の構成の電動機制御装置において、図6のような掃引正弦波の外乱信号を与えると、補償駆動力検出部11の応答信号は図7となり、検出部2の応答信号は図8となる。

図9は本発明の第1実施例を示す閉ループ特性を示す図である。図1もしくは図4の構成で、閉ループ特性を算出すると、図9のグラフとなる。尚、閉ループ特性は縦軸・横軸共に対数(LOG、dB)表示されるのが一般的だが、図9は軸・横軸共に線形表示している。式(1)にて前述したように、閉ループ特性 $Z_c(\omega)$ は、外乱信号 $D(\omega)$ と駆動力 $\tau(\omega)$ から得られる。

図10は本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力の絶対値を示す図である。

外乱信号 D は掃引正弦波であり、振幅は一定なので、外乱信号 $D(\omega)$ は掃引される周波数領域でも一定振幅となるので図9の閉ループ特性 $Z_c(\omega)$ のゲインのグラフ形状は駆動力 $\tau(\omega)$ のみの場合と定性的に近い。時間領域でも同様であり、さらに、掃引正弦波により横軸は周波数の特性が現れるため、時系列の駆動力 $\tau(t)$ の振幅の絶対値を縦軸にしてグラフ化すれば、図10のように、閉ループ特性 $Z_c(\omega)$ のゲイン

のグラフ(図9)に近い形状が得られる。

[0046] 図11は本発明の第1実施例を示す一巡開ループ伝達関数を示す図である。図12は本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力に基づいて模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出した結果を示す図である。図9と同様に、図11は縦軸・横軸を線形で示している。

前述した図9と図10との関係と同様にして、開ループ模擬ゲイン演算部15により、式(2)に対応する演算を時系列の駆動力 $\tau(t)$ の絶対値を用いて行くと、図12のグラフとなる。図12に示したグラフは一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線(図11)と定性的に形状が似ており、簡便なかつ模擬的な一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線として、用いることができる。

[0047] こうした現象を用いて、図3に示した手順でゲイン調整を行うことができる。

まず、掃引正弦波を発生する処理を行うステップST.01では、外乱信号発生部10が外乱信号とする図6のような掃引正弦波を発生する。

次に、制御部3が発生した駆動力に外乱信号を加えて電動機1を駆動する処理を行うステップST.02に移り、電動機1を駆動する。このとき、制御部3への指令入力(図1のRefinへの入力)は0で良い。電動機1を駆動すると、外乱信号の駆動力で機械5も振るえる。検出部2は電動機1の動作量を検出し、制御部3に返し、制御部3への指令入力0となるように制御部3はこれを補償する駆動力を出力する。

つまり、制御部3が発生した駆動力を検出する処理を行うステップST. 03aおよび検出部2の信号を検出する処理を行うステップST. 03bが行われる。補償駆動力検出部11が図7のような補償する駆動力を検出し、検出部2は図8のような動作量を検出する。

[0048] 次に、模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する処理を行うステップST.04に移り、開ループ模擬ゲイン演算部15は、補償駆動力検出部11が検出した図7のような補償する駆動力から、図12のような模擬的な一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する。なお、検出部2が検出した図8のような動作量から、図10のような模擬的な閉ループ特性のゲイン部を算出しても良い。

さらに、振動の大きさを検出する処理を行うステップST.05が行われて、補償駆動力

検出部11もしくは検出部2の信号を用いて信号の大きさを検出する。さらに、振動周波数を検出する処理を行うステップST.06にて、信号が大きくなると同時に、入力された掃引正弦波の周波数に基づいて振動周波数を検出することができる。

補償駆動力検出部11の検出結果はステップST.04で処理された模擬的な一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を用いれば、図11のように一巡開ループ伝達関数の算出を簡便に行ったことになる。ステップST.05およびST.06は振動算出部12により処理される。

信号の大きさと振動周波数が検出できたので、振動周波数と振動の大きさを記憶する処理を行うステップST.07にて、振動記憶部14に信号の大きさと振動周波数を記憶できる。なお、信号の大きさと振動周波数は複数であって良い。

次に、フィードバックループの発振を検出する処理を行うステップST.08に進む。ステップST.08では、発振検出部13が、複数の信号の大きさと振動周波数とを、図5に示すように、信号の大きさを第1の閾値とし、振動周波数を第2の閾値として、発振を検出する。

[0049] 発振と判断されない(発振がNo)場合には、ゲイン値を更新する処理を行うステップST.09に進む。図2に示した制御部3のゲイン変更部30をゲイン自動変更部31が変更する。通常、低ゲイン値からスタートして、ゲイン値を上昇させる。

制御部3のゲイン値を更新した後、ゲイン値の更新を記憶する処理を行うステップST.10では、以前のゲイン値を含めてゲイン値を振動記憶部14に記憶する。

ゲイン値の更新と記憶を完了したら、再度、ステップST.01に立ち戻り、ゲイン値が異なる条件で、これまでの手順を再度実施する。ゲイン値が変わっているので、検出部2や補償駆動力検出部11の応答信号が変化し、図10や図12のグラフ形状も変化する。図9の閉ループ特性や図11の一巡開ループ伝達関数を求めても変化がある。

[0050] 前回と同様に処理を行い、ステップST.08にて発振を検出した(発振がYESの場合)、ゲイン値更新停止の処理を行うステップST.11に移行する。ステップST.11では、発振検出部13が制御部3のゲイン自動変更部31を停止させ、発振しないゲイン値を振動記憶部14から呼び出し、制御部3のゲイン変更部30に設定し、発振しない状態に戻す。

こうして、ゲイン値の調整処理を完了する。

[0051] なお、図7、図8のように、補償駆動力検出部11や検出部2の応答に幾つかの山が観察できる場合、つまり、図10、図12のようになり、ステップST.05、ステップST.06で大きな振動を検出し、振動周波数を把握できれば、ノッチフィルタ等を適用することもできる。ステップST.10のゲイン値の更新時にフィルタを適用しても良い。

図13は本発明の第1実施例を示す閉ループ特性および一巡開ループ伝達関数を示す図、図14は本発明の第1実施例を示す外乱信号を加える前の駆動力に基づいて模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出した結果を示す図である。

図13は、図11に対してフィルタを適用した結果であり、図14は、図12に対してフィルタを適用した結果である。

以上のようにして、制御部2のゲイン値を変更する調整を行うことができる。

[0052] 図15は本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の指令速度と速度応答を示す図である。図15は、低ゲイン値の場合の応答である。

上記のゲイン調整を行うことで、制御部2の応答を上げ、位置決め時間を短縮することができる。

図16、図17、図18は本発明の第1実施例を示す位置決め動作時の位置偏差を示す図である。位置偏差は位置の動作指令に対する実動作位置の差である。

図16はゲイン調整前の低ゲイン値の場合(低応答)、図17はゲイン調整後の高ゲイン値の場合(高応答)、図18は、ゲイン調整後にさらにゲイン値を上げた場合(不安定)である。位置偏差がある値以下の許容範囲に入れば位置決め完了と判断できる。図16はフィードバックループが発振せず、安定的ではあるが、低ゲインのため、位置決め時間 T_a が長い。図17はフィードバックループが発振しない程度にゲイン値を上げたため、位置決め時間 T_b ($< T_a$)となった。図18はゲイン値を上げ過ぎたので、フィードバックループが発振気味になり、位置決め位置にはやく到達する。しかし、振動が発生して位置偏差が許容範囲に入る時間が掛かり、 T_b と同程度となる。また、特に行き過ぎ量(オーバーシュート)が問題となる機構・用途であれば、図18程度でも実マシンへは採用できない。

本発明の第1実施例のようにすれば、模擬的にゲイン変更に係わる一巡開ループ

伝達関数のゲイン曲線を算出し、振動の大きさに係わる第1の閾値と、振動周波数に係わる第2の閾値とを用いて、ゲイン調整を行うことができるのである。

実施例 2

[0053] 図19は本発明の第2実施例を示す電動機制御装置の構成図である。

図20は本発明の第2実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順の概略、図21は本発明の第2実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の詳細な手順である。

図19において、21は一巡開ループ伝達関数演算部、2a、2bは共に動作量検出部である。また、図20において、ST. Bはゲイン余裕を簡便に評価するステップ、ST. Cは一巡開ループ伝達関数を算出するステップである。さらに、図21において、ST.01aは周波数を初期値に戻すステップ、ST. 01bは正弦波を発生するステップ、ST.01cは周波数の上限を判定するステップ、ST.01dは周波数を更新するステップである。

[0054] 本発明が第1実施例と異なる部分は、一巡開ループ伝達関数演算部21を備えた部分と、検出部を2a、2bの2つ備え、電動機1の動作量を検出する動作量検出部2aと機械5の動作量を検出する動作量検出部2bを備えフルクロズド・フィードバックを構成する部分である。

なお、ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bは本発明の第1実施例の一連の処理と等価である。但し、本発明の第1実施例の掃引正弦波を発生する処理を行うステップST.01を、周波数を初期値に戻すステップST.01aと、正弦波を発生するステップST. 01bと、周波数の上限を判定するステップST.01cと周波数を更新するステップST.01dの4つのステップに分けて処理する点が本発明の第1実施例とは異なる。

[0055] 本発明が第1の従来技術と異なる部分は、開ループ模擬ゲイン演算部15と一巡開ループ伝達関数演算部21とを有する点と、外乱信号発生部10が(掃引)正弦波を発生する点と、発振検出部13が図示していない第1の閾値と第2の閾値とに従い、発振を検出する点である。

本発明が第2の従来技術と異なる部分は、補償駆動力検出部11、発振検出部13、振動記憶部14、開ループ模擬ゲイン演算部15、一巡開ループ伝達関数演算部21、ゲイン変更部30、ゲイン自動変更部31を備えた部分である。

第3の従来技術とは、一巡開ループ伝達関数演算部21を設けて一巡開ループ伝達関数を求める点は本発明と同じだが、開ループ模擬ゲイン演算部15を備え、さらに振動算出部12、発振検出部13、振動記憶部14、ゲイン変更部30、ゲイン自動変更部31を備えている点が異なる。

[0056] 図19に示す構成のうち、第1の実施例と同じ構成要素を用いて、図20のゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bを処理し、第1の実施例とは異なる一巡開ループ伝達関数演算部21の利用を追加して、図20の一巡開ループ伝達関数を算出するステップST.Cの処理を行う。ステップST.Bは簡便かつ高速にゲイン調整を行う処理であり、ステップST.Cはゲイン調整の結果確認である。

[0057] 第1実施例の一連の処理と等価であるゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bを図21と第1実施例の処理との対比を用いて説明する。

第1実施例では、図6のような掃引正弦波を発生し、図7、図8のような応答を得て、図12のような処理をして、振動の大きさと振動周波数を把握して、2種類の閾値で発振を検出していた。

本実施例では、外乱信号は、正弦波の周波数0Hzから F_{\max} Hzまでを、 t_n 秒毎に、 N_{\max} ステップで、 F_{\max}/N_{\max} ずつ、直線的に増加させたものであり、 $t_n \times N_{\max}$ 秒で変化させたものである。外乱信号は、最初のステップである0～ t_n までは、 f_1 の周波数の正弦波とし、次のステップである $t_n \sim t_n \times 2$ 秒では、 f_2 の周波数の正弦波として周波数を変化させる。N番目のステップである $t_n \times (N-1) \sim t_n \times N$ 秒では f_N の周波数の正弦波となる。こうして、単一周波数の正弦波 f_N ごとに第1実施例の一連の処理と同じ処理を行い、周波数を変化させる。

[0058] ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bでは、周波数を初期値に戻すステップST.01aにより、周波数を初期値とし、正弦波を発生するステップST.01bにより正弦波を発生する。

次に、第1実施例と同様に、制御部3が発生した駆動力に外乱信号を加えて電動機1を駆動する処理を行うステップST.02に移り、電動機1を駆動する。このとき、制御部3への指令入力(図1のRefinへの入力)は0で良い。

制御部3が発生した駆動力を検出する処理を行うステップST.03aおよび検出部2

の信号を検出する処理を行うステップST. 03bでは、動作量検出部2は電動機1の動作量を検出し、制御部3に返し、制御部3への指令入力0となるように制御部3はこれを補償する駆動力を出力する。外乱信号が単一周波数の正弦波なので、動作量検出部2や補償駆動力検出部11が検出する応答信号も入力した単一周波数の振動周波数である。

模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する処理を行うステップST.04でも第1実施例と同様の処理を行う。但し、第1実施例の図12と同様のグラフにはならず、図12の或る横軸の点(現状は初期値の最低周波数)のゲイン(絶対値振幅)の値だけが得られる。

[0059] 振動の大きさを検出する処理を行うステップST.05では、ゲイン(絶対値振幅)の値を認識する。振動周波数を検出する処理を行うステップST.06では既知の入力周波数を再認識することになる。これらを振動周波数と振動の大きさを記憶する処理を行うステップST.07で記憶できる。本実施例では、入力する周波数ごとの振動の大きさを振動記憶部14に記憶することになる。

次に、フィードバックループの発振を検出する処理を行うステップST.08に進む。ステップST.08では第1実施例と同様の処理を行う。但し、発振の有無を把握し、振動記憶部14に記憶して良い。しかし、入力周波数が、最大周波数に達していない場合には、発振の有無によって処理は変わらない。周波数の上限を判定するステップST.01cで最大周波数に達していない判定であれば、周波数を更新するステップST.01dに進み、上述した正弦波を発生するステップST.01bに戻る。こうして、周波数ごとに第1実施例の一連の動作を行う。

[0060] ステップST.08の後のステップST.01cで最大周波数に達した判断があれば、周波数の初期値から最大周波数までに、発振の有無を判定する。

発振が無ければ、ゲイン値を更新する処理を行うステップST.09に進む。制御部3のゲイン値を更新した後、ゲイン値の更新を記憶する処理を行うステップST.10では、以前のゲイン値を含めてゲイン値を振動記憶部14に記憶する。

ゲイン値の更新と記憶を完了したら、再度、ステップST.01に立ち戻る。ステップST.01aから初期の周波数から同様の処理を行う。

発振が有れば、ゲイン値更新停止の処理を行うステップST.11に移行する。

こうして、第1実施例と同様に、ゲイン値の調整処理を完了する。

[0061] ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bを完了したら、図20のように、一巡開ループ伝達関数を算出するステップST. Cを行う。

図22は本発明の第2実施例を示す電動機制御装置の一巡開ループ伝達関数を示す図である。ゲイン値の上下を伴うゲイン調整はステップST.Bで行い、ステップST. Cは第3の従来技術と同様にして、ゲイン調整の具合を定量的に確認する。

図22の実線、破線は、第1実施例の図10と図13、図11と図14のように、フィルタ適用の有無を示している。但し、図22は、図10～図14とは違いグラフの縦軸・横軸を対数表示している。

このように、ゲイン調整の具合によって、一巡開ループ伝達関数は変化する。また、図22のようにステップST. Cでフィルタ適用の具合を評価しても良い。

なお、本実施例では、外乱信号Dを、各ステップ毎に単一周波数の正弦波としたが、連続したステップで、連続した周波数となるような掃引正弦波としてもよい。

また、外乱信号Dは正弦波に限らず、求める一巡開ループ伝達関数 Z_0 の周波数領域以上の帯域成分を持つランダム波、M系列信号等で電動機1を含む機械5を励振し、その応答を検出部2が検出して前述の式(1)、(2)に従い一巡開ループ伝達関数 Z_0 を求めても良い。

このように、電動機制御装置のような構成をしているので、最終的には第1実施例の図17に示したような電動機制御装置の動作となるようにゲイン調整をすることができる。

実施例 3

[0062] 図23は本発明の第3実施例を示す電動機制御装置の構成図、図24は本発明の第3実施例を示す電動機制御装置のゲイン調整方法の手順の概略である。

図23において、22は機械特性演算部である。また、図24において、ST.Aは電動機と機械を含む特性を算出するステップである。

[0063] 本発明が第1実施例と異なる部分は、機械特性演算部22を備えた部分である。また、図23に示した電動機1と動作量検出部2と機械5との関係である。電動機1はリニ

ア型の電動機であって、電動機1は機械5を直動に駆動する。動作量検出器2は機械5の動作量を制御部3にフィードバックする構成となっている。

また、図24に示した電動機と機械を含む特性を算出するステップST.Aが第1実施例と異なる。

本発明が第2実施例と異なる部分は、一巡開ループ伝達関数演算部21を備えていない部分と、機械特性演算部22を備えた部分である。また、一巡開ループ伝達関数を算出するステップST.Cを備えていない部分と、電動機と機械を含む特性を算出するステップST.Aを備えた部分である。

[0064] 図24のゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bは本発明の第1実施例の一連の処理と等価である。第1実施例の図3に示した処理でも良いし、第2実施例の図21に示した処理でも良い。ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bは、第1実施例の図3に示した処理もしくは2実施例の図21に示した処理と同様である。

[0065] なお、ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bは、図21のゲイン調整方法の手順を改良しても良い。図21では、正弦波を発生する処理を、発振を検出した後、ゲイン値を更新する内側のループに構成したが、ゲイン値を更新する外側に置いても良い。その際、ゲイン値を更新ループは、ゲイン値を初期値に戻す処理が必要となる。

また、第1実施例の図10、図12、および図14では、振動の大きさを絶対値で示したが、二乗値としても良い。あるいは二乗値の平方根を取っても良い。

[0066] 本実施例では、ゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bの前に、電動機と機械を含む特性を算出するステップST.Aを処理する。

図25は本発明の第3実施例を示す電動機制御装置の機械特性演算部による電動機と機械の特性の算出を示す簡略化したブロック図である。外乱信号Dと応答信号Rから機械特性Hを求める。外乱信号Dは正弦波に限らず、求める機械特性Hの周波数領域の帯域成分を持つランダム波、M系列信号等で電動機1を含む機械5を励振し、その応答を検出部2が検出して式(3)に従い機械特性Hを求めて良い。

具体的には、外乱信号Dと応答信号Rを周波数分析し、 $S_D(\omega)$ 、 $S_R(\omega)$ を求め、 $S_D(\omega)$ の複素共役 $S_D^*(\omega)$ 、を夫々に掛けて、オートパワースペクトル $A_{D,D}$ 、クロススペクトル $A_{R,D}$ を得る。 $A_{D,D}$ 、 $A_{R,D}$ はn回平均化した上、クロススペクトルをオートパワースペ

クトルで割って機械特性Hを求める。(X、Aの上のバーは平均化された事を示す。)

なお、前述の式(1)、(2)に関しても対象とする信号が異なるが、同様に処理して良い。

[0067]

$$H(\omega) = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_i^n S_R(\omega)_i \cdot S_D^*(\omega)_i}{\frac{1}{n} \cdot \sum_i^n S_D(\omega)_i \cdot S_D^*(\omega)_i} = \frac{\bar{X}_{R,D}}{\bar{A}_{D,D}} \quad \text{式(3)}$$

[0068] 図26は本発明の第3実施例を示す電動機制御装置電動機と機械の特性を示す図である。電動機と機械を含む特性を算出するステップST.Aを予め処理しておけば、図26のような結果を得られるので、第1実施例の図14に示したように、予め制御部3によるフィルタを適用できる。また、予め第1の閾値と、第2の閾値と対比させる領域を把握しておくことができる。

ステップST.Aのあと、第1実施例もしくは第2実施例に示したゲイン余裕を簡便に評価するステップST.Bにより、最終的には第1実施例の図17に示したような電動機制御装置の動作となるようにゲイン調整をすることができる。

産業上の利用可能性

[0069] 簡便にゲイン余裕を評価し、電動機制御装置のゲイン調整することによって、位置決め時間を短縮することができるので、電動機制御装置を搭載したマシンの量産時に、個々の個体にあわせた電動機制御装置のゲイン調整という用途にも適用できる。

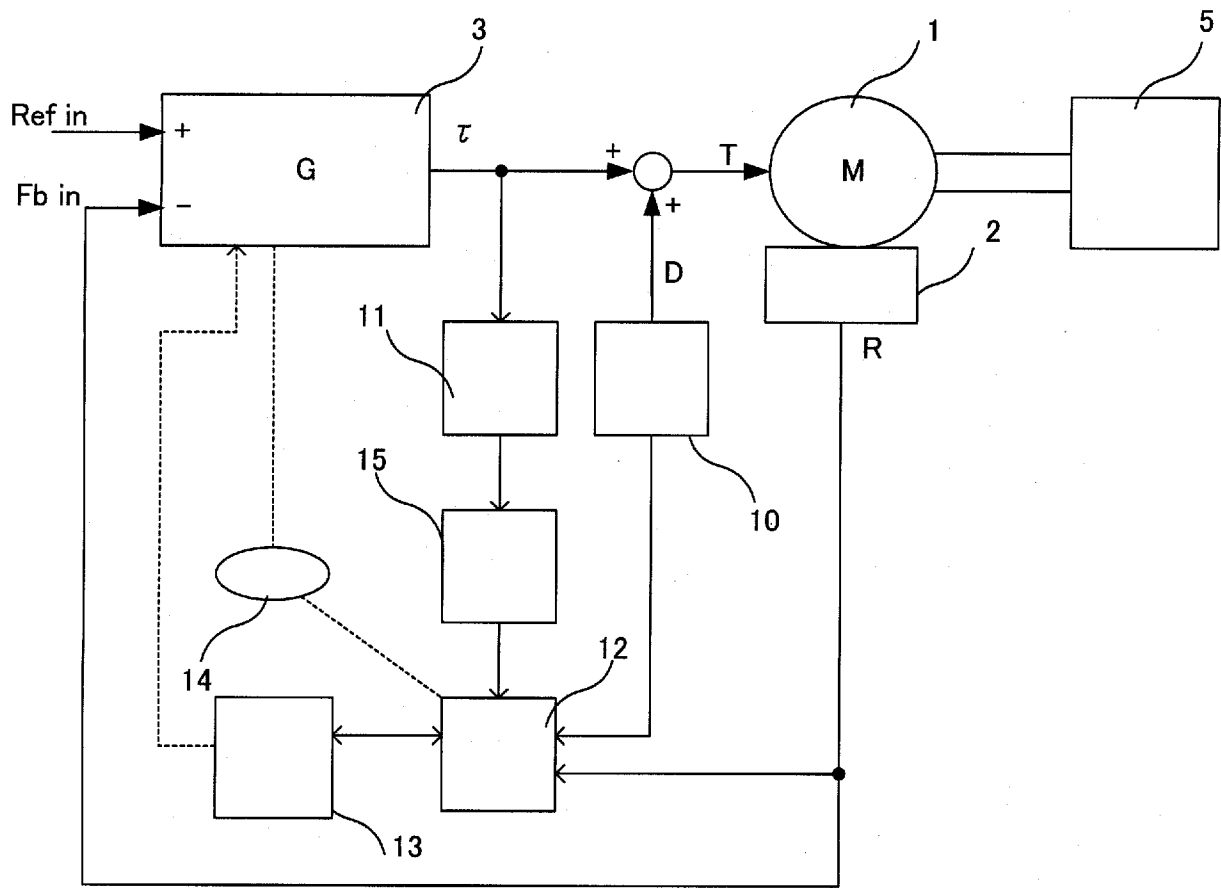
請求の範囲

- [1] 電動機または機械の動作量を検出する動作量検出部の検出信号を入力し、指令信号を受けて前記電動機を駆動するための駆動力を発生する制御部と、前記制御部が発生した駆動力に外乱信号を加える外乱信号発生部と、前記制御部が発生した駆動力を検出する補償駆動力検出部と、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号の絶対値もしくは二乗値に基づいて算出した振動の大きさおよび振動周波数を算出する振動算出部と、を備え、前記指令信号と前記動作量が一致するように前記制御部を介して前記電動機を制御するためのフィードバックループを構成した電動機制御装置において、
- 前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号の大きさを基準とする予め決められた少なくとも1つの第1の閾値と、振動周波数を基準とする予め決められた少なくとも1つの第2の閾値と、に基づいて、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号を判定して前記フィードバックループの発振を検出する発振検出部と、を備えたことを特徴とする電動機制御装置。
- [2] 前記補償駆動力検出部の信号を用いて、模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する開ループ模擬ゲイン演算部をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の電動機制御装置。
- [3] 前記外乱信号発生部は、前記制御部が発生した駆動力に掃引正弦波の外乱信号を加えることを特徴とする請求項2に記載の電動機制御装置。
- [4] 前記振動算出部は、前記補償駆動力検出部もしくは前記動作量検出部が検出した信号に基づいて振動が大きい時系列地点の振動周波数を算出することを特徴とする請求項3に記載の電動機制御装置。
- [5] 前記制御部は、その応答性を可変にするゲイン変更部を備えたことを特徴とする請求項1に記載の電動機制御装置。
- [6] 前記振動算出部が検出した振動周波数および振動の大きさの値を記憶する振動記憶部を備えたことを特徴とする請求項5に記載の電動機制御装置。
- [7] 前記振動記憶部は、前記ゲイン変更部の値を記憶することを特徴とする請求項6に記載の電動機制御装置。

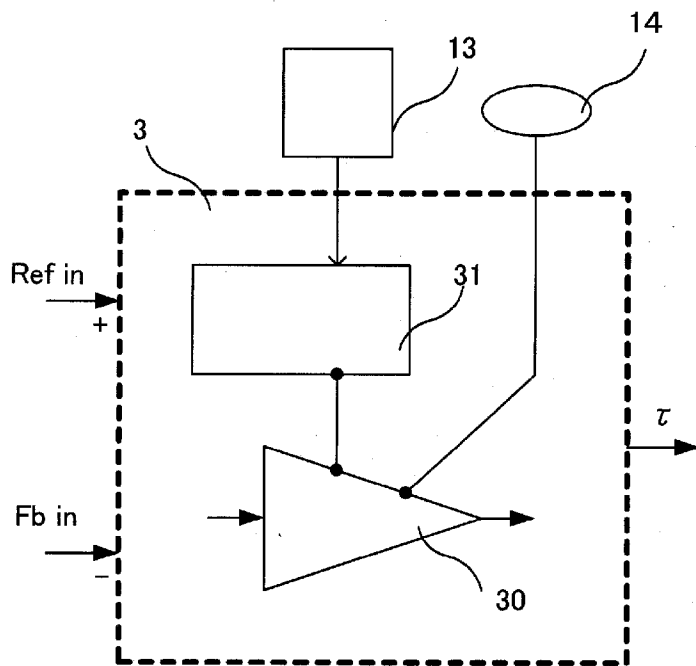
- [8] 前記制御部は前記ゲイン変更部を自動変更し、前記発振検出部に従い自動変更を停止し、振動記憶部に記憶したゲインに戻すゲイン自動変更部を備えたことを特徴とする請求項7に記載の電動機制御装置。
- [9] 前記外乱信号発生部は、前記制御部が発生した駆動力に広域周波数成分を持つ外乱信号を加えることを特徴とする請求項1に記載の電動機制御装置。
- [10] 前記補償駆動力検出部と、前記外乱信号発生部と、の信号から一巡開ループ伝達関数を算出する一巡開ループ伝達関数演算部と、を備えたことを特徴とする請求項9に記載の電動機制御装置。
- [11] 前記動作量検出部と、前記外乱信号発生部と、の信号から前記電動機と駆動される前記機械の特性を算出する機械特性演算部を備えたことを特徴とする請求項9に記載の電動機制御装置。
- [12] 電動機または機械の動作量を検出する動作量検出部の検出信号を入力し、指令信号を受けて前記電動機を駆動するための駆動力を発生する制御部を備え、前記指令信号と前記動作量が一致するように前記制御部を介して前記電動機を制御するためのフィードバックループを構成し、外乱信号として掃引正弦波を発生し、前記制御部が発生した駆動力に前記外乱信号を加えて前記電動機を駆動し、前記制御部が発生した駆動力を検出し、前記制御部が発生した駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の絶対値もしくは二乗値に基づいて振動の大きさを算出し、前記駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の周波数に基づいて振動が大きい時系列地点の振動周波数を算出する電動機制御装置のゲイン調整方法において、
前記駆動力もしくは前記動作量検出部の信号の大きさを基準とする予め決められた少なくとも1つの第1の閾値と、振動周波数を基準とする予め決められた少なくとも1つの第2の閾値と、に基づいて、前記制御部が発生した駆動力もしくは前記動作量検出部の信号を判定して前記フィードバックループの発振を検出する処理を行うことを特徴とする電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [13] 前記制御部が発生した駆動力を用いて、模擬的に一巡開ループ伝達関数のゲイン曲線を算出する処理を行うことを特徴とする請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。

- [14] 応答性を可変にする前記制御部のゲインを変更する処理を行うことを特徴とする請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [15] 前記制御部が発生した駆動力もしくは、前記動作量検出部の信号より求めた振動周波数と振動の大きさを記憶する処理を行うことを特徴とする請求項14に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [16] 前記制御部のゲインの値を記憶する処理を行うことを特徴とする請求項15に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [17] 前記制御部のゲインを自動変更し、発振の検出に従い自動変更を停止し、記憶したゲインの値に戻す処理を行うことを特徴とする請求項16に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [18] 外乱信号として前記掃引正弦波に代えて、広域周波数成分を持つ信号を発生し、前記広域周波数成分を持つ信号と、前記制御部が発生した駆動力と、から一巡開ループ伝達関数を算出する処理を行うことを特徴とする請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。
- [19] 外乱信号として前記掃引正弦波に代えて、広域周波数成分を持つ信号を発生し、前記広域周波数成分を持つ信号と、前記動作量検出部が検出した信号と、から前記電動機と前記機械を含む特性を算出する処理を行うことを特徴とする請求項12に記載の電動機制御装置のゲイン調整方法。

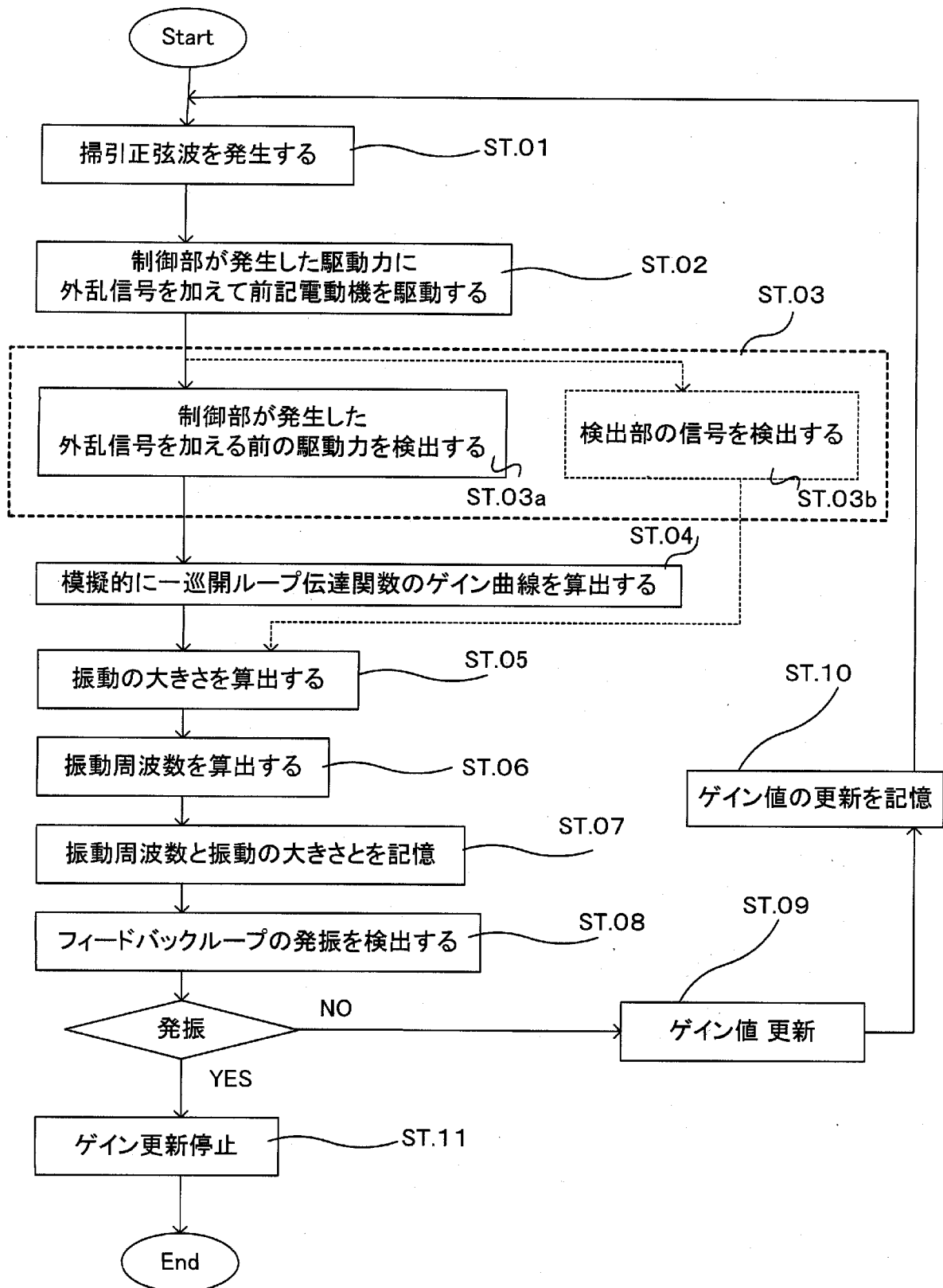
[[図1]]



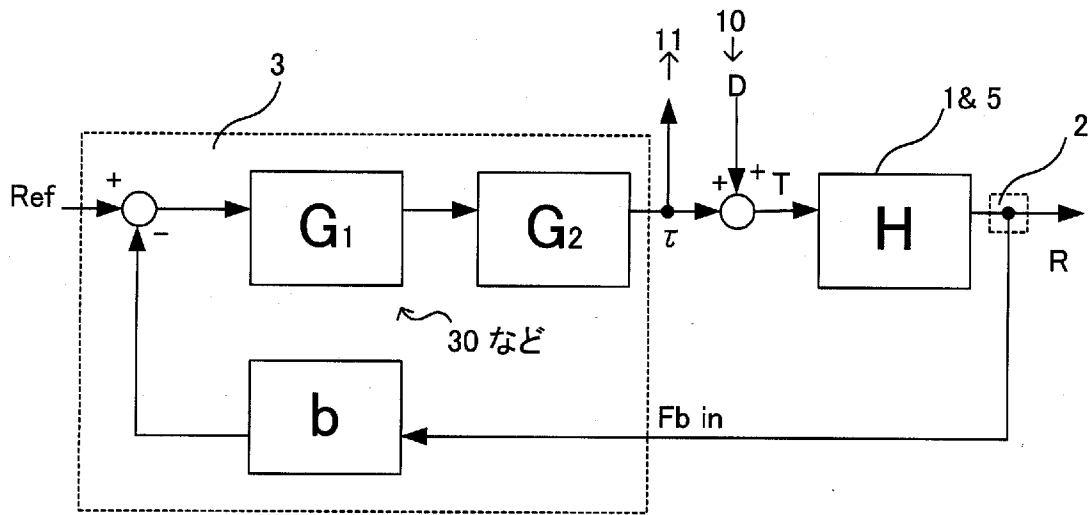
[[図2]]



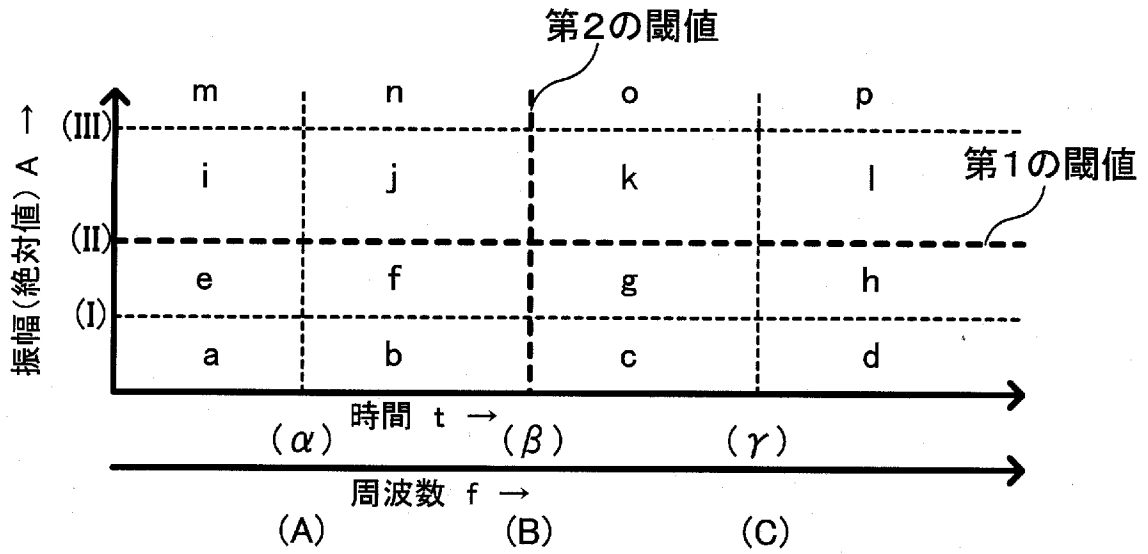
[図3]



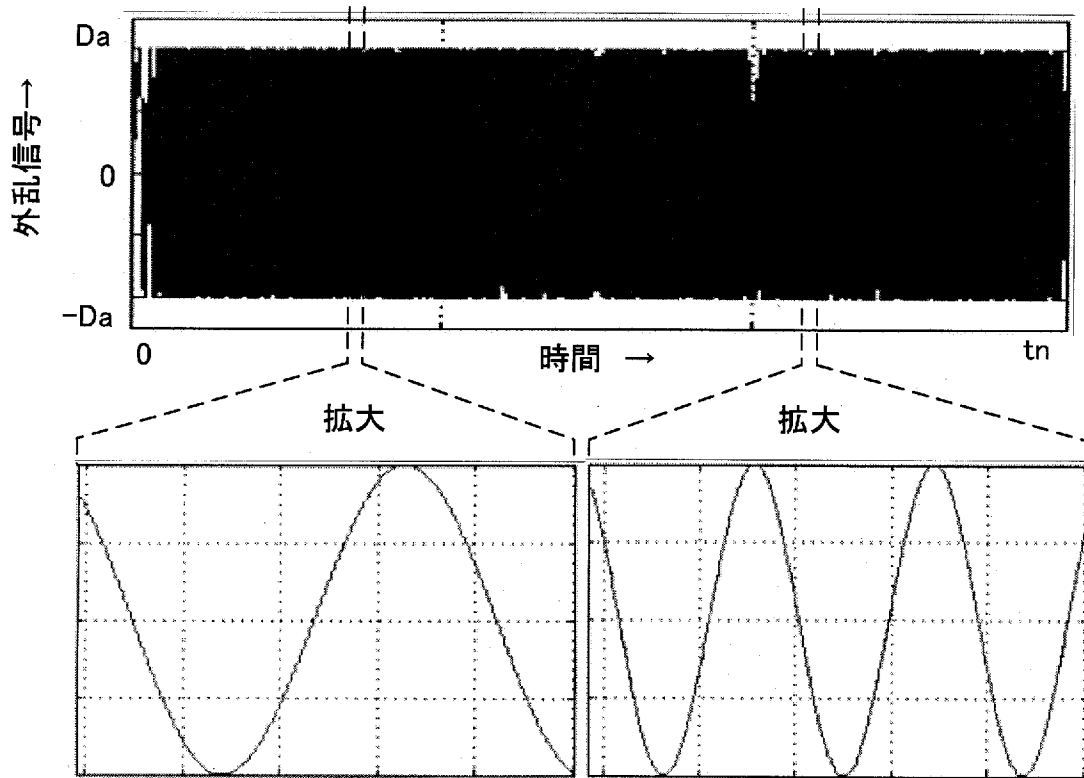
[図4]



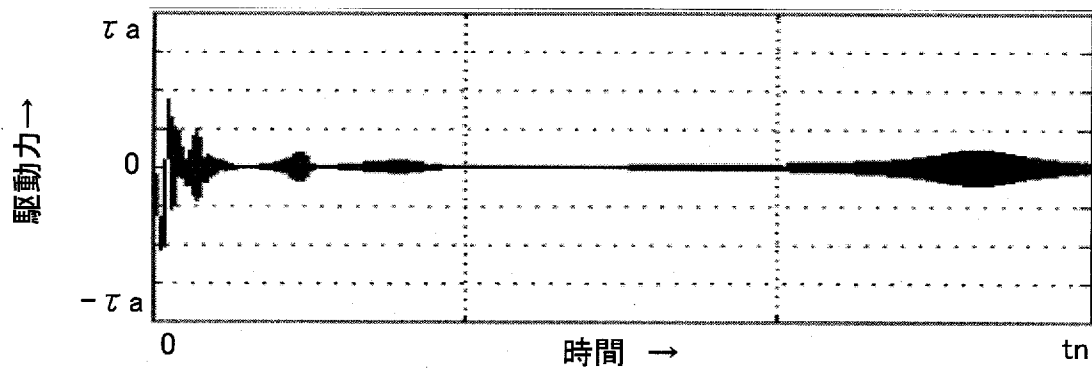
[図5]



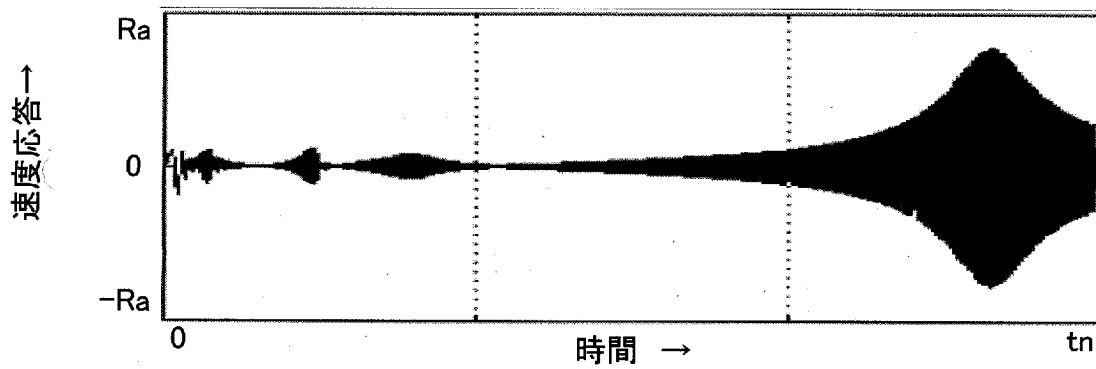
[図6]



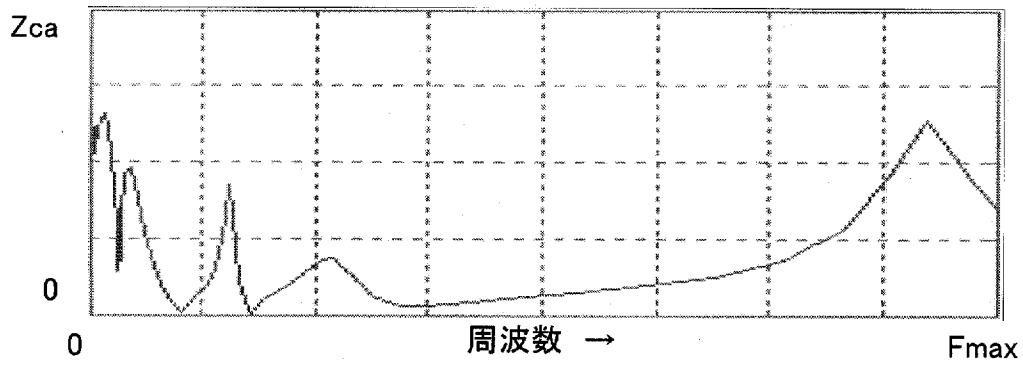
[図7]



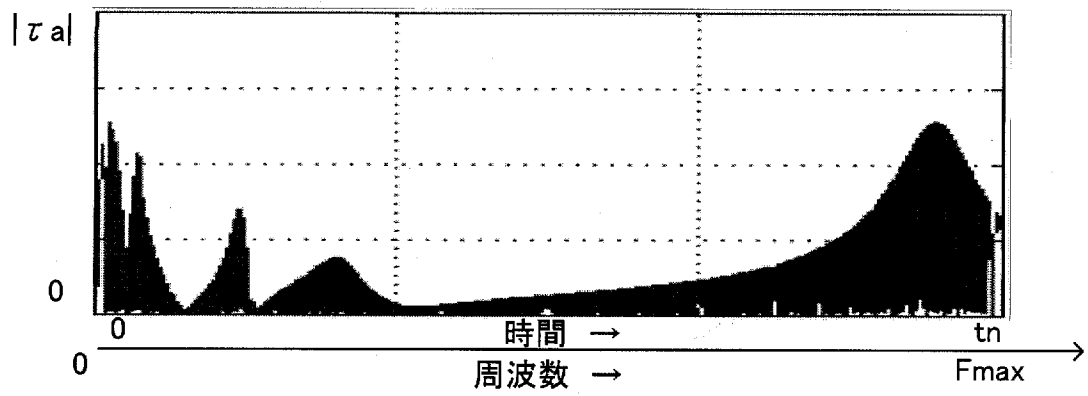
[図8]



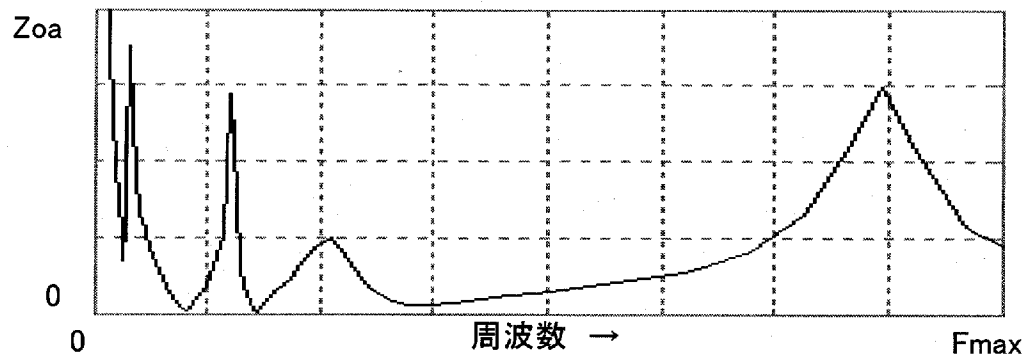
[図9]



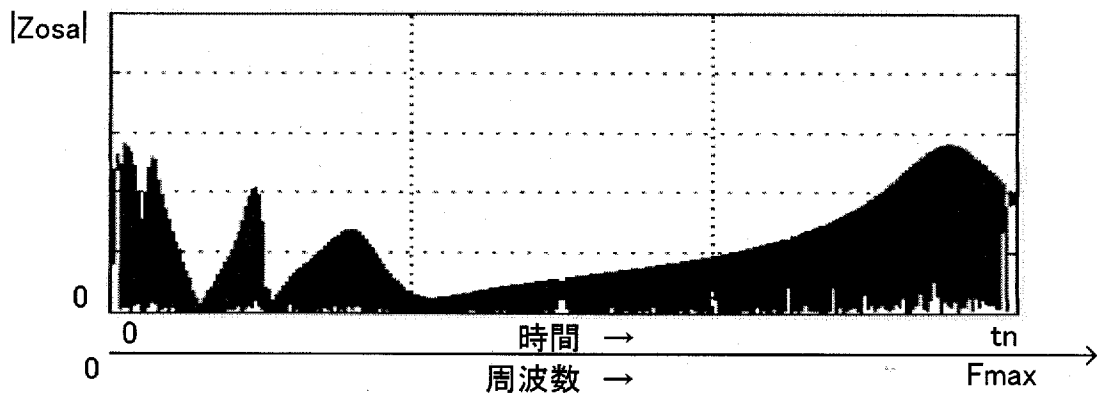
[図10]



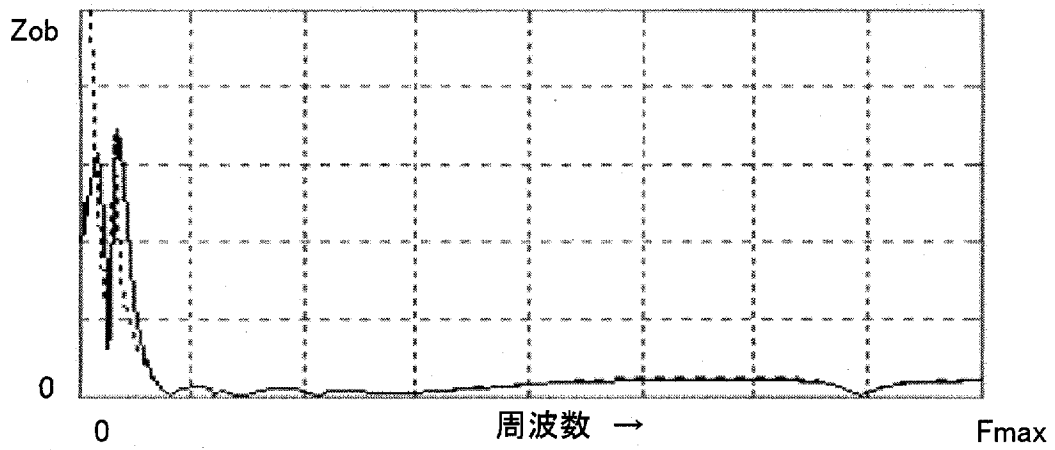
[図11]



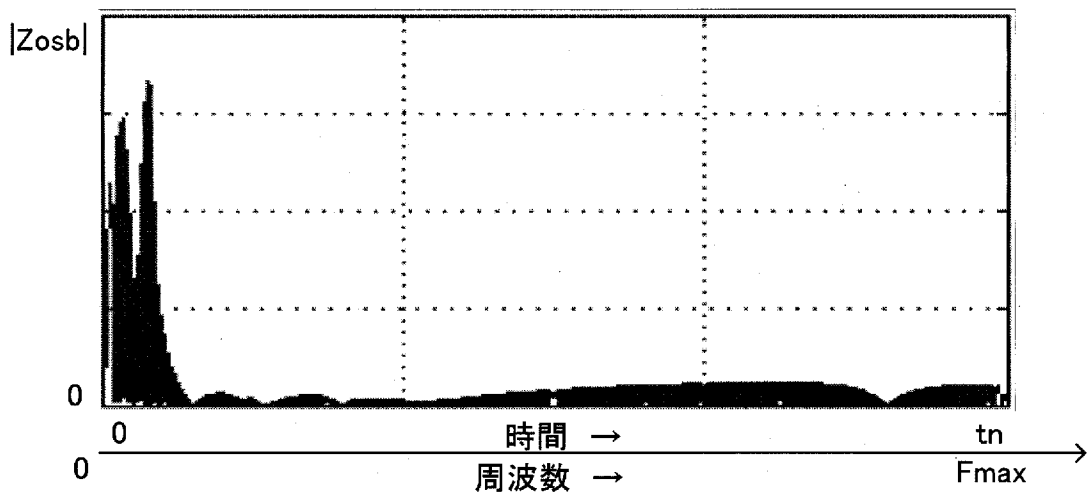
[図12]



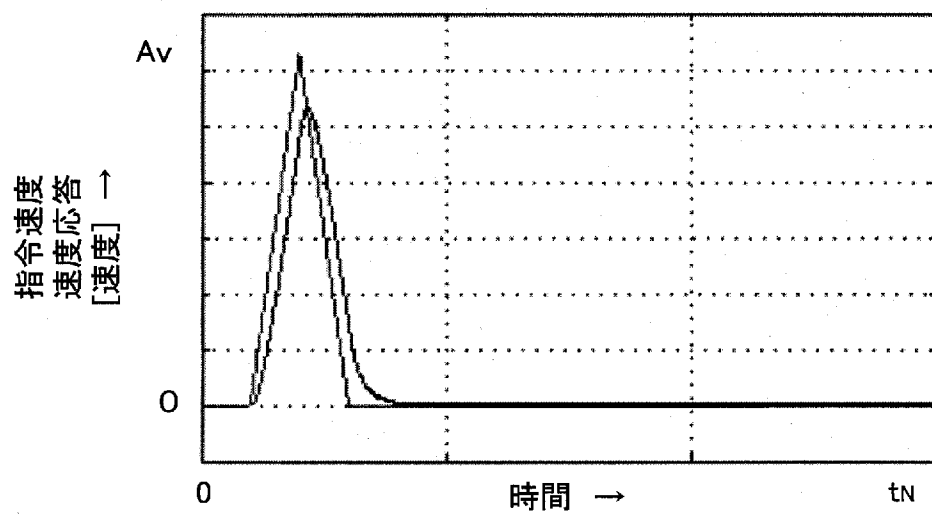
[図13]



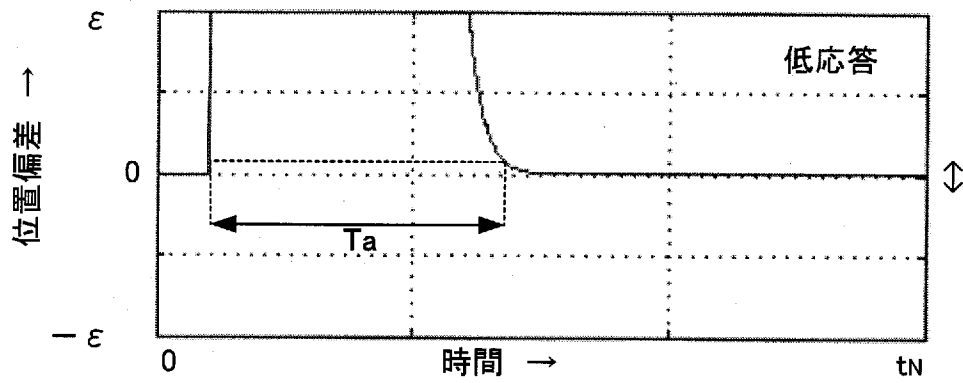
[図14]



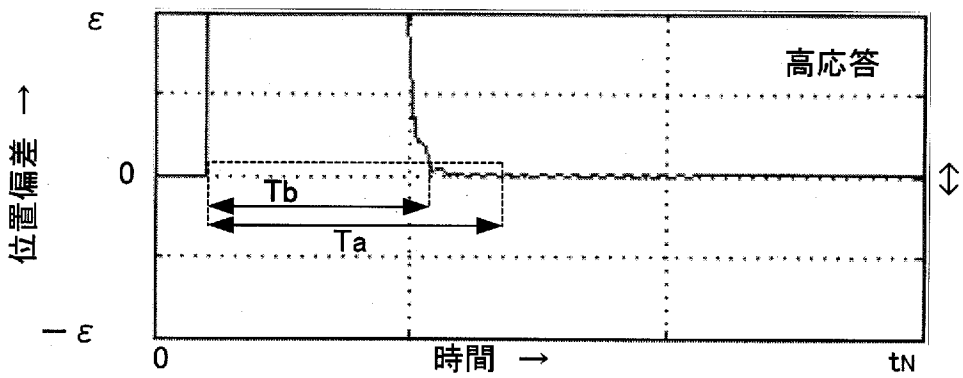
[図15]



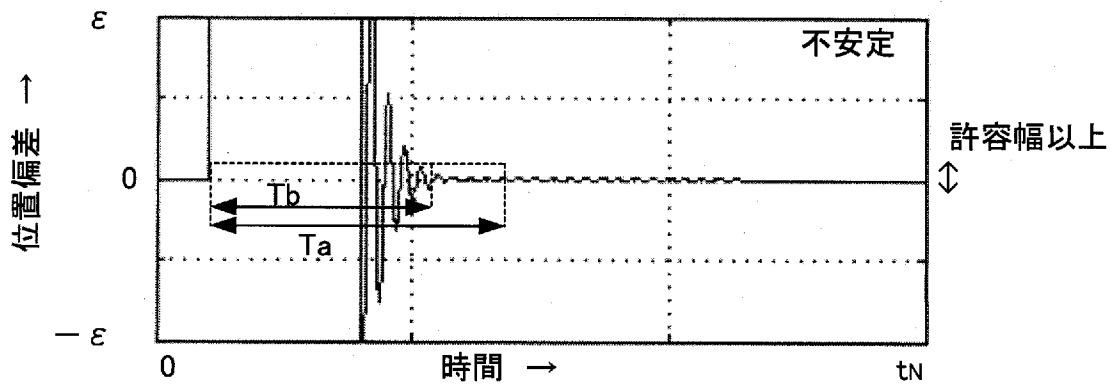
[図16]



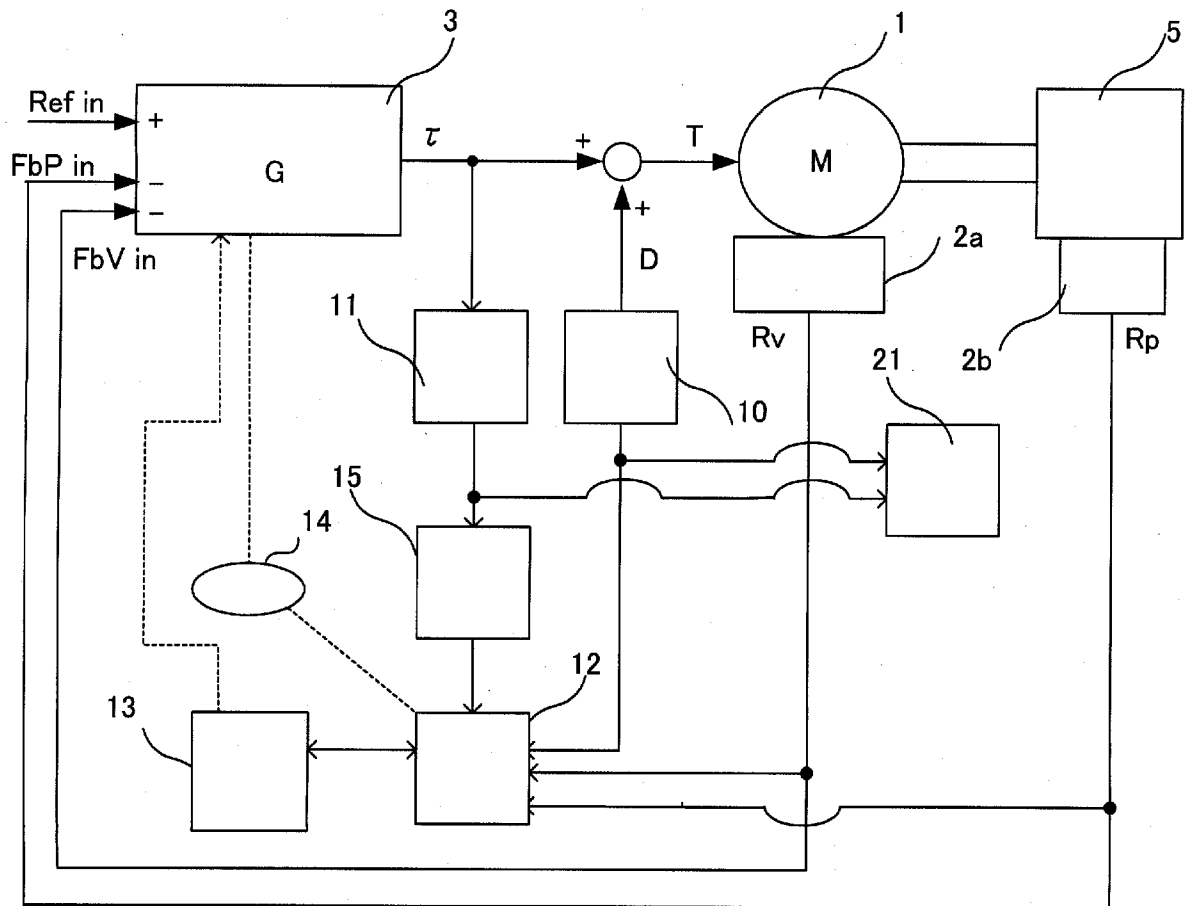
[図17]



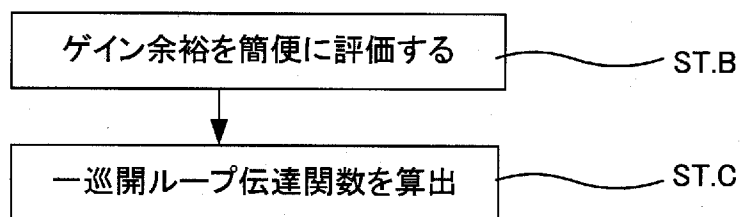
[図18]



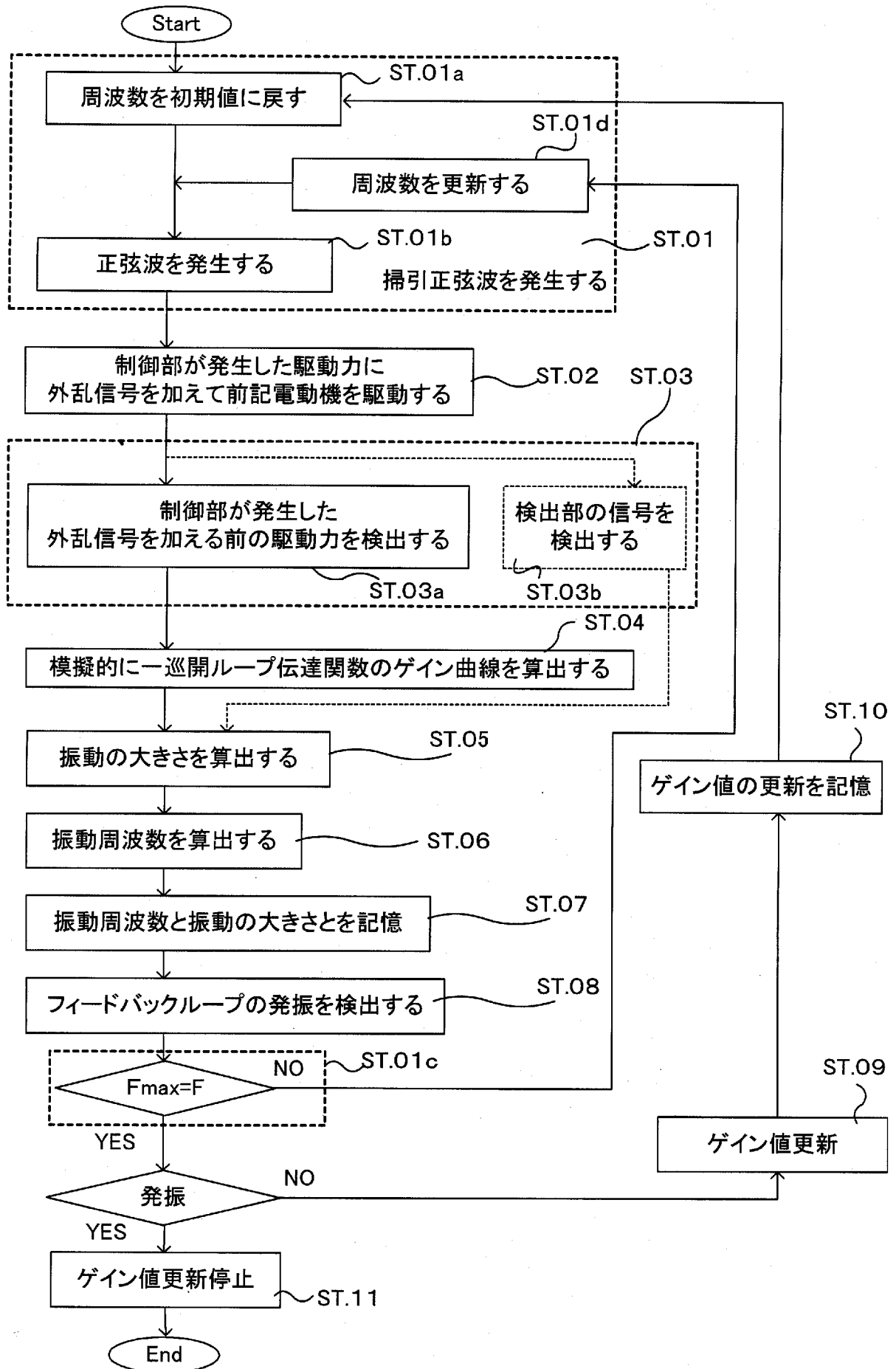
[図19]



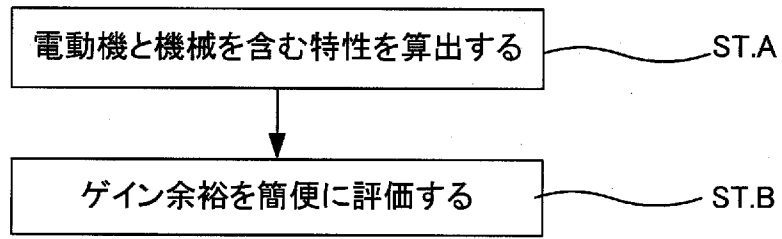
[図20]



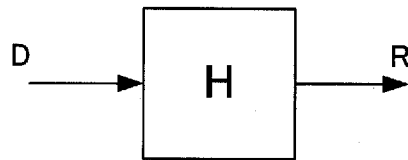
[図21]



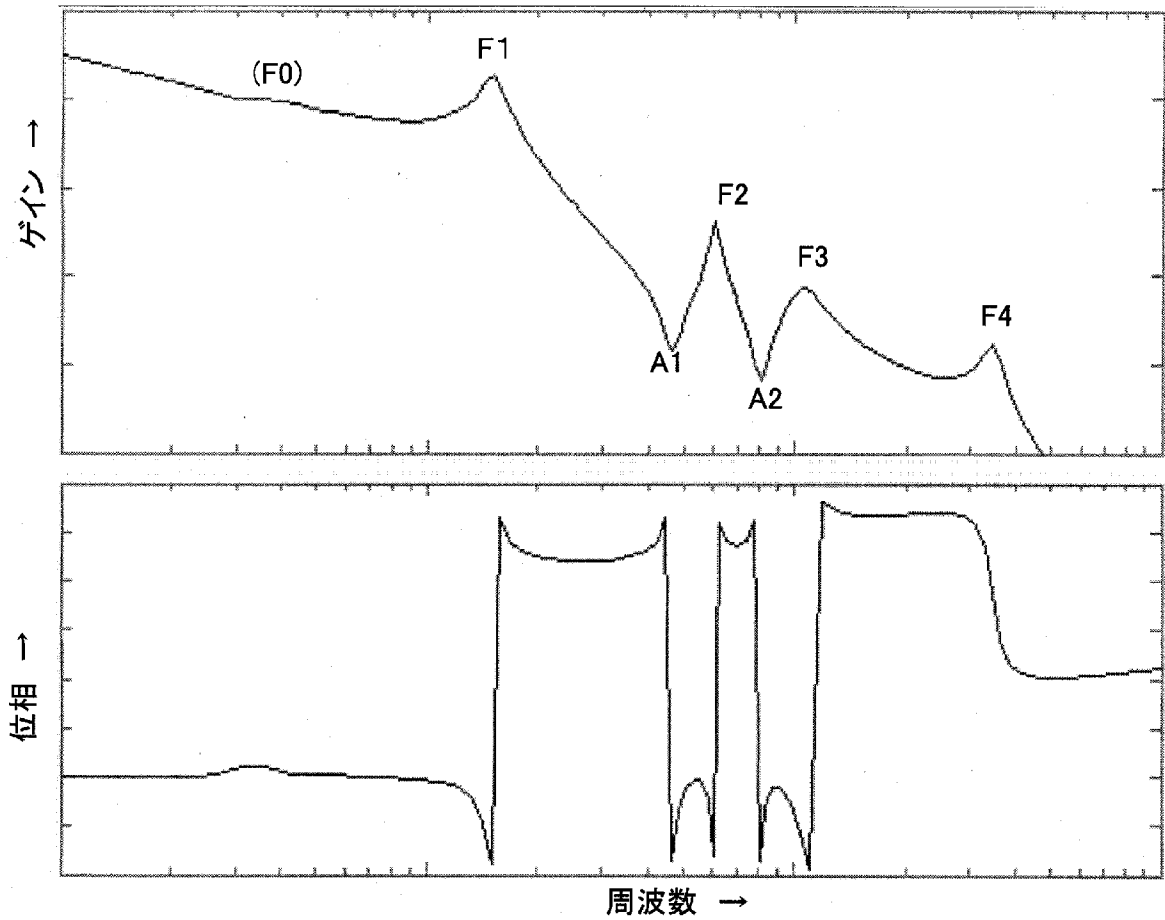
[図24]



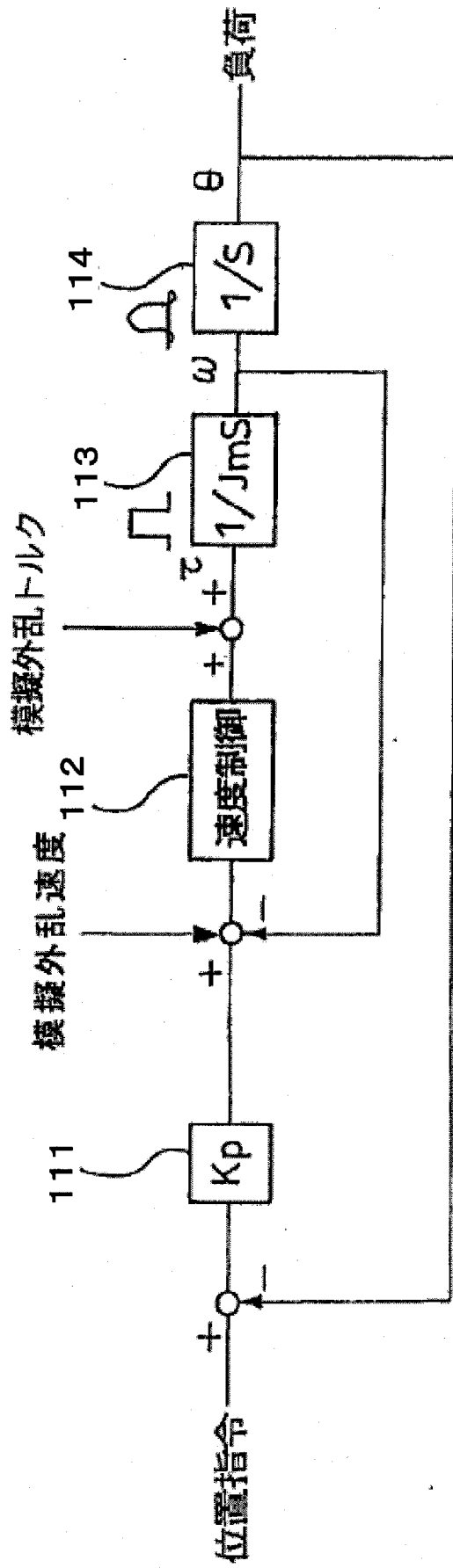
[図25]



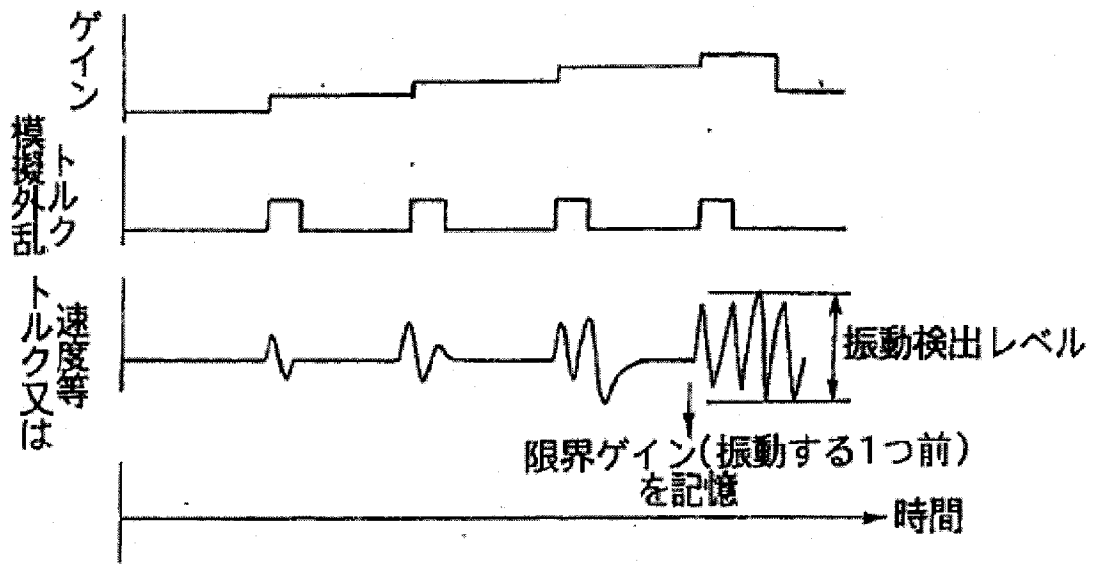
[図26]



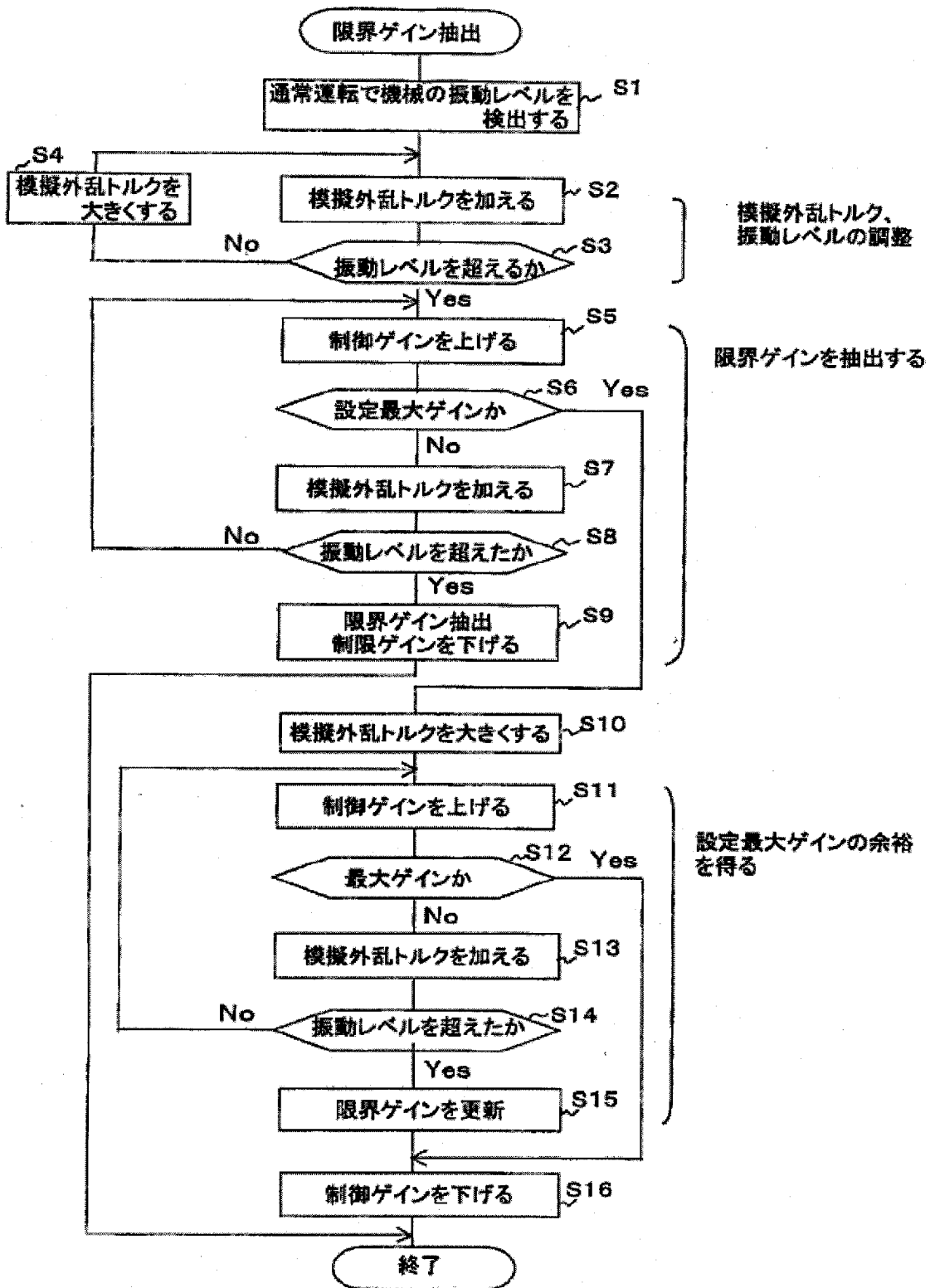
[図27]



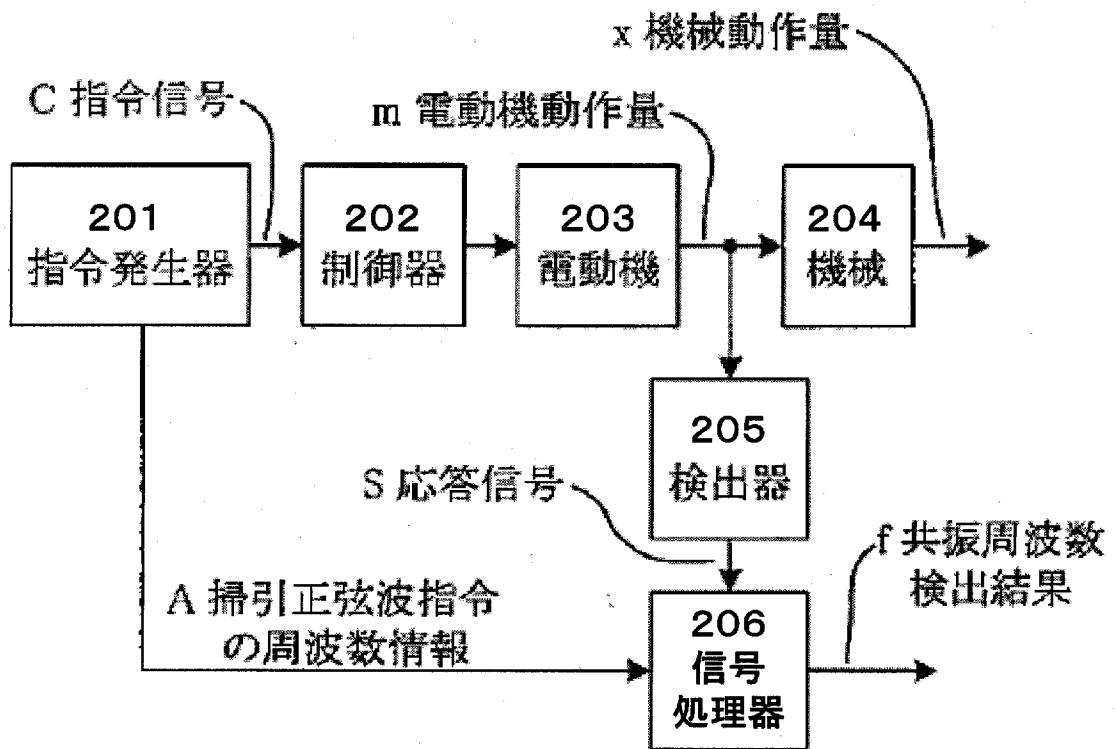
[図28]



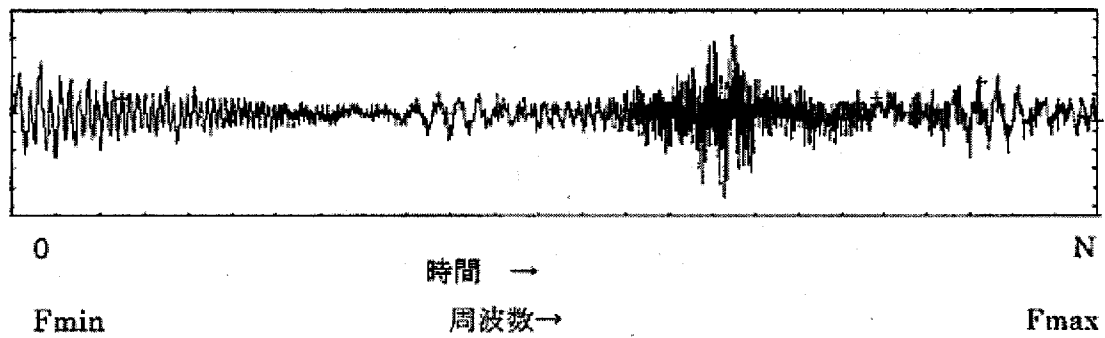
[図29]



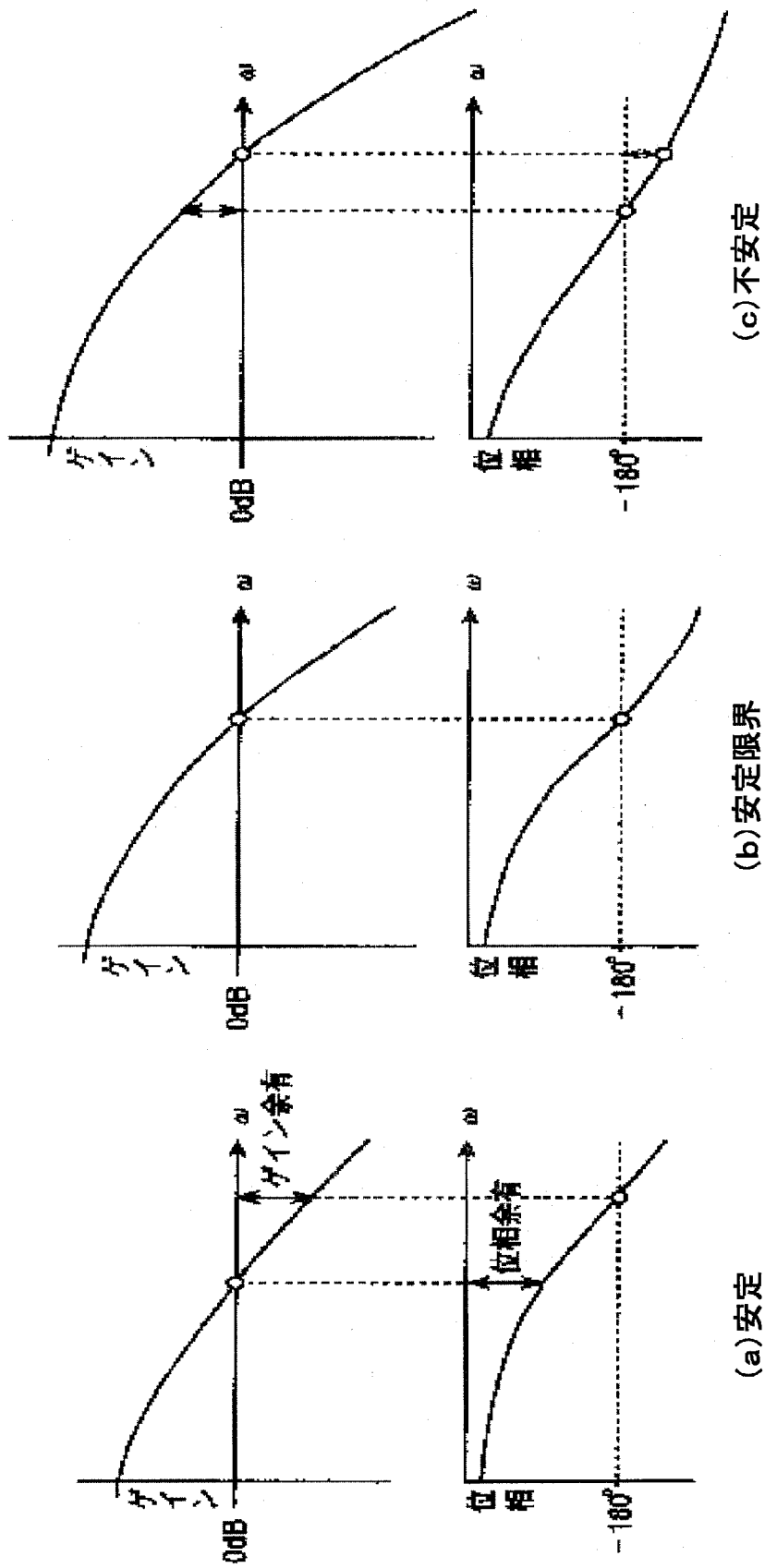
[図30]



[図31]



[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/062467

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P29/00(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) H02P29/00		
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 1996-2008 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPI		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-134868 A (Yaskawa Electric Corp.), 09 May, 2003 (09.05.03), Par. Nos. [0003], [0007] to [0008] & US 2004/0239279 A1 & EP 1418663 A1 & WO 2003/017459 A1 & TW 571507 B	1-19
Y	JP 2005-45937 A (Yaskawa Electric Corp.), 17 February, 2005 (17.02.05), Par. Nos. [0008] to [0013] (Family: none)	1-19
Y	JP 10-176948 A (Meidensha Corp.), 30 June, 1998 (30.06.98), Par. Nos. [0009] to [0013] (Family: none)	1-19
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 22 August, 2008 (22.08.08)		Date of mailing of the international search report 02 September, 2008 (02.09.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/062467

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-278990 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 October, 2000 (06.10.00), Par. Nos. [0013], [0027] to [0036] & US 6211640 B1 & EP 1039624 A2 & DE 69930204 T & CN 1267953 A	2-4, 10, 11, 13, 18, 19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02P29/00(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. H02P29/00		
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 1971-2008年 日本国実用新案登録公報 1996-2008年 日本国登録実用新案公報 1994-2008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) WPI		
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
Y	JP 2003-134868 A (株式会社安川電機) 2003.05.09, 段落【0003】、【0007】 - 【0008】 & US 2004/0239279 A1 & EP 1418663 A1 & WO 2003/017459 A1 & TW 571507 B	1-19
Y	JP 2005-45937 A (株式会社安川電機) 2005.02.17, 段落【0008】 - 【0013】 (ファミリーなし)	1-19
Y	JP 10-176948 A (株式会社明電舎) 1998.06.30, 段落【0009】 - 【0013】 (ファミリーなし)	1-19
<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 22.08.2008	国際調査報告の発送日 02.09.2008	
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) 牧 初 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	3V 4414

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
Y	JP 2000-278990 A (松下電器産業株式会社) 2000.10.06, 段落【0013】、【0027】－【0036】 & US 6211640 B1 & EP 1039624 A2 & DE 69930204 T & CN 1267953 A	2-4, 10, 11, 13, 18, 19