

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-92935  
(P2016-92935A)

(43) 公開日 平成28年5月23日(2016.5.23)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
H02P 29/00 (2016.01) H02P 5/00 F 5H501

審査請求有 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2014-223482 (P2014-223482)	(71) 出願人	390008235 ファナック株式会社 山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358 〇番地
(22) 出願日	平成26年10月31日(2014.10.31)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100092624 弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100114018 弁理士 南山 知広
		(74) 代理人	100151459 弁理士 中村 健一
		(72) 発明者	小川 肇 山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358 〇番地 ファナック株式会社内 最終頁に続く

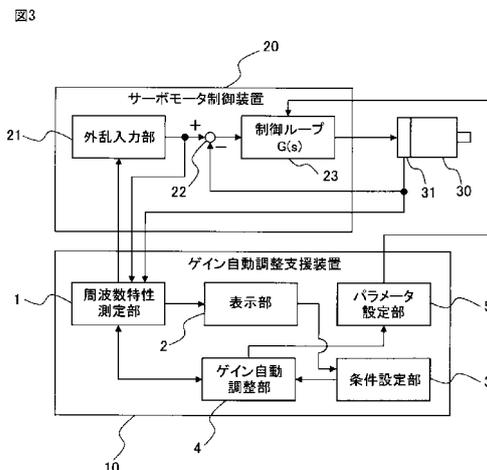
(54) 【発明の名称】 ゲイン自動調整支援装置

(57) 【要約】

【課題】従来のゲイン自動調整装置は、予め設定したゲイン目標値に合わせて制御ゲインを調整するため、駆動対象の剛性が低いと発振するケースがあるという問題があった。

【解決手段】本発明のゲイン自動調整支援装置は、サーボモータを制御するサーボモータ制御装置における制御ループの制御ゲインの自動調整を支援するゲイン自動調整支援装置であって、サーボモータ制御装置の制御ループの周波数特性を測定する周波数特性測定部と、制御ループの周波数特性をボード線図で表示する表示部と、所定の周波数でのゲイン目標値を設定する条件設定部と、条件設定部で設定した所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように制御ループの制御ゲインを自動調整するゲイン自動調整部と、制御ゲインをサーボモータ制御装置に設定するパラメータ設定部と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

サーボモータを制御するサーボモータ制御装置における制御ループの制御ゲインの自動調整を支援するゲイン自動調整支援装置であって、

前記サーボモータ制御装置の前記制御ループの周波数特性を測定する周波数特性測定部と、

前記周波数特性測定部が測定した前記制御ループの周波数特性をボード線図で表示する表示部と、

前記表示部に表示された前記制御ループの周波数特性のボード線図上で所定の周波数でのゲイン目標値を設定する条件設定部と、

前記条件設定部で設定した前記所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように前記制御ループの前記制御ゲインを自動調整するゲイン自動調整部と、

前記ゲイン自動調整部で調整された前記制御ゲインを前記サーボモータ制御装置に設定するパラメータ設定部と、

を備えことを特徴とするゲイン自動調整支援装置。

**【請求項 2】**

前記条件設定部は、前記ボード線図上で選択した所定の周波数でのゲイン値をゲイン目標値に設定する、請求項 1 に記載のゲイン自動調整支援装置。

**【請求項 3】**

前記表示部は、自動調整前後のボード線図を対比可能に表示する、請求項 1 に記載のゲイン自動調整支援装置。

**【請求項 4】**

前記制御ゲインに調整倍率を乗算した値を新たな前記制御ゲインとした場合、前記ゲイン自動調整部は、前記所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように前記制御ループの前記調整倍率を自動調整する、請求項 1 に記載のゲイン自動調整支援装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、サーボモータを制御するサーボモータ制御装置における制御ゲインを自動調整するゲイン自動調整支援装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

サーボモータを制御するサーボモータ制御装置では、駆動対象に応じて制御ゲインを決定し、制御ループの応答性を改善することが重要になる。調整方法としては、一般的に周波数応答法による解析を行い、ゲイン特性のゲイン余裕、位相余裕を観測し、この値を目安に制御ゲインを調整する方法が知られている。

**【0003】**

そして、従来 of ゲイン自動調整装置では、位相交差周波数でのゲイン余裕が予め設定したゲイン値になるように制御ゲインを調整する方法や、ゲイン交差周波数での位相余裕が予め設定された値になるように調整する方法が用いられてきた。

**【0004】**

例えば、制御ループを周波数応答法で解析した際の入出力ゲインとゲイン目標値との比から、制御ゲインの調整倍率を算出し、調整倍率に対して修正係数を乗算した新たな調整倍率をサーボモータ制御装置に適用することで、ゲイン目標値に近い周波数特性を得ることができるゲイン自動調整機能を備えたサーボモータ制御装置が知られている（特許文献 1）。

**【0005】**

特許文献 1 には、制御ゲインの調整倍率の調整方法について記載されているが、オペレータがゲイン目標値を設定し、自動調整を行う点については記載されていない。そのため、駆動対象の剛性が低い場合やゲインを高く設定しなくてもよい場合などに、高い値を設

10

20

30

40

50

定してしまう可能性があり、発振の原因になりうる。

【0006】

また、所定の基準値（ゲイン交差周波数での位相余裕、位相交差周波数でのゲイン余裕）に合わせて自動調整を行う方法も知られている（特許文献2）。この特許文献2に記載の従来技術の場合、フィッティングしている周波数以外の周波数領域で十分なゲイン余裕がとれずに発振してしまう可能性がある。

【0007】

従来、制御ループの応答性を上げるために行われてきた制御ゲインの自動調整について説明する。図1に従来の速度制御装置のブロック図を示す。速度制御装置200は、速度指令値と速度検出値の差分である速度偏差に速度比例ゲイン（ $K_p$ ）201を乗じて得られた値に、速度偏差の積分値に速度積分ゲイン（ $K_i$ ）202を乗じて得られた値を加算し、これに所定の調整倍率（ $D$ ）203を乗じることでトルク指令を出力する。トルク指令は伝達特性（ $1 / (J \cdot s)$ ）204によりサーボモータの実速度へ変換される。図1に示した速度ループでは、速度比例ゲイン $K_p$ 、速度積分ゲイン $K_i$ 、調整倍率 $D$ が制御ゲインであり、各制御ゲインを調整することで、速度ループ（制御ループ）の応答性を改善することが可能である。

10

【0008】

自動調整では、入力信号（速度指令）として所定の周波数を持つ外乱を入力し、入力信号（速度指令）と出力信号（実速度）から制御ループ（速度ループ）の周波数特性（ボード線図）を算出し、予め与えられた条件に合致する周波数におけるゲインが予め与えられたゲイン目標値と等しくなるように制御ゲインを自動調整する。

20

【0009】

例えば、図2（a）及び（b）は、自動調整前のゲイン（ $Gain (db)$ ）及び位相（ $Phase (deg)$ ）のボード線図であり、図2（c）及び（d）は、自動調整後のゲイン及び位相のボード線図である。一例として、位相交差周波数でのゲイン余裕が $-3 db$ になるように制御ゲインが調整される。

【0010】

従来の自動調整では、駆動対象の剛性や用途に応じてゲイン目標値を細かく設定することが難しく、又、ゲイン目標値がどのような値に設定されているかを確認することが困難であった。

30

【0011】

そのため、自動調整後の制御ゲインをサーボモータ制御装置に適用した場合、剛性が低いと発振するケースがあり、又、高い応答性を必要としないケースにおいても高い値が設定されるため、逆に不安定になるケースがあった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2009-165258号公報

【特許文献2】特許第5220475号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

従来のゲイン自動調整装置は、予め設定したゲイン目標値に合わせて制御ゲインを調整するもので、駆動対象の剛性が低いと発振するケースがあるという問題があった。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一実施形態に係るゲイン自動調整支援装置は、サーボモータを制御するサーボモータ制御装置における制御ループの制御ゲインの自動調整を支援するゲイン自動調整支援装置であって、サーボモータ制御装置の制御ループの周波数特性を測定する周波数特性測定部と、周波数特性測定部が測定した制御ループの周波数特性をボード線図で表示する

50

表示部と、表示部に表示された制御ループの周波数特性のボード線図上で所定の周波数でのゲイン目標値を設定する条件設定部と、条件設定部で設定した所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように制御ループの制御ゲインを自動調整するゲイン自動調整部と、ゲイン自動調整部で調整された制御ゲインをサーボモータ制御装置に設定するパラメータ設定部と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明の一実施形態に係るゲイン自動調整支援装置によれば、発振させることなく駆動対象に応じた最適なゲイン調整を自動で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0016】

【図1】従来の速度制御装置のブロック図である。

【図2】従来のサーボモータ制御装置におけるフィルタ調整前のゲイン及び位相のボード線図、並びにフィルタ調整後のゲイン及び位相のボード線図である。

【図3】本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置のブロック図である。

【図4】本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置の動作手順を説明するためのフローチャートである。

【図5】本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置におけるフィルタ調整前のゲイン及び位相のボード線図、並びにフィルタ調整後のゲイン及び位相のボード線図である。

【図6】本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置においてゲイン目標値を選択した場合のゲイン及び位相のボード線図である。

20

【図7】本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置における調整前後のゲイン及び位相のボード線図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図面を参照して、本発明に係るゲイン自動調整支援装置について説明する。ただし、本発明の技術的範囲はそれらの実施の形態には限定されず、特許請求の範囲に記載された発明とその均等物に及ぶ点に留意されたい。

【0018】

まず、本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置の構成について図面を用いて説明する。図3は、本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置の構成図である。本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置10は、サーボモータ30を制御するサーボモータ制御装置20における制御ループ23の制御ゲインの自動調整を支援するゲイン自動調整支援装置であって、周波数特性測定部1と、表示部2と、条件設定部3と、ゲイン自動調整部4と、パラメータ設定部5と、を備えている。

30

【0019】

周波数特性測定部1は、サーボモータ制御装置20の制御ループ23の周波数特性を測定する。周波数特性測定部1によって、制御ループ23の速度指令に所定の周波数をもつ外乱（正弦波など）を加えながら、速度指令とフィードバックされる速度を測定する。そして、測定した速度指令と速度フィードバックをFFT変換し、伝達関数の周波数特性を示すゲインと位相を算出する。

40

【0020】

表示部2は、周波数特性測定部1が測定した制御ループ23の周波数特性データを周波数特性測定部1から取得し、制御ループ23の周波数特性をボード線図で表示する。表示部2として、ボード線図を表示可能な表示装置を用いることができ、例えば、液晶表示装置や有機EL表示装置等を用いることができる。さらに、表示部2には、ボード線図を表示した状態で外部からデータを入力可能なように、タッチパネルを備えていてもよい。表示部2で外部から入力されたデータは条件設定部3に送信される。

【0021】

条件設定部3は、表示部2に表示された制御ループ23の周波数特性のボード線図上で

50

所定の周波数でのゲイン目標値を設定する。具体的には、タッチパネルやマウス等の入力装置（図示せず）を用いて、表示部 2 に表示されたボード線図上で所定の周波数でのゲイン目標値が選択されると、選択された目標値が表示部 2 から条件設定部 3 に送信される。このようにして、ゲイン自動調整部 4 が実行する自動調整のゲイン目標値が設定される。あるいは、所定の周波数でのゲイン目標値を設定するためのキーボード等の入力装置（図示せず）を備えていてもよい。また、条件設定部 3 は、ボード線図上で選択した所定の周波数でのゲイン値をゲイン目標値に設定するようにしてもよい。

【0022】

ゲイン自動調整部 4 は、条件設定部 3 で設定した所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように制御ループ 23 の制御ゲインを自動調整する。ゲイン自動調整部 4 は、制御ゲインに調整倍率を乗算した値を新たな制御ゲインとした場合、所定の周波数でのゲイン目標値と一致するように制御ループの調整倍率を自動調整するようにしてもよい。制御ループの制御ゲインの自動調整方法については後述する。

10

【0023】

パラメータ設定部 5 は、ゲイン自動調整部 4 で調整された制御ゲインをサーボモータ制御装置 20 に設定する。

【0024】

サーボモータ制御装置 20 は、外乱入力部 21 と、減算器 22 と、制御ループ 23 と、を有する。外乱入力部 21 は、速度指令値に所定周波数の外乱を加算する。制御ループ 23 は、速度指令値とサーボモータ 30 に設けられたエンコーダ 31 が検出した速度検出値との差分である速度偏差に速度比例ゲインを乗じて得られた値に、速度偏差の積分値に速度積分ゲインを乗じて得られた値を加算し、これに所定の調整倍率を乗じることでトルク指令を出力する。

20

【0025】

次に、本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置の動作手順について説明する。以下の説明では簡略化のために、制御ループ内の演算定数、及び、調整倍率を乗じた演算定数を制御ゲインと呼ぶ。又、ここでは、制御ループの例として入力信号が速度指令で出力信号が実速度である速度ループについて言及しているが、入力信号が電流指令で出力信号が実電流である電流ループや、入力信号が位置指令で出力信号が実位置である位置ループの場合にも同様に適用できるものとする。

30

【0026】

上述した従来技術における問題点を解決するために、自動調整におけるゲイン目標値を、表示部 2 に表示されたボード線図上で条件設定部 3 が駆動対象の周波数特性に合わせて柔軟に設定することができるようにする。具体的には、図 4 に示したフローチャートに従って以下の流れで調整を行う。

【0027】

まず、ステップ S101 において、自動調整を開始し、初期設定の制御ゲインで制御ループ 23 の周波数特性（ボード線図）を測定する。周波数特性の測定は、周波数特性測定部 1 で行われ、制御ループ 23 を加振するためにサーボモータ制御装置 20 の外乱入力部 21 に所定の周波数を持つ外乱（正弦波など）を入力するように指令する。そして、制御ループ 23 の入力信号と出力信号との関係から周波数特性（ボード線図）が算出される。算出したボード線図の一例を図 5（a）及び（b）に示す。図 5（a）はフィルタ調整前のゲインの周波数特性であり、図 5（b）はフィルタ調整前の位相の周波数特性である。

40

【0028】

次にステップ S102 において、表示部 2 に制御ループ 23 の周波数特性をボード線図で表示する。オペレータは、表示部 2 に表示されたボード線図を見て、図 5（a）に示すようなゲイン特性の盛り上がり（機械共振など）を確認し、所定の周波数  $f$  でのゲインが 0 db に対してどの程度離れているか（図 5（b））を確認する。このとき、図 5（c）に示すように、ゲイン特性の盛り上がり（機械共振など）に対してフィルタ調整（ノッチフィルタ、ローパスフィルタの調整）を行うと、後で入出力ゲインを高く設定することが

50

可能になる。

【 0 0 2 9 】

次にステップ S 1 0 3 において、表示部 2 に表示されたボード線図を確認して条件設定部 3 が自動調整でのゲイン目標値を設定する。オペレータは、図 6 に示すように、タッチパネルやマウス（図示せず）を用いて、表示部 2 に表示されたボード線図上で所定の周波数でのゲイン目標値を選択する。選択された目標値は表示部 2 から条件設定部 3 に送信される。このようにして、条件設定部 3 は、ゲイン自動調整部 4 が実行する自動調整のゲイン目標値を設定する。キーボードなどの入力装置を用いてゲイン目標値を入力して設定してもよい。

【 0 0 3 0 】

次にステップ S 1 0 4 において、ゲイン自動調整部 4 が、条件設定部 3 で設定したゲイン目標値に合わせて制御ループ 2 3 の制御ゲインを自動調整する。自動調整の具体的な手法として、以下に 2 つの手法を示す。

【 0 0 3 1 】

第 1 の手法は、制御ゲインを所定の値で刻みながら制御ループ 2 3 を加振させて、条件設定部 3 で設定した所定の周波数  $f$  でのゲイン目標値と等しくなるように制御ゲインを調整する手法である。この場合、設定値に対して多少のマージンを持つように設定してもよい。

【 0 0 3 2 】

第 2 の手法は、制御ゲインの初期設定値のゲイン特性とゲイン特性の目標値との比から制御ゲインの増減率を算出し、制御ゲインに増減率を乗じた値を制御ゲインとして設定する手法である。

【 0 0 3 3 】

次にステップ S 1 0 5 において、表示部 2 は、自動調整前後のボード線図を対比可能に表示する。例えば、図 2 に示すように調整前後のボード線図を並列に並べて表示することで、自動調整前後の周波数特性を比較することが可能になる。あるいは、図 7 に示すように、例えば、自動調整前のデータを実線で表し、自動調整後のデータを一点鎖線で表して、自動調整前後のボード線図を重ねて表示することで、調整後の効果を容易に把握することが可能になる。

【 0 0 3 4 】

次にステップ S 1 0 6 において、ゲイン自動調整部 4 が自動調整後の制御ゲインを確認し、調整が完了しているか否かを判断する。問題がなく、調整が完了していると判断できる場合は、ステップ S 1 0 7 において、パラメータ設定部 5 において制御ゲインをサーボモータ制御装置 2 0 に設定し自動調整を完了する。一方、問題があり、調整が完了していると判断できない場合は、ステップ S 1 0 3 に戻って、再度ステップ S 1 0 3 ~ S 1 0 5 の処理を行う。

【 0 0 3 5 】

以上のように、本発明の実施例に係るゲイン自動調整支援装置によれば、自動調整の目安となるゲイン目標値を予め与えるのではなく、オペレータがボード線図を見ながら柔軟に設定できるようにするための表示部及び条件設定部を備えることにより、発振させることなく駆動対象に応じた最適なゲイン調整を自動で行うことができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 6 】

- 1 周波数特性測定部
- 2 表示部
- 3 条件設定部
- 4 ゲイン自動調整部
- 5 パラメータ設定部
- 1 0 ゲイン自動調整支援装置
- 2 0 サーボモータ制御装置

10

20

30

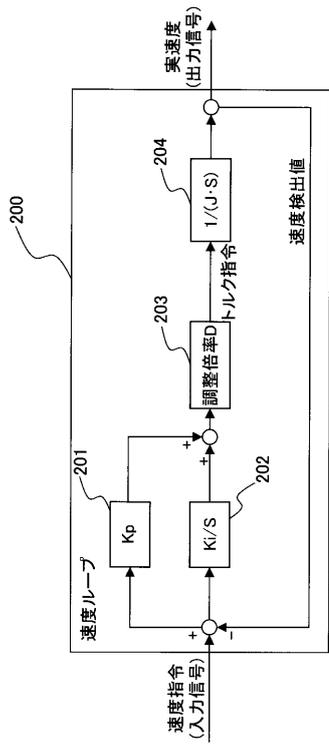
40

50

- 2 1 外乱入力部
- 2 2 減算器
- 2 3 制御ループ
- 3 0 サーボモータ
- 3 1 エンコーダ

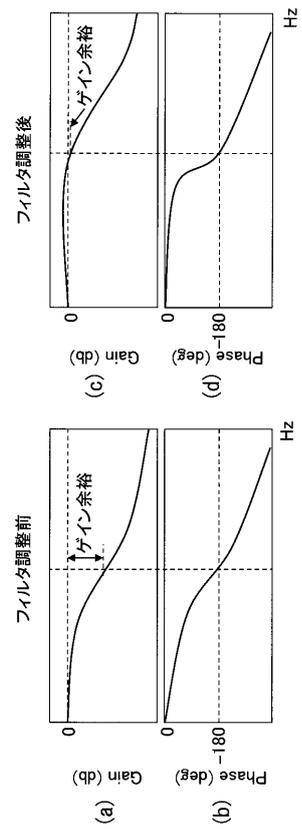
【図1】

図1

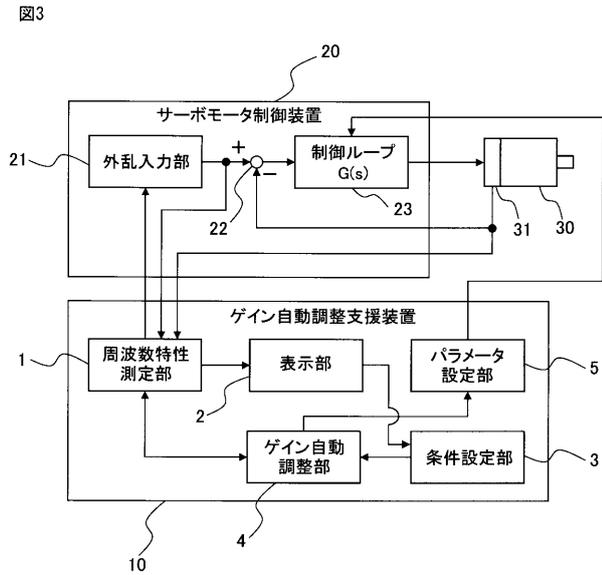


【図2】

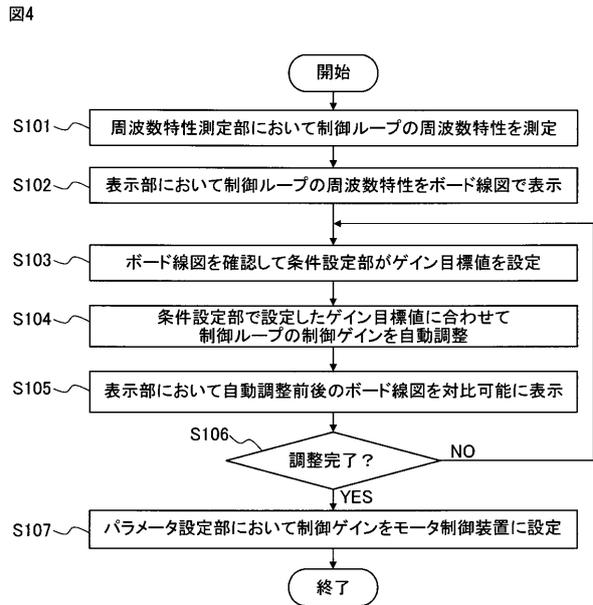
図2



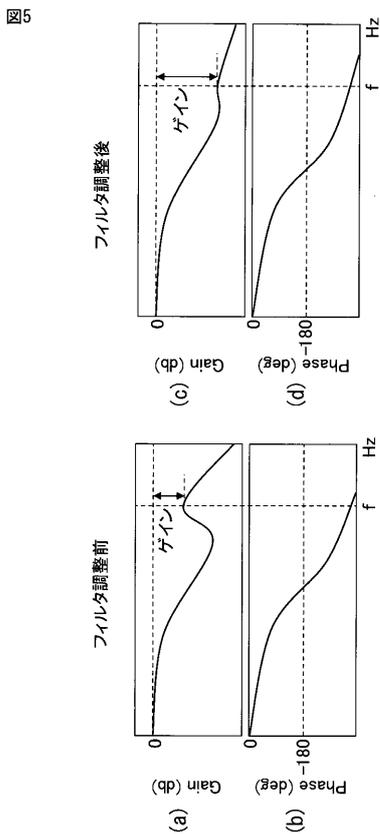
【 図 3 】



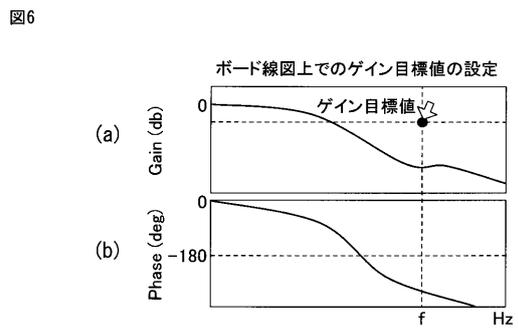
【 図 4 】



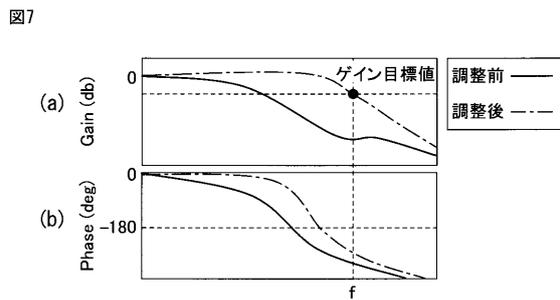
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 手塚 淳一

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

Fターム(参考) 5H501 BB05 BB11 DD01 GG03 GG11 JJ24 LL07 MM09