

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6160258号
(P6160258)

(45) 発行日 平成29年7月12日(2017.7.12)

(24) 登録日 平成29年6月23日(2017.6.23)

(51) Int.Cl.

H02P 7/06 (2006.01)

F I

H02P 7/06

A

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-114496 (P2013-114496)
 (22) 出願日 平成25年5月30日(2013.5.30)
 (65) 公開番号 特開2014-236520 (P2014-236520A)
 (43) 公開日 平成26年12月15日(2014.12.15)
 審査請求日 平成28年5月25日(2016.5.25)

(73) 特許権者 000006747
 株式会社リコー
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
 (74) 代理人 100089118
 弁理士 酒井 宏明
 (72) 発明者 鈴木 晴之
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
 会社リコー内
 審査官 池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータの速度を制御するモータ制御装置であって、
 目標速度を生成する目標速度生成手段と、
 前記モータの現在速度を検出する速度検出手段と、
 前記目標速度と前記現在速度とを比較して速度誤差を算出する速度比較手段と、
 前記速度誤差を比例ゲインで増幅して制御値を出力する誤差増幅手段と、
 前記制御値に応じてモータを駆動するモータ駆動手段と、
前記比例ゲインを、前記現在速度がゼロのときの値又は前記現在速度が所定値のときの
値を基準とし、前記現在速度に応じて所定の傾きで直線的に増加させるゲイン可変手段と
を備え、

前記誤差増幅手段は、積分折れ点周波数より低域側を積分した比例積分特性を有し、前記比例ゲインは、前記現在速度が高くなるほど増加し、前記積分折れ点周波数は、現在速度が高くなるほど低域側にシフトし、

前記比例ゲインの可変量は、前記現在速度に所定の係数を乗算することによって算出され、前記所定の係数は、機械時定数が回転数によって変化する量により決定されることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項2】

前記誤差増幅手段は、微分折れ点周波数より高域側を微分した比例微分特性を、さらに備え、前記比例ゲインは、前記現在速度が高くなるほど増加し、前記微分折れ点周波数は

10

20

、現在速度が高くなるほど高域側にシフトすること
を特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

複数のモータそれぞれに対して、請求項 1 又は請求項 2 に記載のモータ制御装置を備え

、
前記ゲイン可変手段は、モータの品種毎に決定された前記傾きを用いること
を特徴とするモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

印加電圧に比例した回転数で回転する DC (Direct Current) モータが知られている。この DC モータの種類としては、ブラシ付モータ、およびブラシレスモータが知られている。このうち、ブラシレスモータはブラシ磨耗がなく耐久性が高いため、高い頻度で使用される。このような DC モータは、エンコーダ等の位置・速度センサを用いたフィードバック制御により、任意のタイミングで停止制御（速度ゼロ）され、また、任意の目標速度に速度制御される。

【0003】

ここで、特許文献 1（特開 2009 - 148082 号公報）に、ゲインを最適な値に調整（チューニング）して画像品質を向上させることを目的とした画像形成装置が開示されている。この画像形成装置は、誤差検出部において周波数誤差があるか否かを判断する。周波数誤差がある場合に、さらに目標誤差範囲内であるか否かを判断する。そして、周波数誤差が目標誤差範囲内である場合には、比例積分制御の比例項のゲイン（P ゲイン）を減少させる。また、周波数誤差が目標誤差範囲内でない場合には、P ゲインを増加する。そして、設定されたゲインに基づいて周波数 PID (Proportional Integral and Differential) 演算処理を実行する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、ブラシレスモータ等の DC モータの応答特性（印加電圧に対する回転速度の変化）は、回転数によって大きく変化する。そして、回転数が変化すると、総合フィードバック特性も変化する。このため、固定的なフィードバックゲイン等を用いて回転数の制御を行うと、広い範囲で安定した回転数の制御が困難になるという問題を生ずる。

【0005】

また、特許文献 1 に開示されている画像形成装置の場合、目標回転数に応じて比例ゲインを可変しているため、モータが目標回転数付近で回転していない場合は、回転が不安定になる問題がある。また、回転数に対するゲインの決定は、回転変動のみ考慮して行っている。このため、応答性（目標速度を変化させたときの追従の速さ）および安定性を最適化することは困難である。

【0006】

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、モータの回転数を安定かつ最適に制御可能とするモータ制御装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、モータの速度を制御するモータ制御装置であって、目標速度を生成する目標速度生成手段と、モータの現在速度を検出する速度検出手段と、目標速度と現在速度とを比較して速度誤差を算出する速度比較手段と、速度誤差を比例ゲインで増幅して制御値を出力する誤差増幅手段と、制御値に応じ

10

20

30

40

50

てモータを駆動するモータ駆動手段と、比例ゲインを、現在速度がゼロのときの値又は現在速度が所定値のときの値を基準とし、現在速度に応じて所定の傾きで直線的に増加させるゲイン可変手段と、を備え、誤差増幅手段は、積分折れ点周波数より低域側を積分した比例積分特性を有し、比例ゲインは、現在速度が高くなるほど増加し、積分折れ点周波数は、現在速度が高くなるほど低域側にシフトし、比例ゲインの可変量は、現在速度に所定の係数を乗算することによって算出され、所定の係数は、機械時定数が回転数によって変化する量により決定されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、モータの回転数を安定かつ最適に制御することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、第1の実施の形態のモータ制御装置のブロック図である。

【図2】図2は、第1の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部のブロック図である。

【図3】図3は、第1の実施の形態のモータ制御装置に設けられているゲイン／折れ点周波数制御部（G／F制御部）のブロック図である。

【図4】図4は、G／F制御部で生成されるゲイン可変量と、ブラシレスDCモータの回転数との関係を示したグラフである。

【図5】図5は、ブラシレスDCモータのステップ応答と機械時定数の関係を示すグラフである。

【図6】図6は、ブラシレスDCモータの初期回転数をふって、機械時定数をプロットしたグラフである。

【図7】図7は、G／F制御部のゲイン可変量および折れ点周波数可変量で誤差増幅部を制御した場合における周波数特性を示すボード線図である。

【図8】図8は、第2の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部のブロック図である。

【図9】図9は、第3の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部のブロック図である。

【図10】図10は、第4の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部のブロック図である。

【図11】図11は、第5の実施の形態のモータ制御装置に設けられているG／F制御部で生成されるゲイン可変量と、ブラシレスDCモータの回転数との関係を示したグラフである。

【図12】図12は、第6の実施の形態のモータ制御装置のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に添付図面を参照して、モータ制御装置の実施の形態を詳細に説明する。

【0011】

（第1の実施の形態）

図1は、第1の実施の形態のモータ制御装置のブロック図である。図1に示すように、第1の実施の形態のモータ制御装置は、制御器1と、ドライバ2と、ブラシレスDCモータ（M）3と、センサ4とを有している。また、制御器1は、目標速度生成部11と、速度比較器12と、誤差増幅部13と、速度検出部14と、ゲイン／折れ点周波数制御部（G／F制御部）15とを有している。目標速度生成部11は、目標速度生成手段の一例である。速度検出部14は、速度検出手段の一例である。速度比較器12は、速度比較手段の一例である。誤差増幅部13は、誤差増幅手段の一例である。ドライバ2は、モータ駆動手段の一例である。

【0012】

目標速度生成部 11 は、第 1 の実施の形態のモータ制御装置で使用するモータ速度に対応する所定の目標値（目標速度 $TgtSp$ ）を出力する。具体的には、目標速度 $TgtSp$ は、一定でもよい。また、ブラシレス DC モータ 3 を所定距離移動させるような位置決めシステムの場合、ゼロから所定速度まで連続的に変化する目標速度 $TgtSp$ が用いられる。さらに、目標速度 $TgtSp$ は、目標位置とブラシレス DC モータ 3 の現在位置を比較した結果に応じて生成してもよい。このように目標速度生成部 11 としては、各種のものをを用いることができる。この実施の形態においては、何らかの目標速度 $TgtSp$ が生成されるものとする。

【0013】

速度検出部 14 は、ブラシレス DC モータ 3 の現在速度を検出して速度値 $Speed$ を出力する。モータ速度は、ブラシレス DC モータ 3 またはその駆動先に取り付けられたセンサ 4 により計測される。速度比較器 12 は、目標速度 $TgtSp$ と現在の速度値 $Speed$ を比較して、その差を速度誤差信号 $SpErr$ として出力する。誤差増幅部 13 は、増幅ゲインと、少なくとも所定周波数以下で積分特性を持たせる積分部を備えている。誤差増幅部 13 は、速度誤差信号 $SpErr$ を増幅し、ブラシレス DC モータ 3 の駆動電圧に相当する制御値 Drv を生成して出力するが、詳しい説明は後述する。

【0014】

G/F 制御部 15 は、誤差増幅部 13 の比例ゲインおよび折れ点周波数を可変制御する。すなわち、G/F 制御部 15 は、現在の速度値 $Speed$ に応じて、誤差増幅部 13 内の比例ゲインを可変制御するためのゲイン可変量 $Gadj$ 、および積分、微分特性の起点となる周波数（折れ点周波数）を可変制御するための折れ点周波数可変量 $Fadj$ を出力する。これも詳しい説明は後述する。

【0015】

ドライバ 2 は、いわゆるモータ駆動回路である。ドライバ 2 は、誤差増幅部 13 からの制御値 Drv に比例したモータ駆動電圧で電磁コイルを介してブラシレス DC モータ 3 を回転駆動する。これにより、ブラシレス DC モータ 3 は、制御値 Drv に比例した速度で回転する。ブラシレス DC モータ 3 の回転速度は、図示しない負荷やその他の要因により変動する。一般的には、回転速度の変動を是正するために、ブラシレス DC モータ 3 の現在の回転速度を制御器 1 にフィードバックし、ブラシレス DC モータ 3 の回転速度が一定となるように制御する。

【0016】

センサ 4 は、位置センサまたは速度センサである。センサ 4 は、ブラシレス DC モータ 3 の回転位置、または回転速度を検出してセンサ信号 Sns を出力する。センサ 4 としては、例えばエンコーダまたはレゾルバ等の、モータの回転角度に応じてパルスまたは角度情報を出力するものをを用いることができる。

【0017】

センサ 4 の出力形態により、様々な構成の速度検出部 14 を用いることができる。例えば、センサ 4 が速度信号を出力する場合、速度信号を $Speed$ 値に変換する速度検出部 14 を用いることができる。また、センサ 4 が、位置情報を出力する場合、微分等により位置情報を速度情報に変換する速度検出部 14 を用いることができる。また、センサ 4 が速度に比例した周波数のパルスを出力する場合、そのパルスの周期またはパルス数をカウントし、パルスの時間的变化からブラシレス DC モータ 3 の回転速度を検出する速度検出部 14 を用いることができる。

【0018】

次に、図 2 に、誤差増幅部 13 のブロック図を示す。誤差増幅部 13 は、増幅部 21 と、乗算部 22 と、増幅部 23 と、乗算部 24 と、積分部 25 と、加算器 26 とを有している。増幅部 21 は、ゲイン要素であり、入力端子 27 を介して供給される速度誤差信号 $SpErr$ を固定の増幅率 G で増幅する。乗算部 22 は、ゲイン可変要素であり、固定の増幅率 G で増幅された速度誤差信号 $SpErr$ に、入力端子 28 を介して供給されるゲイン可変量 $Gadj$ を乗じて制御値 Ct を生成して出力する。すなわち、「制御値 Ct = 速度

10

20

30

40

50

誤差信号 $S p E r r \times$ 固定増幅率 $G \times$ ゲイン可変量 $G a d j$ 」となる。

【0019】

増幅部23は、ゲイン要素で、固定の増幅率 $G i$ で制御値 $C t$ を増幅する。乗算部24は、ゲイン可変要素で、固定の増幅率 $G i$ で増幅された制御値 $C t$ に、入力端子29を介して供給される折れ点周波数可変量 $F a d j$ を乗じる。積分部25は、折れ点周波数可変量 $F a d j$ が乗算処理された制御値 $C t$ を積分して制御値 $C i$ を出力する。加算器26は、乗算部22からの制御値 $C t$ と、積分部25からの制御値 $C i$ を加算処理して制御値 $D r v$ を生成する。制御値 $D r v$ は、出力端子30を介してドライバ2に供給される。

【0020】

次に、図3に、 G / F 制御部15のブロック図を示す。 G / F 制御部15は、ゲイン算出部31および逆数部32を有している。ゲイン算出部31は、ブラシレスDCモータ3の現在の回転の速度値 $S p e e d$ 、傾き係数の値である係数 A と切片の値である係数 B を用いて算出したゲイン可変量 $G a d j$ を出力する。すなわち、ゲイン算出部31は、「ゲイン可変量 $G a d j =$ 係数 $A \times$ 速度値 $S p e e d +$ 係数 B 」の数式を用いてゲイン可変量 $G a d j$ を算出して出力する。

【0021】

逆数部32は、ゲイン可変量 $G a d j$ の逆数を折れ点周波数可変量 $F a d j$ として出力する。すなわち、逆数部32は、「折れ点周波数可変量 $F a d j = 1 /$ ゲイン可変量 $G a d j$ 」の数式を用いて折れ点周波数可変量 $F a d j$ を算出して出力する。この実施の形態のモータ制御装置は、係数 A および係数 B を、モータ特性に応じて決定する。これにより、モータ特性による制御性能および安定性の変化をキャンセルして、安定かつ最適にブラシレスDCモータ3の回転制御が可能となる。

【0022】

一例として、図4に、 G / F 制御部15で生成されるゲイン可変量 $G a d j$ と、ブラシレスDCモータ3の回転数との関係を示したグラフを示す。この図4のグラフの横軸の回転数は任意単位であり、例えば $r p m$ (回転/毎分) である。係数 A および係数 B は、ブラシレスDCモータ3の、以下に説明する機械時定数 $T m$ が、回転数によって変化する量を反映して決定される。例えば、回転数が $2500 r p m$ のときの機械時定数が、回転停止時の機械時定数と比較して5倍の機械時定数となるブラシレスDCモータ3の場合、「係数 $A = 5 / 2500$ 」、「係数 $B = 1$ 」となる。

【0023】

図5のグラフに、ブラシレスDCモータ3のステップ応答と機械時定数 $T m$ の関係を示す。ステップ応答は、ブラシレスDCモータ3の入力電圧 $V c$ をステップ的に変化させることで変化するモータ速度をプロットしたものである。図5のグラフの横軸は、時間軸である。横軸の単位は任意であり、例えば $m s e c$ である。図5のグラフの縦軸は、ステップ電圧印加前後のモータ速度変化量を「1」に正規化したモータ速度である。この正規化した速度変化量が0.63に達する時間が「機械時定数 $T m$ 」である。

【0024】

図5の点線のグラフは、初期回転数が遅いときのプロットで、このときの機械時定数 $T m$ は、 $T m = 1$ である。図5の実線のグラフは、初期回転数が速いときのプロットで、このときの機械時定数 $T m$ は、 $T m = 4$ である。この図5から、ブラシレスDCモータ3は、初期回転数(ステップ電圧印加前の回転数)が高いほど機械時定数 $T m$ が大きくなる傾向にあることがわかる(= 応答が遅くなる傾向にあることがわかる)。

【0025】

図6は、ブラシレスDCモータ3の初期回転数をふって、機械時定数 $T m$ をプロットしたグラフである。この図6のグラフでは、モータ停止時の機械時定数 $T m$ を1に正規化している。この図6のグラフからわかるように、ブラシレスDCモータ3の回転数に対して、機械時定数 $T m$ が直線的に増加している。この直線の傾きは、モータの品種(種類)により異なるため、モータの品種毎にこのようなプロットをとって、基礎データとするのが好ましい。ゲイン可変量 $G a d j$ の直線の傾きは、ブラシレスDCモータ3の回転数に対

10

20

30

40

50

する機械時定数 T_m の変化率に応じて決定されている。

【0026】

この図6のグラフに示す基礎データおよび図4に示したゲイン可変量 G_{adj} の可変式 (ゲイン可変量 $G_{adj} = \text{係数 } A \times \text{速度値 } Speed + \text{係数 } B$) から、係数 A および係数 B を求めることができる。これを用いて、 G/F 制御部15が構成されている。

【0027】

図7に、 G/F 制御部15のゲイン可変量 G_{adj} および折れ点周波数可変量 F_{adj} で誤差増幅部13を制御した場合における周波数特性ボード線図を示す。ボード線図は、周波数を横軸として、入力から出力までのゲインをプロットしたもので、周波数は対数目盛り、ゲインは dB (ゲインの対数値 $\times 20$) で示される。対数目盛りを用いると、ゲインが略々直線で近似できる。直線が折れ曲がる周波数は、折れ点周波数と呼ばれている。

【0028】

図7からわかるように、誤差増幅部13は、積分折れ点周波数 (Integral Corner) よりも低域でゲインが増大する積分特性を備え、積分折れ点周波数よりも高域ではフラットなゲインとなる。図7において、ブラシレスDCモータ3の回転速度が低いとき (低速時) のボード線図は、太い実線で示されている。ブラシレスDCモータ3の回転速度が速くなると (高速時)、ゲイン可変量 G_{adj} は大きくなり、折れ点周波数可変量 F_{adj} が小さくなる。このため、高速時には、図7中、点線のボード線図で示すように、フラット部分のゲインが上がり、積分折れ点周波数は下がる。

【0029】

ゲイン可変量 G_{adj} を大きくしただけでは、図7中の細線のボード線図のように全体的にゲインが上がるだけである。これでは機械時定数 T_m の変化を補償できない。このため、 G/F 制御部15は、誤差増幅部13に折れ点周波数可変量 F_{adj} を供給して、積分折れ点周波数を下げている。このように、誤差増幅部13を回転数に対応した特性とすることにより、モータ時定数の回転数依存性をキャンセルすることができ、回転数に応じて安定かつ最適な回転制御を行うことができる。

【0030】

以上の説明から明らかなように、第1の実施の形態のモータ制御装置は、誤差増幅部13が、速度誤差信号 $SpErr$ を所定の比例ゲイン (ゲイン可変量 G_{adj}) で増幅すると共に、所定の積分折れ点周波数より低域側を積分した比例積分特性を有している。そして、 G/F 制御部15は、ブラシレスDCモータ3の現在の回転速度が高くなるに連れ、比例ゲイン (ゲイン可変量 G_{adj}) を増加させ、積分折れ点周波数が低域側にシフトするように誤差増幅部13を制御する。これにより、回転数に応じてブラシレスDCモータ3の機械応答特性が変化しても、追従制御特性に影響を及ぼすことなく、安定かつ最適にブラシレスDCモータ3の回転制御を行うことができる。

【0031】

(第2の実施の形態)

次に、第2の実施の形態のモータ制御装置の説明をする。上述の第1の実施の形態のモータ制御装置は、所定の積分折れ点周波数より低域側を積分した比例積分特性を有する誤差増幅部13を設ける。そして、誤差増幅部13が、ブラシレスDCモータ3の現在の回転速度が高くなるに連れ、比例ゲインを増加させ、積分折れ点周波数を低域側にシフトさせるものであった。これに対して、第2の実施の形態のモータ制御装置は、上述の比例積分特性と共に、所定の微分折れ点周波数により高域側を微分した比例微分特性を有する誤差増幅部を設ける。そして、誤差増幅部が、ブラシレスDCモータ3の現在の回転速度が高くなるに連れ、比例ゲインを増加させ、微分折れ点周波数を高域側にシフトさせるものである。なお、第1の実施の形態と第2の実施の形態とは、この点のみが異なる。このため、以下、両者の差異の説明のみ行い、重複説明を省略する。

【0032】

図8に、第2の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部40のブロック図を示す。この図8に示す誤差増幅部40において、図2に示した誤差増幅部13と同

10

20

30

40

50

じ動作を示す箇所には、同じ符号を付してある。図 2 及び図 8 を見比べてわかるように、第 2 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部 40 は、誤差増幅部 13 の構成と共に、増幅部 41、乗算部 42、および微分部 43 を、さらに備えた構成を有している。

【0033】

増幅部 41 は、ゲイン要素であり、固定の増幅率 G_d で、乗算部 22 からの制御値 C_t を増幅する。乗算部 42 は、ゲイン可変要素であり、増幅率 G_d で増幅された制御値 C_t に、入力端子 29 を介して G/F 制御部 15 から供給された折れ点周波数可変量 F_{adj} を乗算処理する。微分部 43 は、増幅率 G_d で増幅されると共に、折れ点周波数可変量 F_{adj} が乗算処理された制御値 C_t を微分処理して制御値 C_d を生成する。加算器 26 は、乗算部 22 からの制御値 C_t と、積分処理により生成された制御値 C_i と、微分処理により生成された制御値 C_d とを加算し、出力端子 30 を介して制御値 $D_r v$ を出力する。

【0034】

このような誤差増幅部 40 は、第 1 の実施の形態で説明した比例積分特性と共に、所定の微分折れ点周波数より高域側を微分した比例微分特性を有している。すなわち、誤差増幅部 40 は、図 7 のボード線図に示すように、積分折れ点周波数よりも低域でゲインが増大する積分特性と、微分折れ点周波数 (Differential Corner) よりも高域でゲインが増大する微分特性を備えている。積分折れ点周波数と微分折れ点周波数との間はフラットなゲインとなる。

【0035】

ブラシレス DC モータ 3 の回転速度が低いときのボード線図は、図 7 中、太い実線で示されている。ブラシレス DC モータ 3 の回転速度が速くなると、図 7 中、点線のボード線図で示すようにゲイン可変量 G_{adj} は大きくなり、折れ点周波数可変量 F_{adj} が小さくなるため、フラット部分のゲインが上がり、積分折れ点周波数は下がる。また、折れ点周波数可変量 F_{adj} が小さくなると、微分特性部分のゲインが下がるので、微分折れ点周波数は上がる。

【0036】

微分折れ点を可変するのは、図 6 に点線のグラフで示すブラシレス DC モータ 3 の電気時定数 T_e が、回転速度が大きいほど低下するためである。一般に、ブラシレスモータは、イナーシャと逆起電圧定数とコイル抵抗で決まる機械時定数 T_m と、コイル抵抗およびインダクタンスで決まる電気時定数 T_e を持つ 2 次遅れ系でモデリング可能である。

【0037】

機械時定数 T_m と電気時定数 T_e は定数ではなく、回転数に応じて変化する。図 6 に示す電気時定数 T_e は、回転数が高くなるに連れ下がっており、機械時定数 T_m の逆数に比例している。すなわち、機械時定数 T_m が 4 倍になる回転数では、電気時定数 T_e が $1/4$ になる。このようなことから、図 8 に示す誤差増幅部 40 は、積分側と同じ折れ点周波数可変量 F_{adj} を用いて微分側のゲインを可変している。

【0038】

これにより、ブラシレス DC モータ 3 の機械時定数 T_m と電気時定数 T_e の回転数依存性をキャンセルでき、回転数毎に安定かつ最適な回転制御を行うことができる。また、電気時定数 T_e が実際には小さくなっているにもかかわらず微分折れ点が変わらないと、高域の増幅率が高くなり過ぎて駆動波形にノイズが重畳し、また、飽和しやすくなる不都合を生ずる。しかし、微分側を可変することで、このような不都合を防止することができる。

【0039】

以上の説明から明らかなように、第 2 の実施の形態のモータ制御装置は、誤差増幅部 40 が、上述の比例積分特性と共に、所定の微分折れ点周波数より高域側を微分する比例微分特性を有している。そして、誤差増幅部 40 が、ブラシレス DC モータ 3 の現在の回転速度が高くなるほど比例ゲインを増加させると共に、微分折れ点周波数を高域側にシフトする。これにより、ブラシレス DC モータ 3 の回転数に依存してモータの電氣的応答特性

10

20

30

40

50

が変化しても、駆動回路や追従制御特性に影響を及ぼすことなく、安定かつ最適な回転制御を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

(第 3 の実施の形態)

次に、第 3 の実施の形態のモータ制御装置の説明をする。上述の第 2 の実施の形態のモータ制御装置は、図 3 を用いて説明したように、G / F 制御部 1 5 が、ゲイン可変量 G_{adj} から折れ点周波数可変量 F_{adj} を生成するための逆数部 3 2 を有するものであった。これに対して、第 3 の実施の形態のモータ制御装置は、ゲイン可変量 G_{adj} から折れ点周波数可変量 F_{adj} を生成するための逆数部を、誤差増幅部が有する構成としたものである。なお、第 2 の実施の形態と第 3 の実施の形態とは、この点のみが異なる。このため、以下、両者の差異の説明のみ行い、重複説明を省略する。

10

【 0 0 4 1 】

図 9 に、第 3 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部 5 0 のブロック図を示す。この図 9 に示す誤差増幅部 5 0 において、図 8 に示した誤差増幅部 4 0 と同じ動作を示す箇所には、同じ符号を付してある。図 8 及び図 9 を見比べてわかるように、第 3 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部 5 0 は、G / F 制御部 1 5 からの折れ点周波数可変量 F_{adj} を乗算部 2 4 および乗算部 4 2 に供給する信号ラインが省略されている。代わりに、誤差増幅部 5 0 は、G / F 制御部 1 5 から入力端子 2 8 を介して供給されるゲイン可変量 G_{adj} から折れ点周波数可変量 F_{adj} を生成して乗算部 2 4 および乗算部 4 2 に供給する逆数部 5 1 を有している。

20

【 0 0 4 2 】

このようなモータ制御装置は、入力端子 2 8 を介して供給される G / F 制御部 1 5 からのゲイン可変量 G_{adj} は、乗算部 2 2 および逆数部 5 1 に供給される。逆数部 5 1 は、ゲイン可変量 G_{adj} の逆数を演算することで折れ点周波数可変量 F_{adj} を生成し、乗算部 2 4 および乗算部 4 2 に供給する。

【 0 0 4 3 】

このような第 3 の実施の形態のモータ制御装置は、ゲイン可変量 G_{adj} から折れ点周波数可変量 F_{adj} を生成するための逆数部 5 1 を、誤差増幅部 5 0 が有する構成としている。これにより、G / F 制御部 1 5 の逆数部 3 2 を省略することができる他、上述の各実施の形態と同じ効果を得ることができる。

30

【 0 0 4 4 】

(第 4 の実施の形態)

次に、第 4 の実施の形態のモータ制御装置の説明をする。上述の各実施の形態のモータ制御装置は、速度誤差信号 $SpErr$ をゲイン可変量 G_{adj} で増幅した後に、積分処理および微分処理を行うものであった。これに対して、第 4 の実施の形態のモータ制御装置は、「ゲイン可変量 G_{adj} で増幅した速度誤差信号 $SpErr$ 」と、「ゲイン可変量 G_{adj} で増幅することなく積分処理した速度誤差信号 $SpErr$ 、およびゲイン可変量 G_{adj} で増幅することなく微分処理した速度誤差信号 $SpErr$ 」とを加算処理する。これにより、図 7 のボード線図で示す積分折れ点周波数と微分折れ点周波数との間のフラット部分のみ、ゲイン可変量 G_{adj} で可変するものである。なお、上述の各実施の形態と第 4 の実施の形態とは、この点のみが異なる。このため、以下、両者の差異の説明のみ行い、重複説明を省略する。

40

【 0 0 4 5 】

図 1 0 に、第 4 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている誤差増幅部 6 0 のブロック図を示す。この図 1 0 に示すように誤差増幅部 6 0 は、速度誤差信号 $SpErr$ をゲイン可変量 G_{adj} で増幅して加算器 2 6 に供給する増幅部 2 1 および乗算部 2 2 を有している。また、誤差増幅部 6 0 は、ゲイン可変量 G_{adj} で増幅されていない速度誤差信号 $SpErr$ を積分処理して加算器 2 6 に供給する増幅部 2 3 及び積分部 2 5 を有している。また、誤差増幅部 6 0 は、ゲイン可変量 G_{adj} で増幅されていない速度誤差信号 $SpErr$ を微分処理して加算器 2 6 に供給する増幅部 4 1 及び微分部 4 3 を有している。

50

【 0 0 4 6 】

このような誤差増幅部 6 0 においては、ゲイン可変量 G_{adj} で速度誤差信号 S_{pErr} を増幅する乗算部 2 2 の入力点から、速度誤差信号 S_{pErr} を積分処理側および微分処理側に分配している。これにより、図 7 のボード線図で示す積分折れ点周波数と微分折れ点周波数との間のフラット部分のみ、ゲイン可変量 G_{adj} で可変することができる。すなわち、ゲイン可変量 G_{adj} が大きくなっても、積分処理側および微分処理側のゲインは変わらないため、図 7 のボード線図で示す積分折れ点周波数を自動的に低くすることができ、また、微分折れ点周波数を自動的に高くすることができる。

【 0 0 4 7 】

従って、この第 5 の実施の形態のモータ制御装置は、図 9 に示す逆数部 5 1、乗算部 2 4、および乗算部 4 2 のような、折れ点周波数を変化させるための可変ゲイン要素を省略することができる。このため、構成の簡略化およびローコスト化を図ることができる他、上述の各実施の形態と同じ効果を得ることができる。

【 0 0 4 8 】

(第 5 の実施の形態)

次に、第 5 の実施の形態のモータ制御装置の説明をする。図 1 1 に、第 5 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている G / F 制御部 1 5 で生成されるゲイン可変量 G_{adj} と、ブラシレス DC モータ 3 の回転数との関係を示したグラフを示す。この図 1 1 のグラフの横軸の回転数は任意単位であり、例えば rpm (回転 / 毎分) である。

【 0 0 4 9 】

第 1 の実施の形態のモータ制御装置は、ブラシレス DC モータ 3 の現在速度がゼロのときの値を基準とし、現在速度に応じて所定の傾きで直線的にゲイン可変量 G_{adj} を増加させるものであった。すなわち、第 1 の実施の形態のモータ制御装置は、図 4 に示したようにブラシレス DC モータ 3 の停止時のゲイン可変量 G_{adj} を「 1 」とし、ブラシレス DC モータ 3 の回転数が高くなるに連れ、ゲイン可変量 G_{adj} を直線的に増大させるものであった。

【 0 0 5 0 】

これに対して、第 2 の実施の形態のモータ制御装置は、ブラシレス DC モータ 3 の現在速度が所定値のときの値を基準とし、現在速度に応じて所定の傾きで直線的にゲイン可変量 G_{adj} を増加させるものである。すなわち、第 5 の実施の形態のモータ制御装置は、図 1 1 に示すように中間の基準回転数 v_m でのゲイン可変量 G_{adj} を「 1 」として、そこから直線的にゲイン可変量 G_{adj} を増大させるものである。ゲイン可変量 G_{adj} の直線の傾きは、第 1 の実施の形態と同様に、ブラシレス DC モータ 3 の回転数に対する機械時定数 T_m の変化率に応じて決定される。

【 0 0 5 1 】

このような第 5 の実施の形態のモータ制御装置に設けられている G / F 制御部 1 5 において、使用する回転数範囲におけるゲイン可変量 G_{adj} の最大変化量を G_{max} としたとき、その幾何平均で $G_{adj} = 1$ となるような回転数に基準回転数 v_m を設定することが好ましい。すなわち、回転数範囲が 0 から v_{max} で、そのときのゲイン可変量 G_{adj} の変化量が G_{max} 倍とすると、基準回転数 v_m は、「 $v_m = v_{max} \times ((G_{max}) - 1) / (G_{max} - 1)$ 」とするのが好ましい。

【 0 0 5 2 】

基準回転数 v_m でのゲイン可変量 G_{adj} を「 1 」とすると、回転数 v_{max} におけるゲイン可変量 G_{adj} は、「 $G_{adj} = (G_{max})$ 」となり、回転数 0 におけるゲイン可変量 G_{adj} は、「 $G_{adj} = 1 / ((G_{max}))$ 」となる。G / F 制御部 1 5 の係数 A は、「 $A = (1 / v_{max}) \times ((G_{max}) - 1) / ((G_{max}))$ 」となる。また、G / F 制御部 1 5 の係数 B は、「 $B = 1 / ((G_{max}))$ 」となる。このとき、誤差増幅部 1 3 (4 0、5 0 または 6 0) のゲイン等は、モータ回転数が基準回転数 v_m のときのモータ特性 (機械時定数 T_m および電気時定数 T_e) に応じて設定する。ゲイン可変量 G_{adj} の直線の傾きは、ブラシレス DC モータ 3 の回転数に対する

10

20

30

40

50

機械時定数の変化率に応じて決定する。

【 0 0 5 3 】

このように構成すると、ゲイン可変量 $G_{adj} = 1$ のときの誤差増幅部 13 等の特性が、モータ回転数範囲の中間で最適となるように設計できる。このため、ゲイン可変量 G_{adj} を可変しない安価なシステムでも、広い回転数範囲に適合させることができる。また、そのときの誤差増幅部 13 (40、50 または 60) のゲイン等は、ゲイン可変量 G_{adj} を可変するシステムと共通となる。このため、システム間の設計互換性が高まり、部品の共通化等によりモータ制御装置を安価に製造することができる。このため、総合的に安価な製品を市場に流通させることができる。

【 0 0 5 4 】

10

(第 6 の実施の形態)

次に、第 6 の実施の形態のモータ制御装置の説明をする。この第 6 の実施の形態のモータ制御装置は、上述の第 1 ~ 第 5 の実施の形態のモータ制御装置のうち、いずれかのモータ制御装置を複数のモータそれぞれに対して割り当て、モータの品種毎に決定された直線の傾きのゲイン可変量 G_{adj} で回転制御を行うようにしたものである。

【 0 0 5 5 】

図 12 に、第 6 の実施の形態のモータ制御装置のブロック図を示す。この図 12 においては、上述の第 1 の実施の形態と同様の動作を示す箇所には、同じ符号を付している。図 12 に示すように、第 6 の実施の形態のモータ制御装置は、総合制御器 70 と、ドライバ 2 で回転駆動され、センサ 4 で回転位置等が検出される、品種の異なる複数のブラシレス DC モータ 3 を有している。

20

【 0 0 5 6 】

総合制御器 70 は、上述の第 1 ~ 第 5 の実施の形態のモータ制御装置のうち、いずれかのモータ制御装置に設けられている制御器 1 である。総合制御器 70 は、このような制御器 1 を、ブラシレス DC モータ 3 の個数分、有している。また、総合制御器 70 は、メモリ 71 を有している。メモリ 71 は、ブラシレス DC モータ 3 毎に、上述の G / F 制御部 15 の係数 A および係数 B を記憶している。図 12 のメモリ 71 内の「A1、B1」の文字は、第 1 の制御器 1 に供給する係数 A および係数 B を示している。同様に、図 12 のメモリ 71 内の「An、Bn」の文字は、第 n の制御器 1 に供給する係数 A および係数 B を示している。「n」は、自然数である。

30

【 0 0 5 7 】

すなわち、ドライバ 2、ブラシレス DC モータ 3、およびセンサ 4 は、それぞれ異なる特性を有する。このため、ブラシレス DC モータ 3 毎に、それぞれ対応する係数 A および係数 B をメモリ 71 に記憶している。そして、各制御器 1 は、自機に割り当てられた係数 A および係数 B に対応する傾きのゲイン可変量 G_{adj} を用いて、自機が制御するブラシレス DC モータ 3 の回転制御を行う。

【 0 0 5 8 】

これにより、各ブラシレス DC モータ 3 の機械時定数 T_m および電気時定数 T_e の回転数依存性をキャンセルするように係数 A および係数 B を最適化して制御器 1 に供給することが可能となる。このため、特性(品種)の異なる複数のブラシレス DC モータ 3 が混在する場合でも、最適な回転制御を可能とすることができ、安定した制御性能が得ることができる他、上述の各実施の形態と同様の効果を得ることができる。

40

【 0 0 5 9 】

上述の各実施の形態は、例として提示したものであり、本発明の範囲を限定することは意図していない。この新規な各実施の形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことも可能である。各実施の形態および各実施の形態の変形は、発明の範囲や要旨に含まれると共に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

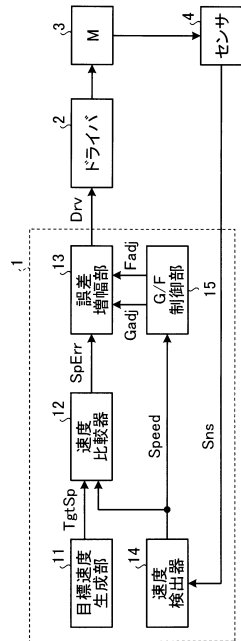
【 符号の説明 】

【 0 0 6 0 】

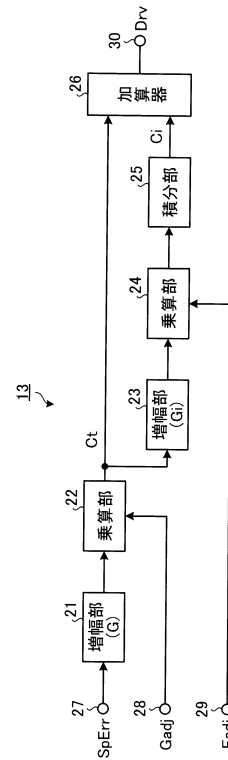
50

1	制御器	
2	ドライバ	
3	ブラシレス D C モータ	
4	センサ	
1 1	目標速度生成部	
1 2	速度比較器	
1 3	誤差増幅部	
1 4	速度検出部	
1 5	ゲイン / 折れ点周波数制御部 (G / F 制御部)	
2 1	増幅部	10
2 2	乗算部	
2 3	増幅部	
2 4	乗算部	
2 5	積算部	
2 6	加算器	
3 1	ゲイン算出部	
3 2	逆数部	
4 0	誤差増幅部	
4 1	増幅部	
4 2	乗算部	20
4 3	微分部	
5 0	誤差増幅部	
5 1	逆数部	
6 0	誤差増幅部	
7 0	総合制御器	
7 1	メモリ	
【先行技術文献】		
【特許文献】		
【 0 0 6 1 】		
【特許文献 1】特開 2 0 0 9 - 1 4 8 0 8 2 号公報		
		30

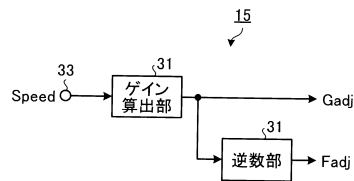
【図 1】



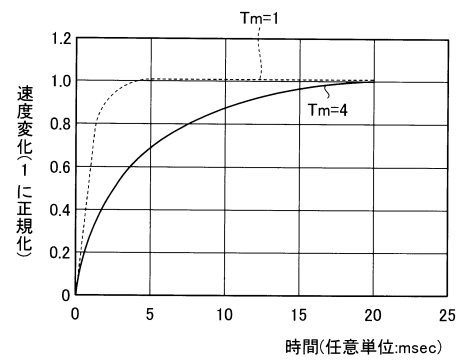
【図 2】



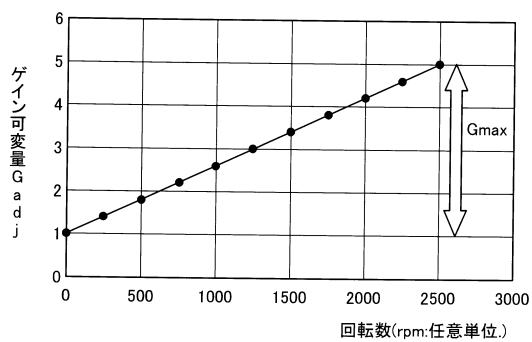
【図 3】



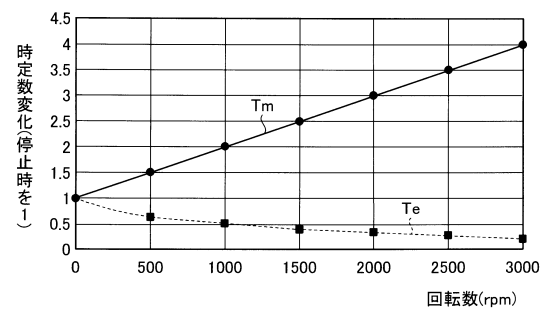
【図 5】



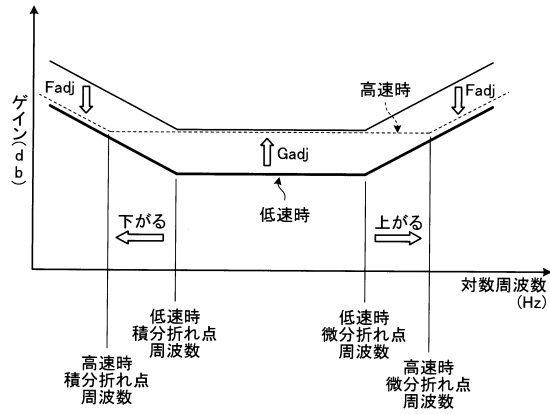
【図 4】



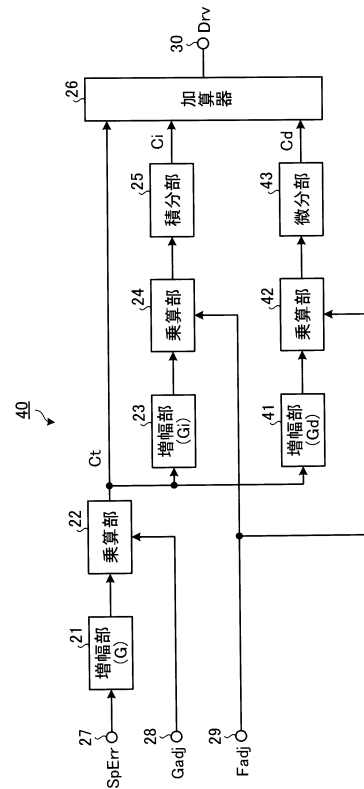
【図 6】



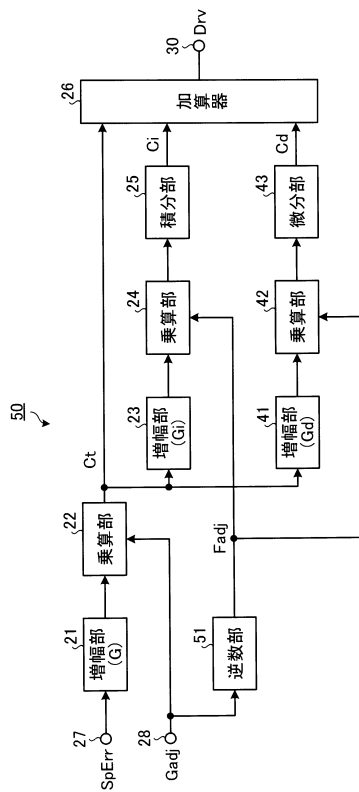
【図 7】



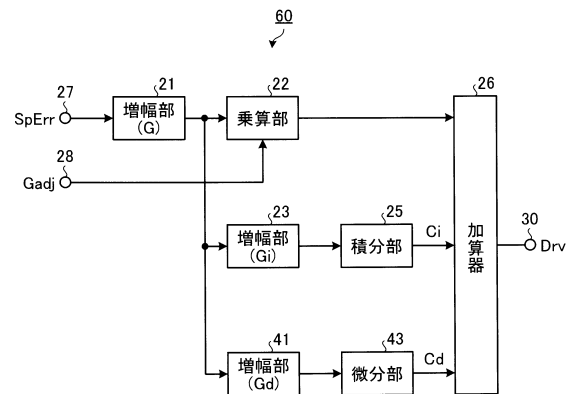
【図 8】



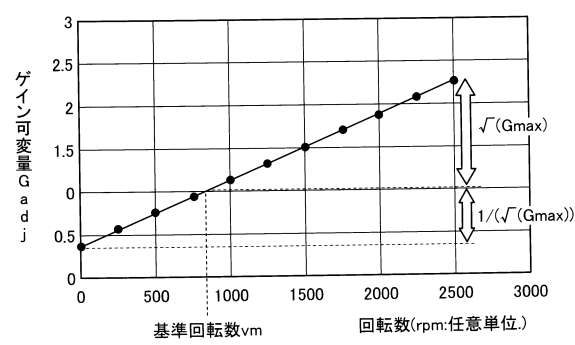
【図 9】



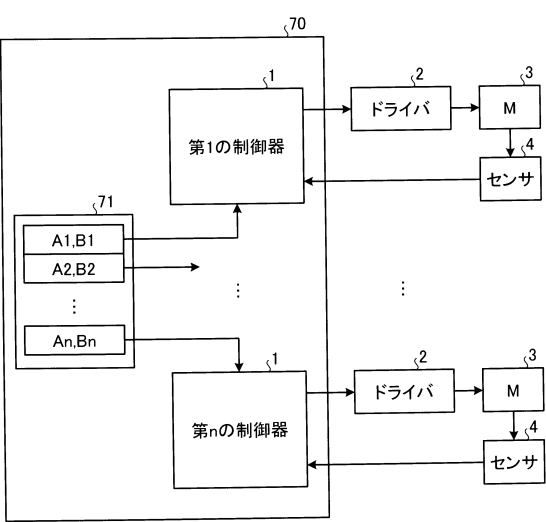
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 9 - 2 3 8 4 9 0 (J P , A)
特開平 0 1 - 2 4 5 4 5 4 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 5 8 2 7 8 (J P , A)
特開平 0 1 - 3 0 8 1 8 8 (J P , A)
米国特許第 0 4 9 1 4 3 6 1 (U S , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 P 7 / 0 6