

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6571364号
(P6571364)

(45) 発行日 令和1年9月4日(2019.9.4)

(24) 登録日 令和1年8月16日(2019.8.16)

(51) Int. Cl.	F 1
EO2F 9/20 (2006.01)	EO2F 9/20 Z
HO2P 25/098 (2016.01)	HO2P 25/098
HO2P 29/00 (2016.01)	HO2P 29/00
HO2P 29/40 (2016.01)	HO2P 29/40
B66C 23/84 (2006.01)	B66C 23/84 H

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-67049 (P2015-67049)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成27年3月27日 (2015.3.27)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2016-186195 (P2016-186195A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成28年10月27日 (2016.10.27)	(74) 代理人	100105924
審査請求日	平成30年3月14日 (2018.3.14)		弁理士 森下 賢樹
		(74) 代理人	100109047
			弁理士 村田 雄祐
		(74) 代理人	100109081
			弁理士 三木 友由
		(74) 代理人	100116274
			弁理士 富所 輝観夫
		(72) 発明者	加藤 敦
			神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重 機械工業株式会社横須賀製造所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 作業機械の電動旋回装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

作業機械に搭載され、走行機構に対して上部旋回体を旋回させる電動旋回装置であって、

旋回用電動機と、

前記上部旋回体の回転情報を取得する回転検出手段と、

前記回転検出手段の検出結果にもとづく速度検出値が操作者の操作入力に応じた速度指令値と一致するように第1トルク指令値を生成するトルク指令値生成部と、

前記速度検出値に含まれる振動の周波数成分がゼロに近づくようにトルク補正值を生成し、前記第1トルク指令値を前記トルク補正值を用いて補正して第2トルク指令値を生成する振動抑制器と、

前記振動抑制器からの前記第2トルク指令値にもとづいて前記旋回用電動機を駆動するインバータと、

を備え、

前記振動抑制器は、

前記トルク補正值を生成するトルク補正值生成部と、

前記第1トルク指令値と前記トルク補正值を加算または減算し、前記第2トルク指令値を生成する加減算器と、

を含むことを特徴とする電動旋回装置。

【請求項2】

前記振動抑制器は、ハイパスフィルタ型の周波数応答特性を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電動旋回装置。

【請求項 3】

前記トルク補正值生成部は、前記回転情報としての前記速度検出値がゼロに近づくように、前記トルク補正值を生成する D (微分) 制御器を含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電動旋回装置。

【請求項 4】

前記トルク補正值生成部は、前記回転情報としての前記速度検出値がゼロに近づくように、前記トルク補正值を生成する P D (比例・微分) 制御器を含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電動旋回装置。

【請求項 5】

前記トルク補正值生成部は、ハイパスフィルタをさらに含むことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の電動旋回装置。

【請求項 6】

作業機械に搭載され、走行機構に対して上部旋回体を旋回させる電動旋回装置であって

、
旋回用電動機と、

前記上部旋回体の回転情報を取得する回転検出手段と、

前記回転検出手段の検出結果にもとづく速度検出値が操作者の操作入力に応じた速度指令値と一致するように第 1 トルク指令値を生成するトルク指令値生成部と、

前記速度検出値に含まれる振動の周波数成分がゼロに近づくようにトルク補正值を生成し、前記第 1 トルク指令値を前記トルク補正值を用いて補正して第 2 トルク指令値を生成する振動抑制器と、

前記振動抑制器からの前記第 2 トルク指令値にもとづいて前記旋回用電動機を駆動するインバータと、

を備え、

前記振動抑制器は、前記速度検出値が所定値より低い速度範囲で有効であることを特徴とする電動旋回装置。

【請求項 7】

作業機械に搭載され、走行機構に対して上部旋回体を旋回させる電動旋回装置であって

、
旋回用電動機と、

前記上部旋回体の回転情報を取得する回転検出手段と、

前記回転検出手段の検出結果にもとづく速度検出値が操作者の操作入力に応じた速度指令値と一致するように第 1 トルク指令値を生成するトルク指令値生成部と、

前記速度検出値に含まれる振動の周波数成分がゼロに近づくようにトルク補正值を生成し、前記第 1 トルク指令値を前記トルク補正值を用いて補正して第 2 トルク指令値を生成する振動抑制器と、

前記振動抑制器からの前記第 2 トルク指令値にもとづいて前記旋回用電動機を駆動するインバータと、

を備え、

前記電動旋回装置は、前記第 1 トルク指令値を速度に応じた第 1 トルクリミット値以下に制限する第 1 トルクリミッタをさらに備え、

前記振動抑制器は、前記トルク補正值を速度に応じた第 2 トルクリミット値以下に制限する第 2 トルクリミッタをさらに含むことを特徴とする電動旋回装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、作業機械の電動旋回装置に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【0002】

近年のパワーショベルやクレーンをはじめとする作業機械は、上部旋回体を回転させる回転装置を備える。回転装置は、回転体を駆動するための回転モータと、回転モータの出力を回転体に伝達する動力伝達機構（回転軸機構とも言う）を備える。ハイブリッドショベル等は、回転モータとして電動モータ（電動機）を有する電動回転装置を搭載する。

【0003】

図1は、電動回転装置の制御ブロック図である。電動回転装置500rは、電動モータである回転用電動機502、インバータ504、トルク指令値生成部506、回転軸機構508を備える。

【0004】

トルク指令値生成部506には、運転者（オペレータ）のレバー操作に応じた操作指令信号S1が入力される。操作指令信号S1は、回転軸の回転速度を指示する速度指令値 C_{NT} に相当する。トルク指令値生成部506にはさらに、回転軸の現在の回転状態を示す検出信号S2が入力される。検出信号S2は、現在の回転軸の速度を示す速度検出値 F_B に相当する。速度検出値 F_B は、図示しないレゾルバなどの速度検出器によって検出される。

【0005】

トルク指令値生成部506は、操作指令信号S1と検出信号S2にもとづき、インバータ504のための制御信号S3を生成する。制御信号S3は、回転用電動機502の回転トルクを指示するトルク指令値 R_{EF} に相当する。トルク指令値生成部506は、速度検出値 F_B が速度指令値 C_{NT} と一致するように、トルク指令値 R_{EF} をフィードバック制御する。

【0006】

インバータ504は、制御信号S3を受け、回転用電動機502の発生トルク O_{UT} がトルク指令値 R_{EF} に近づくように、回転用電動機502に供給する電力を制御する。回転用電動機502の回転は、回転軸機構508を介して上部旋回体に伝達される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2014-58834号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明者は、作業機械について検討したところ、以下の課題を認識するに至った。

電動回転装置500rは、外乱トルク D_{IS} の影響を受ける。この外乱トルク D_{IS} は、(i)回転用電動機502に固有の、回転にともない発生するモータ軸の周期的なトルク変動成分や、(ii)回転軸機構508に使用される減速機の影響による周期的なトルク変動成分、(iii)それらの複合に生ずる周期的なトルク変動成分などを含む。

【0009】

このような周期的な外乱トルク D_{IS} は、作業者に不快な振動を与えることとなり、除去することが望まれる。油圧モータを用いた回転装置では、高トルク、低応答性という特性が故にこのような周期的な外乱トルク D_{IS} の影響は無視し得たが、電動回転装置では回転用電動機502の低トルク・高応答性が故に、振動の影響が顕著となる。

【0010】

図2は、図1の電動回転装置500rの応答特性を示すボード線図である。図1の電動回転装置500rでは、レバー操作に対する制御応答帯域と、周期的な外乱トルク D_{IS} に起因する振動の抑制帯域は一致する。したがって振動を抑制するためには、電動回転装置500rのフィードバックループの周波数応答特性（カットオフ周波数）を、外乱トルク D_{IS} の周波数よりも高く設定すればよい。ところが、電動回転装置500rのフィードバックループのカットオフ周波数を高くすると、操作指令信号S1、つまりレバー

10

20

30

40

50

操作に対する旋回体の動きが過敏となり、操作性が悪化する。

【0011】

なおこの問題を当業者の一般的な認識としてとらえてはならず、本発明者が独自に認識したものである。

【0012】

本発明に係る課題に鑑みてなされたものであり、そのある態様の例示的な目的のひとつは、操作性を犠牲とせずに振動を抑制可能な電動旋回装置の提供にある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明のある態様は、作業機械に搭載され、走行機構に対して上部旋回体を旋回させる電動旋回装置に関する。電動旋回装置は、旋回用電動機と、上部旋回体の回転情報を取得する回転検出手段と、回転検出手段の検出結果にもとづく速度検出値が操作者の操作入力に応じた速度指令値と一致するように第1トルク指令値を生成するトルク指令値生成部と、速度検出値に含まれる振動の成分がゼロに近づくようにトルク補正值を生成し、第1トルク指令値をトルク補正值を用いて補正し第2トルク指令値を生成する振動抑制器と、振動抑制器からの第2トルク指令値にもとづいて旋回用電動機を駆動するインバータと、を備える。

10

【0014】

この態様では、トルク指令値生成部によって、操作入力に応じた制御を行うとともに、それと並行して振動制御器によって振動抑制を行う。これにより、トルク指令値生成部と振動抑制器それぞれの周波数応答特性を独立に設計できるため、操作性を犠牲とせずに振動を抑制することができる。

20

【0015】

振動抑制器は、ハイパスフィルタ型の周波数応答特性を有してもよい。これにより、振動抑制器が、操作性に悪影響を及ぼすのを防止できる。

【0016】

振動抑制器は、トルク補正值を生成するトルク補正值生成部と、第1トルク指令値と第2トルク指令値を加算または減算し、第2トルク指令値を生成する加減算器と、を含んでもよい。

【0017】

トルク補正值生成部は、回転情報としての速度検出値がゼロに近づくように、トルク補正值を生成するD(微分)制御器を含んでもよい。

30

これにより、速度検出値に含まれる振動成分をゼロに近づけることができる。

【0018】

トルク補正值生成部は、回転情報としての速度検出値がゼロに近づくように、トルク補正值を生成するPD(比例・微分)制御器を含んでもよい。トルク補正值生成部はさらに、ハイパスフィルタを含んでもよい。

【0019】

振動抑制器は、速度検出値が所定値より低い速度範囲で有効であってもよい。

操作者は、上部旋回体の回転速度が低い場合に振動を感じやすく、回転速度が高い場合には振動に対して鈍感である。そこで振動抑制器の動作速度域を設け、不要な場合には振動抑制器510を動作させないことで、系の安定性を高めることができる。

40

【0020】

電動旋回装置は、第1トルク指令値を、速度に応じた第1トルクリミット値を超えないよう制限する第1トルクリミッタをさらに備えてもよい。振動抑制器は、トルク補正值を速度に応じた第2トルクリミット値を超えないよう制限する第2トルクリミッタをさらに含んでもよい。

【0021】

なお、以上の構成要素の任意の組み合わせや本発明の構成要素や表現を、方法、装置、システムなどの間で相互に置換したのもまた、本発明の態様として有効である。

50

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、操作性を犠牲とせずに振動を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】電動旋回装置の制御ブロック図である。

【図2】図1の電動旋回装置の応答特性を示すボード線図である。

【図3】実施の形態に係る建設機械の一例であるショベルの外観を示す斜視図である。

【図4】実施の形態に係るハイブリッドショベルの電気系統や油圧系統などのブロック図である。

10

【図5】実施の形態に係る電動旋回装置のブロック図である。

【図6】図6(a)~(d)は、トルク補正值生成部の構成例を示すブロック図である。

【図7】電動旋回装置の動作波形図である。

【図8】電動旋回装置の応答特性(ゲイン)を示すボード線図である。

【図9】第2変形例に係る電動旋回装置のブロック図である。

【図10】パラメータ、を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明を好適な実施の形態をもとに図面を参照しながら説明する。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。また、実施の形態は、発明を限定するものではなく例示であって、実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

20

【0025】

図3は、実施の形態に係る建設機械の一例であるショベル1の外観を示す斜視図である。ショベル1は、主として走行機構2と、走行機構2の上部に旋回機構3を介して回動自在に搭載された上部旋回体(以下、単に旋回体ともいう)4とを備えている。

【0026】

旋回体4には、ブーム5と、ブーム5の先端にリンク接続されたアーム6と、アーム6の先端にリンク接続されたバケット10とが取り付けられている。バケット10は、土砂、鋼材などの吊荷を捕獲するための設備である。ブーム5、アーム6、及びバケット10は、それぞれブームシリンダ7、アームシリンダ8、及びバケットシリンダ9によって油圧駆動される。また、旋回体4には、バケット10の位置や励磁動作および釈放動作を操作する操作者を収容するための運転室4aや、油圧を発生するためのエンジン11といった動力源が設けられている。エンジン11は、例えばディーゼルエンジンで構成される。

30

【0027】

図4は、実施の形態に係るハイブリッドショベル1の電気系統や油圧系統などのブロック図である。なお、図4では、機械的に動力を伝達する系統を二重線で、油圧系統を太い実線で、操縦系統を破線で、電気系統を細い実線でそれぞれ示している。

【0028】

40

ショベル1は電動発電機12および減速機13を備えており、エンジン11及び電動発電機12の回転軸は、共に減速機13の入力軸に接続されることにより互いに連結されている。エンジン11の負荷が大きいときには、電動発電機12が自身の駆動力によりエンジン11の駆動力を補助(アシスト)し、電動発電機12の駆動力が減速機13の出力軸を経てメインポンプ14に伝達される。一方、エンジン11の負荷が小さいときには、エンジン11の駆動力が減速機13を経て電動発電機12に伝達されることにより、電動発電機12が発電を行う。電動発電機12は、例えば、磁石がロータ内部に埋め込まれたIPM(Interior Permanent Magnetic)モータによって構成される。電動発電機12の駆動と発電との切りかえは、ショベル1における電気系統の駆動制御を行うコントローラ30により、エンジン11の負荷等に応じて行われる。

50

【 0 0 2 9 】

減速機 1 3 の出力軸にはメインポンプ 1 4 及びパイロットポンプ 1 5 が接続されており、メインポンプ 1 4 には高圧油圧ライン 1 6 を介してコントロールバルブ 1 7 が接続されている。コントロールバルブ 1 7 は、ショベル 1 における油圧系の制御を行う装置である。コントロールバルブ 1 7 には、図 3 に示した走行機構 2 を駆動するための油圧モータ 2 A 及び 2 B の他、ブームシリンダ 7、アームシリンダ 8、及びバケットシリンダ 9 が高圧油圧ラインを介して接続されており、コントロールバルブ 1 7 は、これらに供給する油圧を運転者の操作入力に応じて制御する。

【 0 0 3 0 】

パイロットポンプ 1 5 には、パイロットライン 2 5 を介して操作装置 2 6 (操作手段) が接続されている。操作装置 2 6 は、旋回用電動機 2 1、走行機構 2、ブーム 5、アーム 6、及びバケット 1 0 を操作するための操作装置であり、操作者によって操作される。操作装置 2 6 には、油圧ライン 2 7 を介してコントロールバルブ 1 7 が接続され、また、油圧ライン 2 8 を介して圧力センサ 2 9 が接続される。操作装置 2 6 は、パイロットライン 2 5 を通じて供給される油圧 (1 次側の油圧) を操作者の操作量に応じた油圧 (2 次側の油圧) に変換して出力する。操作装置 2 6 から出力される 2 次側の油圧は、油圧ライン 2 7 を通じてコントロールバルブ 1 7 に供給されるとともに、圧力センサ 2 9 によって検出される。

10

【 0 0 3 1 】

圧力センサ 2 9 は、操作装置 2 6 に対して旋回機構 3 を旋回させるための操作が入力されると、この操作量を油圧ライン 2 8 内の油圧の変化として検出する。圧力センサ 2 9 は、油圧ライン 2 8 内の油圧を表す電気信号を出力する。この電気信号は、コントローラ 3 0 に入力され、旋回用電動機 2 1 の駆動制御に用いられる。

20

【 0 0 3 2 】

コントローラ 3 0 は、CPU (Central Processing Unit) 及び内部メモリを含むマイコン等の演算処理装置によって構成され、内部メモリに格納された駆動制御用のプログラムを CPU が実行することにより実現される。コントローラ 3 0 は、各種センサ及び操作装置 2 6 等からの操作入力を受けて、インバータ 1 8 A、1 8 C 及び蓄電手段 2 0 等の駆動制御を行う。コントローラ 3 0 は、単一の演算処理装置で構成されてもよい。あるいはコントローラ 3 0 は、複数の演算処理装置で構成されてもよく、たとえば上位のホストプロセッサおよびそれに従属する下位の少なくともひとつのプロセッサを含み、あるいは並列的な複数のプロセッサを含みうる。

30

【 0 0 3 3 】

油圧モータ 4 0 は、ブーム 5 が下げられるときにブームシリンダ 7 から吐出される油によって回転されるように構成されており、ブーム 5 が重力に従って下げられるときのエネルギーを回転力に変換するために設けられている。油圧モータ 4 0 は、コントロールバルブ 1 7 とブームシリンダ 7 の間の油圧管 7 A に設けられている。

【 0 0 3 4 】

旋回用電動機 2 1 は、図 3 の旋回機構 3 に設けられ、上部旋回体 4 を回動させる。旋回用電動機 2 1 は、旋回体 4 を旋回させる旋回機構 3 の動力源である。旋回用電動機 2 1 の回転軸 2 1 A には、レゾルバ 2 2、メカニカルブレーキ 2 3、及び旋回減速機 2 4 が接続される。旋回用インバータ 1 8 C は、蓄電手段 2 0 からの電力を受け、旋回用電動機 2 1 を駆動する。また旋回用電動機 2 1 の回生運転時には、旋回用電動機 2 1 からの電力を、蓄電手段 2 0 に回収する。

40

【 0 0 3 5 】

旋回用電動機 2 1 が力行運転を行う際には、旋回用電動機 2 1 の回転駆動力の回転力が旋回減速機 2 4 にて増幅され、旋回体 4 が加減速制御され回転運動を行う。また、旋回体 4 の慣性回転により、旋回減速機 2 4 にて回転速度が増加されて旋回用電動機 2 1 に伝達され、回生電力を発生させる。

【 0 0 3 6 】

50

レゾルバ 2 2 は、旋回用電動機 2 1 の回転軸 2 1 A の回転位置及び回転角度を検出するセンサであり、旋回用電動機 2 1 と機械的に連結することで回転軸 2 1 A の回転角度及び回転方向を検出する。レゾルバ 2 2 が回転軸 2 1 A の回転角度を検出することにより、旋回機構 3 の回転角度及び回転方向が導出される。メカニカルブレーキ 2 3 は、機械的な制動力を発生させる制動装置であり、コントローラ 3 0 からの指令によって、旋回用電動機 2 1 の回転軸 2 1 A を機械的に停止させる。旋回減速機 2 4 は、旋回用電動機 2 1 の回転軸 2 1 A の回転速度を減速して旋回機構 3 に機械的に伝達する減速機である。

【 0 0 3 7 】

続いて電気系統について詳細に説明する。電気系統は主として、コントローラ 3 0、蓄電手段 2 0、インバータ 1 8 A、1 8 C を備える。

10

【 0 0 3 8 】

(アシスト)

アシスト用のインバータ 1 8 A の 2 次側 (出力) 端には、電動発電機 1 2 が接続される。インバータ 1 8 A は、コントローラ 3 0 の一部であるアシスト用インバータコントローラからの指令にもとづき、電動発電機 1 2 の運転制御を行う。

【 0 0 3 9 】

(旋回)

旋回用電動機 2 1、レゾルバ 2 2、メカニカルブレーキ 2 3、旋回減速機 2 4、旋回用インバータ 1 8 C およびコントローラ 3 0 の一部である旋回用のインバータコントローラ 3 0 C は、電動旋回装置 5 0 0 を構成する。旋回用電動機 2 1 は、P W M (Pulse Width Modulation) 制御指令により旋回用インバータ 1 8 C によって交流駆動される。旋回用電動機 2 1 としては、例えば、磁石埋込型の I P M モータが好適である。

20

【 0 0 4 0 】

旋回用インバータコントローラ 3 0 C は、操作入力に応じた回転速度指令を受け、レゾルバ 2 2 により検出される旋回用電動機 2 1 の旋回速度が、回転速度指令と一致するように、旋回用インバータ 1 8 C を制御する。

【 0 0 4 1 】

(電源)

蓄電手段 2 0 は、例えば蓄電池であるバッテリーと、バッテリーの充放電を制御する昇降圧コンバータ (双方向 D C / D C コンバータ) と、正極及び負極の直流配線からなる D C バスとを備えている (図示せず)。蓄電器としては、リチウムイオン電池等の充電可能な 2 次電池、キャパシタ、そのほか電力の授受が可能なその他の形態の電源を用いてもよい。D C バスには、インバータ 1 8 A、1 8 C それぞれの 1 次側 (直流入力) が接続されている。コントローラ 3 0 の一部であるコンバータコントローラは、D C バスに生ずる D C リンク電圧が所定の電圧レベルとなるように、双方向 D C / D C コンバータを制御する。蓄電手段 2 0 は、電動発電機 1 2 等が力行運転する際には、双方向 D C / D C コンバータを昇圧動作させ、電動発電機 1 2 等が回生運転する際には、双方向 D C / D C コンバータを降圧動作させ、電動発電機 1 2 が発生した電力を蓄電器に回収する。

30

【 0 0 4 2 】

すなわち、インバータ 1 8 A が電動発電機 1 2 を力行運転させる際には、必要な電力をバッテリー及び昇降圧コンバータから D C バスを介して電動発電機に供給する。また、電動発電機 1 2 を回生運転させる際には、電動発電機 1 2 により発電された電力を D C バス及び昇降圧コンバータを介してバッテリーに充電する。なお、昇降圧コンバータの昇圧動作と降圧動作の切替制御は、D C バス電圧値、バッテリー電圧値、及びバッテリー電流値にもとづき、コントローラ 3 0 の一部であるコンバータコントローラによって行われる。これにより、D C バスを、予め定められた一定電圧値に蓄電された状態に維持することができる。

40

【 0 0 4 3 】

以上がシヨベル 1 の全体構成である。続いて、実施の形態に係る電動旋回装置 5 0 0 について詳細に説明する。

【 0 0 4 4 】

50

図5は、実施の形態に係る電動旋回装置500のブロック図である。電動旋回装置500は、主として、旋回用電動機502、インバータ504、トルク指令値生成部506、旋回軸機構508、振動抑制器510、回転検出手段520を備える。

【0045】

なお、演算処理を行う機能ブロックとして記載される各要素（具体的にはトルク指令値生成部506、振動抑制器510）は、ハードウェア的には、CPU、メモリ、その他のLSIで構成することができ、ソフトウェア的には、メモリにロードされたプログラムなどによって実現される。したがって、これらの機能ブロックがハードウェアのみ、ソフトウェアのみ、またはそれらの組み合わせによっていろいろな形で実現できることは当業者には理解されるところであり、いずれかに限定されるものではない。また、トルク指令値生成部506および振動抑制器510は、図4のインバータコントローラ30Cに対応するが、上述のようにそれらは単一のハードウェアであってもよいし、並列な、あるいは階層化された複数のハードウェアであってもよい。

10

【0046】

旋回用電動機502は、交流電動機であり、図4の旋回用電動機21に対応する。旋回用電動機502の回転軸は、旋回軸機構（減速機）508を介して旋回体4と機械的に連結されており、旋回用電動機502の回転は、旋回軸機構508を介して旋回体4に伝達される。

【0047】

回転検出手段520は、旋回体4の回転情報を取得する。たとえば回転検出手段520は、図4のレゾルバ22（あるいはロータリエンコーダ）であり、検出結果を示す検出信号S2を生成する。検出信号S2は、たとえば旋回体4の回転速度（回転数）を示す速度検出値 F_B を含む。

20

【0048】

トルク指令値生成部506には、検出信号S2と操作者のレバー操作入力に応じた操作指令信号S1が入力される。操作指令信号S1は、旋回体4の回転速度を指示する速度指令値 C_{NT} である。トルク指令値生成部506は、速度検出値 F_B が速度指令値 C_{NT} と一致するように、制御信号S3を生成する。制御信号S3は、旋回用電動機502のトルクを指示する第1トルク指令値 C_{NT} であってもよい。トルク指令値生成部506の構成は特に限定されず、公知技術を用いればよい。たとえばトルク指令値生成部506は、 C_{NT} と F_B の誤差を算出する減算器と、誤差に応じた第1トルク指令値 C_{NT} を生成するPI制御器と、を含んでもよい。PI制御器に代えて、PID制御器やその他の制御器を用いてもよい。

30

【0049】

振動抑制器510は、回転検出手段520からの回転情報として検出信号S2を受け、振動成分がゼロに近づくように補正信号S4を生成する。補正信号S4は、制御信号S3と同じディメンジョンを有するトルク補正值 C_{ORR} である。振動抑制器510は、第1トルク指令値 C_{NT} をトルク補正值 C_{ORR} を用いて補正し、第2トルク指令値 R_{EF} （補正制御信号S5）を生成する。

【0050】

振動抑制器510は、補正トルク生成部512および加算器（減算器）514を含む。補正トルク生成部512は、速度検出値 F_B に応じてトルク補正值 C_{ORR} を生成する。加算器514は、第1トルク指令値 C_{NT} とトルク補正值 C_{ORR} を加算し、第2トルク指令値 R_{EF} を生成する。

40

【0051】

インバータ504は、図4のインバータ18Cに対応し、振動抑制器510からの第2トルク指令値 R_{EF} にもとづいて旋回用電動機502を駆動する。たとえばインバータ504は三相インバータであり、交流電動機502の駆動電流が、第2トルク指令値 R_{EF} に応じた目標電流と一致するように、そのスイッチングが制御される。

【0052】

50

図6(a)~(d)は、補正トルク生成部512の構成例を示すブロック図である。図6(a)に示すように、補正トルク生成部512は、減算器(誤差検出器)530および速度制御器532を含む。減算器530は、ゼロの速度指令値 R_{EF} と、速度検出値 F_B の誤差信号 $S_6 (= -F_B)$ を生成する。減算器530は符号反転器とも把握できる。速度制御器532は、誤差信号 S_6 を受け、トルク補正值 C_{ORR} を生成する。

【0053】

なお速度指令値 R_{EF} は、ゼロ(固定値)であってもよいし、操作指令信号 S_1 に応じた速度指令値 C_{NT} であってもよい。なぜなら速度指令値 C_{NT} は、低い周波数スペクトル成分のみを含み、振動の周波数帯域の成分はゼロとみなせるからである。

【0054】

振動抑制器510は、ハイパスフィルタ型の周波数応答特性を有することが望ましい。これにより、回転体4の通常の回転速度よりも高い周波数帯である周期的な振動成分に対して、それをキャンセルする補正を行うことができる。

【0055】

ハイパスフィルタ型の周波数応答特性を実現するために、図6(b)の速度制御器532は、D(微分)制御器で構成される。D制御器は、速度偏差を微分(s)し、微分係数 K_D を乗算する。

【0056】

速度微分制御器を用いた場合、制御対象である回転軸機構の特性に依存して応答周波数の範囲が決まってしまう。そこで応答周波数の設計の自由度を高めるために、速度PD制御器を用いてもよい。図6(c)の速度制御器532は、PD(比例・微分)制御器で構成される。PD制御器は、誤差信号 S_6 を微分(s)して微分係数 K_D を乗算し、また誤差信号 S_6 に比例係数 K_P を乗算し、それらを加算する。

【0057】

図6(d)の速度制御器532は、図6(c)の補正トルク生成部512cに加えて、ハイパスフィルタ534をさらに備える。ハイパスフィルタ534により、より周波数応答特性の設計の自由度を高めることができる。

【0058】

以上が電動旋回装置500の構成である。続いてその動作を説明する。図7は、電動旋回装置500の動作波形図である。いま、シヨベル1の操作者が、一定の傾きで増加する速度指令値 C_{MD} をレバー操作により入力したとする。このとき、外乱トルク D_{IS} を無視すれば、第2トルク指令値 R_{EF} は一定となる。この第2トルク指令値 R_{EF} に周期的な外乱トルク D_{IS} が重畳されると、それらの合計トルク S_{UM} は振動する。

【0059】

図1の従来の電動旋回装置500rでは、破線(A)で示すように速度検出値 F_B が振動し、操作者が不快な振動を感ずることとなる。これに対して実施の形態に係る電動旋回装置500では、振動抑制器510により外乱トルク D_{IS} をキャンセルして不快な振動を除去しうる補正トルク C_{ORR} が生成される。この補正トルク C_{ORR} と第1トルク指令値 C_{NT} を合成して得られる第2トルク指令値 R_{EF} にもとづいて、インバータ504を制御することで、実線(B)で示すように速度検出値 F_B に含まれる振動成分は大きく低減され、操作者に与える振動が抑制される。

【0060】

図8は、電動旋回装置500の応答特性(ゲイン)を示すボード線図である。(i)は、トルク指令値生成部506による応答特性を、(ii)は、振動抑制器510の応答特性を示す。トルク指令値生成部506は、ローパスフィルタ型の周波数応答特性を有しており、カットオフ周波数 f_{c1} を超える外乱トルク D_{IS} に対しては無効である。一方、振動抑制器510は、カットオフ周波数 f_{c2} より高い外乱トルク D_{IS} を有効にキャンセルできる。振動抑制器510のゲイン(ii)は、レバー操作に対する制御応答帯域においては非常に小さくなっており、したがってレバーの操作感には影響を与えない。

10

20

30

40

50

【0061】

このように、実施の形態に係る電動旋回装置500によれば、トルク指令値生成部506と振動抑制器510それぞれの周波数応答特性を独立に設計できる。そこで振動抑制器510の周波数特性は操作性を優先して設計する一方、振動抑制器510の周波数特性は、不快な振動を抑制することを優先して設計することで、操作性を犠牲とせずに振動を抑制することができる。

【0062】

以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施の形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。以下、こうした変形例を説明する。

【0063】

(第1変形例)

振動抑制器510は、速度検出値 F_B が所定値 T_H より低い速度範囲で有効としてもよい。つまり $T_H < F_B$ のとき $CORR = 0$ としてもよい。

操作者は、旋回体4の回転速度が低い場合に振動を感じやすく、回転速度が高い場合には振動に対して鈍感である。そこで振動抑制器510の動作速度域を制限し、不要な場合には振動抑制器510を動作させないことで、系の安定性を高めることができる。

【0064】

(第2変形例)

図9は、第2変形例に係る電動旋回装置500aのブロック図である。第1トルクリミッタ522は、第1トルク指令値 CNT を、速度 F_B に応じた第1トルクリミット値 LIM_1 を超えないよう制限する。第1トルク指令値 CNT が正負をとる場合、その絶対値が、第1トルクリミット値 LIM_1 以下に制限される。

【0065】

また振動抑制器510aは、第2トルクリミッタ516をさらに含む。第2トルクリミッタ516は、トルク補正值 $CORR$ を、速度 F_B に応じた第2トルクリミット値 LIM_2 を超えないように制限する。トルク補正值 $CORR$ が正負をとる場合、その絶対値が、第2トルクリミット値 LIM_2 以下に制限される。

【0066】

第1トルクリミット値 LIM_1 、第2トルクリミット値 LIM_2 を、速度に依存するパラメータ、および所定値 MAX を用いて以下のように規定する。

$$\begin{aligned} LIM_1 &= MAX \times () \\ LIM_2 &= MAX \times () \\ () + () &= 1 \end{aligned}$$

【0067】

図10は、パラメータ、を示す図である。速度が所定値 T_H より高い領域では、 $= 0$ であり、これにより $CORR = 0$ に設定され、振動抑制器510が無効化される。

【0068】

$() + () = 1$ とすることで、振動補正の有無にかかわらず、インバータ504および旋回用電動機502に流れる電流を所定量より低く制限でき、電動旋回装置500を保護できる。

【0069】

(第3変形例)

実施の形態では、回転検出手段520は、旋回体4の回転速度を直接的に検出したが、本発明はそれには限定されない。たとえば旋回用電動機502の回転数を検出し、減速比を乗算することで、旋回体4の回転速度 F_B を間接的に検出してもよい。

【0070】

(第4変形例)

10

20

30

40

50

実施の形態では、本発明に係るハイブリッド型建設機械の一例として、ショベル1を示したが、本発明のハイブリッド型建設機械の他の例としては、作業者が搭乗する旋回体および旋回機構を備えるリフティングマグネット車両やクレーン等が挙げられる。

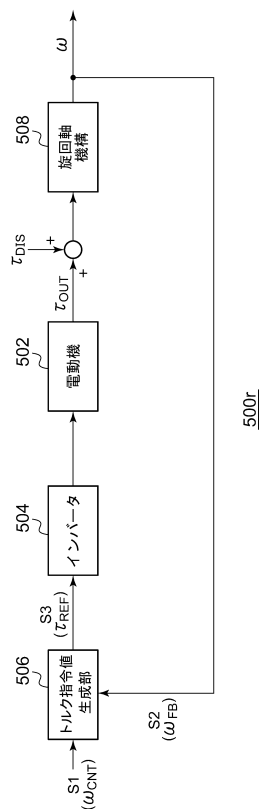
【符号の説明】

【0071】

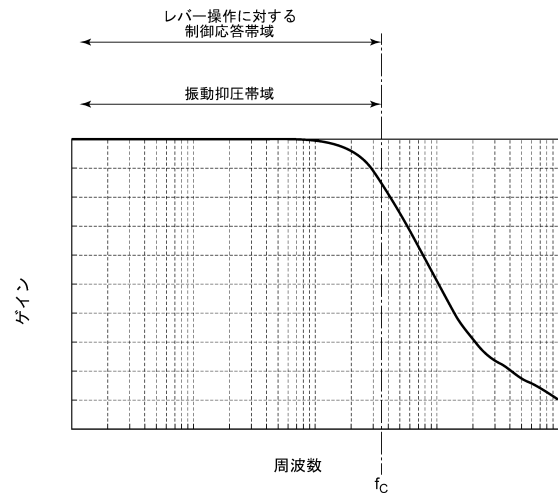
1...ショベル、2...走行機構、2A...油圧モータ、3...旋回機構、4...旋回体、4a...運転室、5...ブーム、6...アーム、7...ブームシリンダ、7A...油圧管、8...アームシリンダ、9...バケットシリンダ、10...バケット、11...エンジン、12...電動発電機、13...減速機、14...メインポンプ、15...パイロットポンプ、16...高圧油圧ライン、17...コントロールバルブ、18A...インバータ、18C...旋回用インバータ、20...蓄電手段、21...旋回用電動機、21A...回転軸、22...レゾルバ、23...メカニカルブレーキ、24...旋回減速機、25...パイロットライン、26...操作装置、27, 28...油圧ライン、29...圧力センサ、30...コントローラ、30C...インバータコントローラ、40...油圧モータ、500...電動旋回装置、502...旋回用電動機、504...インバータ、506...トルク指令値生成部、508...旋回軸機構、510...振動抑制器、512...トルク補正值生成部、514...加算器、516...第2トルクリミッタ、520...回転検出手段、522...第1トルクリミッタ、530...減算器、532...速度制御器、534...ハイパスフィルタ、S1...操作指令信号、S2...検出信号、S3...制御信号。

10

【図1】



【図2】



フロントページの続き

審査官 湯本 照基

- (56)参考文献 特開2009-027873(JP,A)
特開2014-058834(JP,A)
国際公開第2014/061083(WO,A1)
特開2002-171778(JP,A)
特開2013-085426(JP,A)
特開2012-200051(JP,A)
特開2011-176951(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0203949(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E02F	9/20
B66C	23/84
H02P	25/098
H02P	29/00
H02P	29/40