

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5214578号
(P5214578)

(45) 発行日 平成25年6月19日(2013.6.19)

(24) 登録日 平成25年3月8日(2013.3.8)

(51) Int.Cl. F 1
B 2 5 J 13/00 (2006.01) B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2009-274351 (P2009-274351)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成21年12月2日 (2009.12.2)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2011-115878 (P2011-115878A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成23年6月16日 (2011.6.16)	(74) 代理人	110000800
審査請求日	平成23年11月24日 (2011.11.24)		特許業務法人創成国際特許事務所
		(72) 発明者	織田 豊生
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		(72) 発明者	竹村 佳也
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		審査官	金丸 治之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 動力装置の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アクチュエータと、該アクチュエータの動力出力部に入力部が連結された弾性特性を有する第1動力伝達要素と、該第1動力伝達要素の出力部に入力部が連結され、該入力部に付与される動力を弾性力に変換して出力する第2動力伝達要素と、該第2動力伝達要素の出力部に連結され、前記アクチュエータから第1動力伝達要素及び第2動力伝達要素を介して伝達される駆動力によって運動動作を行なう被動要素とを備え、前記第1動力伝達要素が第2動力伝達要素よりも高剛性の弾性特性を有する動力装置において、前記被動要素にアクチュエータから実際に付与される駆動力を目標駆動力に制御する制御装置であって、

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位位置の計測値を示す出力を生成する一次側変位位置計測手段と、

前記被動要素の実際の変位位置の計測値を示す出力を生成する二次側変位位置計測手段と、

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位位置と前記被動要素の実際の変位位置との差である一次側・二次側間変位差の計測値を示す出力を生成する一次側・二次側間変位差計測手段と、

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位速度である一次側変位速度の推定値を、少なくとも前記一次側変位位置の計測値に基づいて生成する一次側変位速度推定手段と、

前記被動要素の実際の変位速度である二次側変位速度の推定値を、少なくとも前記二次

側変位位置の計測値に基づいて生成する二次側変位速度推定手段と、

前記二次側変位速度の計測値と前記一次側変位速度の計測値との偏差にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる第1フィルタリング値を生成する第1フィルタリング手段と、

前記一次側・二次側間変位差の計測値と該一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値とのうちのいずれか一方である弾性計測値の値と、前記目標駆動力により規定される該弾性計測値の目標値との偏差にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる第2フィルタリング値を生成する第2フィルタリング手段と、

前記第1フィルタリング値と第2フィルタリング値との線形結合値に応じて前記アクチュエータの動作を規定する動作目標を決定するアクチュエータ動作目標決定手段と、

前記決定された動作目標に応じて前記アクチュエータの動作を制御するアクチュエータ制御手段とを備えたことを特徴とする動力装置の制御装置。

【請求項2】

請求項1記載の動力装置の制御装置において、

前記第1動力伝達要素は減速機であり、前記第2動力伝達要素はばね部材であることを特徴とする動力装置の制御装置。

【請求項3】

請求項1又は2記載の動力装置の制御装置において、

前記二次側変位速度推定手段は、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値を前記二次側変位速度の推定値として生成する手段であることを特徴とする動力装置の制御装置。

【請求項4】

請求項1又は2記載の動力装置の制御装置において、

少なくとも前記一次側・二次側間変位差の計測値に基づいて、前記被動要素に実際に作用している力である被動要素作用力を推定し、該被動要素作用力の推定値の積分値に比例する値を前記二次側変位速度の基本推定値として生成する二次側変位速度基本推定値生成手段と、

前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値である二次側変位速度フィルタリング値を生成する第3フィルタリング手段とを備え、

前記二次側変位速度推定手段は、前記二次側変位位置フィルタリング値と生成済の二次側変位速度の推定値との偏差に応じて、フィードバック制御則により該偏差を“0”に収束させるように前記二次側変位速度の基本推定値の補正操作量を算出し、その補正操作量により該基本推定値を補正してなる値を二次側変位速度の推定値として生成する手段であることを特徴とする動力装置の制御装置。

【請求項5】

請求項4記載の動力装置の制御装置において、

前記二次側変位速度基本推定値生成手段は、

前記一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値を生成する手段と、

該弾性力換算値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる弾性力フィルタリング値と、前記二次側変位位置の計測値の2階微分値を前記被動要素に作用している力に換算してなる値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる作用力基本フィルタリング値との偏差である力偏差を算出する手段と、

前記力偏差に応じて前記弾性力換算値を補正することによって前記被動要素作用力の推定値を算出する手段とを備えることを特徴とする動力装置の制御装置。

【請求項6】

請求項1～5のいずれか1項に記載の動力装置の制御装置において、

前記動作目標を実現するために、前記アクチュエータの動力出力部から出力すべき目標

10

20

30

40

50

動力を規定する動力目標パラメータを少なくとも該動作目標に応じて生成する動力目標パラメータ生成手段と、

該動力目標パラメータにより規定される目標動力にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる目標動力フィルタリング値を生成する目標動力フィルタリング手段と、

前記一次側変位位置の計測値の1階微分値と生成済の前記位置側変位速度の推定値との偏差に応じて、該偏差をフィードバック制御則により“0”に収束させるように前記目標動力フィルタリング値の補正操作量を算出し、該補正操作量により該目標動力フィルタリング値を補正する補正手段とを備え、

前記一次側変位速度推定手段は、該補正手段による前記目標動力フィルタリング値の補正後の値の積分値に比例する値を前記一次側変位速度の推定値として生成する手段であることを特徴とする動力装置の制御装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットのリンク等の被動要素にアクチュエータから付与する駆動力を制御する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットの関節機構を駆動する動力装置においては、関節機構に柔軟性を持たせるために、アクチュエータの動力出力部と関節機構の被動要素との間にばね部材を介装したものが知られている。

20

【0003】

例えば、特許文献1には、モータの回転駆動力をプーリ及び減速機と、ダンパ及びばねから成る減衰要素・弾性要素系とを順に介してロボットアームのリンクに伝達するように構成された動力装置が記載されている。そして、この特許文献1に見られる技術では、目標リンク角や、リンク角の計測値、モータの回転角度の計測値に基づいてモータの目標トルクを決定し、この目標トルクによりモータの出力トルクを制御する。この場合、モータの目標トルクは、フィードフォワード値に、目標リンク角とリンク角計測値との偏差に応じたフィードバック値を加えることによって決定される。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-349555号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、上記の如き動力装置では、モータ等のアクチュエータと被動要素との間の動力伝達系の減速機として、ハーモニックドライブ（登録商標）等の波動歯車装置が使用されることが多い。

【0006】

40

この種の波動歯車装置は、その構造上、該装置の動力伝達系に若干の弾性特性を有する。従って、アクチュエータの動力を波動歯車装置とばね部材とを介して被動要素に伝達する動力装置では、その動力伝達系にばね部材だけでなく、波動歯車装置も弾性特性を有する要素、すなわち振動し易い要素として含まれることとなる。このため、このような動力装置では、共振現象等に起因する振動が発生し易く、ひいては、被動要素にアクチュエータから伝達する駆動力の振動が発生し易い。従って、被動要素に伝達する駆動力を目標とする駆動力に適切に制御するためには、波動歯車装置とばね部材との両方の弾性特性に起因する駆動力の振動を効果的に抑制する必要がある。

【0007】

この場合、前記特許文献1に見られる技術では、ばね部材の弾性特性に起因する振動を

50

抑制するための配慮はなされているものの、モータとロボットのリンクとの間に減速機として含まれる波動歯車装置の弾性特性に対する考慮がなされていない。このため、モータとリンクとの間の動力伝達系の振動、ひいては、リンクの駆動トルクの振動を十分に抑制できない状況が発生しやすいという不都合がある。

【 0 0 0 8 】

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、アクチュエータと被動要素との間の動力伝達系に、弾性特性を有する2つの動力伝達要素が含まれる動力装置において、アクチュエータから被動要素に伝達される駆動力の振動を効果的に抑制しつつ、目標とする駆動力を安定に被動要素に付与することができる動力装置の制御装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の動力装置の制御装置は、かかる目的を達成するために、アクチュエータと、該アクチュエータの動力出力部に入力部が連結された弾性特性を有する第1動力伝達要素と、該第1動力伝達要素の出力部に入力部が連結され、該入力部に付与される動力を弾性力に変換して出力する第2動力伝達要素と、該第2動力伝達要素の出力部に連結され、前記アクチュエータから第1動力伝達要素及び第2動力伝達要素を介して伝達される駆動力によって運動動作を行なう被動要素とを備え、前記第1動力伝達要素が第2動力伝達要素よりも高剛性の弾性特性を有する動力装置において、前記被動要素にアクチュエータから実際に付与される駆動力を目標駆動力に制御する制御装置であって、

20

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位位置の計測値を示す出力を生成する一次側変位位置計測手段と、

前記被動要素の実際の変位位置の計測値を示す出力を生成する二次側変位位置計測手段と、

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位位置と前記被動要素の実際の変位位置との差である一次側・二次側間変位差の計測値を示す出力を生成する一次側・二次側間変位差計測手段と、

前記第2動力伝達要素の入力部の実際の変位速度である一次側変位速度の推定値を、少なくとも前記一次側変位位置の計測値に基づいて生成する一次側変位速度推定手段と、

前記被動要素の実際の変位速度である二次側変位速度の推定値を、少なくとも前記二次側変位位置の計測値に基づいて生成する二次側変位速度推定手段と、

30

前記二次側変位速度の計測値と前記一次側変位速度の計測値との偏差にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる第1フィルタリング値を生成する第1フィルタリング手段と、

前記一次側・二次側間変位差の計測値と該一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値とのうちのいずれか一方である弾性計測値の値と、前記目標駆動力により規定される該弾性計測値の目標値との偏差にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる第2フィルタリング値を生成する第2フィルタリング手段と、

前記第1フィルタリング値と第2フィルタリング値との線形結合値に応じて前記アクチュエータの動作を規定する動作目標を決定するアクチュエータ動作目標決定手段と、

40

前記決定された動作目標に応じて前記アクチュエータの動作を制御するアクチュエータ制御手段とを備えたことを特徴とする(第1発明)。

【 0 0 1 0 】

なお、前記アクチュエータが出力する動力や、被動要素に付与する駆動力は、回転力(トルク)と並進力とのいずれであってもよい。

【 0 0 1 1 】

かかる第1発明によれば、前記第1フィルタリング手段により生成された第1フィルタリング値と第2フィルタリング手段により生成された第2フィルタリング値との線形結合値に応じて前記動作目標が決定される。そして、この動作目標に応じて前記アクチュエー

50

タの動作が制御される。

【 0 0 1 2 】

ここで、前記第1フィルタリング手段によりローパス特性のフィルタリング処理を施す対象は、前記二次側変位速度の計測値と前記一次側変位速度の計測値との偏差、すなわち、第1動力伝達要素の出力部に連結されている第2動力伝達要素の入力部の変位速度と、第2動力伝達要素の出力部に連結されている被動要素の変位速度との偏差であるから、第2動力伝達要素から被動要素に実際に付与される弾性力の時間的な変化率に応じたものとなる。

【 0 0 1 3 】

また、前記第2フィルタリング手段によりローパス特性のフィルタリング処理を施す対象は、前記一次側・二次側間変位差の計測値と前記目標駆動力により規定される一次側・二次側間変位差の目標値との偏差、あるいは、前記一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値と該弾性力の目標値(すなわち前記目標駆動力)との偏差であるから、第2動力伝達要素から被動要素に実際に付与される弾性力の、目標駆動力に対する誤差に応じたものとなる。

10

【 0 0 1 4 】

なお、第2動力伝達要素が発生する弾性力と一次側・二次側間変位差との間の関係は該第2動力伝達要素の弾性特性に依存する既定の関係となるので、該関係に基づいて一次側・二次側間変位差の計測値を第2動力伝達要素の弾性力に換算したり、あるいは、前記目標駆動力を一次側・二次側間変位差の目標値に換算することができる。

20

【 0 0 1 5 】

補足すると、第1フィルタリング手段及び第2フィルタリング手段のそれぞれのフィルタリング処理は、該フィルタリング処理の対象に、ある所定値のゲインを乗じる処理を含んでいてもよい。

【 0 0 1 6 】

上記のように第1フィルタリング手段によりローパス特性のフィルタリング処理を施す対象は、第2動力伝達要素から被動要素に実際に付与される弾性力の時間的な変化率に応じたものとなる。また、第2フィルタリング手段によりローパス特性のフィルタリング処理を施す対象は、第2動力伝達要素から被動要素に実際に付与される弾性力の、目標駆動力に対する誤差に応じたものとなる。

30

【 0 0 1 7 】

また、第1フィルタリング手段及び第2フィルタリング手段は、それぞれのフィルタリング処理のカットオフ周波数やゲインを個別に設定できる。

【 0 0 1 8 】

このため、第1フィルタリング手段及び第2フィルタリング手段は、それぞれのフィルタリング処理のカットオフ周波数やゲインを適切に設定しておくことによって、アクチュエータから被動要素に伝達される駆動力が、第1動力伝達要素及び第2動力伝達要素の両方の弾性特性に起因して振動するのを効果的に抑制し得るように前記動作目標を決定できる。

40

【 0 0 1 9 】

従って、第1発明によれば、アクチュエータから被動要素に伝達される駆動力の振動を効果的に抑制しつつ、被動要素に付与する駆動力を目標駆動力に安定に制御できる。

【 0 0 2 0 】

上記第1発明では、弾性特性を有する第1動力伝達要素や第2動力伝達要素は、アクチュエータの種別や、被動要素の運動形態などに応じて種々様々な態様を採ることができる。その代表的な態様の一例としては、前記第1動力伝達要素が減速機であり、前記第2動力伝達要素がばね部材であるという態様が挙げられる(第2発明)。

【 0 0 2 1 】

この第2発明における動力装置は、アクチュエータが出力する動力を、減速機とばね部材とを順に介して被動要素に伝達するという構造のものであるので、本発明の汎用性を高

50

めることができる。

【0022】

この場合、ばね部材に比して高剛性の弾性特性を有する減速機の代表的な例としては、ハーモニックドライブ（登録商標）等の波動歯車装置が挙げられる。また、ばね部材の代表的な例としては、コイルばねやトーションバーが挙げられる。

【0023】

なお、減速機は、回転力から並進力への変換、又は並進力から回転力への変換を行なう機構を含んでいてもよい。また、減速機は、例えば、波動歯車装置に加えて、例えば複数のギヤを嚙合せた構造の動力伝達機構や、スプロケットとチェーンとを組み合わせた構造の動力伝達機構等を含んでいてもよい。

10

【0024】

また、第2動力伝達要素は、ばね部材として機能する起歪体を備えるトルクセンサ等の力センサにより構成されるものであってもよい。

【0025】

上記第1発明又は第2発明では、基本的には、二次側変位速度の推定値を、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値（時間による1階微分値）に追従させるように生成することが望ましい。

【0026】

この場合、二次側変位速度の推定値の生成に関するより具体的な態様としては、次のような態様を採用することができる。

20

【0027】

すなわち、その1つの態様では、前記二次側変位速度推定手段は、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値を前記二次側変位速度の推定値として生成する手段として構成される（第3発明）。

【0028】

この第3発明によれば、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値、すなわち、該1階微分値から高周波成分を除去した値が二次側変位速度の推定値として生成される。これにより、二次側変位速度の推定値を、該推定値の過剰な変動を生じないようにしつつ、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値に追従させるように生成できる。

30

【0029】

なお、この第3発明では、二次側変位位置の計測値の1階微分値に施すローパス特性のフィルタリング処理におけるカットオフ周波数は、第1動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分（共振周波数成分）と第2動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分（共振周波数成分）とを該1階微分値から除去し得るように設定しておくことが好ましい。この場合、第1動力伝達要素の弾性特性は、第2動力伝達要素の弾性特性よりも高剛性な弾性特性であるので、一般には、第1動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分は、第2動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分よりも高周波となる。従って、上記カットオフ周波数を、第2動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分よりも低い周波数に設定すれば、結果的に第1動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分も除去できることとなる。

40

【0030】

また、前記二次側変位速度の推定値の生成に関する他の1つの態様では、少なくとも前記一次側・二次側間変位差の計測値に基づいて、前記被動要素に実際に作用している力である被動要素作用力を推定し、該被動要素作用力の推定値の積分値に比例する値を前記二次側変位速度の基本推定値として生成する二次側変位速度基本推定値生成手段と、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値である二次側変位速度フィルタリング値を生成する第3フィルタリング手段とをさらに備える。そして、前記二次側変位速度推定手段は、前記二次側変位位置フィルタリング値と生成済の二次側変位速度の推定値との偏差に応じて、フィードバック制御則により該偏差を“0”に収束させるように前記二次側変位速度の基本推定値の補正操作量を算出し、そ

50

の補正操作量により該基本推定値を補正してなる値を二次側変位速度の推定値として生成する手段として構成される（第4発明）。

【0031】

この第4発明によれば、前記二次側変位速度基本推定値生成手段が前記被動要素作用力の推定値の積分値に比例する値（該積分値に所定値の比例定数を乗じた値）として生成する二次側変位速度の基本推定値は、被動要素作用力と被動要素の運動との間の動力学的な関係（モデル）に基づく二次側変位速度の近似的な推定値としての意味を持つ。

【0032】

すなわち、被動要素の運動加速度（回転角速度又は並進加速度）と、被動要素作用力との間の関係は動力学的に比例関係になるので、被動要素作用力の積分値が、被動要素の変位速度、すなわち、二次側変位速度に比例することとなる。また、被動要素には、少なくとも第2動力伝達要素が発生する弾性力が作用するので、少なくとも前記一次側・二次側間変位差の計測値に基づいて前記被動要素作用力を推定できる。従って、前記二次側変位速度基本推定値生成手段の処理により、二次側変位速度の基本推定値を生成できる。

【0033】

なお、この場合、二次側変位速度の基本推定値は、被動要素作用力の積分値に比例する値であるので、該基本推定値の過剰な変動が抑制される。

【0034】

そして、第4発明では、二次側変位速度推定手段は、上記基本推定値を、前記補正操作量により補正してなる値を二次側変位速度の推定値として生成する。この場合、補正操作量は、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値である二次側変位速度フィルタリング値と生成済の二次側変位速度の推定値（好適には生成済の二次側変位速度の推定値の最新値）との偏差に応じて、フィードバック制御則により該偏差を“0”に収束させるように算出される。

【0035】

これにより、二次側変位速度の推定値を、該推定値の過剰な変動を生じないようにしつつ、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値に追従させるように生成できる。この場合、第4発明では、前記基本推定値が、二次側変位速度のフィードフォワード推定値として機能するため、二次側変位位置の計測誤差等の影響を少なくして、二次側変位速度の推定値の信頼性と安定性を高めることができる。

【0036】

なお、第4発明では、二次側変位位置の計測値の1階微分値に施すローパス特性のフィルタリング処理におけるカットオフ周波数は、第3発明の場合と同様に、第1動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分と第2動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分とを該1階微分値から除去し得るように設定しておくことが好ましい。

【0037】

上記第4発明では、前記第2動力伝達要素が発生する弾性力以外で被動要素に作用する外力（摩擦力を含む）が“0”であるか、もしくは該弾性力に比して十分に微小であるような場合には、前記二次側変位速度基本推定値生成手段における前記被動要素作用力の推定に関しては、例えば前記一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値を前記被動要素作用力の推定値として生成すればよい。

【0038】

ただし、一般的には第2動力伝達要素が発生する弾性力以外で被動要素に作用する外力が比較的大きなものとなる場合がある。そして、このような外力が、被動要素に作用するような場合には、該外力を加味して被動要素作用力の推定を行なうことが望ましい。

【0039】

この場合、該被動要素外力の推定に関しては、前記二次側変位速度基本推定値生成手段は、前記一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値を生成する手段と、該弾性力換算値にローパス特性のフィルタリ

10

20

30

40

50

ング処理を施してなる弾性力フィルタリング値と、前記二次側変位位置の計測値の2階微分値を前記被動要素に作用している力に換算してなる値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる作用力基本フィルタリング値との偏差である力偏差を算出する手段と、前記力偏差に応じて前記弾性力換算値を補正することによって前記被動要素作用力の推定値を算出する手段とを備えることが好ましい(第5発明)。

【0040】

この第5発明によれば、二次側変位速度基本推定値生成手段は、前記弾性力フィルタリング値と、前記作用力基本フィルタリング値との偏差である力偏差を算出する。

【0041】

ここで、前記したように、被動要素の運動加速度(回転角速度又は並進加速度)と、被動要素作用力との間の動学的な関係は比例関係になるので、前記二次側変位速度の計測値の2階微分値は、基本的には、被動要素作用力に比例する。従って、基本的には、前記一次側・二次側間変位差の計測値を前記第2動力伝達要素が発生する弾性力に換算してなる弾性力換算値と、前記二次側変位位置の計測値の2階微分値を前記被動要素に作用している力に換算してなる値(該2階微分値に所定値の比例定数を乗じてなる値)との偏差が、第2動力伝達要素が発生する弾性力以外で被動要素に作用している外力に相当するものとなる。

【0042】

ただし、二次側変位位置の計測値の2階微分値は、二次側変位速度の計測誤差の影響を受け易い。そこで、第5発明では、二次側変位速度基本推定値生成手段は、上記弾性力換算値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる弾性力フィルタリング値と、前記二次側変位位置の計測値の2階微分値を前記被動要素に作用している力に換算してなる値にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる作用力基本フィルタリング値との偏差である力偏差を上記外力の推定値に相当するものとして算出する。これにより、上記外力の推定値に相当するものとして信頼性の高い前記力偏差を、過剰な変動を生じたりしないように算出することができる。

【0043】

そして、二次側変位速度基本推定値生成手段は、この力偏差に応じて前記弾性力換算値を補正することによって、前記被動要素作用力の推定値を算出する。この場合、弾性力換算値の補正は、例えば、前記力偏差に所定値のゲイン(“1”以下のゲイン)を乗じた値を、該弾性力換算値に加えることによって行なうことができる。

【0044】

第5発明では、二次側変位速度基本推定値生成手段は、このように算出した被動要素作用力の推定値の積分値に比例する値を前記基本推定値として生成する。この場合、被動要素作用力の推定値は、第2動力伝達要素が発生する弾性力以外で被動要素に作用する外力が加味された推定値であるので、前記基本推定値の、実際の二次側変位速度に対する誤差を小さくできる。ひいては、二次側変位速度推定手段が生成する二次側変位速度の推定値の信頼性と安定性とをより一層高めることができる。

【0045】

補足すると、第5発明において、上記弾性力換算値と、二次側変位位置の計測値の2階微分値を被動要素に作用している力に換算してなる値とにそれぞれ施すローパス特性のフィルタリング処理は、そのカットオフ周波数等の周波数特性が同一であること(ほぼ同一である場合を含む)が望ましい。この場合、前記弾性力フィルタリング値と作用力基本フィルタリング値との偏差を算出する処理は、上記弾性力換算値と、二次側変位位置の計測値の2階微分値を被動要素に作用している力に換算してなる値との偏差を算出した上で、その偏差にローパス特性のフィルタリング処理を施す処理と等価である。

【0046】

また、第5発明において、上記弾性力換算値と、二次側変位位置の計測値の2階微分値を被動要素に作用している力に換算してなる値とにそれぞれ施すローパス特性のフィルタリング処理におけるカットオフ周波数と、二次側変位位置の計測値の1階微分値に施すロ

10

20

30

40

50

ーパス特性のフィルタリング処理におけるカットオフ周波数とは、第1動力伝達要素の弾性力特性に起因する振動成分と第2動力伝達要素の弾性特性に起因する振動成分とを除去し得るように設定しておくことが好ましい。これらのカットオフ周波数は、前記第3フィルタリング手段のフィルタリング処理のカットオフ周波数と異なってもよい。

【0047】

上記第1～第5発明では、前記一次側変位速度の推定値についても、該一次側変位速度の推定値を、前記一次側変位位置の計測値の1階微分値に追従させるように生成することが望ましい。

【0048】

この場合、より具体的な態様としては、例えば次のような態様を採用できる。すなわち、前記動作目標を実現するために、前記アクチュエータの動力出力部から出力すべき目標動力を規定する動力目標パラメータを少なくとも該動作目標に応じて生成する動力目標パラメータ生成手段と、該動力目標パラメータにより規定される目標動力にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる目標動力フィルタリング値を生成する目標動力フィルタリング手段と、前記一次側変位位置の計測値の1階微分値と生成済の前記位置側変位速度の推定値との偏差に応じて、該偏差をフィードバック制御則により“0”に収束させるように前記目標動力フィルタリング値の補正操作量を算出し、該補正操作量により該目標動力フィルタリング値を補正する補正手段とを備える。そして、前記一次側変位速度推定手段は、該補正手段による前記目標動力フィルタリング値の補正後の値の積分値に比例する値を前記一次側変位速度の推定値として生成する手段として構成される（第6発明）。

【0049】

この第6発明によれば、前記目標動力フィルタリング手段が生成する目標動力フィルタリング値、すなわち、前記動力目標パラメータにより規定される目標動力にローパス特性のフィルタリング処理を施してなる値は、アクチュエータがその動力出力部から実際に出力する動力の近似的な推定値に相当するものとなる。

【0050】

さらに、第6発明では、前記一次側変位位置の計測値の1階微分値と生成済の前記位置側変位速度の推定値（好適には生成済の前記位置側変位速度の推定値のうちの最新値）との偏差に応じて、該偏差をフィードバック制御則により“0”に収束させるように前記補正手段が算出した補正操作量によって上記目標動力フィルタリング値が補正され、この補正後の値が、アクチュエータがその動力出力部から実際に出力する動力の推定値に相当するものとして得られる。

【0051】

ここで、アクチュエータが出力する動力と、第1動力伝達要素の出力部の運動加速度との間の関係は、動学的に比例関係になるので、アクチュエータが出力する動力の積分値が、一次側変位速度に比例することとなる。そこで、一次側変位速度推定手段は、上記目標動力フィルタリング値の補正後の値の積分値に比例する値（該積分値に所定値の比例定数を乗じた値）を前記一次側変位速度の推定値として生成する。

【0052】

これにより、二次側変位速度の推定値を、前記二次側変位位置の計測値の1階微分値に追従させるように生成できる。この場合、一次側変位速度の推定値は、目標動力フィルタリング値の補正後の値の積分値に比例する値であるので、該推定値の過剰な変動が抑制される。

【0053】

なお、第6発明において、前記アクチュエータ制御手段が、前記動作目標に応じてアクチュエータの動力出力部から出力すべき目標動力を決定した上で、該目標動力に応じてアクチュエータの動作制御を行うように構成されている場合には、前記動力目標パラメータ生成手段を、アクチュエータ制御手段に含めることができる。

【0054】

補足すると、以上説明した第1～第6発明において、前記アクチュエータが例えば電動

10

20

30

40

50

モータである場合には、前記アクチュエータ動作目標決定手段により決定する動作目標として、例えば、該電動モータの動力出力部の変位速度（例えば出力軸の回転角速度）の目標値、又はこの目標値を第1動力伝達要素の出力部の変位速度に変換してなる目標値を用いることができる。なお、電動モータは、回転型のモータとリニアモータとのいずれであってもよい。そして、この場合、電動モータの動力出力部の変位速度の目標値と、前記一次側変位速度の推定値を電動モータの動力出力部の変位速度に変換してなる値との偏差、あるいは、電動モータの動力出力部の変位速度の目標値を第1動力伝達要素の出力部の変位速度に変換してなる目標値と、前記一次側変位速度の推定値との偏差をフィードバック制御則により“0”に収束させるように、電動モータが出力するトルク等の動力の目標値を前記動力目標パラメータとして決定し、この目標値に応じて電動モータの動作を制御することが望ましい。

10

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明の一実施形態における動力装置の構成を模式的に示す図。

【図2】図1の動力装置の制御装置の機能的構成を示すブロック図。

【図3】図2に示す一次側角速度推定部の機能的構成を示すブロック図。

【図4】図2に示す二次側角速度推定部の機能的構成を示すブロック図。

【図5】図5(a)は実施例における動力装置の駆動トルクの制御特性を例示するグラフ、図5(b)は比較例における動力装置の駆動トルクの制御特性を例示するグラフ。

【発明を実施するための形態】

20

【0056】

本発明の一実施形態を図1～図4を参照して説明する。

【0057】

図1を参照して、本実施形態の動力装置1は、電動モータ2により被動要素としての被動回転部材5を回転駆動する装置であり、電動モータ2と被動回転部材5との間の動力伝達系に減速機3と、ばね部材であるトーシヨンバー4とを備える。

【0058】

なお、本実施形態では、上記電動モータ2、減速機3、トーシヨンバー4はそれぞれ本発明におけるアクチュエータ、第1動力伝達要素、第2動力伝達要素に相当するものである。また、被動回転部材5の一例としては、例えばロボットの関節の構成要素（関節軸周りに回転自在なリンク部材）が挙げられる。

30

【0059】

電動モータ2の動力出力部としての出力軸2bには、該出力軸2bと一体に回転し得るように減速機3の入力軸（入力部）3aが連結されている。また、この減速機3の出力軸（出力部）3bには、該出力軸3bと一体に回転し得るようにトーシヨンバー4の入力側端部（入力部）4aが連結されている。さらに、トーシヨンバー4の出力側端部（出力部）4bには、該出力側端部4bと一体に回転し得るように被動回転部材5が連結されている。

【0060】

なお、本実施形態では、減速機3の出力軸3bとトーシヨンバー4との連結箇所、並びに、トーシヨンバー4と被動回転部材5との連結箇所には、トーシヨンバー4の軸方向で互いに相対向する円板11a, 11bが装着されている。これらの円板11a, 11bは、後述する差分エンコーダ11の構成要素であり、それぞれ、トーシヨンバー4の入力側端部4a、出力側端部4bと一体に回転するように設けられている。

40

【0061】

以上の動力装置1の構成により、電動モータ2がその出力軸2bに発生する回転駆動力（トルク）は、減速機3とトーシヨンバー4とを順に介して被動回転部材5に伝達される。これにより、被動回転部材5の動作（回転運動）が行なわれる。

【0062】

この場合、電動モータ2から減速機3を介してトーシヨンバー4に伝達される回転駆動

50

力は、該トーシヨンバー 4 で弾性力（ねじり力）に変換され、この弾性力が被動回転部材 5 に対する回転駆動力として該被動回転部材 5 に付与される。また、減速機 3 は、本実施形態では例えばハーモニックドライブ（登録商標）等の波動歯車装置であり、その入力軸 3 a と出力軸 3 b との間の動力伝達系に弾性特性を有する。ただし、該減速機 3 が有する弾性特性は、トーシヨンバー 4 の弾性特性に比して高剛性なものである。

【 0 0 6 3 】

本実施形態では、以上の構成の動力装置 1 において、電動モータ 2 から被動回転部材 5 に実際に伝達されるトルク（回転駆動力）、すなわち、トーシヨンバー 4 から被動回転部材 5 に実際に付与されるトルクが目標とするトルクになるように電動モータ 2 の運転制御を行う。

10

【 0 0 6 4 】

この運転制御のために、本実施形態のシステムでは、電動モータ 2 に装着されたロータリエンコーダ 1 0 と、減速機 3 と被動回転部材 5 との間に配置された差分エンコーダ 1 1 とがセンサとして備えられていると共に、CPU、RAM、ROM等を含む制御装置 1 2 が備えられている。

【 0 0 6 5 】

ロータリエンコーダ 1 0 は、電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角度（基準の回転位置からの回転量）をセンシングするものであり、該回転角度に応じた信号を出力する。

【 0 0 6 6 】

差分エンコーダ 1 1 は、トーシヨンバー 4 の入力側端部 4 a と出力側端部 4 b との間の回転角度差（すなわちトーシヨンバー 4 の両端部間のねじり角）をセンシングするものであり、前記円板 1 1 a , 1 1 b を有する。そして、差分エンコーダ 1 1 は、円板 1 1 a , 円板 1 1 b 間の相対的な回転角度（トーシヨンバー 4 のねじれが発生していない状態を基準とする回転角度）に応じた信号を、上記回転角度差に応じた信号として出力する。

20

【 0 0 6 7 】

制御装置 1 2 には、上記ロータリエンコーダ 1 0 及び差分エンコーダ 1 1 の検出信号が入力されると共に、被動回転部材 5 に付与すべき駆動トルクの目標値である目標駆動トルク ref が外部から逐次入力されるようになっている。そして、制御装置 1 2 は、これらの入力を基に電動モータ 2 の運転制御を行う。

【 0 0 6 8 】

以下に、制御装置 1 2 が実行する制御処理の詳細を説明する。

30

【 0 0 6 9 】

図 2 を参照して、制御装置 1 2 は、実装されるプログラム等により実現される機能的構成として、トーシヨンバー 4 の入力側端部 4 a の回転角度（= 減速機 3 の出力軸 3 b の回転角度）としての一次側回転角度 1 の計測値 1_s を逐次生成する一次側角度計測処理部 2 0 と、被動回転部材 5 の回転角度（= トーシヨンバー 4 の出力側端部 4 b の回転角度）としての二次側回転角度 2 の計測値 2_s を逐次生成する二次側角度計測処理部 2 1 と、上記一次側回転角度 1 と二次側回転角度 2 との偏差である一次側・二次側間角度差 def ($= 1 - 2$) の計測値 def_s を逐次生成する一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 とを備える。

40

【 0 0 7 0 】

なお、一次側・二次側間角度差 def は、トーシヨンバー 4 のねじれが発生していない状態を基準状態とし、該基準状態での一次側・二次側間角度差 def を “ 0 ” とする。従って、該基準状態では、一次側回転角度 1 と二次側回転角度 2 とは互いに一致する。

【 0 0 7 1 】

また、制御装置 1 2 は、トーシヨンバー 4 の入力側端部 4 a の回転角速度としての一次側回転角速度 1 の推定値 1_e を逐次生成する一次側角速度推定部 2 3 と、被動回転部材 5 の回転角速度としての二次側回転角速度 2 の推定値 2_s を逐次生成する二次側角速度推定部 2 4 と、電動モータ 2 の動作を規定する動作目標を逐次決定するモータ動作目標決定部 2 5 と、この動作目標に応じて電動モータ 2 の運転制御を行うモータ制御部 2 6 とを

50

備える。

【 0 0 7 2 】

制御装置 1 2 は、上記の各機能部の処理を、以下に説明する如く、所定の演算処理周期で逐次実行する。

【 0 0 7 3 】

すなわち、制御装置 1 2 は、まず、一次側角度計測処理部 2 0、一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 及び二次側角度計測処理部 2 1 の処理を実行する。

【 0 0 7 4 】

この場合、一次側角度計測処理部 2 0 には、ロータリエンコーダ 1 0 の検出信号が入力される。そして、一次側角度計測処理部 2 0 は、入力された検出信号から直接的に認識される電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角度値を、減速機 3 の減速比 R で除算してなる値を、一次側回転角度計測値 1_s として生成する。

10

【 0 0 7 5 】

また、前記一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 には、前記差分エンコーダ 1 1 の検出信号が入力される。そして、一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 は、入力された検出信号から直接的に認識される前記円板 1 1 a, 1 1 b 間の回転角度差の値を、一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s として生成する。

【 0 0 7 6 】

また、前記二次側角度計測処理部 2 1 には、一次側角度計測処理部 2 0 及び一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 でそれぞれ上記の如く生成された計測値 1_s, def_s が入力される。そして、二次側角度計測処理部 2 1 は、一次側回転角度計測値 1_s から一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s を差し引いた値 (= 1_s - def_s) を二次側回転角度計測値 2_s として生成する。

20

【 0 0 7 7 】

補足すると、電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角度又は一次側回転角度 1 と、一次側・二次側間回転角度差 def と、二次側回転角度 2 とのうちの任意の 2 つを適宜のセンサを用いてセンシングすれば、それらのセンシング信号から、上記の 3 種類の計測値 1_s, 2_s, def_s を得ることができる。従って、3 種類の計測値 1_s, 2_s, def_s を得るためのセンシング対象の組合せは、電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角度と一次側・二次側間回転角度差 def との組以外の組合せであってもよい。あるいは、一次側回転角度 1 と、一次側・二次側間回転角度差 def と、二次側回転角度 2 とをそれぞれ個別にセンシングするようにしてもよい。

30

【 0 0 7 8 】

なお、本実施形態では、上記一次側角度計測処理部 2 0、二次側角度計測処理部 2 1、一次側・二次側間角度差計測処理部 2 2 が、それぞれ本発明における一次側変位位置計測手段、二次側変位位置計測手段、一次側・二次側間変位差計測手段に相当する。この場合、一次側回転角度 1、二次側回転角度 2、一次側・二次側間角度差 def とが、それぞれ、本発明における一次側変位位置、二次側変位位置、一次側・二次側間変位差に相当する。

【 0 0 7 9 】

制御装置 1 2 は、次に、一次側角速度推定部 2 3 及び二次側角速度推定部 2 4 の処理を実行する。これらの推定部 2 3, 2 4 は、被動回転部材 5 に電動モータ 2 から伝達される回転駆動力が減速機 3 やトーションバー 4 の弾性特性に起因して振動したり、あるいは、当該回転駆動力の収束性 (目標値に対する収束性) 等が摩擦等の外乱要因に起因して低下するのを防止するために、周波数成分の調整等を行いつつ、一次側回転角速度推定値 1_e と二次側回転角速度推定値 2_e とを逐次生成する。

40

【 0 0 8 0 】

まず、一次側角速度推定部 2 3 の処理に関して説明すると、該一次側角速度推定部 2 3 には、一次側角度計測処理部 2 0 から一次側回転角度計測値 1_s の最新値が逐次入力されると共に、モータ制御部 2 6 がその制御処理 (詳細は後述する) で既に生成した動力目

50

標パラメータとしての電動モータ2の出力トルクの目標値 m_cmd (以下、目標モータトルク m_cmd という) のうちの最新値が逐次入力される。

【0081】

そして、一次側角速度推定部23は、これらの入力値から、図3のブロック図に示す処理によって、一次側回転角速度推定値 1_e を逐次生成する。

【0082】

具体的には、一次側角速度推定部23は、モータ制御部26から逐次入力される電動モータ2の目標モータトルク m_cmd をフィルタ23aに入力し、該フィルタ23aによって目標モータトルク m_cmd にローパス特性のフィルタリング処理を施す。この場合、フィルタ23aは、その伝達関数が $1 / (T \cdot s + 1)$ により表されるローパスフィルタ(カットオフ周波数を規定する時定数が T であるローパスフィルタ)である。

10

【0083】

なお、上記時定数 T の値は、後述する時定数 T_d , T_w , T_{p1} , T_{p2} よりも短い時間値に設定されている。

【0084】

また、一次側角速度推定部23は、一次側角度計測処理部20から逐次入力される一次側回転角度計測値 1_s を微分器23bにより1階微分し、その一階微分値 $d\ 1_s / dt$ (1_s の時間的变化率) と一次側角速度推定部23が既に生成した一次側回転角速度推定値 1_e の最新値(一次側角速度推定部23の前の演算処理周期で算出された前回値) との偏差 ($= d\ 1_s / dt - 1_e$) を算出する処理を演算部23cで実行する。

20

【0085】

そして、一次側角速度推定部23は、演算部23cで算出した偏差をフィードバック制御則により“0”に収束させるように、前記フィルタ23aの出力値を補正するための補正操作量を算出する。この場合、該フィードバック制御則としては、例えば比例則が用いられる。すなわち、一次側角速度推定部23は、演算部23cで算出した偏差に所定値の比例ゲイン K_{obs} を乗じる処理を乗算部23dで実行することによって補正操作量を算出する。

【0086】

次いで、一次側角速度推定部23は、フィルタ23aの出力値(目標モータトルク m_cmd のフィルタリング値)に上記補正操作量を加算する処理を演算部23eで実行することによって、フィルタ23aの出力値を補正する。この補正後の値(演算部23eの出力値)は、電動モータ2と減速機3とを合わせた回転系に対するトータルの入力トルクの推定値(電動モータ2が発生する出力トルクの推定値)としての意味を持つものである。

30

【0087】

次いで、一次側角速度推定部23は、演算部23eの出力値に所定値 J_m の逆数 ($= 1 / J_m$) を乗じる処理を乗算部23fで実行する。ここで、所定値 J_m は、電動モータ2と減速機3とを合わせた回転系の等価慣性モーメントとしてあらかじめ設定された定数値である。従って、演算部23eの出力値に比例する値となる乗算部23fの出力値は、減速機3の出力軸3bの回転角加速度の推定値としての意味を持つ。

【0088】

そして、一次側角速度推定部23は、乗算部23fの出力値を積分する処理を積分器23gで実行し、その積分値を一次側回転角速度推定値 1_e として生成する。

40

【0089】

以上の一次側角速度推定部23の処理によって、一次側回転角度計測値 1_s の一階微分値 $d\ 1_s / dt$ に比して過剰な変動(高周波変動)を抑制するようにしつつ、該一階微分値 $d\ 1_s / dt$ に追従させるようにして、一次側回転角速度推定値 1_e が逐次生成されることとなる。

【0090】

補足すると、本実施形態では、一次側角速度推定部23は、本発明における一次側変位速度推定手段に相当する。この場合、一次側回転角速度 1 が本発明における一次側変位

50

速度に相当する。

【0091】

また、フィルタ23aが、本発明における目標動力フィルタリング手段に相当する。そして、このフィルタ23aの入力値である目標モータトルク m_{cmd} と、フィルタ23aの出力値とがそれぞれ、本発明における目標動力（又は動力目標パラメータ）、目標動力フィルタリング値に相当する。また、微分器23b、演算部23c、乗算部23d及び演算部23eによって、本発明における補正手段が実現される。

【0092】

次に、二次側角速度推定部24の処理に関して説明すると、該二次側角速度推定部24には、二次側角度計測処理部21と一次側・二次側間角度差計測処理部22とから、それぞれ、二次側回転角度計測値 2_s の最新値と一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s の最新値とが逐次入力される。

10

【0093】

そして、二次側角速度推定部24は、これらの入力値から、図4のブロック図に示す処理によって、二次側回転角速度推定値 2_e を逐次生成する。

【0094】

具体的には、二次側角速度推定部24は、二次側角速度基本推定値生成部24aの処理を実行する。この二次側角速度基本推定値生成部24aは、被動回転部材5に作用しているトータルの入力トルク（作用力）を推定し、その入力トルクによって発生する被動回転部材5の回転角加速度の推定値を積分してなる積分値を、二次側回転角速度 2 の基本推定値 2_{e0} として算出する処理を実行する。

20

【0095】

さらに詳細には、二次側角速度基本推定値生成部24aは、二次側角度計測処理部21から逐次入力される二次側回転角度計測値 2_s をフィルタ付き2階微分処理部24a1に inputsする。このフィルタ付き2階微分処理部24a1は、 2_s の2階微分値 $d^2 2_s / dt^2$ に所定値 J_1 を乗じてなる値を算出し、その算出値にローパス特性のフィルタリング処理を施す処理を実行する。そのローパス特性のフィルタリング処理は、その伝達関数が $1 / (Td \cdot s + 1)$ により表されるフィルタリング処理（カットオフ周波数を規定する時定数が Td であるローパス特性のフィルタリング処理）である。

【0096】

ここで、上記所定値 J_1 は、被動回転部材5（これと一体に回転する負荷側の要素を含む）の等価慣性モーメントとしてあらかじめ設定された定数値である。このため、 2_s の2階微分値 $d^2 2_s / dt^2$ に所定値 J_1 を乗じてなる値は、2階微分値 $d^2 2_s / dt^2$ を、被動回転部材5に作用しているトータルの入力トルクの計測値に換算してなる値としての意味を持つ。従って、フィルタ付き2階微分処理部24a1によって、 2_s の2階微分値 $d^2 2_s / dt^2$ を換算してなる被動回転部材5の入力トルクの計測値に、ローパス特性のフィルタリング処理を施してなるフィルタリング値が生成されることとなる。

30

【0097】

また、二次側角速度基本推定値生成部24aは、一次側・二次側間角度差計測処理部22から逐次入力される一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s に所定値 K_{spr} を乗じる処理を乗算部24a2で実行する。該所定値 K_{spr} は、トーションバー4のねじりに関するばね定数としてあらかじめ設定された値である。従って、乗算部24a2の処理によって、一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s （トーションバー4のねじれ角の計測値）は、トーションバー4がそのねじれの弾性変形によって発生する弾性力トルクの計測値に換算される。以下、この乗算部24a2の出力値を弾性力トルク換算値という。

40

【0098】

さらに、二次側角速度基本推定値生成部24aは、上記弾性力トルク換算値をフィルタ24a3に inputsし、該弾性力トルク換算値にローパス特性のフィルタリング処理を施す。このフィルタ24a3は、その伝達関数が、 $1 / (Td \cdot s + 1)$ により表されるフィルタ、すなわち、前記フィルタ付き2階微分処理部24a1のフィルタリング処理と同じ特性の口

50

ローパスフィルタである。

【0099】

なお、フィルタ付き2階微分処理部24a1とフィルタ24a3とにおける上記時定数Tdは、それにより規定されるカットオフ周波数が、トーションバー4の弾性特性に応じた共振周波数(固有振動数)よりも低い周波数となるように設定されている。補足すると、減速機3の弾性特性は、トーションバー4の弾性特性よりも高剛性であるため、減速機3の弾性特性に応じた共振周波数は、トーションバー4の弾性特性に応じた共振周波数よりも高周波となる。このため、時定数Tdを上記の如く設定しておけば、結果的には、フィルタ付き2階微分処理部24a1及びフィルタ24a3のそれぞれのフィルタリング処理によって除去される周波数成分には、トーションバー4の弾性特性に応じた共振周波数だけでなく、減速機3の弾性特性に応じた共振周波数も含まれることとなる。

10

【0100】

二次側角速度基本推定値生成部24aは、次に、フィルタ付き2階微分処理部24a1の出力値とフィルタ24a3の出力値との偏差を算出する処理を演算部24a4で実行する。さらに、二次側角速度基本推定値生成部24aは、演算部24a4により算出した偏差に所定値のゲインKd(1)を乗じる処理を乗算部24a5で実行し、この乗算部24a5の出力値を、前記乗算部24a2の出力値である弾性カトルク換算値に加算する処理を演算部24a6で実行する。

【0101】

この場合、弾性カトルク換算値に加算する乗算部24a5の出力値は、被動回転部材5にトーションバー4から作用している弾性カトルク以外の外力トルク(摩擦力に起因するトルクを含む)の推定値としての意味を持つ。従って、演算部24a6の出力値は、被動回転部材5に作用しているトータルの入力トルク(作用力)の推定値に相当するものとなる。

20

【0102】

次いで、二次側角速度基本推定値生成部24aは、演算部24a6の出力値に、被動回転部材5の前記等価慣性モーメントJ1の逆数(=1/J1)を乗じる処理を乗算部24a7で実行し、さらに、この乗算部24a7の出力値を積分する処理を積分器24a8で実行する。

【0103】

ここで、上記した如く、演算部24a6の出力値が、被動回転部材5に作用しているトータルの入力トルクの推定値に相当するものであるから、演算部24a6の出力値に比例する値となる乗算部24a7の出力値は、被動回転部材5の回転角加速度の推定値としての意味を持つ。そこで、二次側角速度基本推定値生成部24aは、乗算部24a7の出力値を積分器24a8により積分することによって、被動回転部材5の回転角速度を算出し、この算出値を二次側回転角速度2の基本推定値2_e0として生成する。

30

【0104】

以上により二次側角速度基本推定値生成部24aの処理が完了する。

【0105】

なお、本実施形態では、フィルタ付き処理部24a1とフィルタ24a3とでそれぞれ各別に、同じローパス特性のフィルタリング処理を行うようにしたが、これに代えて次のようにしてもよい。すなわち、二次側回転角度計測値2_sの2階微分値を被動回転部材5の入力トルクに換算してなる値(=J1・d²2_s/dt²)と、乗算部24a2の出力値(弾性カトルク換算値)との偏差を算出した上で、その偏差に、ローパス特性のフィルタリング処理(伝達関数が1/(Td・s+1)により表されるフィルタリング処理)を施す。そして、この偏差のフィルタリング値を前記乗算部24a5に入力する。

40

【0106】

二次側角速度推定部24は、上記の如く二次側角速度基本推定値生成部24aの処理を実行することに加えて、さらに、二次側回転角度計測値2_sをフィルタ付き微分処理部24bに入力する。該フィルタ付き微分処理部24bは、2_sの1階微分値d2_s/dtを算出し、その算出値にローパス特性のフィルタリング処理を施す処理を実行する。その

50

ローパス特性のフィルタリング処理は、その伝達関数が $1 / (T_w \cdot s + 1)$ により表されるフィルタリング処理（カットオフ周波数を規定する時定数が T_w であるローパス特性のフィルタリング処理）である。

【0107】

この場合、フィルタ 24 b の時定数 T_w は、本実施形態では、二次側角速度基本推定値生成部 24 a のフィルタ付き 2 階微分処理部 24 a1 及びフィルタ 24 a3 の時定数 T_d よりも長い時間値に設定されている。従って、フィルタ 24 b のカットオフ周波数は、フィルタ付き 2 階微分処理部 24 a1 及びフィルタ 24 a3 のカットオフ周波数よりも低い周波数となっている。

【0108】

そして、二次側角速度推定部 24 は、このフィルタ 24 b の出力値と、既に生成した二次側回転角速度推定値 2_e のうちの最新値（二次側角速度推定部 24 の前回の演算処理周期で算出した前回値）との偏差を算出する処理を演算部 24 c で実行する。

【0109】

さらに、二次側角速度推定部 24 は、演算部 24 c で算出した偏差をフィードバック制御則により “0” に収束させるように、前記基本推定値 2_{e0} （積分器 24 a8 の出力値）を補正するための補正操作量を算出する。この場合、該フィードバック制御則としては、例えば比例則が用いられる。すなわち、二次側角速度推定部 24 は、上記偏差に所定値の比例ゲイン K_w を乗じる処理を乗算部 24 d で実行することによって、補正操作量を算出する。

【0110】

次いで、二次側角速度推定部 24 は、前記基本推定値 2_{e0} に上記補正操作量を加算する処理を演算部 24 e で実行することによって該基本推定値 2_{e0} を補正し、この補正後の値を二次側回転角速度推定値 2_e として生成する。

【0111】

以上の二次側角速度推定部 24 の処理によって、二次側回転角度計測値 2_s の一階微分値 $d 2_s / dt$ に比して過剰な変動（高周波変動）を抑制しつつ、該一階微分値 $d 2_s / dt$ に追従させるようにして、二次側回転角速度推定値 2_e が逐次生成されることとなる。この場合、前記基本推定値 2_{e0} は、トーションバー 4 の弾性力トルク以外で被動回転部材 5 に作用する外力の影響分を加味して算出される。このため、二次側回転角速度推定値 2_e の安定性と信頼性を高めることができる。

【0112】

補足すると、本実施形態では、二次側角速度推定部 24 が本発明における二次側変位速度推定手段に相当する。この場合、二次側回転角速度 2 が本発明における二次側変位速度に相当する。

【0113】

また、二次側角速度基本推定値生成部 24 a が本発明における二次側変位速度基本推定値生成手段に相当する。この場合、乗算部 24 a2 の出力値、フィルタ 24 a3 の出力値、フィルタ付き 2 階微分処理部 24 a1 の出力値、演算部 24 a4 の出力値、演算部 24 a6 の出力値がそれぞれ、本発明における弾性力換算値、弾性力フィルタリング値、作用力基本フィルタリング値、力偏差、被動要素作用力の推定値に相当する。

【0114】

また、フィルタ 24 b が本発明における第 3 フィルタリング手段に相当する。この場合、フィルタ 24 b の出力値が本発明における二次側変位速度フィルタリング値に相当する。

【0115】

図 2 の説明に戻って、制御装置 12 は、上記の如く一次側角速度推定部 23 及び二次側角速度推定部 24 の処理を実行した後、次に、モータ動作目標決定部 25 の処理を実行する。

【0116】

10

20

30

40

50

このモータ動作目標決定部 25 には、一次側回転角速度推定値 1_e と二次側回転角速度推定値 2_e とが逐次入力されると共に、被動回転部材 5 に電動モータ 2 側から付与すべき駆動トルク（被動回転部材 5 にトーションバー 4 から付与すべき駆動トルク）の目標値である目標駆動トルク ref が逐次入力される。

【0117】

そして、モータ動作目標決定部 25 は、これらの入力値を用いて、電動モータ 2 の動作を規定する動作目標を決定する。ここで、この動作目標は、本実施形態では、電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角速度を規定する目標値である。より詳しくは、本実施形態では、該動作目標は、一次側回転角速度 1 の目標値 1_{cmd} （= 減速機 3 の出力軸 3 b の回転角速度の目標値）である。この場合、一次側回転角速度目標値 1_{cmd} に減速機 3 の減速比 R を乗じてなる値が、電動モータ 2 の出力軸 2 b の回転角速度の目標値となる。

10

【0118】

モータ動作目標決定部 25 は、具体的には、次のように一次側回転角速度目標値 1_{cmd} を逐次決定する。

【0119】

すなわち、モータ動作目標決定部 25 は、入力される二次側角速度推定値 2_e と一次側角速度推定値 1_e の偏差 12 （= $2_e - 1_e$ ）を算出する処理を演算部 25 a で実行する。そして、モータ動作目標決定部 25 は、演算部 25 a の出力値 12 をフィルタ 25 b に入力し、該出力値 12 にローパス特性のフィルタリング処理を施す。この場合、フィルタ 25 b は、その伝達関数が $T_{pa} / (T_{p1} \cdot s + 1)$ により表されるローパスフィルタ（入力値にゲイン T_{pa} を乗じる処理を含み、カットオフ周波数を規定する時定数が T_{p1} であるローパスフィルタ）である。

20

【0120】

また、モータ動作目標決定部 25 は、入力される目標駆動トルク ref に、トーションバー 4 のばね定数としての前記所定値 K_{spr} の逆数（= $1 / K_{spr}$ ）を乗じる処理を乗算部 25 c で実行する。ここで、目標駆動トルク ref は、トーションバー 4 から被動回転部材 5 に作用する駆動トルクの目標値であるから、該トーションバー 4 が発生すべき弾性力トルクの目標値としての意味を持つ。従って、乗算部 25 c の出力値（= ref / K_{spr} ）は、目標駆動トルク ref を、トーションバー 4 の弾性変形量の目標値に相当する一次側・二次側間回転角度差 def の目標値 def_{cmd} に換算したものととなる。

30

【0121】

そして、モータ動作目標決定部 25 は、上記の如く乗算部 25 c で算出した一次側・二次側間回転角度差目標値 def_{cmd} と、入力される一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s との偏差 def （= $def_{cmd} - def_s$ ）を算出する処理を演算部 25 d で実行する。

【0122】

さらに、モータ動作目標決定部 25 は、演算部 25 d で算出した偏差 def をフィルタ 25 e に入力し、該偏差 def にローパス特性のフィルタリング処理を施す。この場合、フィルタ 25 e は、その伝達関数が $T_{pb} / (T_{p2} \cdot s + 1)$ により表されるローパスフィルタ（入力値にゲイン T_{pb} を乗じる処理を含み、カットオフ周波数を規定する時定数が T_{pb} であるローパスフィルタ）である。

40

【0123】

ここで、フィルタ 25 b, 25 e のそれぞれの時定数 T_{p1} , T_{p2} は、二次側角速度推定部 24 における時定数 T_d , T_w よりも短い時間値に設定されると共に、それぞれの時定数 T_{p1} , T_{p2} により規定されるフィルタ 25 b, 25 e のカットオフ周波数が、減速機 3 の弾性特性に応じた共振周波数よりも低い周波数になるように設定されている。加えて、フィルタ 25 b, 25 e を合わせて、位相進み補償と同様の機能が実現されるように、それぞれの時定数 T_{p1} , T_{p2} の値、並びに、それぞれのゲイン T_{pa} , T_{pb} の値が設定されている。この場合、例えば、時定数 T_{p1} , T_{p2} は、 $T_{p1} > T_{p2}$ となるように互いに異なる値に設定され、 T_{pa} , T_{pb} は、 $T_{pa} > T_{pb}$ となるように互いに異なる値に設定されている。

50

【0124】

次いで、モータ動作目標値決定部25は、フィルタ25b, 25eの出力値を加え合わせる処理を演算部25fにより実行する。さらにモータ動作目標値決定部25は、演算部25fの出力値に、所定値のゲイン K_{cmp} を乗じる処理を乗算部25gで実行することによって、一次側回転角速度目標値 1_{cmd} を決定する。

【0125】

以上が、モータ動作目標値決定部25の処理の詳細である。

【0126】

補足すると、本実施形態では、モータ動作目標値決定部25は、本発明におけるアクチュエータ動作目標値決定手段に相当する。この場合、一次側回転角速度目標値 1_{cmd} が本発明における動作目標に相当する。

10

【0127】

また、フィルタ25b, 25eがそれぞれ本発明における第1フィルタリング手段、第2フィルタリング手段に相当する。この場合、フィルタ25bの出力値が本発明における第1フィルタリング値に相当、フィルタ25eの出力値が本発明における第2フィルタリング値に相当する。また、目標駆動トルク ref が本発明における目標駆動力に相当し、乗算部25cの出力値が本発明における弾性計測量の目標値に相当する。また、演算部25fの出力値が本発明における線形結合値に相当する。

【0128】

なお、本実施形態では、演算部25dでは、一次側・二次側間回転角度差 def の目標値 def_{cmd} と一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s との偏差 def を算出したが、これに代えて、次のようにしてもよい。すなわち、目標駆動トルク ref と、一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s にトーションバー4のばね定数としての所定値 K_{spr} を乗じてなる値(すなわち、 def_s をトーションバー4の弾性力トルクに換算してなる値)との偏差を算出し、この偏差をフィルタ25eに入力する。

20

【0129】

また、本実施形態では、一次側回転角速度目標値 1_{cmd} を電動モータ2の動作を規定する動作目標として決定するようにしたが、 1_{cmd} の代わりに、電動モータ2の出力軸2bの回転角速度の目標値を決定するようにしてもよい。

【0130】

制御装置12は、次に、モータ制御部26の処理を実行する。このモータ制御部26には、一次側回転角速度目標値 1_{cmd} と一次側回転角速度推定値 1_e とがそれぞれモータ動作目標値決定部25と一次側角速度推定部23とから逐次入力されると共に、一次側・二次側間回転角度差目標値 def_{cmd} がモータ動作目標値決定部25から入力される。

30

【0131】

そして、モータ制御部26は、これらの入力値を用いて電動モータ2の運転制御を行う。

【0132】

具体的には、モータ制御部26は、入力される一次側・二次側間回転角度差目標値 def_{cmd} に所定値のゲイン K_{tff} を乗じる処理を乗算部26aで実行することによって、電動モータ2の出力トルクのフィードフォワード目標値である基本目標値 m_{ff} を決定する。

40

【0133】

なお、ゲイン K_{tff} の値は、トーションバー4のばね定数としての所定値 K_{spr} を減速機3の減速比 R で除算してなる値(= K_{spr} / R)である。従って、電動モータ2の出力トルクの基本目標値 m_{ff} は、前記目標駆動トルク ref を、減速機3の減速比 R で除算することによって決定してもよい。

【0134】

また、モータ制御部26は、入力される一次側回転角速度目標値 1_{cmd} と一次側回転角速度推定値 1_e との偏差 $1 (= 1_{cmd} - 1_e)$ を算出する処理を演算部26bで実行する。

50

【0135】

そして、モータ制御部26は演算部26で算出した偏差 Δ 1をフィードバック制御則により“0”に収束させるように、基本目標値 m_{ff} を補正するための補正操作量 m_{fb} を決定する。この場合、該フィードバック制御則としては比例則が用いられる。すなわち、モータ制御部26は、偏差 Δ 1に所定値の比例ゲイン K_v を乗じる処理を乗算部26cで実行することによって、補正操作量 m_{fb} を決定する。

【0136】

次いで、モータ制御部26は、乗算部26aの出力値である基本目標値 m_{ff} に乗算部26cの出力値である補正操作量 m_{fb} を加算する処理（基本目標値 m_{ff} を補正操作量 m_{fb} により補正する処理）を演算部26で実行することによって、電動モータ2の出力トルクの目標値である目標モータトルク m_{cmd} を決定する。

10

【0137】

なお、このようにモータ制御部26で決定された目標モータトルク m_{cmd} が、動力目標パラメータとして一次側角速度推定部23に入力される。

【0138】

次いで、モータ制御部26は、上記の如く決定した目標モータトルク m_{cmd} に所定値のトルク・電流変換係数 K_{ti} を乗じる処理を乗算部26eで実行することによって、目標モータトルク m_{cmd} を電動モータ2の電機子巻線（図示省略）の通電電流の目標値である電流指令値 $I_{m_{cmd}}$ に変換する。

【0139】

そして、モータ制御部26は、この電流指令値 $I_{m_{cmd}}$ に応じて電流制御部26fの処理を実行することで、電動モータ2の電機子巻線の通電電流を制御する。より具体的には、この電流制御部26fは、図示しない電流センサにより電動モータ2の電機子巻線の通電電流を検出しつつ、その検出値を電流指令値 $I_{m_{cmd}}$ に収束させるように、電動モータ2の電機子巻線の通電電流をフィードバック制御する。これにより、電動モータ2の実際の出力トルクが、目標モータトルク m_{cmd} に一致するように制御されることとなる。

20

【0140】

なお、本実施形態では、上記したモータ制御部26の処理（又はモータ制御部26のうちの電流制御部26fの処理）は、制御装置12に前記した各機能部20～25の処理よりも短い演算処理周期で高速に実行される。

30

【0141】

補足すると、本実施形態では、モータ制御部26は、本発明におけるアクチュエータ制御手段に相当する。また、モータ制御手段26のうちの乗算部26a、演算部26b及び乗算部26cの処理によって本発明における動力目標パラメータ生成手段が実現される。この場合、目標モータトルク m_{cmd} が、動力目標パラメータに相当する。

【0142】

以上説明した本実施形態によれば、一次側角速度推定部23の処理によって、一次側回転角速度推定値 ω_{1e} が、一次側回転角度計測値 θ_{1s} の1階微分値に比して過剰な変動が抑制されつつ、該1階微分値に追従するように生成される。

【0143】

また、二次側角速度推定部24の処理によって、二次側回転角速度推定値 ω_{2e} が、一次側回転角度計測値 θ_{1s} の1階微分値に比して過剰な変動が抑制されつつ、該1階微分値に追従するように生成される。この場合、フィルタ付き2階微分処理部24a1、フィルタ24a3、及びフィルタ付き微分処理部24bのフィルタリング処理によって、減速機3やトーションバー4の弾性特性に応じた共振周波数を含む高周波側の周波数成分が除去され、該周波数成分が二次側回転角速度推定値 ω_{2e} に影響を及ぼすのが防止される。

40

【0144】

そして、目標駆動トルク τ_{ref} を換算してなる一次側・二次側間回転角度差目標値 $\theta_{def_{cmd}}$ と一次側・二次側間回転角度差計測値 θ_{def_s} との偏差 Δ defに、フィルタ25eでローパス特性のフィルタリング処理を施してなるフィルタリング値と、二次側回転角速度

50

推定値 2_e と一次側回転角速度推定値 1_e との偏差 12 に、フィルタ $25b$ でローパス特性のフィルタリング処理を施してなるフィルタリング値との線形結合値に応じて電動モータ 2 の動作目標としての一次側回転角速度目標値 1_cmd が決定される。

【0145】

この場合、フィルタ $25b$ 、 $25e$ のカットオフ周波数を互いに異なる周波数で適切に設定し、また、フィルタ $25b$ 、 $25e$ のゲインを適切に設定しておくことによって、電動モータ 2 から被動回転部材 5 に伝達される駆動トルクが減速機 3 の弾性特性やトーシヨンバー 4 の弾性特性に起因して振動したりするのを効果的に抑制し得るように一次側回転角速度目標値 1_cmd を決定できる。

【0146】

ひいては、被動回転部材 5 に付与される実際の駆動トルクを、高いロバスト性で安定に目標駆動トルク ref に制御することができる。

【0147】

ここで、図 5 を参照して、本実施形態の装置によって実現される効果の検証例を説明する。同図 (a) は、本実施形態の装置によるトルク制御の実施例を示すグラフである。より詳しくは、同図 (a) は、本実施形態の装置において、目標駆動トルク ref を図中の破線で示す如くステップ状に変化させた場合の実駆動トルク（被動回転部材 5 に実際に付与される駆動トルク）の応答波形を実線で示したものである。

【0148】

また、同図 (b) は、比較例を示すグラフである。より詳しくは、同図 (b) は、比較例において、目標駆動トルク ref を図中の破線で示す如くステップ状に変化させた場合の実駆動トルクの応答波形を実線で示したものである。この比較例では、実駆動トルクを目標駆動トルク ref に単純にフィードバック制御する。具体的には、例えば目標駆動トルク ref に対応する一次側・二次側間回転角度差目標値 def_cmd と、一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s との偏差 def から、フィードバック制御則によって、一次側回転角速度目標値 1_cmd を決定し、これを前記モータ制御部 26 に入力することで、電動モータ 2 の通電制御を行う。

【0149】

図 $5(a)$ 、 (b) を比較して判るように、本実施形態の装置を使用した実施例では、比較例に較べて、実駆動トルクが目標駆動トルク ref の変化に対して素早い応答性を有すると共に、実駆動トルクの振動が素早く減衰しつつ、目標駆動トルク ref に収束する。

【0150】

次に、以上説明した実施形態の変形態様をいくつか説明する。

【0151】

前記実施形態では、二次側速度推定部 24 は、二次側角速度基本推定値生成部 $24a$ を備えるようにしたが、これを省略して、次のように二次側回転角速度推定値 2_e を生成するにしてもよい。すなわち、前記フィルタ付き微分処理部 $24b$ の出力値をそのまま二次側回転角速度推定値 2_e として生成するにしてもよい。このようにすることにより、前記第 3 発明の一実施形態を構築できる。

【0152】

また、例えば、トーシヨンバー 4 が発生する弾性力トルク以外で被動回転部材 5 に作用する外力トルクが“ 0 ”であるか、もしくは、該弾性力トルクに比して十分小さいような場合には、二次側角速度基本推定値生成部 $24a$ では、フィルタ付き 2 階微分処理部 $24a1$ 、フィルタ $24a3$ 、演算部 $24a4$ 及び乗算部 $24a5$ の処理を省略する（あるいは、乗算部 $24a5$ におけるゲイン Kd を“ 0 ”に設定しておく）ようにしてもよい。すなわち、一次側・二次側間回転角度差計測値 def_s を、トーシヨンバー 4 の弾性力に換算してなる弾性力換算値（ $= def_s \cdot Kspr$ ）から、前記乗算部 $24a7$ 及び積分器 $24a8$ を介して二次側回転角速度の基本推定値 2_e0 を算出するにしてもよい。

【0153】

10

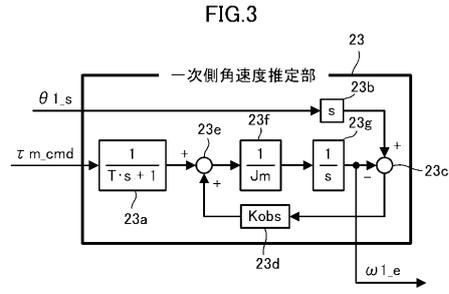
20

30

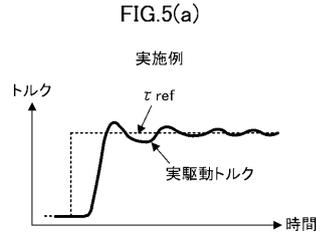
40

50

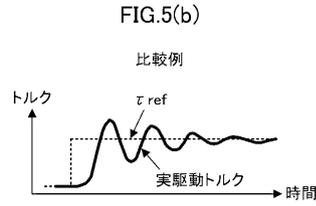
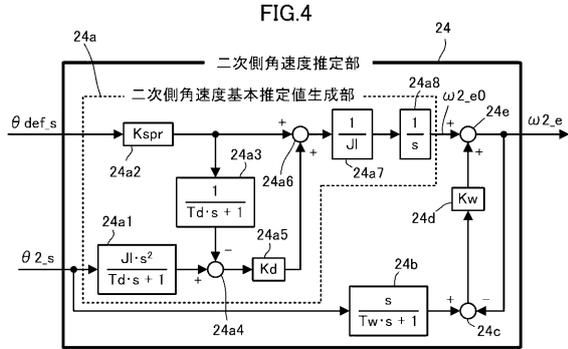
【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-55541(JP,A)
特開昭61-151714(JP,A)
特開昭61-251915(JP,A)
特開昭62-77608(JP,A)
特開2005-349555(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 13/00