



(10) **DE 11 2010 004 664 T5** 2012.10.11

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/067976**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2010 004 664.6**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2010/066427**  
(86) PCT-Anmeldetag: **22.09.2010**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **09.06.2011**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **11.10.2012**

(51) Int Cl.: **B25J 13/00 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2009-274351 02.12.2009 JP**

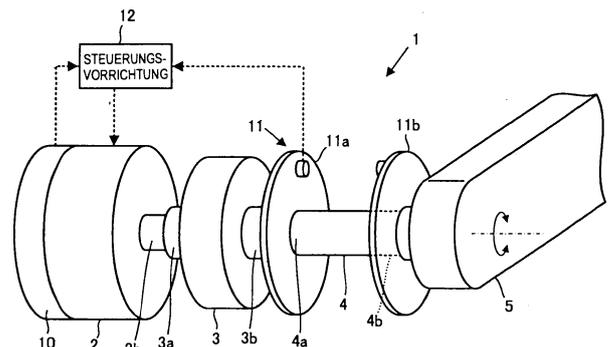
(74) Vertreter:  
**Weickmann & Weickmann, 81679, München, DE**

(71) Anmelder:  
**Honda Motor Co., Ltd., Tokyo, JP**

(72) Erfinder:  
**Takemura, Yoshinari, Wako-shi, Saitama, JP;**  
**Orita, Atsuo, Wako-shi, Saitama, JP**

(54) Bezeichnung: **Steuerungsvorrichtung für eine Antriebsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: In Bezug auf eine Antriebsvorrichtung (1), worin ein Antriebsstrang zwischen einem Aktuator (2) und einem angetriebenen Element (5) ein Federelement (4) und eine Geschwindigkeitsuntersetzungs Vorrichtung (3) mit elastischen Charakteristiken aufweist, bestimmt eine Steuerungsvorrichtung ein Betriebsziel für den Aktuator (2) gemäß einem linear kombinierten Wert eines Werts, der erhalten wird, indem ein Wert  $\Delta\omega_{12}$  und ein Wert  $\Delta\theta_{def}$  durch einen Tiefpassfilter geleitet werden. Der Wert  $\Delta\omega_{12}$  ist eine Abweichung zwischen einem geschätzten Wert  $\omega_{1\_e}$  der Verlagerungsgeschwindigkeit eines Eingangsabschnitts (4a) des Federelements (4), und einem geschätzten Wert  $\omega_{2\_e}$  der Verlagerungsgeschwindigkeit des angetriebenen Elements (5). Der Wert  $\Delta\theta_{def}$  ist eine Abweichung zwischen einem gemessenen Wert  $\theta_{def\_s}$  der Verlagerungsdifferenz zwischen dem angetriebenen Element (5) und dem Eingangsabschnitt (4a) des Federelements (4), und einem Sollwert  $\theta_{def\_cmd}$  der Verlagerungsdifferenz entsprechend einer Sollantriebskraft  $t_{ref}$  des angetriebenen Elements (5).



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die eine Antriebskraft steuert/regelt, die von einem Aktuator auf ein angetriebenes Element, wie etwa ein Glied eines Roboters, ausgeübt werden soll.

## Relevanter technischer Hintergrund

**[0002]** In einer Antriebsvorrichtung zum Antrieb eines Gelenkmechanismus für einen Roboter, um dem Gelenkmechanismus eine Flexibilität zu verleihen, ist ein Typ bekannt, worin ein Federelement zwischen einer Kraftausgabereinheit des Aktuators und einem angetriebenen Element des Gelenkmechanismus vorgesehen ist.

**[0003]** Zum Beispiel ist in dem Patentedokument 1 eine Antriebsvorrichtung offenbart, die konfiguriert ist, um eine Drehkraft eines Motors über eine Riemenscheibe und einem Drehzahluntersetzer zu übertragen, und ein Dämpfelement-Elastikelementsystem, das einen Dämpfer und eine Feder, in dieser Reihenfolge, aufweist. Danach wird in der in Patentedokument 1 gezeigten Technik ein Sollmoment des Motors auf der Basis eines Sollgliedwinkels, eines gemessenen Werts des Gliedwinkels und eines gemessenen Werts eines Drehwinkels des Motors bestimmt, und ein Ausgangsmoment des Motors wird durch das Sollmoment geregelt. In diesem Fall wird das Sollmoment des Motors bestimmt, indem ein Rückkopplungswert, der einer Abweichung zwischen dem Sollgliedwinkel und dem Gliedwinkel messwert entspricht, zu einem vorwärtskoppelnden Wert addiert wird.

## Herkömmliche Referenz

[Patentedokument]

**[0004]**

[Patentedokument 1] Japanische Patentoffenlegung Nr. 2005-349555

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

## Von der Erfindung zu lösende Probleme

**[0005]** In der Antriebsvorrichtung, wie sie oben erläutert ist, wird hauptsächlich ein Spannungswellengetriebe, wie etwa ein Harmonic Drive (eingetragene Handelsmarke) als Drehzahluntersetzer eines Kraftübertragungssystems zwischen einem Aktuator, wie etwa dem Motor, und dem angetriebenen Element verwendet.

**[0006]** Diese Bauart des Spannungswellengetriebes hat aufgrund seiner Struktur gewisse elastische Eigenschaften in dem Kraftübertragungssystem der Antriebsvorrichtung. Darum ist in der Antriebsvorrichtung, die die Kraft des Aktuators auf das angetriebene Element über das Spannungswellengetriebe und das Federelement überträgt, nicht nur das Federelement, sondern auch das Spannungswellengetriebe in dem Kraftübertragungssystem als Element enthalten, das elastische Eigenschaften hat, d. h. ein Element, das leicht vibriert. Insofern wird in einer solchen Antriebsvorrichtung leicht eine Vibration erzeugt, die durch ein Resonanzphänomen und dergleichen verursacht wird, und demzufolge wird leicht eine Vibration der Antriebskraft erzeugt, welche von dem Aktuator auf das angetriebene Element übertragen wird. Um daher die auf das angetriebene Element übertragene Antriebskraft richtig auf die Sollantriebskraft zu regeln, wird es notwendig, die Vibration der Antriebskraft, die durch die elastischen Eigenschaften von sowohl dem Spannungswellengetriebe als auch dem Federelement verursacht werden, wirkungsvoll zu unterdrücken.

**[0007]** Obwohl in diesem Fall in der in dem Patentedokument 1 gezeigten Technik darauf geachtet wird, die durch die elastischen Eigenschaften des Federelements verursachte Vibration zu unterdrücken, wird keine Rücksicht auf die elastischen Eigenschaften des Spannungswellengetriebes genommen, welches als Drehzahluntersetzer zwischen dem Motor und dem Glied des Roboters enthalten ist. Daher gibt es ein Problem darin, dass leicht eine Situation auftritt, wo die Vibration des Kraftübertragungssystems zwischen dem Motor und dem Glied, und demzufolge die Vibration des Antriebsdrehmoments des Glieds, nicht ausreichend unterdrückt werden könnte.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung ist im Hinblick auf den obigen Hintergrund gemacht worden und hat zum Ziel, eine Steuerungsvorrichtung einer Antriebsvorrichtung anzugeben, worin die Antriebsvorrichtung zwei Kraftübertragungselemente mit elastischen Charakteristiken in einem Kraftübertragungssystem zwischen einem Aktuator und einem angetriebenen Element enthält, wobei die Steuerungsvorrichtung in der Lage ist, Vibration der Antriebskraft, die von dem Aktuator auf das angetriebene Element übertragen wird, effizient zu unterdrücken, und auch die Sollantriebskraft stabil auf das angetriebene Element auszuüben.

## Mittel zur Lösung der Probleme

**[0009]** Zur Lösung der oben beschriebenen Aufgabe sieht die vorliegende Erfindung eine Steuerungsvorrichtung einer Antriebsvorrichtung vor, wobei die Antriebsvorrichtung enthält: einen Aktuator, ein erstes Kraftübertragungselement mit elastischen Charakteristiken, dessen Eingangseinheit mit einer Kraftaus-

gangseinheit des Aktuators verbunden ist, ein zweites Kraftübertragungselement, dessen Eingangseinheit mit einer Ausgangseinheit des ersten Kraftübertragungselements verbunden ist und das eine auf die Eingangseinheit ausgeübte Kraft in eine elastische Kraft umwandelt und ausgibt, sowie ein angetriebenes Element, das mit einer Ausgangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements verbunden ist und das durch eine Antriebskraft, die von dem Aktuator über das erste Kraftübertragungselement und das zweite Kraftübertragungselement übertragen wird, eine betriebsmäßige Bewegung ausführt, worin die elastischen Charakteristiken des ersten Kraftübertragungselements eine höhere Steifigkeit haben als das zweite Kraftübertragungselement, und die Steuerungsvorrichtung die Antriebskraft, die aktuell vom Aktuator auf das angetriebene Element ausgeübt wird, auf Sollantriebskraft steuert/regelt, wobei die Steuerungsvorrichtung umfasst:

ein primärseitiges Verlagerungspositionsmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer aktuellen Verlagerungsposition der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements angibt;

ein sekundärseitiges Verlagerungspositionsmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer aktuellen Verlagerungsposition des angetriebenen Elements angibt;

ein Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenzmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz angibt, die eine Differenz zwischen der aktuellen Verlagerungsposition der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements und der aktuellen Verlagerungsposition der angetriebenen Einheit ist;

ein primärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement, das einen geschätzten Wert einer primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, die eine aktuelle Verlagerungsgeschwindigkeit der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements ist, zumindest basierend auf dem gemessenen Wert der primärseitigen Verlagerungsposition erzeugt;

ein sekundärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement, das einen geschätzten Wert einer sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, die eine aktuelle Verlagerungsgeschwindigkeit des angetriebenen Elements ist, zumindest basierend auf dem gemessenen Wert der sekundärseitigen Verlagerungsposition erzeugt;

ein erstes Filterelement, das einen ersten Filterwert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung eines Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einer Abweichung zwischen dem gemessenen Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit und dem gemessenen Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit;

ein zweites Filterelement, das einen zweiten Filterwert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an

einer Abweichung zwischen einem Wert eines gemessenen Elastizitätsbetrags, der entweder der gemessene Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Abweichungsdifferenz oder ein umgewandelter Elastikkraftwert ist, der erhalten wird durch Umwandeln des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Abweichungsdifferenz in eine vom zweiten Kraftübertragungselement erzeugte elastische Kraft, und einem Sollwert des gemessenen Elastizitätsbetrags, der durch die Sollantriebskraft definiert ist;

ein Aktuatorbetriebszielbestimmungselement, das ein Betriebsziel, das einen Betrieb des Aktuators definiert, gemäß einem linearen Kopplungswert des ersten Filterwerts und des zweiten Filterwerts bestimmt; und ein Aktuatorsteuerungselement, das den Betrieb des Aktuators gemäß dem bestimmten Betriebsziel steuert/regelt (erster Aspekt der Erfindung).

**[0010]** Die Kraftausgabe von dem Aktuator und die auf das angetriebene Element ausgeübte Antriebskraft können eine Drehkraft (Drehmoment) oder eine Translationskraft sein.

**[0011]** In dem ersten Aspekt der Erfindung wird das Betriebsziel gemäß dem linearen Kopplungswert des vom ersten Filterelement erzeugten ersten Filterwerts und des vom zweiten Filterelement erzeugten zweiten Filterwerts bestimmt. Danach wird der Betrieb des Aktuators gemäß dem Betriebsziel geregelt.

**[0012]** Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken durch das erste Filterelement ist die Abweichung zwischen dem gemessenen Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit und dem gemessenen Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, d. h. die Abweichung zwischen der Verlagerungsgeschwindigkeit der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements, das mit der Ausgangseinheit des ersten Kraftübertragungselements verbunden ist, und der Verlagerungsgeschwindigkeit des angetriebenen Elements, das mit der Ausgangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements verbunden ist. Daher wird der Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken des ersten Filterelements ein solches gemäß der zeitlichen Änderungsrate der elastischen Kraft, die aktuell von dem zweiten Kraftübertragungselement auf das angetriebene Element ausgeübt wird.

**[0013]** Ferner ist der Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken durch das zweite Filterelement die Abweichung zwischen dem gemessenen Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz und dem Sollwert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz, die durch die Sollantriebskraft definiert ist, oder die Abweichung zwischen dem Elastikkraft-Inversionswert, der durch Umwandeln gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdiffe-

renz in die elastische Kraft, die von dem zweiten Kraftübertragungselement erzeugt wird, und dem Sollwert der elastischen Kraft (d. h. der SOLLANTRIEBSKRAFT). Daher wird der Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken durch das zweite Filterelement zu jenem gemäß dem Fehler der elastischen Kraft, die aktuell von dem zweiten Kraftübertragungselement auf das angetriebene Element ausgeübt wird, in Bezug auf die SOLLANTRIEBSKRAFT.

**[0014]** Die Beziehung der elastischen Kraft, die durch das zweite Kraftübertragungselement erzeugt wird, und der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz wird zu einer existierenden Beziehung in Abhängigkeit von den elastischen Charakteristiken des zweiten Kraftübertragungselements, so dass der gemessene Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz in die elastische Kraft des zweiten Kraftübertragungselements umgewandelt werden kann, oder den Sollwert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz, auf der Basis der Beziehung.

**[0015]** Ergänzend kann der Filterungsprozess jedes des ersten Filterelements und des zweiten Filterelements, als Gegenstand des Filterungsprozesses, einen Prozess von Multiplizieren einer Verstärkung eines vorbestimmten Werts enthalten.

**[0016]** Wie oben erläutert, wird der Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken durch das erste Filterelement zu jenem gemäß der zeitlichen Änderungsrate der elastischen Kraft, die aktuell von dem zweiten Kraftübertragungselement auf das angetriebene Element ausgeübt wird. Ferner wird der Gegenstand des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken durch das zweite Filterelement zu jenem gemäß dem Fehler der elastischen Kraft, die aktuell von dem zweiten Kraftübertragungselement auf das angetriebene Element übertragen wird, in Bezug auf die SOLLANTRIEBSKRAFT.

**[0017]** Ferner können das erste Filterelement und das zweite Filterelement die Sperrfrequenz oder die Verstärkung der jeweiligen Filterungsprozesse individuell setzen.

**[0018]** Indem daher die Sperrfrequenz oder die Verstärkung geeignet gesetzt wird, können das erste Filterelement und das zweite Filterelement das Betriebsziel so bestimmen, dass sie in der Lage sind, eine Vibration der vom Aktuator auf das angetriebene Element übertragenen Antriebskraft wirkungsvoll zu unterdrücken, welche durch die elastischen Charakteristiken von sowohl dem ersten Kraftübertragungselement als auch dem zweiten Kraftübertragungselement verursacht wird.

**[0019]** Daher wird es gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung möglich, die auf das angetriebene Element

ausgeübte Antriebskraft stabil auf die SOLLANTRIEBSKRAFT zu regeln, während eine Vibration der von dem Aktuator auf das angetriebene Element übertragenen Antriebskraft wirkungsvoll unterdrückt wird.

**[0020]** In dem ersten Aspekt der Erfindung können das erste Kraftübertragungselement und das zweite Kraftübertragungselement, die elastische Charakteristiken haben, verschiedene Modi gemäß dem Typ des Aktuators, der Betriebsform des angetriebenen Elements und dergleichen einnehmen. Als ein Beispiel eines repräsentativen Modus kann ein Modus angegeben werden, worin das erste Kraftübertragungselement ein Geschwindigkeitsuntersetzer ist und das zweite Kraftübertragungselement ein Federelement ist (zweiter Aspekt der Erfindung).

**[0021]** Die Antriebsvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung hat eine Struktur, worin die Kraftausgabe von dem Aktuator auf das angetriebene Element über den Geschwindigkeitsuntersetzer und das Federelement in dieser Reihenfolge übertragen wird, so dass die Vielseitigkeit der vorliegenden Erfindung verbessert werden kann.

**[0022]** In diesem Fall kann als repräsentatives Beispiel des Geschwindigkeitsuntersetzers mit den elastischen Eigenschaften höherer Steifigkeit im Vergleich zu dem Federelement ein Spannungswellengetriebe wie etwa ein Harmonic Drive (eingetragene Handelsmarke) angegeben werden. Auch kann als repräsentatives Beispiels des Federelements eine Schraubenfeder oder eine Torsionsstange angegeben werden.

**[0023]** Der Geschwindigkeitsuntersetzer kann einen Mechanismus zum Durchführen einer Umwandlung von der Drehkraft eine Translationskraft enthalten, oder eine Umwandlung von der Translationskraft zu der Drehkraft. Ferner kann der Geschwindigkeitsuntersetzer, zum Beispiel zusätzlich zu dem Spannungswellengetriebe, zum Beispiel einen Kraftübertragungsmechanismus einer Struktur enthalten, worin eine Mehrzahl von Zahnfedern miteinander in Eingriff stehen, oder ein Kraftübertragungsmechanismus, worin ein Ritzel und eine Kette kombiniert sind, und dergleichen.

**[0024]** Ferner kann das zweite Kraftübertragungselement ein solches sein, das aus einem Kraftsensor konfiguriert ist, wie etwa einem Drehmomentsensor, der mit einem elastischen Körper ausgestattet ist, der als das Federelement dient.

**[0025]** In dem ersten Aspekt der Erfindung und dem zweiten Aspekt der Erfindung ist es grundlegend bevorzugt, den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit so zu erzeugen, dass sie dem Differenzwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungspo-

sition folgt (ein zeitlicher Differentialwert erster Ordnung).

**[0026]** In diesem Fall kann, als ein besonders spezifischer Modus in Bezug auf die Erzeugung des geschätzten Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, folgender Modus verwendet werden.

**[0027]** Das heißt, in einem Modus ist das sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ein Element, das einen Wert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristik an einem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition, als den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit (dritter Aspekt der Erfindung).

**[0028]** Gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung wird als der geschätzte Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit ein Wert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition, d. h. ein Wert, der durch Beseitigen der Hochfrequenzkomponente von dem Differentialwert erster Ordnung erhalten wird. Durch diese Maßnahme kann der geschätzte Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit so erzeugt werden, dass er dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition folgt, und auch keine exzessive Fluktuation des geschätzten Werts erzeugt.

**[0029]** In dem dritten Aspekt der Erfindung ist es bevorzugt, dass die Sperrfrequenz in dem Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken, die in dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition ausgeführt wird, so gesetzt wird, dass er in der Lage ist, die Vibrationskomponente zu beseitigen, die durch die elastischen Charakteristiken des ersten Kraftübertragungselements (Resonanzfrequenzkomponente) und die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Charakteristiken des zweiten Kraftübertragungselements (Resonanzfrequenzkomponente) von dem Differentialwert erster Ordnung zu beseitigen. Weil in diesem Fall die elastischen Eigenschaften des ersten Kraftübertragungselements die elastischen Eigenschaften mit höherer Steifigkeit als die elastischen Eigenschaften des zweiten Kraftübertragungselements sind, hat die Vibrationskomponente, welche durch die elastischen Charakteristiken des ersten Kraftübertragungselements verursacht wird, allgemein eine höhere Frequenz als die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Eigenschaften des zweiten Kraftübertragungselements verursacht wird. Indem daher die Sperrfrequenz auf eine Frequenz

gesetzt wird, die niedriger ist als die Vibrationskomponente, welche durch die elastischen Eigenschaften des zweiten Kraftübertragungselements verursacht wird, kann die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Eigenschaften des ersten Kraftübertragungselements hervorgerufen wird, konsequent beseitigt werden.

**[0030]** Ferner umfasst, in einem anderen Modus in Bezug auf die Erzeugung des geschätzten Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, die Steuerungseinheit ferner: ein Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungselement, das eine Angetriebenes-Element-Wirkkraft, die eine aktuell auf das angetriebene Element wirkende Kraft ist, auf der Basis von zumindest dem gemessenen Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz schätzt, und das einen Wert proportional zu einem Integralwert des geschätzten Werts der Angetriebenes-Element-Wirkkraft als Basisschätzwert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt; und ein drittes Filterelement, das einen sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsfilterwert erzeugt, der ein Wert ist, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition erhalten wird. Ferner ist das sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ein Element, das eine Korrekturstellgröße des Basisschätzwerts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit gemäß einer Abweichung zwischen dem sekundärseitigen Verlagerungspositionenfilterwert und dem erzeugten geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit berechnet, um die Abweichung mit einer Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren, und das einen Wert, der durch Korrigieren des Basisschätzwerts mit der Korrekturstellgröße erhalten wird, als den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt (vierter Aspekt der Erfindung).

**[0031]** Gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung hat der geschätzte Basisschätzwert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, der durch das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungselement erzeugt wird, als Wert, der proportional zum Wert des Integrals des geschätzten Werts der angetriebenen Element-Wirkkraft ist (Wert, der durch Multiplizieren einer proportionalen Konstante eines vorbestimmten Werts zu dem Wert des Integrals erhalten wird), eine Bedeutung als angenäherter geschätzter Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit auf der Basis der dynamischen Beziehung (Modell) zwischen der Angetriebenes-Element-Wirkkraft und dem Betrieb des angetriebenen Elements.

**[0032]** Das heißt, weil die Beziehung zwischen der Bewegungsbeschleunigung des angetriebenen Elements (Drehwinkelgeschwindigkeit oder Translationsbeschleunigung) und der Angetriebenes-Element-Wirkkraft eine dynamisch-proportionale Beziehung wird, wird der Wert des Integrals der Angetriebenes-Element-Wirkkraft proportional zur Verlagerungsgeschwindigkeit des angetriebenen Elements, d. h. der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit. Weil ferner die elastische Kraft, die durch das zweite Kraftübertragungselement erzeugt wird, zumindest auf das angetriebene Element wirkt, wird es möglich, die Angetriebenes-Element-Wirkkraft zumindest auf der Basis des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz zu schätzen. Daher kann durch den Prozess des Sekundärseitigen-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basiswertschätzwert-Erzeugungselement der geschätzte Basiswert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt werden.

**[0033]** In diesem Fall ist der geschätzte Basiswert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit ein Wert proportional zu dem Wert des Integrals der Angetriebenes-Element-Wirkkraft, so dass eine exzessive Fluktuation des geschätzten Basiswerts unterdrückt werden kann.

**[0034]** Und in dem vierten Aspekt der Erfindung erzeugt das sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement einen Wert, der durch Korrigieren des geschätzten Basiswerts mit der Korrekturstellgröße als den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erhalten wird. In diesem Fall wird die Korrekturstellgröße berechnet gemäß der Abweichung zwischen dem sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsfilterwert, der ein Wert ist, der durch Ausführung des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken an dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition erhalten wird, und dem erzeugten geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit (besonders bevorzugt dem letzten Wert des erzeugten geschätzten Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit), um durch Rückkopplungsregelungsvorschrift die Abweichung auf Null zu konvergieren.

**[0035]** Durch diese Maßnahme wird es möglich, den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit so zu erzeugen, dass er dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition folgt, und um auch keine exzessive Fluktuation des geschätzten Werts zu erzeugen. Weil in diesem Fall im vierten Aspekts der Erfindung der geschätzte Basiswert als vorwärtskoppelnder geschätzter Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit fungiert, wird es möglich, den Einfluss des Mess-

fehlers der sekundärseitigen Verlagerungsposition und dergleichen zu reduzieren, und die Zuverlässigkeit und Stabilität des geschätzten Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit zu verbessern.

**[0036]** Im vierten Aspekt der Erfindung ist es bevorzugt, dass die Sperrfrequenz in dem Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken, der an dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition durchgeführt wird, genauso gesetzt wird, wie im Fall des dritten Aspekts der Erfindung, um in der Lage zu sein, die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Charakteristiken der ersten Kraftübertragungselements verursacht wird, und die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Charakteristiken des zweiten Kraftübertragungselements verursacht wird, von dem Differentialwert erster Ordnung zu beseitigen.

**[0037]** In dem vierten Aspekt der Erfindung kann in dem Fall, wo die externe Kraft, die auf das angetriebene Element wirkt (einschließlich einer Reibkraft), anders als die von dem zweiten Kraftübertragungselement erzeugte elastische Kraft, Null oder ausreichend klein im Vergleich zur elastischen Kraft ist, dann in Bezug auf die Schätzung der Angetriebenes-Element-Wirkkraft durch das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeit-Gesetzter-Grundwert-Erzeugungselement, der umgewandelte Elastikkraftwert, der durch Umwandeln gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz in die elastische Kraft, die durch das zweite Kraftübertragungselement erzeugt wird, erhalten wird, als der geschätzte Wert der Angetriebenes-Element-Wirkkraft erzeugt werden.

**[0038]** Allgemein gibt es jedoch Fälle, wo die externe Kraft, die auf das angetriebene Element abgesehen von der elastischen Kraft, die von dem zweiten Kraftübertragungselement erzeugt wird, wirkt, relativ groß wird. Und in dem Fall, wo diese externe Kraft auf das angetriebene Element wirkt, ist es wünschenswert, dass die Schätzung der Angetriebenes-Element-Wirkkraft durchgeführt wird, während die externe Kraft hinzugefügt wird.

**[0039]** In diesem Fall ist es in Bezug auf die Schätzung der externen Kraft des angetriebenen Elements bevorzugt dass, das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basiswertschätzwert-Erzeugungselement umfasst: ein Element, das den umgewandelten Elastikkraftwert erzeugt, der durch Umwandeln des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz in die vom zweiten Kraftübertragungselement erzeugte elastische Kraft erhalten wird; ein Element, das eine Kraftabweichung berechnet, die eine Abweichung zwischen einem Elastikk-

kräftfilterwert, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem umgewandelten Elastikkraftwert erhalten wird, und einem Wirkkraftbasisfilterwert ist, der durch Ausführen des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einem Wert erhalten wird, der durch Umwandeln eines Differentialwerts zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird; und ein Element, das einen geschätzten Wert der Angetriebenes-Element-Wirkkraft durch Korrektur des umgewandelten Elastikkraftwerts gemäß der Kraftabweichung berechnet (fünfter Aspekt der Erfindung).

**[0040]** Gemäß dem fünften Aspekt der Erfindung berechnet das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeit-Basisschätzwert-Erzeugungselement die Kraftabweichung, die eine Abweichung zwischen dem Elastikkraftfilterwert und dem Wirkkraftbasisfilterwert ist.

**[0041]** Wie oben erläutert, wird die dynamische Beziehung zwischen der Bewegungsbeschleunigung des angetriebenen Elements (Drehwinkelgeschwindigkeit oder Translationsbeschleunigung) und der Angetriebenes-Element-Wirkkraft zu einer proportionalen Beziehung, so dass der Differentialwert zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit grundlegend proportional zur Angetriebenes-Element-Wirkkraft wird. Daher entspricht allgemein der umgewandelte Elastikkraftwert, der durch Umwandlung des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz in die in dem zweiten Kraftübertragungselement erzeugten elastische Kraft erhalten wird, und ein Wert, der durch Umwandlung des Differentialwerts zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in eine auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird (ein Wert, der durch Multiplizieren einer proportionalen Konstante mit vorbestimmtem Wert zu dem Differentialwert zweiter Ordnung erhalten wird) zu der externen Kraft, die auf das angetriebene Element wirkt, abgesehen von der elastischen Kraft, die durch das zweite Kraftübertragungselement erzeugt wird.

**[0042]** Jedoch unterliegt der Differentialwert zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition leicht einem Einfluss des Messfehlers der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit. Daher berechnet, in dem fünften Aspekt der Erfindung, das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeit-Basisschätzwert-Erzeugungselement die Kraftabweichung, welche eine Abweichung zwischen dem Elastikkraft-Filterwert, der durch Ausführung des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken an dem Elastikkraft-Umwandlungswert erhalten wird,

und dem Wirkkraftbasisfilterwert, der durch Ausführen des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristiken an einem Wert erhalten wird, der durch Umwandeln des Differentialwert zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird, als den Wert entsprechend dem geschätzten Wert der externen Kraft. Durch diese Maßnahme wird es möglich, die Kraftabweichung mit hoher Zuverlässigkeit als den Wert zu berechnen, der dem geschätzten Wert der externen Kraft entspricht, ohne eine exzessive Fluktuation zu erzeugen.

**[0043]** Danach berechnet das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeit-Basisschätzwert-Erzeugungselement den geschätzten Wert der Angetriebenes-Element-Wirkkraft durch Korrektur des umgewandelten Elastikkraftwerts gemäß der Kraftabweichung. In diesem Fall kann z. B. die Korrektur des umgewandelten Elastikkraftwerts durchgeführt werden, indem zu dem umgewandelten Elastikkraftwerts ein Wert addiert wird, der durch Multiplizieren einer Verstärkung eines vorbestimmten Werts (Verstärkung gleich oder kleiner als 1) bei der Kraftabweichung erhalten wird.

**[0044]** Im fünften Aspekt der Erfindung erzeugt das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeit-Basisschätzwert-Erzeugungselement den Wert proportional zum Wert des Integrals des geschätzten Werts der Angetriebenes-Element-Wirkkraft als den geschätzten Basiswert. In diesem Fall ist der geschätzte Wert der Angetriebenes-Element-Wirkkraft der geschätzte Wert, worin die auf das angetriebene Element wirkende externe Kraft, anders als die vom zweiten Kraftübertragungselement erzeugten elastischen Kraft, hinzuaddiert wird, so dass der Fehler des geschätzten Basiswerts in Bezug auf die aktuelle sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeit klein gemacht werden kann. Demzufolge wird es möglich, die Zuverlässigkeit und Stabilität des geschätzten Werts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, der von dem sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit-Schätzelement erzeugt wird, weiter zu verbessern.

**[0045]** Ergänzend ist es in dem fünften Aspekt der Erfindung bevorzugt, dass die Frequenzcharakteristiken, wie etwa die Sperrfrequenzen des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken, der an dem Elastikkraft-Umwandlungswert durchgeführt wird, und auch an dem Wert, der durch Umwandeln des Differentialwerts zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird, identisch sind (einschließlich dem Fall, wo diese angenähert identisch sind). In diesem Fall ist der Prozess der Berechnung der Abweichung zwischen dem Elastikkraft-Filterwert und dem Wirk-

kraftbasisfilterwert äquivalent im Prozess der Berechnung der Abweichung zwischen dem umgewandelten Elastikkraftwert und dem Differentialwert zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft, unter Durchführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an der Abweichung.

**[0046]** Ferner ist es in dem fünften Aspekt der Erfindung bevorzugt, dass die Sperrfrequenz in dem Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken, der an dem umgewandelten Elastikkraftwert durchgeführt wird, und auch an dem Wert, der durch Umwandlung des Differentialwerts zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird, und die Sperrfrequenz in dem Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken, der an dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition durchgeführt wird, so gesetzt werden, dass sie in der Lage sind, die Vibrationskomponente zu beseitigen, welche durch die elastischen Kraftcharakteristiken des ersten Kraftübertragungselements verursacht wird, und die Vibrationskomponente, die durch die elastischen Charakteristiken des zweiten Kraftübertragungselements hervorgerufen wird. Diese Sperrfrequenzen können von der Sperrfrequenz des Filterungsprozesses des dritten Filterungselement unterschiedlich sein.

**[0047]** In den ersten bis fünften Aspekten der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass der geschätzte Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit so erzeugt wird, dass der geschätzte Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der primärseitigen Verlagerungsposition folgt.

**[0048]** In diesem Fall kann als weiter spezifischer Modus zum Beispiel der folgende Modus angewendet werden. Das heißt, um das Betriebsziel zu realisieren, umfasst die Steuerungsvorrichtung ferner: ein Sollkraftparametererzeugungselement, das einen Sollkraftparameter, der eine von der Kraftausgabereinheit des Aktuators auszugebende Sollkraft definiert, um das Betriebsziel zu realisieren, zumindest gemäß dem Betriebsziel, erzeugt; ein Sollkraftfilterelement, das einen Sollkraftfilterwert erzeugt, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristik an der durch den Sollkraftparameter definierten Sollkraft erhalten wird; und ein Korrektorelement, das eine Korrekturstellgröße des Sollkraftfilterwerts gemäß einer Abweichung zwischen dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der primärseitigen Verlagerungsposition und dem erzeugten geschätzten Wert der positionseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit berechnet,

um durch eine Rückkopplungsregelungsvorschrift die Abweichung auf Null zu konvergieren, und das den Sollkraftfilterwert mit der Korrekturstellgröße korrigiert.

**[0049]** Und das primärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ist ein Element, das einen Wert proportional zu einem Integralwert eines Werts nach Korrektur des Sollkraftfilterwerts durch das Korrektorelement als den geschätzten Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt (sechster Aspekt der Erfindung).

**[0050]** Gemäß dem sechsten Aspekt der Erfindung entspricht der Sollkraftfilterwert, der von dem Sollkraftfilterelement erzeugt wird, d. h. der Wert, der durch Ausführung des Filterungsprozesses der Tiefpasscharakteristik der durch den Kraftzielparameter definierte Zielkraft erhalten wird, einem angenäherten geschätzten Wert der Kraft, die aktuell am Aktuator von dessen Kraftausgabereinheit ausgegeben wird.

**[0051]** Ferner wird in dem sechsten Aspekt der Erfindung der Sollkraftfilterwert durch die Korrekturstellgröße korrigiert, wobei die Korrekturstellgröße durch das Korrektorelement berechnet wird, um, gemäß der Abweichung zwischen dem Differenzwert erster Ordnung des gemessenen Werts der primärseitigen Abweichungsposition und dem erzeugten geschätzten Wert einer positionseitigen Abweichungsgeschwindigkeit (bevorzugt eines letzten Werts des erzeugten geschätzten Werts der positionseitigen Abweichungsgeschwindigkeit), die Abweichung durch die Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren. Und ferner wird der Wert nach Korrektur als Wert erhalten, der dem geschätzten Wert der Kraft entspricht, die aktuell von dem Aktuator von dessen Kraftausgabereinheit ausgegeben wird.

**[0052]** Die Beziehung zwischen der Kraftausgabe von dem Aktuator und der Bewegungsbeschleunigung der Ausgabereinheit des ersten Kraftübertragungselements wird zu einer dynamischproportionalen Beziehung, so dass der Wert des Integrals der Kraftausgabe durch den Aktuator proportional zur primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit wird. Daher erzeugt das primärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement einen Wert proportional zum Integralwert des Werts nach Korrektur des Sollkraftfilterwerts (eines Werts, die durch Multiplizieren einer proportionalen Konstante eines vorbestimmten Werts zu dem Integralwert erhalten wird), als den geschätzten Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit.

**[0053]** Durch diese Maßnahme wird es möglich, den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit so zu erzeugen, dass er dem Differenzwert erster Ordnung des gemessenen

nen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition folgt. In diesem Fall ist der geschätzte Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit ein Wert proportional zum Integralwert des Werts nach Korrektur des Sollkraftfilterwerts, so dass die exzessive Fluktuation des geschätzten Werts unterdrückt wird.

**[0054]** In dem sechsten Aspekt der Erfindung kann in dem Fall, wo das Aktuatorsteuerungselement so konfiguriert ist, dass es die von der Kraftausgabereinheit des Aktuator auszugebende Sollkraft gemäß dem Betriebsziel bestimmt und dann die Betriebssteuerung des Aktuators gemäß der Sollkraft ausführt, das Kraftzielparametererzeugungselement in dem Aktuatorsteuerungselement enthalten sein.

**[0055]** Ergänzend in den ersten bis sechsten Aspekten der Erfindung in dem Fall, wo der Aktuator zum Beispiel ein Elektromotor ist, zum Beispiel ein Sollwert der Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Elektromotors (z. B. einer Drehwinkelgeschwindigkeit einer Ausgangswelle) oder ein Sollwert, der durch Umwandeln des Sollwerts in eine Verlagerungsgeschwindigkeit der Ausgabereinheit des ersten Kraftübertragungselements erhalten wird, als Betriebsziel verwendet werden, das von dem Aktuatorbetriebszielbestimmungselement bestimmt wird.

**[0056]** Der Elektromotor kann ein Motor in Drehbauart oder ein Linearmotor sein. Und in diesem Fall ist es bevorzugt, dass der Sollwert der Kraft, etwa eines Ausgangsdrehmoments von dem Elektromotor, als Kraftzielparameter bestimmt wird, um eine Abweichung zwischen dem Sollwert der Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Elektromotors und einem Wert, der durch Umwandeln des geschätzten Werts der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit in die Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Elektromotors erhalten wird, oder eine Abweichung zwischen dem Sollwert, der durch Umwandeln des Sollwerts der Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Elektromotors in die Verlagerungsgeschwindigkeit der Ausgabereinheit des ersten Kraftübertragungselements erhalten wird, durch die Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren, und den Betrieb des Elektromotors gemäß dem Sollwert zu steuern/regeln.

**[0057]** Weil das erste Kraftübertragungselement die elastischen Charakteristiken mit höherer Steifigkeit hat im Vergleich zum zweiten Kraftübertragungselement, wird die Beziehung zwischen der Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Aktuators (die Verlagerungsgeschwindigkeit der Eingabereinheit des ersten Kraftübertragungselements) und die Verlagerungsgeschwindigkeit der Ausgabereinheit des ersten Kraftübertragungselements (primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit) zu einer

proportionalen Beziehung, die angenähert vom Untersetzungsverhältnis vom ersten Kraftübertragungselements abhängig ist. Daher kann die Umwandlung der einen Verlagerungsgeschwindigkeit, von der Verlagerungsgeschwindigkeit der Kraftausgabereinheit des Elektromotors aus dem Aktuator (der Verlagerungsgeschwindigkeit der Eingabereinheit des ersten Kraftübertragungselements) und der Verlagerungsgeschwindigkeit der Ausgabereinheit der ersten Kraftübertragungseinheit (der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit), zur anderen Verlagerungsgeschwindigkeit gemäß dem Geschwindigkeitsuntersetzungsverhältnis des ersten Kraftübertragungselements durchgeführt werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0058]** [Fig. 1](#) ist eine Ansicht, die ein Frame-Format einer Konfiguration einer Betriebsvorrichtung gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0059]** [Fig. 2](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Funktionskonfiguration einer Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung von [Fig. 1](#) zeigt;

**[0060]** [Fig. 3](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Funktionskonfiguration einer in [Fig. 2](#) gezeigten primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit zeigt;

**[0061]** [Fig. 4](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Funktionskonfiguration einer in [Fig. 2](#) gezeigten sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit zeigt; und

**[0062]** [Fig. 5\(a\)](#) ist ein Graph, der Steuerungscharakteristiken eines Antriebselement der Antriebsvorrichtung im Arbeitsbeispiel exemplifiziert, und [Fig. 5\(b\)](#) ist ein Graph, der die Steuerungscharakteristiken des Antriebselements der Antriebsvorrichtung in den Vergleichsbeispielen exemplifiziert.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGEN

**[0063]** Nachfolgend wird eine Ausführung der vorliegenden Erfindung in Bezug auf [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) erläutert.

**[0064]** In Bezug auf [Fig. 1](#) ist eine Antriebsvorrichtung **1** der vorliegenden Ausführung eine Vorrichtung, welche durch einen Elektromotor **2** ein angetriebenes Drehelement **5** als angetriebenes Element drehend antreibt und mit einem Drehzahluntersetzer **3** und einer Torsionsstange **4** ausgestattet ist, welche ein Federelement in einem Kraftübertragungssystem zwischen dem Elektromotor **2** und dem angetriebenen Drehelement **5** ist.

**[0065]** In der vorliegenden Ausführung entsprechen der Elektromotor **2**, der Drehzahluntersetzer **3** und

die Torsionsstange **4** jeweils einem Aktuator, einem ersten Kraftübertragungselement und einem zweiten Kraftübertragungselement der vorliegenden Erfindung. Ein Beispiel eines angetriebenen Drehelements **5** enthält ein Bauelement eines Gelenks eines Roboters (ein Gliedelement, das um eine Gelenkachse herum frei drehbar ist).

**[0066]** Eine Ausgangswelle **2b** einer Kraftausgabereinheit eines Elektromotors **2** ist mit einer Eingangswelle (einer Eingangseinheit) **3a** des Drehzahluntersetzers **3** verbunden, so dass sie einstückig mit der Ausgangswelle **2b** drehbar ist. Eine Ausgangswelle (Ausgangseinheit) **3b** des Drehzahluntersetzers **3** ist mit einem eingangsseitigen Ende (einer Eingangseinheit) **4a** der Torsionsstange **4** so verbunden, dass es einstückig mit der Ausgangswelle **3b** drehbar ist. Ferner ist ein ausgangsseitiges Ende (Ausgabereinheit) **4b** der Torsionsstange **4** mit dem angetriebenen Drehelement **5** so verbunden, dass es einstückig mit dem ausgangsseitigen Ende **4b** drehbar ist.

**[0067]** In der vorliegenden Ausführung sind Kreisscheiben **11a**, **11b**, die in der Achseinrichtung der Torsionsstange **4** aufeinander zuweisen, an dem Verbindungsbereich zwischen der Ausgangswelle **3b** des Drehzahluntersetzers **3** und der Torsionsstange **4** angebracht, sowie an dem Verbindungsbereich zwischen der Torsionsstange **4** und dem angetriebenen Drehelement **5**. Die Kreisscheiben **11a**, **11b** sind Bauelemente eines Differentialcodierers **11**, der später erläutert wird, und sind so vorgesehen, dass sie sich jeweils einstückig mit dem eingangsseitigen Ende **4a** und dem ausgangsseitigen Ende **4b** der Torsionsstange **4** drehen.

**[0068]** Mit der oben erwähnten Konfiguration der Antriebsvorrichtung **1** wird eine Drehantriebskraft (Drehmoment), die an der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** erzeugt wird, über den Drehzahluntersetzer **3** und die Torsionsstange **4** in dieser Reihenfolge auf das angetriebene Drehelement **5** übertragen. Durch diese Maßnahme wird der Betrieb (die Drehbewegung) des angetriebenen Drehelements **5** durchgeführt.

**[0069]** In diesem Fall wird die Drehantriebskraft, die vom Elektromotor **2** auf die Torsionsstange **4** über den Drehzahluntersetzer **3** übertragen wird, an der Torsionsstange **4** in eine elastische Kraft (Torsionskraft) umgewandelt, und die elastische Kraft wird auf das angetriebene Drehelement **5** als die Drehantriebskraft auf das angetriebene Drehelement **5** ausgeübt. Ferner ist der Drehzahluntersetzer **3** ein Spannungswellengetriebe, wie etwa zum Beispiel ein Harmonic Drive (eingetragene Handelsmarke) und hat elastische Charakteristiken an dem Kraftübertragungssystem zwischen der Eingangswelle **3a** und der Ausgangswelle **3b** davon. Jedoch haben die elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3**

eine hohe Steifigkeit im Vergleich zu den elastischen Charakteristiken der Torsionsstange.

**[0070]** In der vorliegenden Ausführung wird in der Antriebsvorrichtung **1** der oben erwähnten Konfiguration die Betriebssteuerung des Elektromotors **2** so ausgeführt, dass das Drehmoment (die Drehantriebskraft), die aktuell von dem Elektromotor **2** auf das angetriebene Drehelement **5** übertragen wird, d. h. das Drehmoment, das aktuell von der Torsionsstange **4** auf das angetriebene Drehelement **5** übertragen wird, zu dem Sollmoment wird.

**[0071]** Für die Betriebssteuerung sind in dem System der vorliegenden Ausführung ein Drehcodierer **10**, der an dem Elektromotor **2** angebracht ist, und der Differentialcodierer **11**, der zwischen dem Drehzahluntersetzer **3** und dem angetriebenen Drehelement **5** angeordnet ist, als Sensoren vorgesehen, und es ist auch eine Steuerungsvorrichtung **12** vorgesehen, welche eine CPU, ein RAM, ein ROM und dergleichen enthält.

**[0072]** Der Drehcodierer **10** dient zum Erfassen eines Drehwinkels (Drehbetrag von einer Referenzdrehposition) der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** und gibt ein dem Drehwinkel entsprechendes Signal aus.

**[0073]** Der Differentialcodierer **11** dient zum Erfassen einer Drehwinkeldifferenz zwischen dem eingangsseitigen Ende **4a** und dem ausgangsseitigen Ende **4b** der Torsionsstange **4** (d. h. einen Torsionswinkel zwischen beiden Enden der Torsionsstange **4**) und hat die Kreisscheiben **11a**, **11b**. Der Differentialcodierer **11** gibt, als ein der Drehwinkeldifferenz entsprechendes Signal, ein Signal aus, das einen relativen Drehwinkel zwischen der Kreisscheibe **11a** und der Kreisscheibe **11b** entspricht (einen Drehwinkel in einem Zustand, wo die Torsion der Torsionsstange **4** nicht erzeugt wird, als Referenz).

**[0074]** In die Steuerungsvorrichtung **12** werden die Erfassungssignale des Drehcodierers **10** und des Differentialcodierers **11** eingegeben, und Sollantriebsdrehmomente **tref**, die Sollwerte der auf das angetriebene Drehelement **2** anzulegenden Antriebskraft sind, werden sequentiell von außen her eingegeben. Die Steuerungsvorrichtung **12** führt die Betriebssteuerung des Elektromotors **2** auf der Basis dieser Eingaben durch.

**[0075]** Nachfolgend wird der von der Steuerungsvorrichtung **12** ausgeführte Steuerungsprozess im Detail erläutert.

**[0076]** Mit Bezug auf [Fig. 1](#) ist die Steuerungsvorrichtung, als Funktionskonfigurationen, die von einem implementierten Programm und dergleichen realisiert werden, ausgestattet mit einer primärseitigen Winkel-

messprozesseinheit **20**, die sequentiell einen gemessenen Wert  $\theta_{1\_s}$  eines primärseitigen Drehwinkels  $\theta_1$  als Drehwinkel des eingangsseitigen Endes **4a** der Torsionsstange **4** erzeugt (= der Drehwinkel der Ausgangswelle **3b** des Geschwindigkeitsuntersetzers **3**), eine sekundärseitige Winkelermessprozesseinheit **21**, die sequentiell einen gemessenen Wert  $\theta_{2\_s}$  eines sekundärseitigen Drehwinkels  $\theta_2$  als Drehwinkel des angetriebenen Drehelements **5** erzeugt (= der Drehwinkel des ausgangsseitigen Endes **4b** der Torsionsstange **4**), sowie eine Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22**, die sequentiell einen gemessenen Wert  $\theta_{def\_s}$  einer Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenz  $\theta_{def}$  erzeugt, die eine Abweichung zwischen dem primärseitigen Drehwinkel  $\theta_1$  und dem sekundärseitigen Drehwinkel  $\theta_2$  ( $= \theta - \theta_2$ ) ist.

**[0077]** Die Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenz  $\theta_{def}$  nimmt den Zustand, wo die Torsion der Torsionsstange **4** nicht erzeugt wird, als den Referenzzustand, die Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenz  $\theta_{def}$  in Referenzzustand wird auf Null gesetzt. Daher stimmen im Referenzzustand der primärseitige Drehwinkel  $\theta_1$  und der sekundärseitige Drehwinkel  $\theta_2$  miteinander überein.

**[0078]** Ferner ist die Steuerungseinrichtung **12** ausgestattet mit einer primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23**, die sequentiell einen geschätzten Wert  $\omega_{1\_e}$  einer primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  als Drehwinkelgeschwindigkeit des eingangsseitigen Endes **4a** der Torsionsstange **4** dazu, einer sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24**, die sequentiell einen geschätzten Wert  $\omega_{2\_s}$  einer sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$  als die Drehwinkelgeschwindigkeit des angetriebenen Drehelements **5** schätzt, einer Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25**, die sequentiell ein Betriebsziel bestimmt, welches den Betrieb des Elektromotors **2** definiert, sowie einer Motorsteuerungseinheit **26**, die die Betriebssteuerung des Elektromotors **2** gemäß dem Betriebsziel durchführt.

**[0079]** Die Steuerungsvorrichtung **12** führt sequentiell den Prozess jeder oben erläuterten Funktionseinheiten in einem vorbestimmten arithmetischen Prozesszyklus aus, wie nachfolgend erläutert wird.

**[0080]** Das heißt, die Steuerungsvorrichtung **12** führt zuerst den Prozess der primärseitigen Winkelermessprozesseinheit **20**, der Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** und der sekundärseitigen Winkelermessprozesseinheit **21** aus.

**[0081]** In diesem Fall werden die Erfassungssignale des Decodierers **10** in die mehrseitige primärseitige Winkelermessprozesseinheit **20** eingegeben. Danach erzeugt die primärseitige Winkelermessprozesseinheit **20** einen Wert, der erhalten wird durch Divi-

dieren des Drehwinkelwerts der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2**, der direkt von dem Eingangssignal erkannt wird, durch ein Drehzahluntersetzungsverhältnis  $R$  des Geschwindigkeitsuntersetzers **3**, als einen primärseitigen Drehwinkelermesswert  $\theta_{1\_s}$ .

**[0082]** Ferner werden die Erfassungssignale des Differentialcodierers **11** in die Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** eingegeben. Danach erzeugt die Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** den Wert einer Winkeldifferenz zwischen den Kreisscheiben **11a**, **11b**, die direkt von dem Eingangserfassungssignal erkannt werden, als den Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkelermesswert  $\theta_{def\_s}$ .

**[0083]** Ferner werden die gemessenen Werte  $\theta_{1\_s}$ ,  $\theta_{def\_s}$ , die jeweils wie oben erläutert, die von der primärseitigen Winkelermessprozesseinheit **20** und der Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** erzeugt werden, in die sekundärseitige Winkelermessprozesseinheit **21** eingegeben. Danach erzeugt die sekundärseitige Winkelermessprozesseinheit **21** einen Wert, der erhalten wird durch Subtrahieren des Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkelermesswerts  $\theta_{def\_s}$  von dem primärseitigen Drehwinkelermesswert  $\theta_{1\_s}$  ( $= \theta_{1\_s} - \theta_{def\_s}$ ) als einen sekundärseitigen Drehwinkelermesswert  $\theta_{2\_s}$ .

**[0084]** Ergänzend kann man drei Arten von Messwerten  $\theta_{1\_s}$ ,  $\theta_{2\_s}$  und  $\theta_{def\_s}$  aus den Erfassungssignalen bekommen, wenn zwei beliebige von dem Drehwinkelausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** oder des primärseitigen Drehwinkels  $\theta_1$ , die Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkelermesswert  $\theta_{def}$  und der sekundärseitige Drehwinkel  $\theta_2$  mittels beliebigen Sensoren erfasst werden. Daher kann die Kombination der Erfassungsobjekte zum Erhalt der drei Arten von Messwerten  $\theta_{1\_s}$ ,  $\theta_{2\_s}$  und  $\theta_{def\_s}$  andere Kombinationen sein, als der Satz des Drehwinkels der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** und der Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkelermesswert  $\theta_{def}$ .

**[0085]** Alternativ können der primärseitige Drehwinkel  $\theta_1$ , die Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkelermesswert  $\theta_{def}$  und der sekundärseitige Drehwinkel  $\theta_2$  jeweils unabhängig erfasst werden.

**[0086]** In der vorliegenden Ausführung entspricht die primärseitige Winkelermessprozesseinheit **20**, die sekundärseitige Winkelermessprozesseinheit **21** und die Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** jeweils einem primärseitigen Verlagerungspositionsmesselement, einem sekundärseitigen Verlagerungspositionsmesselement und einem Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenzmesselement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entspricht der primärseitige

Drehwinkel  $\theta_1$ , der sekundärseitige Drehwinkel  $\theta_2$  und die Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenz  $\theta_{def}$  jeweils einer primärseitigen Verlagerungsposition, einer sekundärseitigen Verlagerungsposition und einer Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz der vorliegenden Erfindung.

**[0087]** Anschließend führt die Steuerungsvorrichtung **12** einen Prozess der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** und der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** durch. Um zu verhindern, dass die Drehantriebskraft, die von dem Elektromotor **2** auf das angetriebene Element **5** übertragen wird, aufgrund der elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3** und der Torsionsstange **4** vibrieren, oder um zu verhindern, dass eine Konvergenz der Drehantriebskraft (Konvergenz in Bezug auf den Sollwert) und dergleichen aufgrund von Störungsfaktoren wie etwa Reibungen abfällt, erzeugen die Schätzeinheiten **23**, **24** sequentiell einen primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\theta_{1\_e}$  und einen sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\theta_{2\_e}$ , während eine Einstellung der Frequenzkomponente und dergleichen ausgeführt wird.

**[0088]** Zuerst wird eine Erläuterung zu dem Prozess der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** angegeben. Der letzte Wert des primärseitigen Drehwinkelmesswerts  $\theta_{1\_s}$  wird sequentiell von der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** eingegeben, und es wird auch der letzte Wert eines Sollwerts  $\tau_{m\_cmd}$  des Ausgangsdrehmoments des Elektromotors **2** als Kraftsollparameter, der bereits im Steuerungsprozess der Motorsteuerungseinheit **20** erzeugt wird (wird später im Detail erläutert) (nachfolgend als Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  bezeichnet) sequentiell in die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** eingegeben.

**[0089]** Danach erzeugt die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** sequentiell den primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  aus diesen Eingangswerten durch einen Prozess, der im Blockdiagramm der [Fig. 3](#) gezeigt ist.

**[0090]** Insbesondere gibt die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  des Elektromotors **2**, das sequentiell von der Motorsteuerungseinheit **26** eingegeben wird, in einen Filter **23a** ein und führt einen Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristik an dem Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  durch den Filter **23a** aus. In diesem Fall ist der Filter **23** ein Tiefpassfilter, dessen Übertragungsfunktion durch  $1/(T \cdot s + 1)$  ausgedrückt ist (ein Tiefpassfilter, dessen eine Sperrfrequenz definierende Zeitkonstante  $T$  ist).

**[0091]** Der Wert der Zeitkonstante  $T$  wird auf einen Zeitwert gesetzt, der kürzer ist als die später erläuterte Zeitkonstanten  $T_d$ ,  $T_w$ ,  $T_{p1}$  und  $T_{p2}$ .

**[0092]** Ferner differenziert die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** den primärseitigen Drehwinkelmesswert  $\theta_{1\_s}$ , der sequentiell von der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **20** eingegeben wird, durch einen Differenzierer, zum Erhalt einer Differenzierung erster Ordnung. Ferner führt die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** den Prozess zur Berechnung einer Abweichung zwischen einem Differentialwert erster Ordnung  $d\theta_{1\_s}/dt$  (eine zeitliche Änderungsrate von  $\theta_{1\_s}$ ) und dem letzten Wert des primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwerts  $\omega_{1\_e}$ , der bereits von der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** erzeugt wurde (einen vorherigen Zeitwert, berechnet im vorherigen Arithmetikprozesszyklus der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23**) ( $= d\theta_{1\_s}/dt - \omega_{1\_e}$ ) durch einen Rechner **23c** aus.

**[0093]** Danach berechnet die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** eine Korrekturstellgröße zum Korrigieren des Ausgangswerts des Filters **23a**, um die Abweichung, die vom Rechner **23c** berechnet ist, durch eine Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren. In diesem Fall wird, als die Rückkopplungsregelungsvorschrift, zum Beispiel eine Proportionalregel verwendet. Deshalb berechnet die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** die Korrekturstellgröße durch Ausführung des Prozesses der Multiplikation einer proportionalen Verstärkung  $K_{obs}$  eines vorbestimmten Werts mit der vom Rechner **23c** berechneten Abweichung durch einen Multiplizierer **23d**.

**[0094]** Anschließend korrigiert die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** den Ausgangswert des Filters **23a** durch Ausführung eines Prozesses zum Addieren der Korrekturstellgröße zu dem Ausgangswert des Filters **23a** (einen Filterwert des gewünschten Motordrehmoments  $\tau_{m\_cmd}$ ) durch einen Rechner **23e**. Der Wert nach Korrektur (der Ausgangswert des Rechners **23e**) hat eine Bedeutung als geschätzter Wert des gesamten Eingangsdrehmoments in Bezug auf ein Drehsystem, das den Elektromotor **2** und den Drehzahluntersetzer **3** kombiniert (einen geschätzten Wert des vom Elektromotor **2** erzeugten Ausgangsdrehmoments).

**[0095]** Anschließend führt die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** einen Prozess zum Multiplizieren eines Kehrwerts eines vorbestimmten Werts  $J_m (= 1/J_m)$  mit dem Ausgangswert des Rechners **23e** mit einem Multiplizierer **23f** aus. Der vorbestimmte Wert  $J_r$  ist ein vorab gesetzter konstanter Wert als äquivalentes Trägheitsmoment des Drehsystems, das den Elektromotor **2** und den Drehzahluntersetzer **3** kombiniert. Daher hat der Ausgangs-

wert des Multiplizierers **23f**, der zu einem Wert proportional zum Ausgangswert des Rechners **23e** wird, eine Bedeutung als geschätzter Wert der Drehwinkelbeschleunigung der Ausgangswelle **3b** des Drehzahluntersetzers **3**.

**[0096]** Danach führt die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** einen Prozess zum Integrieren des Ausgangswerts des Multiplizierers **23f** durch einen Integrator **23g** aus, und der Wert des Integrals wird als der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  erzeugt.

**[0097]** Mit dem oben erwähnten Prozess der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** wird der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  sequentiell erzeugt, während eine exzessive Schwankung (hochfrequente Fluktuation) im Vergleich zu dem Differenzwert erster Ordnung  $d\theta_{1\_s}/dt$  des primärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{1\_s}$  unterdrückt wird, während er ferner dem Differenzwert erster Ordnung  $d\theta_{1\_s}/dt$  folgt.

**[0098]** Ergänzend entspricht, in der vorliegenden Ausführung, die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **23** dem primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entspricht die primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  einer primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit der vorliegenden Erfindung.

**[0099]** Ferner entspricht der Filter **23a** einem Sollkraftfilterelement der vorliegenden Erfindung. Das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$ , das der Eingangswert des Filters **23a** ist, und der Ausgangswert des Filters **23a** entsprechen jeweils einer Sollkraft (oder einem Sollkraftparameter) und dem Sollkraftfilterwert der vorliegenden Erfindung. Ferner wird ein Korrekturwert der vorliegenden Erfindung durch den Differenzierer **23b**, den Rechner **23c**, dem Multiplizierer **23d** und den Rechner **23e** realisiert.

**[0100]** Nachfolgend wird der Prozess der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** erläutert. Ein letzter Wert des sekundärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{2\_s}$  und ein letzter Wert des Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmeßwerts  $\theta_{def\_s}$  jeweils der sekundärseitigen Winkelmeßprozesseinheit **21** und der Primärseiten-Sekundärseiten-Winkelmeßprozesseinheit **22** werden sequentiell in die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** eingegeben.

**[0101]** Die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** erzeugt sequentiell einen sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  aus diesen Eingaben durch einen Prozess, der im Blockdiagramm von [Fig. 4](#) gezeigt ist.

**[0102]** Genauer gesagt, die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** führt einen Prozess einer sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwertzeugungseinheit **24a** durch. Die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwertzeugungseinheit **24a** führt einen Prozess zum Schätzen eines Gesamt-Eingangsdrehmoments (Wirkkraft), das auf das angetriebene Element **5** wirkt, und zur Berechnung eines Integralwerts aus, der in durch Integrieren des geschätzten Werts der Drehwinkelbeschleunigung des angetriebenen Drehelements **5** erhalten wird, der durch das Eingangsdrehmoment erzeugt wird, als Basisschätzwert  $\omega_{2\_e0}$  einer sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$ .

**[0103]** Im näheren Detail gibt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwertzeugungseinheit **24a** den sekundärseitigen Drehwinkelmeßwert  $\theta_{2\_s}$ , der sequentiell von der sekundärseitigen Winkelmeßprozesseinheit **21** eingegeben wird, in eine Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** aus. Die Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** führt einen Prozess zum Berechnen eines Werts aus, der erhalten wird durch Multiplizieren eines vorbestimmten Werts  $J_1$  mit einem Differentialwert zweiter Ordnung  $d^2\theta_{2\_s}/dt^2$  von  $\theta_{2\_s}$ , und zur Durchführung des Filterprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem berechneten Wert. Der Filterprozess mit Tiefpasscharakteristiken ist ein Filterprozess, worin deren Übertragungsfunktion ausgedrückt wird durch  $1/(T_d \cdot s + 1)$  (der Filterprozess mit Tiefpasscharakteristiken, worin eine Zeitkonstante, welche eine Sperrfrequenz definiert,  $T_d$  ist).

**[0104]** Der vorbestimmte Wert  $J_1$  ist ein konstanter Wert, der vorab als äquivalentes Trägheitsmoment des angetriebenen Drehelements **5** gesetzt ist (einschließlich Elementen an der Lastseite, die sich einstückig damit drehen). Daher hat der Wert, der durch Multiplizieren des vorbestimmten Werts  $J_1$  mit dem Differentialwert zweiter Ordnung  $d^2\theta_{2\_s}/dt^2$  von  $\theta_{2\_s}$  erhalten worden ist, eine Bedeutung als einen Wert, den man erhält durch Umwandeln des Differentialwerts zweiter Ordnung  $d^2\theta_{2\_s}/dt^2$  zu dem gemessenen Wert des gesamten Eingangsdrehmoments, das auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt. Daher erhält man den gefilterten Wert durch Ausführung des Filterprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem gemessenen Wert des Eingangsdrehmoment des angetriebenen Drehelements **5**, der durch Umwandeln des Differenzwert zweiter Ordnung  $d^2\theta_{2\_s}/dt^2$  von  $\theta_{2\_s}$  mit der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** erhalten wird.

**[0105]** Ferner führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwertzeugungseinheit **24a** einen Prozess zum Multiplizieren eines vorbestimmten Werts  $K_{spr}$ ,

der mit dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{\text{def}_s}$ , der sequentiell von der Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit **22** eingegeben wird, mit einem Multiplizierer **24a2** durch. Der vorbestimmte Wert  $K_{\text{spr}}$  ist ein Wert, der vorab als Federkonstante in Bezug auf die Torsion der Torsionsstange **4** gesetzt ist. Daher wird durch den Prozess des Multiplizierers **24a2**, der Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{\text{def}_s}$  (ein gemessener Wert eines Torsionswinkels der Torsionsstange **4**) in einen gemessenen Wert eines elastischen Kraftdrehmoments umgewandelt, das durch elastische der Torsionsverformung der Torsionsstange **4** erzeugt wird. Nachfolgend wird der Ausgangswert des Multiplizierers **24a2** als gewandelter elastischer Kraftdrehmomentwert bezeichnet.

**[0106]** Ferner gibt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** den gewandelten elastischen Kraftdrehmomentwert in einen Filter **23a3** ein und führt den Filterprozess mit Tiefpasscharakteristik an dem umgewandelten elastischen Kraftdrehmomentwert durch. Der Filter **24a3** ist ein Filter, dessen Übertragungsfunktion durch  $1/(T_d \cdot s + 1)$  ausgedrückt ist, d. h. der Tiefpassfilter hat identische Charakteristiken mit dem Filterprozess der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1**.

**[0107]** Die Zeitkonstante  $T_d$  in der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** und dem Filter **24a3** ist so gesetzt, dass die hierdurch definierte Sperrfrequenz eine niedrigere Frequenz wird als eine Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz) gemäß den elastischen Charakteristiken der Torsionsstange **4**.

**[0108]** Ergänzend haben die elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3** eine höhere Steifigkeit als die elastischen Charakteristiken der Torsionsstange **4**. Daher wird die Resonanzfrequenz gemäß den elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3** zu einer höheren Frequenz als der Resonanzfrequenz gemäß den elastischen Charakteristiken der Torsionsstange **4**. Daher enthält, durch Setzen der Zeitkonstante  $T_d$  wie oben erläutert, die Frequenzkomponente, die durch jeden Filterprozess der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** und des Filters **24a3** entfernt wurde, demzufolge nicht nur die Resonanzfrequenz gemäß den elastischen Charakteristiken der Torsionsstange **4**, sondern auch die Resonanzfrequenz entsprechend den elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3**.

**[0109]** Anschließend führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einen Prozess zur Berechnung einer Abweichung zwischen dem Ausgangswert der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Pro-

zesseinheit **24a1** und dem Ausgangswert des Filters **24a3** durch einen Rechner **24a4** durch. Ferner führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einen Prozess zum Multiplizieren einer Verstärkung  $K_d$  ( $\leq 1$ ) eines vorbestimmten Werts mit der vom Rechner **24a4** berechneten Abweichung durch einen Multiplizierer **24a5** durch. Danach führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einen Prozess des Addierens des Ausgangswerts des Multiplizierers **24a5** mit dem gewandelten elastischen Kraftdrehmomentwert, der der Ausgangswert des Multiplizierers **24a2** ist, mit einem Rechner **24a6** durch.

**[0110]** In diesem Fall hat der Ausgangswert des Multiplizierers **24a5**, der zu dem umgewandelten elastischen Kraftdrehmomentwert addiert ist, eine Bedeutung als geschätzter Wert eines externen Drehmoments (einschließlich eines durch Reibkraft hervorgerufenen Drehmoments), anders als das elastische Kraftdrehmoment, das von der Torsionsstange **4** auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt. Daher entspricht der Ausgangswert des Rechners **24a6** einem geschätzten Wert des gesamten Eingangsdrehmoments (der Wirkkraft), das auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt.

**[0111]** Anschließend führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einen Prozess zum Multiplizieren eines Kehrwerts des äquivalenten Drehkreismoments  $J_1 (= 1/J_1)$  des angetriebenen Drehelements **5** mit dem Ausgangswert des Rechners **24a6** mit einem Multiplizierer **24a7** aus. Ferner führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einen Prozess zum Integrieren des Ausgangswerts des Multiplizierers **24a7** mit einem Integrator **24a8** aus.

**[0112]** Weil, wie oben erläutert, der Ausgangswert des Rechners **24a6** dem geschätzten Wert des gesamten Eingangsdrehmoments entspricht, das auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt, hat der Ausgangswert des Multiplizierers **24a7**, der zu einem Wert proportional zum Ausgangswert des Rechners **24a6** wird, eine Bedeutung als geschätzter Wert einer Drehwinkelbeschleunigung des angetriebenen Drehelements **5**. Daher berechnet die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** eine Drehwinkelgeschwindigkeit des angetriebenen Drehelements **5** durch Integrieren des Ausgangswerts des Multiplizierers **24a7** mit dem Integrator **24a6** und erzeugt den berechneten Wert als Basisschätzwert  $\omega_{2\_e0}$  einer sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$ .

**[0113]** Dies beendet den Prozess der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a**.

**[0114]** In der vorliegenden Ausführung wird der Filterprozess mit identischen Tiefpasscharakteristiken durch jeweils eine Filterprozesseinheit **24a1** und den Filter **24a3** separat ausgeführt, jedoch kann dies durch das Folgende ersetzt werden. Das heißt, nach Berechnung einer Abweichung zwischen einem Wert, in dem der Differentialwert zweiter Ordnung des sekundärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{2s}$  in das Eingangsdrehmoment des angetriebenen Drehelements **5** umgewandelt ( $=J1d^2\theta_{2s}/dt^2$ ) ist, und dem Ausgangswert des Multiplizierers **24a2** (den gewandelten elastischen Kraftdrehmomentwert), führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basis-schätzwert-erzeugungseinheit **24a** den Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristik (den Filterungsprozess), worin die Übertragungsfunktion durch  $1/(Td \cdot s + 1)$  repräsentiert wird, an der Abweichung durch. Danach wird der Filterwert der Abweichung dem Multiplizierer **24a5** eingegeben.

**[0115]** Zusätzlich zur Ausführung des Prozesses der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeits-Basis-schätzwert-erzeugungseinheit **24a** wie oben erläutert, gibt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-schätzeinheit **24** ferner den sekundärseitigen Drehwinkelmeßwert  $\theta_{2s}$  in eine Gefilterte-Differenzierungs-Prozesseinheit **24b** ein. Die Gefilterte-Differenzierungs-Prozesseinheit **24b** führt einen Prozess zur Berechnung eines Differentialwerts erster Ordnung  $d^2\theta_{2s}/dt$  von  $\theta_{2s}$  durch und führt den Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken an dem berechneten Wert durch. Der Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken ist ein Filterungsprozess, worin eine Übertragungsfunktion ausgedrückt wird durch  $1/(Tw \cdot s + 1)$  (der Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken, worin die Zeitkonstante, welche die Sperrfrequenz definiert,  $Tw$  ist).

**[0116]** In diesem Fall ist die Zeitkonstante  $Tw$  eines Filters **24b** in der vorliegenden Ausführung auf einen Zeitwert gesetzt, der länger ist als die Zeitkonstante  $Td$  der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** und des Filters **24a3** der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeits-Basis-schätzwert-erzeugungseinheit **24a**. Daher ist die Sperrfrequenz des Filters **24b** eine Frequenz, die niedriger ist als die Sperrfrequenz der Gefilterte-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1** und des Filters **24a3**.

**[0117]** Danach führt die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** einen Prozess zur Berechnung einer Abweichung zwischen dem Ausgangswert des Filters **24b** und einem letzten Wert unter den erzeugten sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwerten  $\theta_{2e}$  (dem vorherigen Wert, der in dem vorherigen Arithmetikprozesszyklus der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** berechnet wurde) mit einem Rechner **24c** durch.

**[0118]** Ferner berechnet die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** die Korrekturstellgröße zum Korrigieren des Basis-schätzwerts  $\omega_{2e0}$  (den Ausgangswert des Integrators **24a8**), um die vom Rechner **24c** berechnete Abweichung durch die Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren. In diesem Fall wird als die Rückkopplungsregelungsvorschrift zum Beispiel eine Proportionalregel verwendet. Das heißt, die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** berechnet die Korrekturstellgröße durch Ausführung eines Prozesses zum Multiplizieren eines Proportional-faktors  $K_w$  mit vorbestimmtem Wert zu der Abweichung durch einen Multiplizierer **24d**.

**[0119]** Anschließend korrigiert die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** den geschätzten Basiswert  $\omega_{2e0}$  durch Ausführen eines Prozesses zum Addieren der Korrekturstellgröße zu dem geschätzten Basiswert  $\omega_{2e0}$  durch einen Rechner **24e** und erzeugt den Wert nach Korrektur als den sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2e}$ .

**[0120]** Durch den oben erläuterten Prozess der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** wird der sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2e}$  sequentiell erzeugt, während eine exzessive Schwankung (eine hochfrequente Fluktuation) im Vergleich zu dem Differentialwert erster Ordnung  $d\theta_{2s}/dt$  des sekundärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{2s}$  unterdrückt wird, und wobei dieser auch dem Differentialwert erster Ordnung  $d\theta_{2s}/dt$  folgt. In diesem Fall wird der geschätzte Basiswert  $\omega_{2e0}$  berechnet, während der Einfluss der externen Kraft, die auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt, anders als das elastische Kraftdrehmoment der Torsionsstange **4**, addiert wird. Daher wird es möglich die Stabilität und Zuverlässigkeit des sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwerts  $\omega_{2e}$  zu erhöhen.

**[0121]** Ergänzend entspricht in der vorliegenden Ausführung die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit **24** einem sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement. In diesem Fall entspricht die sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$  einer sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit.

**[0122]** Ferner entspricht die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basis-schätzwert-Erzeugungseinheit **24a** einem sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeits-Basis-schätzwert-Erzeugungselement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entsprechen der Ausgangswert des Multiplizierers **24a2**, der Ausgangswert des Filters **24a3**, der Ausgangswert der gefilterten Differenz zweiter Ordnung-Prozesseinheit **24a1**, der Ausgangswert des Rechners **24a4** und der Ausgangs-

wert des Rechners **24a6** jeweils einem gewandelten Elastikkraftwert, einem Elastikkraftfilterwert, einem Wirkkraft-Basisfilterwert, einer Kraftabweichung und einem geschätzten Wert einer Angetriebenes-Element-Wirkkraft der vorliegenden Erfindung.

**[0123]** Ferner entspricht der Filter **24b** einem dritten Filterelement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entspricht der Ausgangswert des Filters **24b** einem sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsfilterwert der vorliegenden Erfindung.

**[0124]** Zurück zur Erläuterung von **Fig. 2**. Nach Ausführung des Prozesses der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **23** und der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **24**, wie oben erläutert, führt die Steuerungsvorrichtung **12** anschließend den Prozess der Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** aus.

**[0125]** Der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  und der sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  werden in die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** eingegeben, und ein Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$ , das ein Sollwert des Antriebsdrehmoments in Ausübung auf das angetriebene Drehelement **5** von seitens des Elektromotors **2** ist (das von der Torsionsstange **4** auf das angetriebene Drehelement **5** auszuübende Antriebsdrehmoment), werden sequentiell dorthin eingegeben.

**[0126]** Danach bestimmt die Motorbetriebszielwertbestimmungseinheit **25** das Betriebsziel, das den Betrieb des Elektromotors **2** mittels dieser Eingangswerte definiert. Das Betriebsziel ist in der vorliegenden Ausführung ein Sollwert, der die Drehwinkelgeschwindigkeit der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** definiert. Insbesondere ist in der vorliegenden Ausführung das Betriebsziel ein Sollwert  $\omega_{1\_cmd}$  der primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  (= ein Sollwert der Drehwinkelgeschwindigkeit der Ausgangswelle **3b** des Drehzahluntersetzers **3**). In diesem Fall wird ein Wert, erhalten durch Multiplizieren des Drehzahluntersetzungsverhältnisses  $R$  des Drehzahluntersetzers **3** mit dem primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$ , zu dem Sollwert der Drehwinkelgeschwindigkeit der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2**.

**[0127]** Insbesondere bestimmt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** sequentiell den primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$ , wie nachfolgend erläutert.

**[0128]** Das heißt, die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** führt einen Prozess zum Berechnen einer Abweichung  $\Delta\omega_{12}$  zwischen dem eingegebenen sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  und dem primärseitigen Winkelge-

schwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  ( $\omega_{2\_e} - \omega_{1\_e}$ ) mit einem Rechner **25a** durch. Danach führt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** den Filterprozess mit Tiefpasscharakteristiken an dem Ausgangswert  $\Delta\omega_{12}$  durch, indem der Ausgangswert  $\Delta\omega_{12}$  des Rechners **25a** in den Filter **25b** eingegeben wird. In diesem Fall ist der Filter **25b** ein Tiefpassfilter, dessen Übertragungsfunktion ausgedrückt wird durch  $T_{pa}/(T_{p1}s + 1)$  (ein Tiefpassfilter einschließlich eines Prozesses der Multiplizierung eines Faktors  $T_{pa}$  mit dem Eingangswert, und einer Zeitkonstante, die die Sperrfrequenz definiert, ist  $T_{p1}$ ).

**[0129]** Ferner führt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** eine Prozess des Multiplizierens eines Kehrwerts des vorbestimmten Werts  $K_{spr}$  als der Federkonstante der Torsionsstange **4** (=  $1/K_{spr}$ ) mit dem Eingangssollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  mit einem Multiplizierer **25c** durch. Das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  ist ein Sollwert des Antriebsdrehmoments, das von der Torsionsstange **4** auf das angetriebene Drehelement **5** wirkt, so dass es eine Bedeutung als Sollwert des elastischen Kraftdrehmoments hat, das von der Torsionsstange **4** zu erzeugen ist. Daher wird der Ausgangswert des Multiplizierers **25c** (=  $t_{ref}/K_{spr}$ ) zu einem Wert, der durch Umwandeln des Sollantriebsdrehmoments  $t_{ref}$  in einen Sollwert  $\theta_{def\_cmd}$  der primärseitigen-sekundärseitigen Drehwinkeldifferenz  $\theta_{def}$  erhalten wird, der einem Sollwert eines elastischen Verformungsbetrags der Torsionsstange **4** entspricht.

**[0130]** Danach führt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** einen Prozess zur Berechnung einer Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  zwischen dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzsollwert  $\theta_{def\_cmd}$ , der vom Multiplizierer **25c** wie oben erläutert errechnet wird und dem eingegebenen Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{def\_s}$  (=  $\theta_{def\_cmd} - \theta_{def\_s}$ ) mit einem Rechner **25d** durch.

**[0131]** Ferner ergibt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** die vom Rechner **25d** berechnete Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  in einen Filter **25e** ein und führt den Filterungsprozess mit Tiefpasscharakteristiken an der Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  durch. In diesem Fall ist der Filter **25e** ein Tiefpassfilter, dessen Übertragungsfunktion ausgedrückt wird durch  $T_{pb}/(T_{p2}s + 1)$  (ein Tiefpassfilter einschließlich eines Prozesses zum Multiplizieren eines Faktors  $T_{pb}$  zu dem Eingangswert, und worin eine Zeitkonstante, die die Sperrfrequenz definiert,  $T_{pb}$  ist).

**[0132]** Die Zeitkonstanten  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  der jeweiligen Filter **25b**, **25e** werden auf Zeitwerte gesetzt, die kürzer sind als die Zeitkonstanten  $T_d$ ,  $T_w$  in der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **24**, und die Sperrfrequenzen der Filter **25b**, **25e**, die durch die jeweiligen Zeitkonstanten  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  defi-

niert sind, werden so gesetzt, dass sie zu tieferen Frequenzen als die Resonanzfrequenz entsprechend den elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3** werden.

**[0133]** Zusätzlich werden die Werte der Zeitkonstanten  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  und die Werte der jeweiligen Verstärkungsfaktoren  $T_{pa}$ ,  $T_{pb}$  so gesetzt, dass sich durch Kombination der Filter **25b**, **25e** eine Funktion realisieren, die einer Phasenführungskompensation ähnlich ist. Zum Beispiel werden in diesem Fall die Zeitkonstanten  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  auf voneinander unterschiedliche Werte gesetzt, so dass  $T_{p1} > T_{p2}$  wird und  $T_{pa}$ ,  $T_{pb}$  werden auf voneinander unterschiedliche Werte gesetzt, so dass  $T_{pa} > T_{pb}$  werden.

**[0134]** Anschließend führt die Motorbetriebszielwertbestimmungseinheit **25** einen Prozess des Aufaddierens der Ausgangswerte der Filter **25b**, **25e** mit einem Rechner **25f** aus. Ferner bestimmt die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** den primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  durch Ausführung eines Prozesses zum Multiplizieren eines Faktors  $K_{cmp}$  mit vorbestimmtem Wert zu dem Ausgangswert des Rechners **25f**, mit einem Multiplizierer **25g**.

**[0135]** Oben sind die Details des Prozesses der Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** angegeben.

**[0136]** Ergänzend entspricht, in der vorliegenden Ausführung, die Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** einem Aktuatorbetriebszielbestimmungselement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entspricht der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  einem Betriebsziel der vorliegenden Erfindung.

**[0137]** Ferner entsprechen die Filter **25b**, **25e** jeweils einem ersten Filterelement und einem zweiten Filterelement der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall entspricht der Ausgangswert des Filters **25b** einem ersten Filterwert der vorliegenden Erfindung, und der Ausgangswert des Filters **25e** entspricht einem zweiten Filterwert der vorliegenden Erfindung. Ferner entspricht das Sollantriebsdrehmoment  $\tau_{ref}$  einer Sollantriebskraft der vorliegenden Erfindung, und der Ausgangswert des Multiplizierers **25c** entspricht einem Sollwert eines gemessenen Elastizitätsbetrags der vorliegenden Erfindung. Ferner entspricht der Ausgangswert des Rechners **25f** einem linearen Kopp lungswert der vorliegenden Erfindung.

**[0138]** In der vorliegenden Ausführung berechnet der Rechner **25d** die Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  zwischen dem Sollwert  $\theta_{def\_cmd}$  der Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenz  $\theta_{def}$  und dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{def\_s}$ . Jedoch kann als Ersatz dafür folgende angewendet werden. Das heißt, eine

Abweichung zwischen dem Sollantriebsdrehmoment  $\tau_{ref}$  und einem Wert, der durch Multiplizieren des vorbestimmten Werts  $K_{spr}$  als der Fehlerkonstante der Torsionsstange **4** mit dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{def\_s}$ , (d. h. eines Werts, erhalten durch Umwandeln von  $\theta_{def\_s}$  in das Elastikkraft-Drehmoment der Torsionsstange **4**), und die Abweichung wird in den Filter **25e** eingegeben.

**[0139]** Ferner wird in der vorliegenden Ausführung der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  als das Betriebsziel bestimmt, das den Betrieb des Elektromotors **2** definiert. Jedoch kann als Ersatz für  $\omega_{1\_cmd}$  auch der Sollwert der Drehwinkelgeschwindigkeit der Ausgangswelle **2b** des Elektromotors **2** bestimmt werden.

**[0140]** Anschließend führt die Steuerungsvorrichtung **12** einen Prozess der Motorsteuerungseinheit **26** aus. In die Motorsteuerungseinheit **26** werden der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  sequentiell jeweils von der Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** und der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzungseinheit **23** eingegeben und der Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzsollwert  $\theta_{def\_cmd}$  wird von der Motorbetriebszielbestimmungseinheit **25** eingegeben.

**[0141]** Danach führt die Motorsteuerungseinheit **26** die Betriebssteuerung des Elektromotors **2** mittels dieser Eingangswerte aus.

**[0142]** Insbesondere führt die Motorsteuerungseinheit **26** einen Prozess zum Multiplizieren eines Faktors  $K_{tff}$  mit vorbestimmtem Wert mit dem eingegebenen Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzsollwert  $\theta_{def\_cmd}$  durch einen Multiplizierer **26a** aus und bestimmt einen Basissollwert  $\tau_{m\_ff}$ , der ein vorwärtskoppelnder Sollwert des Ausgangsdrehmoments des Elektromotors **2** ist.

**[0143]** Der Wert des Faktors  $K_{tff}$  ist ein Wert, der durch Dividieren des vorbestimmten Werts  $K_{spr}$  aus der Federkonstante der Torsionsstange **4** mit dem Drehzahluntersetzungsverhältnis  $R$  des Drehzahluntersetzers erhalten wird ( $= K_{spr}/R$ ). Daher kann der Basissollwert  $\tau_{m\_ff}$  des Ausgangsdrehmoments des Elektromotors **2** bestimmt werden, indem das Sollantriebsdrehmoment  $\tau_{ref}$  durch das Drehzahluntersetzungsverhältnis  $R$  des Drehzahluntersetzers **3** dividiert wird.

**[0144]** Ferner führt die Motorsteuerungseinheit **26** einen Prozess zur Berechnung einer Abweichung  $\Delta\omega_1$  zwischen dem eingegebenen primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  und dem primärseitigen Drehwinkelgeschwindig-

keitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  ( $= \omega_{1\_cmd} - \omega_{1\_e}$ ) mit einem Rechner **26b** durch.

**[0145]** Danach bestimmt die Motorsteuerungseinheit **26** die Korrekturstellgröße  $\tau_{m\_fb}$  zum Korrigieren des Basissollwerts  $\tau_{m\_ff}$ , um die vom Rechner **26** berechnete Abweichung  $\Delta\omega_1$  durch die Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren. In diesem Fall wird als die Rückkopplungsregelungsvorschrift eine Proportionalregel verwendet. Das heißt, die Motorsteuerungseinheit **26** bestimmt die Korrekturstellgröße  $\tau_{m\_fb}$  durch Ausführung eines Prozesses zum Multiplizieren eines proportionalen Faktors  $K_v$  eines vorbestimmten Werts mit der Abweichung  $\Delta\omega_1$  durch den Multiplizierer **26c**.

**[0146]** Anschließend bestimmt die Motorsteuerungseinheit **26** das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$ , das ein Sollwert des Ausgangsdrehmoments des Elektromotors **2** ist, durch Ausführung eines Prozesses zum Addieren der Korrekturstellgröße  $\tau_{m\_fb}$ , die der Ausgangswert des Multiplizierers **26c** ist, zu dem Basissollwert  $\tau_{m\_ff}$ , der der Ausgangswert des Multiplizierers **26a** ist (einen Prozess zum Korrigieren des Basissollwerts  $\tau_{m\_ff}$  mit der Korrekturstellgröße  $\tau_{m\_fb}$ ) mit dem Rechner **26**.

**[0147]** Das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$ , das von der Motorsteuerungseinheit **26** wie oben erläutert bestimmt wurde, wird in die primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **23** als Kraftsollparameter eingegeben.

**[0148]** Anschließend wandelt die Motorsteuerungseinheit **26** das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  in einen Strombefehlswert  $I_{m\_cmd}$  um, der ein Sollwert eines Erregungsstroms eines Ankerwicklungsdrahts (nicht gezeigt) des Elektromotors **2** ist, durch Ausführung eines Prozesses zum Multiplizieren eines Drehmoment-Stromumwandlungskoeffizienten  $K_{ti}$  mit vorbestimmtem Wert zu dem Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$ , das wie oben erläutert bestimmt worden ist.

**[0149]** Danach steuert die Motorsteuerungseinheit **26** den Erregungsstrom des Ankerwicklungsdrahts des Elektromotors **2** durch Ausführung eines Prozesses einer Stromsteuerungseinheit **26f** gemäß dem Strombefehlswert  $I_{m\_cmd}$ . Insbesondere erfasst die Stromsteuerungseinheit **26f** den Erregungsstrom des Ankerwicklungsdrahts des Elektromotors **2** durch einen Stromsensor, der nicht gezeigt ist, regelt rückkoppelnd den Erregungsstrom des Ankerwicklungsdrahts des Elektromotors **2**, um den erfassten Wert auf den Strombefehlswert  $I_{m\_cmd}$  zu konvergieren. Durch diese Maßnahme wird das aktuelle Ausgangsdrehmoment des Elektromotors **2** so geregelt, dass es mit dem Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  übereinstimmt.

**[0150]** In der vorliegenden Ausführung wird der oben erwähnte Prozess der Motorsteuerungseinheit **26** (oder der Prozess der Stromsteuerungseinheit **26f** von der Motorsteuerungseinheit **26**) mit hoher Geschwindigkeit mit einem kürzeren Arithmetikprozesszyklus ausgeführt als von jeder der Funktionseinheiten **20** bis **25** der oben erwähnten Steuerungsvorrichtung **12**.

**[0151]** Ergänzt entspricht in der vorliegenden Ausführung die Motorsteuerungseinheit **26** einem Aktuatorsteuerungselement der vorliegenden Erfindung. Ferner wird ein Kraftsollparametererzeugungsmoment der vorliegenden Erfindung durch den Prozess des Multiplizierers **26a**, des Rechners **26b** und des Multiplizierers **26c** eines Motorsteuerungselements **26** realisiert. In diesem Falle entspricht das Sollmotordrehmoment  $\tau_{m\_cmd}$  dem Kraftsollparameter.

**[0152]** In der oben erläuterten vorliegenden Ausführung wird durch den Prozess der primärseitigen Winkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **23** der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  erzeugt, um eine exzessive Fluktuation im Vergleich zum Differentialwert erster Ordnung des primärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{1\_s}$  zu unterdrücken, und um auch dem Differenzwert erster Ordnung zu folgen.

**[0153]** Ferner wird durch den Prozess der sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzereinheit **24** der sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  so erzeugt, dass eine exzessive Fluktuation im Vergleich zum Differenzwert erster Ordnung des primärseitigen Drehwinkelmeßwerts  $\theta_{1\_s}$  unterdrückt, und auch dem Differentialwert erster Ordnung folgt. In diesem Fall werden durch den Filterprozess der Gefilterten-Differenz-zweiter-Ordnung-Prozesseinheit **24a1**, des Filters **24a3** und der gefilterten Differenzdifferenzereinheit **24b** Frequenzkomponenten an der Hochfrequenzseite, einschließlich der Resonanzfrequenzen entsprechend den elastischen Charakteristiken des Drehzahluntersetzers **3** oder der Torsionsstange **4** beseitigt. Daher wird verhindert, dass die Frequenzkomponenten der sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  beeinflussen.

**[0154]** Danach wird der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  als das Betriebsziel des Elektromotors **2** bestimmt, gemäß dem linearen Kopplungswert des Filterwerts, der erhalten wird durch Ausführung des Filterprozesses der Tiefpasscharakteristiken an der Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  zwischen dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzsollwert  $\theta_{def\_cmd}$ , der erhalten wird durch Umwandeln des SOLLantriebsdrehmoments  $\tau_{ref}$ , und dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmeßwert  $\theta_{def\_s}$  durch den Filter **25e**, und des Filterwerts, der erhalten wird durch Ausfüh-

ren des Filterprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an der Abweichung  $\Delta\omega_{12}$  zwischen dem sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  und dem primärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{1\_e}$  durch den Filter **25b**.

**[0155]** In diesem Fall kann durch geeignetes Einstellen der Sperrfrequenzen der Filter **25b**, **25e** auf voneinander unterschiedliche Frequenzen, und durch geeignete Einstellung des Verstärkungsfaktors der Filter **25b**, **25e** der primärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  so bestimmt werden, dass er in der Lage ist, eine Vibration des Antriebsdrehmoments, das vom Elektromotor **2** auf das angetriebene Drehmoment **5** übertragen wird, und das durch die elastische Eigenschaft des Drehzahluntersetzers **3** oder die elastischen Eigenschaften der Torsionsstange **4** und dergleichen hervorgerufen wird, wirkungsvoll zu unterdrücken.

**[0156]** Demzufolge kann das auf das angetriebene Drehelement **5** auszuübende aktuelle Betriebsdrehmoment auf das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  mit hoher Robustheit und Stabilität geregelt werden.

**[0157]** In Bezug auf **Fig. 5** wird ein Validierungsbeispiel des Effekts erläutert, der durch die Vorrichtung der vorliegenden Ausführung realisiert wird. **Fig. 5(a)** ist ein Graph, der ein Arbeitsbeispiel der Drehmomentregelung durch die Vorrichtung der vorliegenden Ausführung zeigt. Insbesondere zeigt **Fig. 5(a)** in durchgehender Linie einen Antwortwellenverlauf von dem aktuellen Antriebsdrehmoment (dem Antriebsdrehmoment, das aktuell auf das angetriebene Drehmoment **5** ausgeübt wird), in dem Fall, wo sich das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  stufenweise ändert, wie in der Figur mit unterbrochener Linie gezeigt, mit der Vorrichtung der vorliegenden Ausführung.

**[0158]** Ferner ist **Fig. 5(b)** ein Graph, der ein Vergleichsbeispiel zeigt. Insbesondere zeigt **Fig. 5(b)** in durchgehender Linie einen Antwortwellenverlauf der aktuellen Antriebskraft in dem Fall, wo das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  stufenweise geändert wird, wie in der Figur mit unterbrochener Linie gezeigt, in dem Vergleichsbeispiel. In dem Vergleichsbeispiel wird das aktuelle Antriebsdrehmoment einfach auf das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  rückkoppelnd geregelt. Insbesondere wird zum Beispiel der primärseitige Winkelgeschwindigkeitssollwert  $\omega_{1\_cmd}$  durch eine Rückkopplungsregelungsvorschrift aus der Abweichung  $\Delta\theta_{def}$  zwischen dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzsollwert  $\theta_{def\_cmd}$ , entsprechend dem Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$ , und dem Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{def\_s}$  bestimmt, und die Erregungssteuerung des Elektromotors **2** wird durch Eingabe des Werts in die Motorsteuerungseinheit **26** fortgeführt.

**[0159]** Wie aus dem Vergleich der **Fig. 5(a)** und **Fig. 5(b)** ersichtlich, hat in dem Arbeitsbeispiel unter Verwendung der Vorrichtung der vorliegenden Ausführung im Vergleich zum Vergleichsbeispiel, das aktuelle Antriebsdrehmoment ein promptes Ansprechverhalten in Bezug auf die Änderung im Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$ , und die Vibration des aktuellen Antriebsdrehmoments wird prompt gedämpft und auf das Sollantriebsdrehmoment  $t_{ref}$  konvergiert.

**[0160]** Nachfolgend werden einige Varianten der oben erläuterten Ausführungen erläutert.

**[0161]** In den oben erwähnten Ausführungen ist ein sekundärseitiges Geschwindigkeitsschätzelement **24** mit der sekundärseitigen Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** ausgestattet, wobei aber diese weggelassen werden kann und der sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  wie folgt erzeugt werden kann. Das heißt, der Ausgangswert der Gefilterten-Differenzierungs-Prozesseinheit **24b** selbst kann als der sekundärseitige Drehwinkelgeschwindigkeitsschätzwert  $\omega_{2\_e}$  erzeugt werden. Durch diese Maßnahme kann die Ausführung der dritten Ausführung der Erfindung eingerichtet werden.

**[0162]** Ferner kann zum Beispiel in dem Fall, wo das auf das angetriebene Drehelement **5** wirkende externe Drehmoment, anders als das von der Torsionsstange **4** erzeugte elastische Kraftdrehmoment, Null oder ausreichend klein im Vergleich zu dem elastischen Kraftdrehmoment ist, die sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit **24a** den Prozess der Gefilterten-Differenz zweiter Ordnung-Prozesseinheit **24a1**, des Filters **24a3**, des Rechner **24a4** und des Multiplizierers **24a5** weglassen (oder den Faktor  $K_d$  in dem Multiplizierer **24a5** auf 0 setzen).

**[0163]** Das heißt, der Basisschätzwert  $\omega_{2\_e0}$  der sekundärseitigen Drehwinkelgeschwindigkeit kann aus einem umgewandelten Elastikkraftwert errechnet werden, der erhalten wird durch Umwandeln des Primärseiten-Sekundärseiten-Drehwinkeldifferenzmesswert  $\theta_{def\_s}$  in die elastische Kraft der Torsionsstange **4** ( $= \theta_{def\_s} \times K_{spr}$ ) über den Multiplizierer **24a7** und den Integrator **24a8**.

**[0164]** Ferner wurden in den oben erwähnten Ausführungen Erläuterungen gegeben im Hinblick auf den Fall, wo als Beispiel das angetriebene Element ein Drehelement **5** ist. Jedoch kann das angetriebene Element auch ein Element sein, das eine Translationsbewegung durchführt. In diesem Fall kann als das erste Kraftübertragungselement ein Geschwindigkeitsuntersetzter mit einem Mechanismus zum Umwandeln der Drehantriebskraft des Drehaktuators, wie etwa eines Elektromotors, in die Translationskraft mit einem Kugelgewinde und dergleichen

verwendet werden. Ferner kann als das zweite Kraftübertragungselement (Federelement), zum Beispiel eine Schraubenfeder verwendet werden.

**[0165]** Ferner ist der Aktuator nicht auf den Elektromotor beschränkt und kann zum Beispiel auch ein Hydraulikaktuator sein.

#### INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

**[0166]** Die oben erläuterte vorliegende Erfindung kann bei einer Antriebsvorrichtung zur Kraftübertragung von dem Aktuator auf z. B. ein angetriebenes Element, wie etwa ein Gelenk eines Roboters wie etwa eines mobilen Schreitroboters, über ein Kraftübertragungselement, das elastische Charakteristiken hat, wie etwa ein Spannungswellengetriebe oder ein Federelement und dgl., wirkungsvoll genutzt werden.

#### [Erläuterung der Bezugszeichen]

1... Antriebsvorrichtung, 2... Elektromotor (Aktuator), 3... Geschwindigkeitsuntersetzer (erstes Kraftübertragungselement), 4... Torsionsstange (Federelement, zweites Kraftübertragungselement), 5... angetriebenes Drehelement (angetriebenes Element), 12... Steuerungsvorrichtung, 20... primärseitige Winkelmessprozesseinheit (primärseitige Verlagerungspositionsmesselement), 21... sekundärseitige Winkelmessprozesseinheit (sekundärseitiges Verlagerungspositionsmesselement), 22... Primärseiten-Sekundärseiten-Winkeldifferenzmessprozesseinheit (Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenzmesselement), 23... primärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit (primärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement), 23a... Filter (Sollkraftfilterelement), 23b... Differentiator (Korrekturerelement), 23c... Rechner (Korrekturerelement), 23d... Multiplizierer (Korrekturerelement), 23e... Rechner (Korrekturerelement), 24... sekundärseitige Winkelgeschwindigkeitsschätzeinheit (sekundärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement), 24a... sekundärseitige Winkelgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungseinheit (sekundärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungselement), 24b... Filter (drittes Filterelement), 25... Motorbetriebszielbestimmungseinheit (Aktuatorbetriebszielbestimmungselement), 25b... Filter (erstes Filterelement), 25e... Filter (zweites Filterelement), 26... Motorsteuerungseinheit (Aktuatorsteuerungselement), 26a... Multiplizierer (Kraftsollparametererzeugungselement), 26b... Rechner (Kraftsollparametererzeugungselement), 26c... Multiplizierer (Kraftsollparametererzeugungselement).

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2005-349555 [[0004](#)]

## Patentansprüche

1. Steuerungsvorrichtung einer Antriebsvorrichtung, wobei die Antriebsvorrichtung enthält: einen Aktuator, ein erstes Kraftübertragungselement mit elastischen Charakteristiken, dessen Eingangseinheit mit einer Kraftausgangseinheit des Aktuators verbunden ist, ein zweites Kraftübertragungselement, dessen Eingangseinheit mit einer Ausgangseinheit des ersten Kraftübertragungselements verbunden ist und das eine auf die Eingangseinheit ausgeübte Kraft in eine elastische Kraft umwandelt und ausgibt, sowie ein angetriebenes Element, das mit einer Ausgangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements verbunden ist und das durch eine Antriebskraft, die von dem Aktuator über das erste Kraftübertragungselement und das zweite Kraftübertragungselement übertragen wird, eine betriebsmäßige Bewegung ausführt, worin die elastischen Charakteristiken des ersten Kraftübertragungselements eine höhere Steifigkeit haben als das zweite Kraftübertragungselement, und die Steuerungsvorrichtung die Antriebskraft, die aktuell vom Aktuator auf das angetriebene Element ausgeübt wird, auf eine Sollantriebskraft steuert/regelt, wobei die Steuerungsvorrichtung umfasst:

- ein primärseitiges Verlagerungspositionsmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer aktuellen Verlagerungsposition der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements angibt;
- ein sekundärseitiges Verlagerungspositionsmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer aktuellen Verlagerungsposition des angetriebenen Elements angibt;
- ein Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenzmesselement, das eine Ausgabe erzeugt, die einen gemessenen Wert einer Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz angibt, die eine Differenz zwischen der aktuellen Verlagerungsposition der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements und der aktuellen Verlagerungsposition der angetriebenen Einheit ist;
- ein primärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement, das einen geschätzten Wert einer primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, die eine aktuelle Verlagerungsgeschwindigkeit der Eingangseinheit des zweiten Kraftübertragungselements ist, zumindest basierend auf dem gemessenen Wert der primärseitigen Verlagerungsposition erzeugt;
- ein sekundärseitiges Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement, das einen geschätzten Wert einer sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit, die eine aktuelle Verlagerungsgeschwindigkeit des angetriebenen Elements ist, zumindest basierend auf dem gemessenen Wert der sekundärseitigen Verlagerungsposition erzeugt;
- ein erstes Filterelement, das einen ersten Filterwert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung eines Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einer Abweichung zwischen dem gemessenen Wert

- der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit und dem gemessenen Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit;
- ein zweites Filterelement, das einen zweiten Filterwert erzeugt, der erhalten wird durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einer Abweichung zwischen einem Wert eines gemessenen Elastizitätsbetrags, der entweder der gemessene Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Abweichungsdifferenz oder ein umgewandelter Elastikkraftwert ist, der erhalten wird durch Umwandeln des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Abweichungsdifferenz in eine vom zweiten Kraftübertragungselement erzeugte elastische Kraft, und einem Sollwert des gemessenen Elastizitätsbetrags, der durch die Sollantriebskraft definiert ist;
- ein Aktuatorbetriebszielbestimmungselement, das ein Betriebsziel, das einen Betrieb des Aktuators definiert, gemäß einem linearen Kopplungswert des ersten Filterwerts und des zweiten Filterwerts bestimmt; und
- ein Aktuatorsteuerungselement, das den Betrieb des Aktuators gemäß dem bestimmten Betriebsziel steuert/regelt.

2. Die Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, worin das erste Kraftübertragungselement ein Geschwindigkeitsuntersetzer ist und das zweite Kraftübertragungselement ein Feder-element ist.

3. Die Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, worin das sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ein Element ist, das einen Wert, der erhalten wird durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition, als den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt.

4. Die Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Steuerungsvorrichtung ferner umfasst:

- ein Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungselement, das eine Angetriebenes-Element-Wirkkraft, die eine aktuell auf das angetriebene Element wirkende Kraft ist, auf der Basis von zumindest dem gemessenen Wert der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz schätzt, und das einen Wert proportional zu einem Integralwert des geschätzten Werts der Angetriebenes-Element-Wirkkraft als Basisschätzwert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt; und
- ein drittes Filterelement, das einen sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeitsfilterwert erzeugt, der ein Wert ist, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem Dif-

ferentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition erhalten wird;

worin das sekundärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ein Element ist, das eine Korrekturstellgröße des Basisschätzwerts der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit gemäß einer Abweichung zwischen dem sekundärseitigen Verlagerungspositionsfilterwert und dem erzeugten geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit berechnet, um die Abweichung mit einer Rückkopplungsregelungsvorschrift auf Null zu konvergieren, und das einen Wert, der durch Korrigieren des Basisschätzwerts mit der Korrekturstellgröße erhalten wird, als den geschätzten Wert der sekundärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt.

position und dem erzeugten geschätzten Wert der positionsseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit berechnet, um durch eine Rückkopplungsregelungsvorschrift die Abweichung auf Null zu konvergieren, und das den Sollkraftfilterwert mit der Korrekturstellgröße korrigiert;

worin das primärseitige Verlagerungsgeschwindigkeitsschätzelement ein Element ist, das einen Wert proportional zu einem Integralwert eines Werts nach Korrektur des Sollkraftfilterwerts durch das Korrektur-element als den geschätzten Wert der primärseitigen Verlagerungsgeschwindigkeit erzeugt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

5. Die Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 4, worin das Sekundärseiten-Verlagerungsgeschwindigkeits-Basisschätzwert-Erzeugungselement umfasst:

ein Element, das den umgewandelten Elastikkraftwert erzeugt, der durch Umwandeln des gemessenen Werts der Primärseiten-Sekundärseiten-Verlagerungsdifferenz in die vom zweiten Kraftübertragungselement erzeugte elastische Kraft erhalten wird;

ein Element, das eine Kraftabweichung berechnet, die eine Abweichung zwischen einem Elastikkraftfilterwert, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an dem umgewandelten Elastikkraftwert erhalten wird, und einem Wirkkraftbasisfilterwert ist, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristiken an einem Wert erhalten wird, der durch Umwandeln eines Differentialwerts zweiter Ordnung des gemessenen Werts der sekundärseitigen Verlagerungsposition in die auf das angetriebene Element wirkende Kraft erhalten wird; und

ein Element, das einen geschätzten Wert der Angetriebenes-Element-Wirkkraft durch Korrektur des umgewandelten Elastikkraftwerts gemäß der Kraftabweichung berechnet.

6. Die Steuerungsvorrichtung der Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, worin die Steuerungsvorrichtung ferner umfasst:

ein Sollkraftparametererzeugungselement, das einen Sollkraftparameter, der eine von der Kraftausgabereinheit des Aktuators auszugebende Sollkraft definiert, um das Betriebsziel zu realisieren, zumindest gemäß dem Betriebsziel, erzeugt;

ein Sollkraftfilterelement, das einen Sollkraftfilterwert erzeugt, der durch Ausführung des Filterungsprozesses mit Tiefpasscharakteristik an der durch den Sollkraftparameter definierten Sollkraft erhalten wird; und

ein Korrektur-element, das eine Korrekturstellgröße des Sollkraftfilterwerts gemäß einer Abweichung zwischen dem Differentialwert erster Ordnung des gemessenen Werts der primärseitigen Verlagerungs-

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

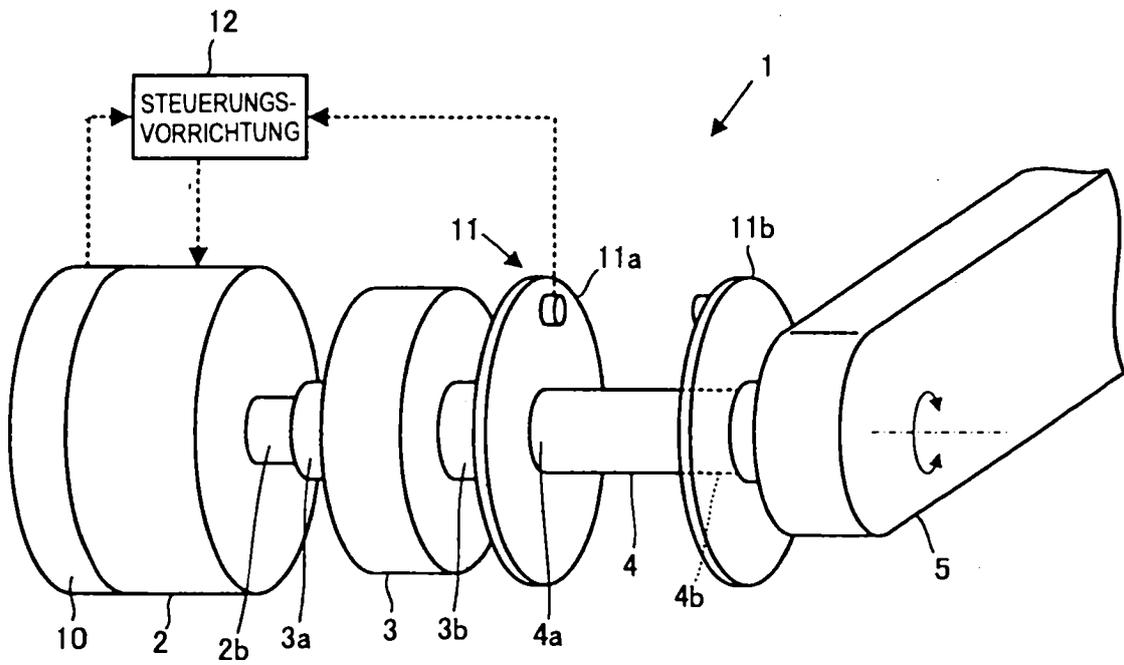


FIG.2

(12) STEUERUNGSVORRICHTUNG

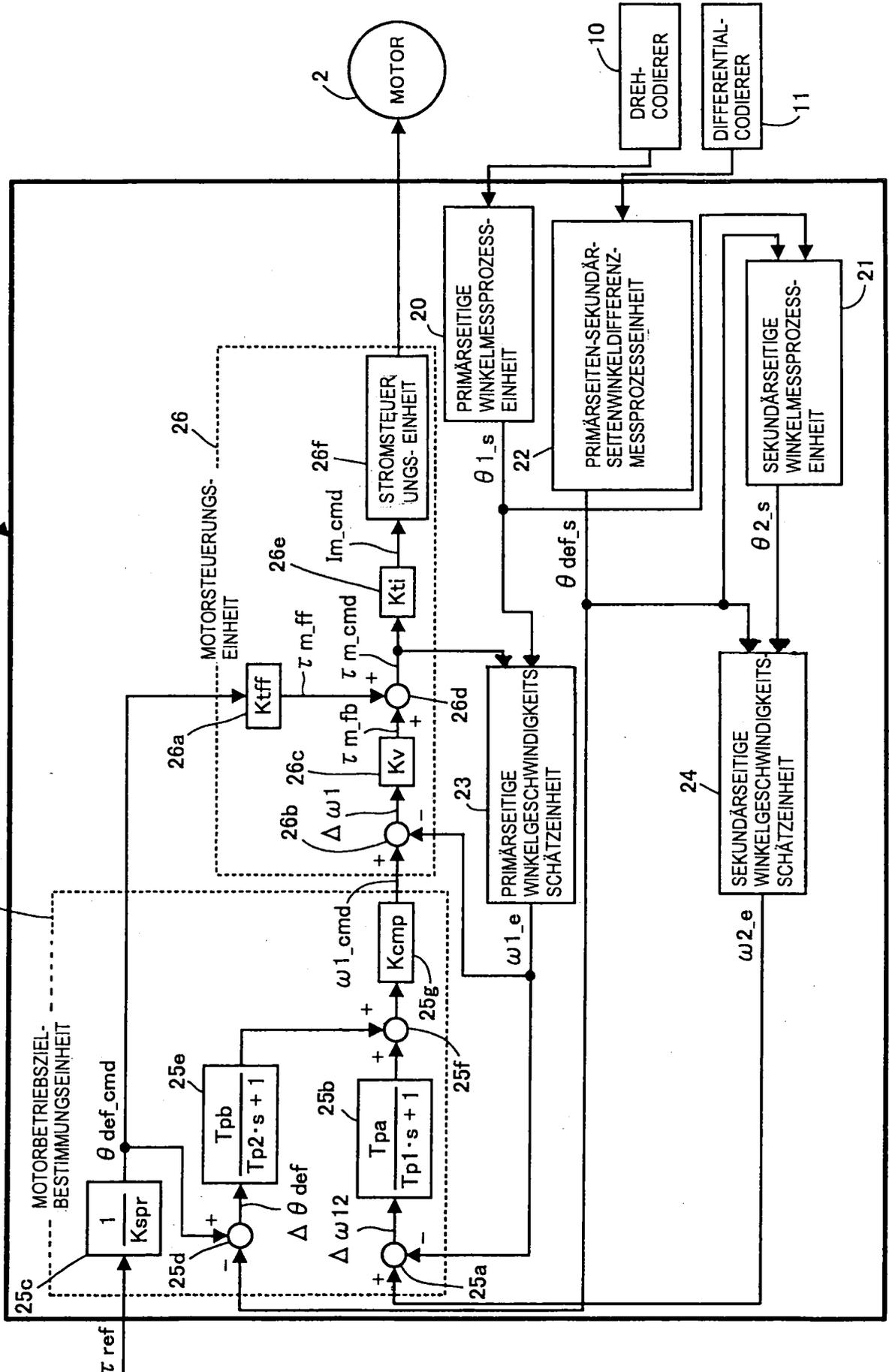


FIG.3

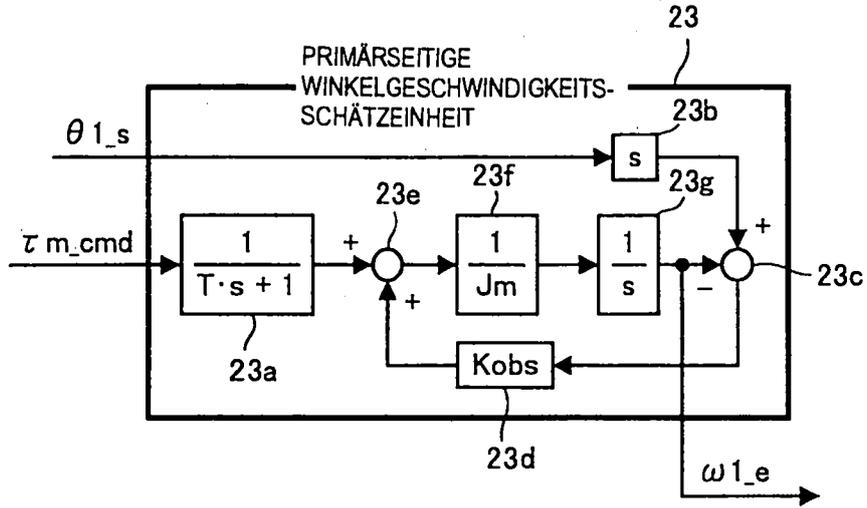


FIG.4

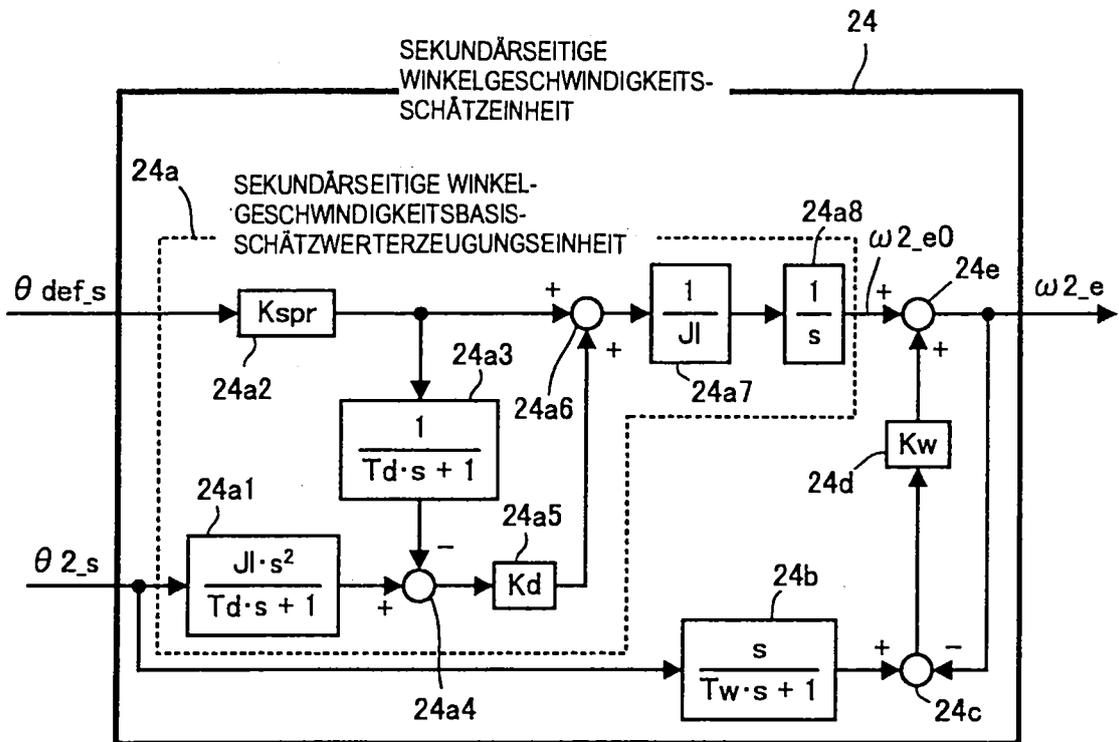


FIG.5(a)

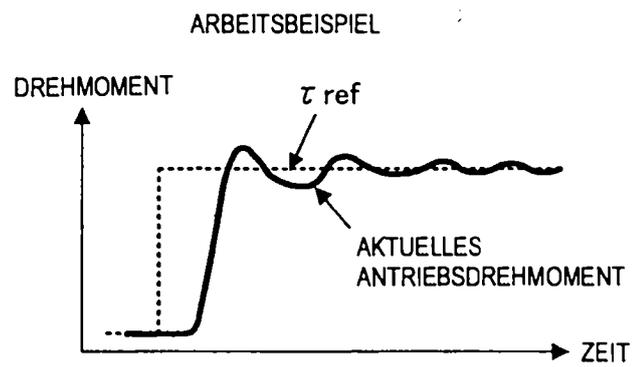


FIG.5(b)

