



(10) **DE 10 2018 208 458 A1 2019.01.03**

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 208 458.0**

(22) Anmeldetag: **29.05.2018**

(43) Offenlegungstag: **03.01.2019**

(51) Int Cl.: **B23Q 15/24 (2006.01)**

B23Q 5/22 (2006.01)

G05D 3/12 (2006.01)

G05B 19/404 (2006.01)

H02P 29/00 (2016.01)

(30) Unionspriorität:
2017-111903 06.06.2017 JP

(71) Anmelder:
FANUC CORPORATION, Oshino-mura, Yamanashi, JP

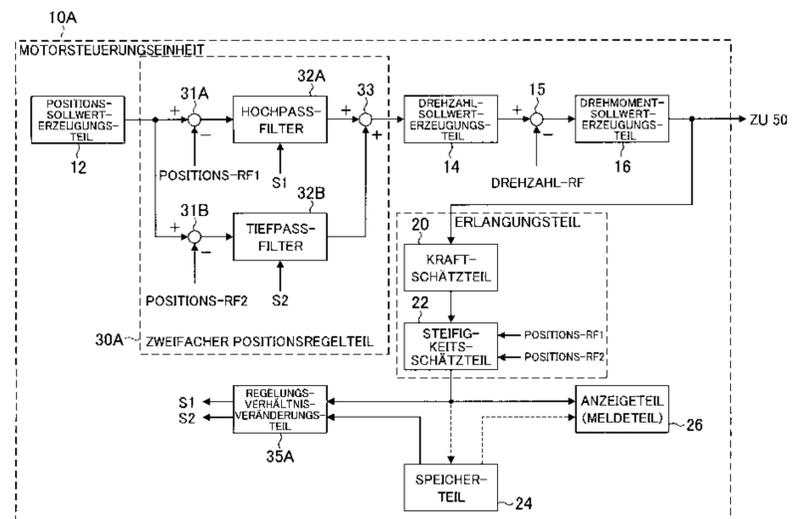
(74) Vertreter:
Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB, 80802 München, DE

(72) Erfinder:
Shinoda, Shougo, Oshino-mura, Yamanashi, JP; Ikai, Satoshi, Oshino-mura, Yamanashi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Servomotor-Steuervorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es ist eine Servomotor-Steuervorrichtung geschaffen, die das Auftreten von Schwingungen in einer Werkzeugmaschine unterdrückt, die durch ein Altern der Werkzeugmaschine verursacht sind (beispielsweise eine Alterungsverschlechterung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung). Eine Servomotor-Steuervorrichtung (1A) enthält einen Servomotor, einen angesteuerten Körper, eine Verbindungsvorrichtung, einen ersten Positionserfassungsteil, einen zweiten Positionserfassungsteil und eine Motorsteuerungseinheit (10A). Die Motorsteuerungseinheit (10A) weist auf: einen zweifachen Positionsteil (30A), der eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage einer hochfrequenten Komponente einer ersten Abweichung zwischen einem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage einer niederfrequenten Komponente einer zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers durchführt; einen Erlangungsteil (20, 22), der eine Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) ermittelt; und einen Veränderungsteil (35A), der ein Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung in dem zweifachen Positionsteil (30A) als Reaktion auf die erlangte Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung verändert.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Servomotor-Steuervorrichtung, die eine zweifache Positionsregelung mit einer halbgeschlossenen Regelung auf Grundlage der Position des Servomotors und einer vollständig geschlossenen Regelung auf Grundlage der Position eines angesteuerten Körpers durchführt.

Stand der Technik

[0002] Zum Beispiel ist eine Servomotor-Steuervorrichtung bekannt, die die Position eines Werkstücks (Erzeugnisses) unter Verwendung von Servomotoren in einer Werkzeugmaschine oder dergleichen steuert. Die Servomotor-Steuervorrichtung nimmt das Werkstück auf einem Tisch auf (dem angesteuerten Körper, auch als beweglicher Körper bezeichnet) und bringt den Tisch durch einen Servomotor über die Verbindungsvorrichtung dazu, sich zu bewegen. Die Verbindungsvorrichtung weist eine mit einem Servomotor verbundene Kupplung, eine Kugelgewindespindel, die an der Kupplung befestigt ist, und eine Mutter auf, die sich mit der Kugelgewindespindel im Eingriff befindet und mit dem Tisch verbunden ist. Wenn die Kugelgewindespindel mittels des Servomotors in Drehung versetzt wird, wird die mit der Kugelgewindespindel im Eingriff befindliche Mutter in der axialen Richtung der Kugelgewindespindel angesteuert, und der mit der Mutter verbundene Tisch wird dadurch bewegt.

[0003] Als Steuermodi durch die Servomotor-Steuervorrichtung gibt es eine halbgeschlossene Regelung, eine vollständig geschlossene Regelung und eine zweifache Positionsregelung. Die halbgeschlossene Regelung führt die Regelung auf Grundlage der Position des Servomotors durch. Die vollständig geschlossene Regelung führt die Regelung auf Grundlage der Position des angesteuerten Körpers durch. Die zweifache Positionsregelung führt die Regelung sowohl auf Grundlage der Position des Servomotors als auch der Position des angesteuerten Körpers durch (siehe beispielsweise Patentschrift 1 bis 3).

Patentschrift 1: Japanische geprüfte Patent-Offenlegungsschrift Nr. H02-30522

Patentschrift 2: Japanische ungeprüfte Patent-Offenlegungsschrift Nr. 2002-297241

Patentschrift 3: Japanische ungeprüfte Patent-Offenlegungsschrift Nr. 2010-271854

Zusammenfassung der Erfindung

[0004] Jedoch können abhängig von der Alterung der Werkzeugmaschine Schwingungen in einer Werkzeugmaschine auftreten. Zum Beispiel kann die Eigenresonanzfrequenz der Werkzeugmaschine aus Gründen der Alterungsverschlechterung (des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (insbesondere der Kupplung und der Kugelgewindespindel), oder der Alterungsverschlechterung beliebiger anderer Teile der Werkzeugmaschine sinken, wodurch in der Werkzeugmaschine niederfrequente Schwingungen auftreten können. Wenn die niederfrequenten Schwingungen in der Werkzeugmaschine auftreten, lässt die Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine nach.

[0005] Die vorliegende Erfindung hat eine Aufgabe, eine Servomotor-Steuervorrichtung zu schaffen, die das Auftreten von Schwingungen in einer Werkzeugmaschine unterdrückt, die durch ein Altern der Werkzeugmaschine verursacht werden (beispielsweise eine Alterungsverschlechterung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung).

(1) Eine Servomotor-Steuervorrichtung (beispielsweise die weiter unten beschriebene Servomotor-Steuervorrichtung **1**, **1A**, **1B**, **1C**) gemäß der vorliegenden Erfindung enthält: einen Servomotor (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Servomotor **50**); einen angesteuerten Körper (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Tisch **70**), der durch den Servomotor angesteuert wird; eine Verbindungsvorrichtung (beispielsweise die weiter unten beschriebene Verbindungsvorrichtung **60**), die den Servomotor und den angesteuerten Körper verbindet, um Leistung des Servomotors auf den angesteuerten Körper zu übertragen; einen ersten Positionserfassungsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Codierer **40**), der eine Position des Servomotors erfasst; einen zweiten Positionserfassungsteil (beispielsweise die weiter unten beschriebene Messskala **80**), die eine Position des angesteuerten Körpers erfasst; und eine Motorsteuerungseinheit (beispielsweise die weiter unten beschriebene Motorsteuerungseinheit **10**, **10A**, **10B**, **10C**), die den Servomotor steuert, wobei die Motorsteuerungseinheit enthält: einen zwei-

fachen Positionsregelteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen zweifachen Positionsregelteil **30A, 30B**), der eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage einer hochfrequenten Komponente einer ersten Abweichung zwischen einem Positionssollwert zum Ansteuern der Steuerung des Servomotors und der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors durchführt und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage einer niederfrequenten Komponente einer zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers durchführt; einen Erlangungsteil (beispielsweise den Kraftschätzteil 20, den Steifigkeitsschätzteil 22, den weiter unten beschriebenen Erlangungsteil **20C**), der eine Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder eine Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung ermittelt; und einen Veränderungsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A, 35B**), der eine Veränderung eines Verhältnisses der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung in dem zweifachen Positionsregelteil als Reaktion auf die Größe oder Veränderung der durch den Erlangungsteil erlangten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder auf die Größe oder Veränderung der durch den Erlangungsteil erlangten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung bewirkt.

(2) In der in (1) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Veränderungsteil bewirken, dass sich als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung ein Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht und ein Anteil der vollständig geschlossenen Regelung verringert.

(3) In der in (1) oder (2) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Erlangungsteil aufweisen: einen Kraftschätzteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Kraftschätzteil 20), der eine Ansteuerkraft schätzt, die auf den angesteuerten Körper an einem Verbindungsteil zwischen der Verbindungsvorrichtung und dem angesteuerten Körper wirkt; und einen Steifigkeitsschätzteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Steifigkeitsschätzteil 22), der eine Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung auf Grundlage der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors, der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers und der durch den Kraftschätzteil geschätzten Ansteuerkraft schätzt.

(4) In der in (1) oder (2) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Erlangungsteil einen Frequenzgang einer Übertragungscharakteristik einer Regelungsschleife der Servomotor-Steuervorrichtung ermitteln und ermittelt eine Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung aus dem Frequenzgang der so ermittelten Übertragungscharakteristik.

(5) In der in (1) oder (2) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann die Motorsteuerungseinheit weiter einen Speicherteil enthalten (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Speicherteil **24**), der eine Vielzahl von Größen der Steifigkeit oder eine Vielzahl von Größen der Resonanzfrequenz speichert, die durch den Erlangungsteil zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten ermittelt sind, und der Veränderungsteil kann eine Veränderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder eine Veränderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung auf Grundlage einer Vielzahl von Größen der Steifigkeit oder einer Vielzahl von Größen der Resonanzfrequenz berechnen, die im Speicherteil gespeichert sind.

(6) In der in einem beliebigen aus (1) bis (5) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der zweifache Positionsregelteil weiter enthalten: einen ersten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31A**), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors ermittelt; einen zweiten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31B**), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers ermittelt; ein Hochpassfilter (beispielsweise das weiter unten beschriebene Hochpassfilter **32A**), in das die erste Abweichung vom ersten Subtraktionsteil eingegeben wird; ein Tiefpassfilter (beispielsweise das weiter unten beschriebene Tiefpassfilter **32B**), in das die zweite Abweichung vom zweiten Subtraktionsteil eingegeben wird; und einen Additionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Addierer **33**), der eine hochfrequente Komponente der vom Hochpassfilter ausgegebenen ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der vom Tiefpassfilter ausgegebenen zweiten Abweichung addiert, und der Veränderungsteil kann bewirken, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung verändern.

(7) In der in (6) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Veränderungsteil bewirken, dass als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder ein Nachlassen der Re-

sonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung die Eckfrequenz des Hochpassfilters und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters verringert werden.

(8) In der in einem beliebigen aus (1) bis (7) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Veränderungsteil die Eckfrequenz des Hochpassfilters und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters auf denselben Wert einstellen.

(9) In der in einem beliebigen aus (1) bis (5) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der zweifache Positionsregelteil weiter enthalten: einen ersten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31A**), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors ermittelt; einen zweiten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31B**), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers ermittelt; einen dritten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31C**), der eine dritte Abweichung ermittelt, die durch ein Subtrahieren der ersten Abweichung des ersten Subtraktionsteils von der zweiten Abweichung des zweiten Subtraktionsteils erlangt ist; ein Tiefpassfilter (beispielsweise das weiter unten beschriebene Tiefpassfilter **32B**), in das die dritte Abweichung vom dritten Subtraktionsteil eingegeben wird; und einen Additionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Addierer **33**), der eine hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung addiert, indem er die erste Abweichung vom ersten Subtraktionsteil und eine niederfrequente Komponente der vom Tiefpassfilter ausgegebenen dritten Abweichung addiert, und der Veränderungsteil kann bewirken, dass sich die Eckfrequenz des Tiefpassfilters als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung verändert.

(10) In der in (9) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Veränderungsteil bewirken, dass als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung die Eckfrequenz des Tiefpassfilters verringert wird.

(11) In der in einem beliebigen aus (1) bis (5) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der zweifache Positionsregelteil weiter enthalten: einen ersten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31A**), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil erfassten Position des Servomotors ermittelt; einen zweiten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31B**), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil erfassten Position des angesteuerten Körpers ermittelt; einen dritten Subtraktionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Subtrahierer **31C**), der eine dritte Abweichung ermittelt, die durch ein Subtrahieren der zweiten Abweichung des zweiten Subtraktionsteils von der ersten Abweichung des ersten Subtraktionsteils erlangt ist; ein Hochpassfilter (beispielsweise das weiter unten beschriebene Hochpassfilter **32A**), in das die dritte Abweichung vom dritten Subtraktionsteil eingegeben wird; und einen Additionsteil (beispielsweise den weiter unten beschriebenen Addierer **33**), der eine hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung addiert, indem er die hochfrequente Komponente der vom Hochpassfilter ausgegebenen dritten Abweichung und die zweite Abweichung vom zweiten Subtraktionsteil addiert, und der Veränderungsteil kann bewirken, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung verändert.

(12) In der in (11) beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung kann der Veränderungsteil bewirken, dass als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung die Eckfrequenz des Hochpassfilters verringert wird.

[0006] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Servomotor-Steuervorrichtung zu schaffen, die das Auftreten von Schwingungen in einer Werkzeugmaschine unterdrückt, die durch ein Altern der Werkzeugmaschine verursacht werden (beispielsweise eine Alterungsverschlechterung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung).

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Ansicht, die ein Beispiel des Aufbaus einer Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 2 ist eine Ansicht, die den Aufbau einer Motorsteuerungseinheit in der Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 3 ist ein Flussdiagramm, das einen Verhältnisänderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 4 ist eine Ansicht, die die Anordnung einer Motorsteuerungseinheit in einer Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt;

Fig. 5 ist eine Ansicht, die die Anordnung einer Motorsteuerungseinheit in einer Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einem modifizierten Beispiel der zweiten Ausführungsform zeigt;

Fig. 6 ist eine Ansicht, die die Anordnung einer Motorsteuerungseinheit in einer Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform zeigt;

Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das einen Verhältnisänderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform zeigt; und

Fig. 8 ist eine Ansicht, die ein Beispiel des Gewinn-/Phasen-Frequenzgangs der Regelungsschleife der Servomotor-Steuervorrichtung zeigt.

Genaue Beschreibung der Erfindung

[0007] Nachstehend sind Beispiele von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die angefügte Zeichnung erläutert. Es ist anzumerken, dass dieselben Bezugszeichen denselben oder entsprechenden Teilen in den jeweiligen Figuren zuzuordnen sind.

[0008] **Fig. 1** ist eine Ansicht, die ein Beispiel der Gestaltung einer Servomotor-Steuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Wie in **Fig. 1** gezeigt, enthält eine Servomotor-Steuervorrichtung **1** eine Motorsteuerungseinheit **10**, einen Servomotor **50**, einen Codierer (ersten Positionserfassungsteil) **40**, eine Verbindungsvorrichtung **60**, einen Tisch (angesteuerten Körper) **70** und eine Messskala (einen zweiten Positionserfassungsteil) **80**.

[0009] Die Servomotor-Steuervorrichtung **1** bewegt den Tisch **70** durch den Servomotor **50** über die Verbindungsvorrichtung **60** und bearbeitet ein auf dem Tisch **70** montiertes Werkstück (Erzeugnis). Die Verbindungsvorrichtung **60** weist eine Kupplung **61**, die mit einem Servomotor **50** verbunden ist, und eine Kugelgewindespindel **62** auf, die an der Kupplung **61** befestigt ist, und eine Mutter **63** befindet sich mit der Kugelgewindespindel **62** im Eingriff. Die mit der Kugelgewindespindel **62** im Eingriff befindliche Mutter **63** wird in der axialen Richtung der Kugelgewindespindel **62** durch die Drehsteuerung des Servomotors **50** bewegt, wodurch der mit der Mutter **63** verbundene Tisch **70** bewegt wird.

[0010] Die Drehwinkelposition des Servomotors **50** wird durch den am Servomotor **50** vorgesehenen Codierer **40** erfasst, und die erfasste Drehposition (der Drehungsbetrag) wird als erste Positionsrückführung benutzt (im Folgenden als Positions-RF1 bezeichnet). Da hier die Drehwinkelposition des Servomotors **50** und die Position des Tisches **70** in einer Entsprechungsbeziehung stehen, gibt die durch den Codierer **40** erfasste Drehposition, d.h. der Positions-RF1-Wert, die Position des Tisches **70** an. Es ist anzumerken, dass der Codierer **40** die Drehzahl erfassen kann und die erfasste Drehzahl als Drehzahlrückführung anwendbar ist (im Folgenden als Drehzahl-RF bezeichnet).

[0011] Außerdem wird die Position des Tisches **70** durch die am Tisch **70** vorgesehene Messskala **80** erfasst, und die erfasste Position wird als eine zweite Positionsrückführung benutzt (im Folgenden als Positions-RF2 bezeichnet).

[0012] Die Motorsteuerungseinheit **10** steuert den Servomotor **50** auf Grundlage des Positionssollwerts gemäß einem Bearbeitungsprogramm, dem Positions-RF1-Wert oder dem Positions-RF2-Wert und dem Drehzahl-RF-Wert. Genauer führt die Motorsteuerungseinheit **10** eine zweifache Positionsregelung durch, die eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage einer Abweichung zwischen einem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert (der ersten Abweichung) und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage einer

Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert (der zweiten Abweichung) durchführt. Die Einzelheiten der Motorsteuerungseinheit **10** sind weiter unten beschrieben.

[0013] Im Folgenden sind die Servomotor-Steuervorrichtungen **1A**, **1B** und **1C** von drei Ausführungsformen als die Servomotor-Steuervorrichtung **1** genau erläutert. Die Servomotor-Steuervorrichtungen **1A**, **1B** und **1C** der ersten bis dritten Ausführungsform unterscheiden sich in dem Punkt, dass sie jeweils die Motorsteuerungseinheiten **10A**, **10B** und **10C** als die Motorsteuerungseinheit **10** in der zuvor beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung **1** enthalten. Andere Anordnungen der Servomotor-Steuervorrichtungen **1A**, **1B** und **1C** der ersten bis dritten Ausführungsform sind dieselben wie bei der zuvor beschriebenen Servomotor-Steuervorrichtung **1**.

(Servomotor-Steuervorrichtung nach der ersten Ausführungsform)

[0014] In **Fig. 1** enthält die Servomotor-Steuervorrichtung **1A** gemäß der ersten Ausführungsform die Motorsteuerungseinheit **10A** als die zuvor beschriebene Motorsteuerungseinheit **10**.

[0015] **Fig. 2** ist eine Ansicht, die die Anordnung der Motorsteuerungseinheit **10A** in der Servomotor-Steuervorrichtung **1A** gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. Wie in **Fig. 2** gezeigt, enthält die Motorsteuerungseinheit **10A** einen Positionssollwert-Erzeugungsteil **12**, einen zweifachen Positionsregelteil **30A**, einen Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14**, einen Subtrahierer **15**, einen Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil **16**, einen Kraftschätzteil (Erlangungsteil) **20**, einen Steifigkeitsschätzteil (Erlangungsteil) **22**, einen Speicherteil **24**, einen Anzeigeteil (Meldeteil) **26** und einem Regelungsverhältnis-Veränderungsteil (Veränderungsteil) **35A**.

[0016] Der Positionssollwert-Erzeugungsteil **12** erzeugt einen Positionssollwert für den Servomotor **50** gemäß einem Programm oder einer von einer übergeordneten Steuervorrichtung oder externen Eingabevorrichtung (nicht dargestellt) eingegebenen Anweisung usw.

[0017] Der zweifache Positionsregelteil **30A** führt eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage einer hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem durch den Positionssollwert-Erzeugungsteil **12** erzeugten Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40**; und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert von der Messskala **80** durch. Der zweifache Positionsregelteil **30A** enthält Subtrahierer **31A**, **31B**, ein Hochpassfilter **32A**, ein Tiefpassfilter **32B** und einen Addierer **33**.

[0018] Der Subtrahierer (erste Subtraktionsteil) **31A** ermittelt die erste Abweichung zwischen dem durch den Positionssollwert-Erzeugungsteil **12** erzeugten Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40**. Das Hochpassfilter **32A** lässt die hochfrequente Komponente der durch den Subtrahierer **31A** ermittelten ersten Abweichung durch und schneidet die niederfrequente Komponente ab. Die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** wird als Reaktion auf ein Steuersignal **S1** vom Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** verändert.

[0019] Der Subtrahierer (zweite Subtraktionsteil) **31B** ermittelt die zweite Abweichung zwischen dem durch den Positionssollwert-Erzeugungsteil **12** erzeugten Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert von der Messskala **80**. Das Tiefpassfilter **32B** lässt die niederfrequente Komponente der vom Subtrahierer **31B** ermittelten zweiten Abweichung durch und schneidet die hochfrequente Komponente ab. Die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** wird als Reaktion auf ein Steuersignal **S2** vom Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** verändert.

[0020] Der Addierer **33** addiert die vom Hochpassfilter **32A** durchgelassene hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und die vom Tiefpassfilter **32B** durchgelassene niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung und sendet das Ergebnis zum Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14**.

[0021] Hier gilt die folgende Beziehung zwischen der Eckfrequenz f [Hz] des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** und der Zeitkonstante τ [s].

$$f = 1 / (2\pi \times \tau)$$

Ein Einstellen der Eckfrequenz ist dadurch synonym mit einem Einstellen der Zeitkonstante.

[0022] Wenn die erste Abweichung als **E1** definiert ist und die zweite Abweichung als **E2**, lauten der Ausgang EH des Hochpassfilters **32A** und der Ausgang EL des Tiefpassfilters **32B** wie in den nächsten Formeln dargestellt.

$$EH = \tau s / (1 + \tau s) \times E1$$

$$EL = 1 / (1 + \tau s) \times E2$$

s: Winkelfrequenz

[0023] Die durch den Addierer **33** addierte Abweichung ist dadurch wie in der nächsten Formel ausgedrückt.

$$\text{Abweichung} = \tau s / (1 + \tau s) \times E1 + 1 / (1 + \tau s) \times E2 \quad (1)$$

[0024] Bei der Zeitkonstante $\tau = \infty$, d.h. der Eckfrequenz $f = 0$, wird gemäß der obigen Formel (1) die Abweichung zu **E1**, und die halbgeschlossene Regelung wird dominant. Andererseits wird bei der Zeitkonstante $\tau = 0$, d.h. der Eckfrequenz $f = \infty$, die Abweichung zu **E2**, und die vollständig geschlossene Regelung wird dominant. Außerdem ist es durch ein Steuern der Größe der Zeitkonstante τ , d.h. der Größe der Eckfrequenz f , möglich, das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung zu verändern.

[0025] Der Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14** erzeugt einen Drehzahlsollwert für den Servomotor **50** auf Grundlage der durch den Addierer **33** des zweifachen Positionsregelteils **30A** ermittelten Abweichung. Der Subtrahierer **15** ermittelt eine Differenz zwischen dem durch den Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14** erzeugten Drehzahlsollwert und dem Drehzahl-RF-Wert vom Codierer **40**. Der Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil **16** erzeugt einen Drehmomentsollwert für den Servomotor **50** auf Grundlage der durch den Subtrahierer **15** ermittelten finiten Differenz und führt ihn dem Servomotor **50** zu.

[0026] Der Kraftschätzteil **20** schätzt ein Ansteuerdrehmoment (eine Ansteuerkraft), das auf den Tisch **70** an einem Verbindungsteil zwischen dem Tisch **70** (der Mutter **63**) und der Verbindungsvorrichtung **60** wirkt, auf Grundlage des Drehmomentsollwerts vom Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil **16**. Es ist anzumerken, dass der Kraftschätzteil **20** das Ansteuerdrehmoment auf Grundlage des elektrischen Ansteuerstroms des Servomotors **50** schätzen kann, d.h. des unter Verwendung eines Strommessers erfassten tatsächlichen Stroms (tatsächlichen Drehmoments).

[0027] Der Steifigkeitsschätzteil **22** schätzt die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** auf Grundlage des durch den Kraftschätzteil **20** geschätzten Ansteuerdrehmoments, des Positions-RF1-Werts vom Codierer **40** (der durch den Codierer **40** erfassten Position des Servomotors **50**, d.h. der Position des Tisches **70**) und des Positions-RF2-Werts von der Messskala **80** (der durch die Messskala **80** erfassten Position des Tisches **70**). Genauer schätzt der Steifigkeitsschätzteil **22** die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** gemäß der nachstehenden Formel (2) auf Grundlage des geschätzten Ansteuerdrehmomentwerts und der Differenz zwischen dem Positions-RF1-Wert und dem Positions-RF2-Wert.

$$\begin{aligned} \text{Größe der Steifigkeit} &= \text{Ansteuerdrehmomentwert/Differenz} \\ &\text{zwischen Positions-RF1-Wert und Positions-RF2-Wert} \end{aligned} \quad (2)$$

Die Einzelheiten des Schätzverfahrens für die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** sind weiter unten beschrieben.

[0028] Der Speicherteil **24** speichert die durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzte Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten. Außerdem speichert der Speicherteil **24** eine Funktion, die als Eingabe die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** definiert und als Ausgang die Steuersignale **S1**, **S2** gemäß der eingegebenen Größe der Steifigkeit definiert, die die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** verändern. Zum Beispiel speichert der Speicherteil **24** als die Funktion eine Tabelle, in der die Größe der Steifigkeit und die Steuersignale **S1**, **S2** verknüpft sind. Zum Beispiel sind in der Tabelle die Steuersignale **S1**, **S2** so festgelegt, dass sie die Eckfrequenz verringern, wenn die Steifigkeit nachlässt. Der Speicherteil **24** ist ein wiederbeschreibbarer Speicher, wie beispielsweise ein EEPROM.

[0029] Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** verändert das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung der zweifachen Positionsregelungseinheit **30** gemäß der durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzten Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Erhöhen des Anteils der halbgeschlossenen Regelung und ein Verringern des Anteils der vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0030] Genauer erzeugt der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Steuersignale **S1**, **S2**, die der durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzten Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** entsprechen, auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (beispielsweise Tabelle) und sendet sie zum Hochpassfilter **32A** bzw. zum Tiefpassfilter **32B**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** bewirkt dadurch ein Verändern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Verringern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0031] Die Steuersignale **S1**, **S2** können gleich sein oder sich unterscheiden. Mit anderen Worten, die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** können gleich sein oder sich unterscheiden. In dem Fall, in dem die Eckfrequenzen dieser Filter gleich sind, ist es möglich, den Frequenzgang der durch den Addierer **33** addierten Abweichung zu einem Frequenzgang zu machen, der über den gesamten Bereich flach ist, wenn die Werte von **E1** und **E2** einander nahe Werte sind. Es ist anzumerken, dass in dem Fall, in dem die Eckfrequenzen dieser Filter nicht gleich sind, da die Frequenzkomponenten zwischen den Eckfrequenzen dieser Filter abgeschwächt oder verstärkt sind, eine bestimmte Frequenzkomponente von diesen verstärkt oder abgeschwächt sein kann.

[0032] Der Anzeigeteil **26** zeigt Informationen an (beispielsweise Zahlenwerte, Text, Bilder usw.), die die durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzte Größe der Steifigkeit angeben. Der Anzeigeteil **26** ist eine Anzeigevorrichtung, wie etwa beispielsweise eine Flüssigkristallanzeige.

[0033] Die Motorsteuerungseinheit **10A** (und die weiter unten beschriebenen Motorsteuerungseinheiten **10B**, **10C**) besteht aus Arithmetikprozessoren, wie etwa einem DSP (digitalen Signalprozessor) und beispielsweise einem FPGA (Field-Programmable Gate Array). Die verschiedenen Funktionen (Positionssollwert-Erzeugungsteil **12**, zweifacher Positionsregelteil **30A** (d.h. Subtrahierer **31A**, **31B**, Hochpassfilter **32A**, Tiefpassfilter **32B**, Addierer **33**), Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14**, Subtrahierer **15**, Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil **16**, Kraftschätzteil **20**, Steifigkeitsschätzteil **22**, Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A**, weiter unten beschriebener zweifacher Positionsregelteil **30B** (d.h. Subtrahierer **31C**, weiter unten beschriebener Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** und weiter unten beschriebener Erlangungsteil **20C**) der Motorsteuerungseinheit **10A** (der Motorsteuerungseinheiten **10B**, **10C**) sind durch ein Ausführen vorgegebener Software (Programme) verwirklicht, die in einer Speichereinheit abgelegt sind (beispielsweise dem Speicherteil **24**). Die verschiedenen Funktionen der Motorsteuerungseinheit **10A** (der Motorsteuerungseinheit **10B**, **10C**) können durch das Zusammenwirken von Hardware und Software verwirklicht sein oder können durch Hardware (elektronische Schaltkreise) allein verwirklicht sein.

[0034] Als Nächstes ist ein Verhältnis-Veränderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung **1A** der ersten Ausführungsform durch Bezugnahme auf **Fig. 3** erläutert. **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, das den Verhältnisänderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung **1A** der ersten Ausführungsform zeigt.

[0035] Zuerst gibt in Schritt **S11** die Motorsteuerungseinheit **10A** einen Drehmomentsollwert gemäß dem Positionssollwert (Bewegungssollwert) an den Servomotor **50**, um den Servomotor **50** zu veranlassen, sich zu drehen. Dabei schätzt der Kraftschätzteil **20** ein Ansteuerdrehmoment, das auf den Tisch **70** an dem Verbindungsteil zwischen dem Tisch **70** (der Mutter **63**) und der Verbindungsvorrichtung **60** wirkt, auf Grundlage des Drehmomentsollwerts vom Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil **16**. Außerdem wird die Drehposition des Servomotors **50** (die der Position des Tisches **70** entsprechende Drehposition) durch den Codierer **40** des Servomotors **50** erfasst und an die Motorsteuerungseinheit **10A** als der Positions-RF1-Wert gesendet. Außerdem wird die Position des Tisches **70** durch die Messskala **80** des Tisches **70** erfasst und an die Motorsteuerungseinheit **10A** als der Positions-RF2-Wert gesendet.

[0036] Als Nächstes schätzt in Schritt **S12** der Steifigkeitsschätzteil **22** die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** auf Grundlage des durch den Kraftschätzteil **20** geschätzten Ansteuerdrehmomentwerts

und der Differenz zwischen dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40** und dem Positions-RF2-Wert vom der Messskala **80**.

[0037] Eine Differenz zwischen der durch den Codierer **40** erfassten Drehposition des Servomotors **50** (d.h. der der Position des Tisches **70** entsprechenden Drehposition, dem Positions-RF1-Wert) und der durch die Messskala **80** erfassten Position des Tisches **70** (dem Positions-RF2-Wert) entsteht aufgrund elastischer Verformung, wie etwa eines Verwindens der Verbindungsvorrichtung (Kugelgewindespindel, Kupplung usw.). Dann ist die Steifigkeit durch das Verhältnis des Verformungsbetrags (elastischen Verformungsbetrags) zur angelegten Kraft (zum Ansteuerdrehmoment) ausgedrückt. Der Steifigkeitsschätzteil 22 schätzt dadurch die Größe der Steifigkeit gemäß der nachstehenden Formel (2).

$$\begin{aligned} \text{Größe der Steifigkeit} &= \text{Ansteuerdrehmomentwert/elastischer} \\ \text{Verformungsbetrag} &= \text{Ansteuerdrehmomentwert/Differenz} \\ \text{zwischen Positions-RF1-Wert und Positions-RF2-Wert} & \quad (2) \end{aligned}$$

Es ist anzumerken, dass die durch den Steifigkeitsschätzteil 22 geschätzte Steifigkeit in der vorliegenden Ausführungsform eine elastische Verformung und den Einfluss von Spiel enthält.

[0038] Hier altert die Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** (lässt nach). Zum Beispiel lässt die Steifigkeit der Kugelgewindespindel **62** in der Verbindungsvorrichtung **60** aufgrund der Abschwächung der Vorbelastung mit der Zeit nach. Hier lässt, wenn die Steifigkeit nachlässt, die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (d.h. der Werkzeugmaschine) nach, und die Möglichkeit steigt, dass niederfrequente Schwingungen in der Werkzeugmaschine erzeugt werden. Wenn niederfrequente Schwingungen in der Werkzeugmaschine auftreten, lässt die Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine nach.

[0039] Daher erzeugt in Schritt **S13** der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Steuersignale **S1**, **S2**, die der durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzten Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** entsprechen, auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (z.B. Tabelle) und sendet sie zum Hochpassfilter **32A** bzw. zum Tiefpassfilter **32B** des zweifachen Positionsregelteils **30A**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35** bewirkt dadurch ein Verändern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Verringern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0040] Der Anteil der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert, die durch das Tiefpassfilter **32B** durchgelassen wird, verringert sich dadurch, und der Anteil der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert, die durch das Hochpassfilter **32A** durchgelassen wird, erhöht sich. Aus diesem Grund verringert sich der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht sich auf Grundlage der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung.

[0041] Hier wird beim zweifachen Positionsregelteil **30A** die halbgeschlossene Regelung, die das Hochpassfilter **32A** enthält, während des Übergangsvorgangs dominant, in dem die hochfrequente Abweichung erzeugt wird. Andererseits wird während der Positionierung, in der die niederfrequente Abweichung erzeugt wird, die vollständig geschlossene Regelung dominant, die das Tiefpassfilter **32B** enthält.

[0042] Die auf der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert beruhende halbgeschlossene Regelung weist eine Regelungskennlinie auf, die stabil ist, da die Positions-RF1 vom Codierer **40** des Servomotors **50** benutzt wird, d.h., da die Verbindungsvorrichtung **60** nicht in der Rückkopplungsschleife enthalten ist. Andererseits weist die auf der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert beruhende vollständig geschlossene Regelung eine Regelungskennlinie hoher Positionierungsgenauigkeit auf, da der Positions-RF2-Wert von der nahe dem Tisch (angesteuerten Körper) **70** vorgesehenen Messskala **80** benutzt wird.

[0043] Gemäß dem zweifachen Positionsregelteil **30A** ist es daher möglich, einen stabilen Betrieb während eines Übergangsvorgangs zu erhalten, und möglich, Schwingungen der Werkzeugmaschine zu unterdrücken. Andererseits ist es möglich, während der Positionierung eine hohe Positionierungsgenauigkeit zu erhalten.

[0044] Da weiter durch den Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** bewirkt ist, dass die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verringert werden, verringert sich der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung, die die Verbindungsvorrichtung **60** enthält, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht sich, die zum stabilen Betrieb imstande ist, ohne die Verbindungsvorrichtung **60** zu enthalten. Es ist dadurch möglich, das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine zu unterdrücken, die durch ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verursacht werden, ohne die hohe Positionierungsgenauigkeit während des Positionierens zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund ist es möglich, ein durch das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine verursachtes Nachlassen der Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine zu unterdrücken.

[0045] Es ist anzumerken, dass ein Umschalten von der halbgeschlossenen Regelung während des Übergangsbetriebs zur vollständig geschlossenen Regelung während der Positionierung mit niedrigeren Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** sanft (langsamer) wird.

[0046] Dabei kann der Anzeigeteil **26** Informationen anzeigen, die die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** angeben.

[0047] Die Motorsteuerungseinheit **10A** kehrt nach dem Ablauf einer vorgegebenen Zeit zu Schritt **S11** zurück und wiederholt die zuvor beschriebenen Vorgänge. Es ist anzumerken, dass die Motorsteuerungseinheit **10A** nicht auf den vorab festgesetzten Ablauf einer festen Zeit (vorgegebenen Zeit) beschränkt ist und die zuvor beschriebenen Vorgänge nach einem unregelmäßigen Zeitablauf (in unbestimmten Zeitabständen) wiederholen kann. Alternativ kann die Motorsteuerungseinheit **10A** die zuvor beschriebenen Vorgänge jederzeit oder während festgelegter bestimmter Vorgänge (beispielsweise während des Anlaufs) wiederholen.

[0048] Es ist anzumerken, dass in Schritt **S12** der Steifigkeitsschätzteil **22** die mit verschiedenen Informationen, wie etwa Uhrzeit und Datum der Schätzung, zu verknüpfende geschätzte Größe der Steifigkeit im Speicherteil **24** speichern kann. Außerdem kann in Schritt **S13** der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** das Verhältnis der Regelungen auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten aktuellsten Größe der Steifigkeit verändern.

[0049] Wie oben erläutert, schätzen bei der Servomotor-Steuervorrichtung **1A** nach der vorliegenden Ausführungsform der Kraftschätzteil (Erlangungsteil) **20** und der Steifigkeitsschätzteil (Erlangungsteil) **22** die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**, und der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** bewirkt als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** ein Verringern der Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und der Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** im zweifachen Positionregelteil **30A**. Der Anteil der auf der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert beruhenden vollständig geschlossenen Regelung verringert sich dadurch, und der Anteil der auf der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert beruhenden halbgeschlossenen Regelung erhöht sich. Mit anderen Worten, der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung, die die Verbindungsvorrichtung **60** enthält, verringert sich, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung, die zum stabilen Betrieb imstande ist, ohne die Verbindungsvorrichtung **60** zu enthalten, erhöht sich. Es ist dadurch möglich, das Auftreten von Schwingungen der Werkzeugmaschine zu unterdrücken, die durch ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verursacht werden, ohne die hohe Positionierungsgenauigkeit während des Positionierens zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund ist es möglich, das durch das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine verursachte Nachlassen der Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine zu unterdrücken.

[0050] Außerdem ist es bei der Servomotor-Steuervorrichtung **1A** nach der vorliegenden Ausführungsform, da der Anzeigeteil **26** Informationen bezüglich der Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** anzeigt, für den Benutzer möglich, ein Altern (Verschlechtern) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** festzustellen. Außerdem kann der Benutzer das Vorhandensein der Notwendigkeit einer Wartung der Verbindungsvorrichtung **60** feststellen.

[0051] Es ist anzumerken, dass bei der vorliegenden Ausführungsform der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verändert; jedoch ist er nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel kann der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** auf Grundlage einer zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten im Speicherteil **24** gespeicherten Vielzahl von geschätzten Grö-

ßen der Steifigkeit ermitteln und das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die ermittelte Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verändern.

[0052] Außerdem kann der Anzeigeteil **26** Informationen anzeigen, die die ermittelte Veränderung (den Betrag des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** angeben.

(Servomotor-Steuervorrichtung nach der zweiten Ausführungsform)

[0053] Die erste Ausführungsform erläutert einen zweifachen Positionsregelteil **30A**, der ausgebildet ist, indem die beiden Filter, das Hochpassfilter **32A** und das Tiefpassfilter **32B**, benutzt sind. Die zweite Ausführungsform erläutert einen zweifachen Positionsregelteil, der ausgebildet ist, indem ein Tiefpassfilter und ein Subtrahierer benutzt sind.

[0054] In **Fig. 1** enthält die Servomotor-Steuervorrichtung **1B** gemäß der zweiten Ausführungsform eine Motorsteuerungseinheit **10B** als die zuvor beschriebene Motorsteuerungseinheit **10**.

[0055] **Fig. 4** ist eine Ansicht, die die Anordnung der Motorsteuerungseinheit **10B** in der Servomotor-Steuervorrichtung **1B** gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt. Wie in **Fig. 4** gezeigt, unterscheidet sich die Motorsteuerungseinheit **10B** von der ersten Ausführungsform in der Anordnung, die den zweifachen Positionsregelteil **30B** und den Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** anstelle des zweifachen Positionsregelteils **30A** und des Regelungsverhältnis-Veränderungsteils **35A** der in **Fig. 2** gezeigten Motorsteuerungseinheit **10A** enthält.

[0056] Der zweifache Positionsregelteil **30B** unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform in dem Punkt, dass er einen Subtrahierer **31C** anstelle des Hochpassfilters **32A** des zweifachen Positionsregelteils **30A** enthält.

[0057] Der Subtrahierer (dritte Subtraktionsteil) **31C** ermittelt eine dritte Abweichung, die erlangt ist durch ein Subtrahieren der durch den Subtrahierer **31A** ermittelten ersten Abweichung von der durch den Subtrahierer **31B** ermittelten zweiten Abweichung.

[0058] Das Tiefpassfilter **32B** lässt die niederfrequente Komponente der durch den Subtrahierer **31C** ermittelten dritten Abweichung durch und schneidet die hochfrequente Komponente ab. Mit anderen Worten, das Tiefpassfilter **32B** lässt die niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung und die niederfrequente Komponente der ersten Abweichung (negativer Wert) durch. Die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** wird als Reaktion auf ein Steuersignal **S** vom Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** verändert.

[0059] Der Addierer **33** addiert die durch den Subtrahierer **31A** ermittelte erste Abweichung und die vom Tiefpassfilter **32B** durchgelassene niederfrequente Komponente der dritten Abweichung und sendet das Ergebnis zum Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14**. Mit anderen Worten, der Addierer **33** addiert die hochfrequente Komponente der ersten Abweichung durch eine Addition der ersten Abweichung und der niederfrequenten Komponente (negativer Wert) der ersten Abweichung mit der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung.

[0060] Der zweifache Positionsregelteil **30B** führt, ähnlich wie der zweifache Positionsregelteil **30A**, dadurch auch eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40** und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert von der Messskala **80** durch.

[0061] Hier sind, wenn die erste Abweichung als **E1** definiert ist und die zweite Abweichung als **E2**, die dritte Abweichung **E3** und der Ausgang **EL** des Tiefpassfilters **32B** durch die folgenden Formeln ausgedrückt.

$$E3 = E2 - E1 \quad EL = 1/(1 + \tau s) \times E3 = 1/(1 + \tau s) \times (E2 - E1)$$

Die durch den Addierer **33** addierte Abweichung ist dadurch durch die folgende Formel ausgedrückt.

$$\begin{aligned} \text{Abweichung} &= E1 + 1/(1 + \tau s) \times (E2 - E1) \\ &= \tau s / (1 + \tau s) \times E1 + 1/(1 + \tau s) \times E2 \quad (3) \end{aligned}$$

Die obige Formel (3) ist identisch mit der zuvor beschriebenen Formel (1). Die Funktionen und Vorgänge des zweifachen Positionsregelteils **30B** stellen sich dadurch als identisch mit den Funktionen und Vorgängen des zuvor beschriebenen zweifachen Positionsregelteils **30A** heraus, die auch auf der obigen Formel (3) beruhen.

[0062] Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** verändert, ähnlich wie der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A**, das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzte Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** ein Erhöhen des Anteils der halbgeschlossenen Regelung und ein Verringern des Anteils der vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0063] Genauer erzeugt der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** das Steuersignal **S**, das der durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzten Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** entspricht, auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (beispielsweise einer Tabelle) und sendet es an das Tiefpassfilter **32B**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** bewirkt dadurch ein Verändern der Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** ein Verringern der Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0064] Es ist auch möglich, ähnliche Vorteile wie bei der Servomotor-Steuervorrichtung **1A** der ersten Ausführungsform mit der Servomotor-Steuervorrichtung **1B** der vorliegenden Ausführungsform zu erzielen.

[0065] Mit anderen Worten, der zweifache Positionsregelteil **30B** der vorliegenden Ausführungsform führt auch eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40** und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert von der Messskala **80** durch. Die halbgeschlossene Regelung wird während des Übergangsvorgangs dominant, in dem die hochfrequente Abweichung erzeugt wird, und die vollständig geschlossene Regelung wird während der Positionierung dominant, in der die niederfrequente Abweichung erzeugt wird. Als Ergebnis davon ist es möglich, einen stabilen Betrieb während des Übergangsbetriebs zu erhalten und somit möglich, Schwingungen in der Werkzeugmaschine zu unterdrücken. Andererseits ist es möglich, während der Positionierung eine hohe Positionierungsgenauigkeit zu erhalten.

[0066] Weiter veranlasst in der Servomotor-Steuervorrichtung **1B** der vorliegenden Ausführungsform der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** ein Verringern der Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**. Der Anteil der auf der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert beruhenden vollständig geschlossenen Regelung verringert sich dadurch, und der Anteil der auf der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert beruhenden halbgeschlossenen Regelung erhöht sich. Mit anderen Worten, der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung, die die Verbindungsvorrichtung **60** enthält, verringert sich, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht sich, die zum stabilen Betrieb imstande ist, ohne die Verbindungsvorrichtung **60** zu enthalten. Es ist dadurch möglich, das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine zu unterdrücken, die durch ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verursacht werden, ohne die hohe Positionierungsgenauigkeit während des Positionierens zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund ist es möglich, ein durch das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine verursachtes Nachlassen der Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine zu unterdrücken.

[0067] Es ist anzumerken, dass auch in der vorliegenden Ausführungsform der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** die Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** auf Grundlage einer zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten im Speicherteil **24** gespeicherten Vielzahl von geschätzten Größen der Steifigkeit ermitteln und das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die ermittelte Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verändern kann.

(Modifiziertes Beispiel der zweiten Ausführungsform)

[0068] Fig. 5 ist eine Ansicht, die die Anordnung der Motorsteuerungseinheit **10B** in einer Servomotor-Steuervorrichtung **1B** gemäß einem modifizierten Beispiel der zweiten Ausführungsform zeigt. Wie in Fig. 5 gezeigt, kann der zweifache Positionsregelteil **30B** den Subtrahierer **31C** und das Hochpassfilter **32A** anstelle des Subtrahierers **31C** und des Tiefpassfilters **32B** enthalten.

[0069] Der Subtrahierer (dritte Subtraktionsteil) **31C** ermittelt eine dritte Abweichung, die erlangt ist durch ein Subtrahieren der durch den Subtrahierer **31B** ermittelten zweiten Abweichung von der durch den Subtrahierer **31A** ermittelten ersten Abweichung.

[0070] Das Hochpassfilter **32A** lässt die hochfrequente Komponente der durch den Subtrahierer **31C** ermittelten dritten Abweichung durch und schneidet die niederfrequente Komponente ab. Mit anderen Worten, das Hochpassfilter **32A** lässt die hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und die hochfrequente Komponente der zweiten Abweichung (negativer Wert) durch. Die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** wird als Reaktion auf das Steuersignal **S** vom Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** verändert.

[0071] Der Addierer **33** addiert die vom Hochpassfilter **32A** durchgelassene hochfrequente Komponente der dritten Abweichung und die durch den Subtrahierer **31A** ermittelte zweite Abweichung und sendet das Ergebnis zum Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil **14**. Mit anderen Worten, der Addierer **33** addiert die hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und die niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung aus der Addition der zweiten Abweichung und der hochfrequenten Komponente (negativer Wert) der zweiten Abweichung.

[0072] Der zweifache Positionsregelteil **30B** des modifizierten Beispiels führt, ähnlich wie der zweifache Positionsregelteil **30B** der zweiten Ausführungsform, dadurch auch eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert vom Codierer **40** und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert von der Messskala **80** durch.

[0073] Hier sind, wenn die erste Abweichung als **E1** definiert ist und die zweite Abweichung als **E2**, die dritte Abweichung **E3** und der Ausgang **EH** des Hochpassfilters **32A** durch die folgenden Formeln ausgedrückt.

$$E3 = E1 - E2$$

$$EH = \tau s / (1 + \tau s) \times E3 = \tau s / (1 + \tau s) \times (E2 - E1)$$

Die durch den Addierer **33** addierte Abweichung ist dadurch durch die folgende Formel ausgedrückt.

$$\begin{aligned} \text{Abweichung} &= \tau s / (1 + \tau s) \times (E1 - E2) + E2 \\ &= \tau s / (1 + \tau s) \times E1 + 1 / (1 + \tau s) \times E2 \end{aligned} \quad (4)$$

Die obige Formel (4) ist identisch mit der zuvor beschriebenen Formel (3). Die Funktionen und Vorgänge des zweifachen Positionsregelteils **30B** des modifizierten Beispiels stellen sich dadurch als identisch mit den Funktionen und Vorgängen des zweifachen Positionsregelteils **30B** der zweiten Ausführungsform heraus, die auch auf der obigen Formel (4) beruhen.

[0074] Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** verändert, ähnlich wie bei der zweiten Ausführungsform, das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzte Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** ein Erhöhen des Anteils der halbgeschlossenen Regelung und ein Verringern des Anteils der vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0075] Genauer erzeugt der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** das Steuersignal **S**, das der durch den Steifigkeitsschätzteil **22** geschätzten Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** entspricht, auf Grundlage einer im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (beispielsweise Tabelle) und sendet es an das Hochpassfilter **32A**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** bewirkt dadurch ein Verändern der Eck-

frequenz des Hochpassfilters **32A**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** ein Verringern der Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0076] Die Servomotor-Steuervorrichtung **1B** nach diesem modifizierten Beispiel kann auch ähnliche Vorteile erzielen wie die Servomotor-Steuervorrichtung **1B** nach der zweiten Ausführungsform.

(Servomotor-Steuervorrichtung nach der dritten Ausführungsform)

[0077] In der ersten Ausführungsform wird das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60** verändert. In der dritten Ausführungsform wird das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung auf Grundlage der Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung verändert.

[0078] In **Fig. 1** enthält die Servomotor-Steuervorrichtung **1C** gemäß der dritten Ausführungsform die Motorsteuerungseinheit **10C** als die zuvor beschriebene Motorsteuerungseinheit **10**.

[0079] **Fig. 6** ist eine Ansicht, die die Anordnung der Motorsteuerungseinheit **10C** in der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** gemäß der dritten Ausführungsform zeigt. Wie in **Fig. 6** gezeigt, unterscheidet sich die Motorsteuerungseinheit **10C** von der ersten Ausführungsform in der Anordnung, die einen Erlangungsteil **20C** anstelle des Kraftschätzteils **20** (Erlangungsteils) und einen Steifigkeitsschätzteil (Erlangungsteil) **22** der in **Fig. 2** gezeigten Motorsteuerungseinheit **10A** enthält.

[0080] Der Erlangungsteil **20C** ermittelt den Frequenzgang für die Übertragungscharakteristik der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**. Zum Beispiel ermittelt der Erlangungsteil **20C** den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der vollständig geschlossenen Regelungsschleife vom Subtrahierer **31B** bis zur Messskala **80**. Genauer gibt der Erlangungsteil **20C** ein Erregungssignal (beispielsweise ein Signal, das eine Vielzahl von Frequenzkomponenten enthält, wie etwa ein Sinuswellen-Frequenzdurchlaufsignal und ein M-Folge-Signal) in den Subtrahierer **31B** ein und gewinnt den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der vollständig geschlossenen Regelungsschleife durch ein Messen des von der Messskala **80** zum Subtrahierer **31B** zurückgelieferten Positions-RF2-Signals. Dabei ist die gesamte Rückkopplungsschleife in einen offenen Schleifenzustand gesetzt.

[0081] Dann ermittelt der Erlangungsteil **20C** die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) aus dem ermittelten Gewinn-/Phasen-Frequenzgang.

[0082] Der Speicherteil **24** speichert die durch den Erlangungsteil **20C** ermittelte Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten. Außerdem speichert der Speicherteil **24** eine Funktion, die als Eingabe die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** definiert und als Ausgänge die Steuersignale in **S1**, **S2** gemäß der eingegebenen Größe der Resonanzfrequenz definiert, die die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** verändern. Zum Beispiel speichert der Speicherteil **24** eine Tabelle, in der die Größen der Resonanzfrequenz und die Steuersignale **S1**, **S2** als eine Funktion verknüpft sind. Zum Beispiel sind in der Tabelle die Steuersignale **S1**, **S2** so festgelegt, dass sie die Eckfrequenzen verringern, wenn die Resonanzfrequenz nachlässt.

[0083] Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** verändert das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung in dem zweifachen Positionsregelteil **30A** als Reaktion auf die durch den Erlangungsteil **20C** ermittelte Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Erhöhen des Anteils der halbgeschlossenen Regelung und ein Verringern des Anteils der vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf ein Nachlassen der ermittelten Resonanzfrequenz der Verbindungsvorrichtung **1C**.

[0084] Genauer erzeugt der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Steuersignale **S1**, **S2**, die der durch den Erlangungsteil **20C** ermittelten Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** entsprechen, auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (beispielsweise Tabelle) und sendet sie zum Hochpassfilter **32A** bzw. zum Tiefpassfilter **32B**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** bewirkt dadurch ein Verändern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Verringern der Eckfrequenzen des Hoch-

passfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der geschätzten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**.

[0085] Als Nächstes ist ein Verhältnis-Veränderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung **1C** der dritten Ausführungsform durch Bezugnahme auf **Fig. 7** erläutert. **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm, das den Verhältnisänderungsvorgang der zweifachen Positionsregelung durch die Servomotor-Steuervorrichtung **1C** der dritten Ausführungsform zeigt.

[0086] Zuerst gewinnt in Schritt **S21** der Erlangungsteil **20C** den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der vollständig geschlossenen Regelungsschleife vom Subtrahierer **31B** bis zur Messskala **80** in der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**. Genauer gibt der Erlangungsteil **20C** das Erregungssignal in den Subtrahierer **31B** ein und gewinnt den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der vollständig geschlossene Regelungsschleife durch ein Messen des von der Messskala **80** zum Subtrahierer **31B** zurückgekoppelten Positions-RF2-Signals.

[0087] Als Nächstes ermittelt in Schritt **S22** der Erlangungsteil **20C** die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) aus dem ermittelten Gewinn-/Phasen-Frequenzgang.

[0088] **Fig. 8** zeigt ein Beispiel des Gewinn-/Phasen-Frequenzgangs (Größen-/Phasen-Frequenzgangs) der Regelungsschleife der Servomotor-Steuervorrichtung. Wie in **Fig. 8** gezeigt, verringert sich, wenn die Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung altert (abfällt, sich verschlechtert), die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) von **f1** (gestrichelte Linie) zu **f2** (durchgehende Linie). Außerdem kann sich die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** von **f1** (gestrichelte Linie) zu **f2** (durchgehende Linie) aufgrund einer Alterungsverschlechterung beliebiger anderer Bestandteile der Werkzeugmaschine verringern. Wenn die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** nachlässt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass niederfrequente Schwingungen in der Werkzeugmaschine erzeugt werden. Wenn die niederfrequenten Schwingungen in der Werkzeugmaschine auftreten, lässt die Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine nach.

[0089] Daher erzeugt, ähnlich wie oben beschrieben, in Schritt **S13** der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Steuersignale **S1**, **S2**, die der durch den Erlangungsteil **20C** ermittelten Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** entsprechen, auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten Funktion (beispielsweise Tabelle) und sendet sie zum Hochpassfilter **32A** bzw. zum Tiefpassfilter **32B** des zweifachen Positionsregelteils **30A**. Der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** bewirkt dadurch ein Verändern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B**. Genauer veranlasst der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** ein Verringern der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** als Reaktion auf ein Nachlassen der ermittelten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**.

[0090] Der Anteil der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert, die durch das Tiefpassfilter **32B** durchgelassen wird, verringert sich dadurch, und der Anteil der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RFI-Wert, die durch das Hochpassfilter **32A** durchgelassen wird, erhöht sich. Aus diesem Grund verringert sich der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung auf Grundlage der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht sich auf Grundlage der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung.

[0091] Dabei kann der Anzeigeteil **26** Informationen anzeigen, die die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** angeben.

[0092] Die Motorsteuerungseinheit **10C** kehrt nach dem Ablauf einer vorgegebenen Zeit zu Schritt **S21** zurück und wiederholt die zuvor beschriebenen Vorgänge. Es ist anzumerken, dass die Motorsteuerungseinheit **10C** nicht auf den vorab festgesetzten Ablauf einer festen Zeit (vorgegebenen Zeit) beschränkt ist und die zuvor beschriebenen Vorgänge nach einem unregelmäßigen Zeitablauf (in unbestimmten Zeitabständen) wiederholen kann. Alternativ kann die Motorsteuerungseinheit **10C** die zuvor beschriebenen Vorgänge jederzeit oder während festgelegter bestimmter Vorgänge (beispielsweise während des Anlaufs) wiederholen.

[0093] Es ist anzumerken, dass in Schritt **S22** der Erlangungsteil **20C** die mit verschiedenen Informationen, wie etwa Uhrzeit und Datum der Ermittlung, zu verknüpfende ermittelte Größe der Resonanzfrequenz im Speicherteil **24** speichern kann. Außerdem kann in Schritt **S13** der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** das

Verhältnis der Regelungen auf Grundlage der im Speicherteil **24** gespeicherten aktuellsten Größe der Resonanzfrequenz verändern.

[0094] Außerdem ändert sich die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) abhängig von der Position des Tisches **70** bezüglich der Verbindungsvorrichtung **60**, dem Gewicht des auf den Tisch **70** geladenen Objekts usw. Daher kann der Erlangungsteil **20C** eine Messung des Gewinn-/Phasen-Frequenzgangs der Regelungsschleife unter denselben Bedingungen durchführen wie im Gebrauchsfall, wie etwa bei dem Gewicht des auf den Tisch **70** geladenen Objekts. Außerdem kann der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Veränderung der Eckfrequenzen des Hochpassfilters **32A** und des Tiefpassfilters **32B** unter Berücksichtigung verschiedener Informationen einstellen, wie etwa der Position des Tisches **70** bezüglich der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0095] Wie oben beschrieben, ermittelt bei der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** nach der vorliegenden Ausführungsform der Erlangungsteil **20C** die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**, und der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** veranlasst ein Verringern der Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und der Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** des zweifachen Positionsregelteils **30A** als Reaktion auf ein Nachlassen der ermittelten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C**. Der Anteil der auf der niederfrequenten Komponente der zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF2-Wert beruhenden vollständig geschlossenen Regelung verringert sich dadurch, und der Anteil der auf der hochfrequenten Komponente der ersten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und dem Positions-RF1-Wert beruhenden halbgeschlossenen Regelung erhöht sich. Mit anderen Worten, der Anteil der vollständig geschlossenen Regelung, die die Verbindungsvorrichtung **60** enthält, verringert sich, und der Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht sich, die zum stabilen Betrieb imstande ist, ohne die Verbindungsvorrichtung **60** zu enthalten. Es ist dadurch möglich, das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine zu unterdrücken, die durch ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** verursacht werden, ohne die hohe Positionierungsgenauigkeit während des Positionierens zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund ist es möglich, ein durch das Auftreten von Schwingungen in der Werkzeugmaschine verursachtes Nachlassen der Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine zu unterdrücken.

[0096] Außerdem zeigt bei der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** der vorliegenden Ausführungsform der Anzeigeteil **26** Informationen bezüglich der Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) an; daher ist es für den Benutzer möglich, das Altern der Werkzeugmaschine (beispielsweise eine Alterungsverschlechterung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**) festzustellen. Außerdem kann der Benutzer das Vorhandensein der Notwendigkeit einer Wartung der Werkzeugmaschine (beispielsweise der Verbindungsvorrichtung **60**) feststellen.

[0097] Es ist anzumerken, dass in der vorliegenden Ausführungsform der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** verändert; jedoch ist er nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel kann der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** auf Grundlage einer zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten im Speicherteil **24** gespeicherten Vielzahl von geschätzten Größen der Resonanzfrequenz ermitteln und das Verhältnis der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung als Reaktion auf die ermittelte Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** verändern.

[0098] Außerdem kann der Anzeigeteil **26** Informationen anzeigen, die die ermittelte Änderung (den Betrag des Nachlassens) der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** anzeigen.

[0099] Außerdem kann in der vorliegenden Ausführungsform der Erlangungsteil **20C** die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) ermitteln, indem er den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der halbgeschlossenen Regelungsschleife vom Subtrahierer **31A** bis zum Codierer **40** misst. Außerdem kann der Erlangungsteil **20C** die Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) ermitteln, indem er den Gewinn-/Phasen-Frequenzgang der Drehzahlregelungsschleife vom Subtrahierer **15** bis zum Codierer **40** misst.

[0100] Es ist anzumerken, dass die vorliegende Ausführungsform einen Fall erläutert, bei dem die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) aufgrund einer Alterungsverschlechterung der Werkzeugmaschine nachlässt. Jedoch kann auch in Betracht gezogen werden, dass sich die Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** (d.h. der Werkzeugmaschine) aufgrund einer be-

liebigen Ursache, wie etwa eines Alterns der Werkzeugmaschine, erhöht. In diesem Fall kann der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** die Eckfrequenz des Hochpassfilters **32A** und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters **32B** des zweifachen Positionsregelteils **30A** als Reaktion auf ein Erhöhen der ermittelten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung **1C** erhöhen.

[0101] Obwohl oben Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert sind, soll die vorliegende Erfindung nicht auf die zuvor beschriebenen Ausführungsformen beschränkt sein. Außerdem sind die in der vorliegenden Ausführungsform beschriebenen Wirkungen nur beispielgebend für die am meisten bevorzugten durch die vorliegende Erfindung erbrachten Wirkungen, und die Wirkungen gemäß der vorliegenden Erfindung sind nicht auf die in der vorliegenden Ausführungsform beschriebenen beschränkt.

[0102] Zum Beispiel können die zuvor beschriebenen Ausführungsformen nach Bedarf abgeändert werden oder können durch ein Ersetzen oder Kombinieren verwirklicht werden. Zum Beispiel können der Kraftschätzteil (Erlangungsteil) **20** und der Steifigkeitsschätzteil (Erlangungsteil) **22** der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform und der Erlangungsteil **20C** der dritten Ausführungsform nach Bedarf ersetzt werden, und der zweifache Positionsregelteil **30A** und der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35A** der ersten Ausführungsform und der dritten Ausführungsform und der zweifache Positionsregelteil **30B** und der Regelungsverhältnis-Veränderungsteil **35B** der zweiten Ausführungsform können nach Bedarf ersetzt werden.

[0103] Außerdem zeigen die zuvor beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft die zweifachen Positionsregelteile **30A**, **30B**, die unter Verwendung des Hochpassfilters **32A** und/oder des Tiefpassfilters **32B** ausgebildet sind. Jedoch können die zweifachen Positionsregelteile **30A**, **30B** ein Bandpassfilter und/oder ein Kerbfilter (Bandsperrfilter) oder dergleichen anstelle des Hochpassfilters **32A** und/oder des Tiefpassfilters **32B** verwenden. In diesem Fall verändern die Regelungsverhältnis-Veränderungsteile **35A**, **35B** die Mittenfrequenz jedes Filters als Reaktion auf die Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung **60**.

[0104] Außerdem speichert die zuvor beschriebene Ausführungsform eine Vielzahl von Größen der Steifigkeit oder eine Vielzahl von Größen der Resonanzfrequenz, die zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten ermittelt werden, im Speicherteil **24** ihrer eigenen Vorrichtung; jedoch können sie in der Speichereinheit einer über ein Netzwerk verbundenen externen Servovorrichtung gespeichert werden.

[0105] Außerdem ist in den zuvor beschriebenen Ausführungsformen ein Anzeigeteil beispielhaft als ein Beispiel eines Meldeteils gezeigt; jedoch ist der Meldeteil nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel kann der Meldeteil ein Licht aussendender Teil sein, wie etwa eine oder eine Vielzahl von LEDs. Im Falle einer einzigen LED können verschiedene Informationen mittels Aufleuchten, Blinken und dergleichen gemeldet werden. Außerdem können im Falle einer Vielzahl von LEDs verschiedene Informationen mittels der Anzahl in derselben Farbe oder in verschiedenen Farben leuchtender LEDs gemeldet werden. Außerdem kann der Meldeteil beispielsweise eine Tonerzeugungseinheit sein, wie etwa für einen Summertone oder Sprache.

Bezugszeichenliste

1, 1A, 1B, 1C	Servomotor-Steuervorrichtung
10, 10A, 10B, 10C	Motorsteuerungseinheit
12	Positionssollwert-Erzeugungsteil
14	Drehzahlsollwert-Erzeugungsteil
15	Subtrahierer
16	Drehmomentsollwert-Erzeugungsteil
20	Kraftschätzteil (Erlangungsteil)
22	Steifigkeitsschätzteil (Erlangungsteil)
20C	Erlangungsteil
24	Speicherteil
26	Anzeigeteil (Meldeteil)
30A, 30B	zweifacher Positionsregelteil
31A	Subtrahierer (erster Subtraktionsteil)

31B	Subtrahierer (zweiter Subtraktionsteil)
31C	Subtrahierer (dritter Subtraktionsteil)
32A	Hochpassfilter
32B	Tiefpassfilter
33	Addierer (Additionsteil)
35A, 35B	Regelungsverhältnis-Veränderungsteil (Veränderungsteil)
40	Codierer (erster Positionserfassungsteil)
50	Servomotor
60	Verbindungsvorrichtung
61	Kupplung
62	Kugelgewindespindel
63	Mutter
70	Tisch (angesteuerter Körper)
80	Messskala (zweiter Positionserfassungsteil)

ZITATE ENTHALTEN 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 H0230522 [0003]
- JP 2002297241 [0003]
- JP 2010271854 [0003]

Patentansprüche

1. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C), umfassend:
 - einen Servomotor (50);
 - einen angesteuerten Körper (70), der durch den Servomotor (50) angesteuert ist;
 - eine Verbindungsvorrichtung (60), die den Servomotor (50) und den angesteuerten Körper (70) verbindet, um Leistung des Servomotors (50) auf den angesteuerten Körper (70) zu übertragen;
 - einen ersten Positionserfassungsteil (40), der eine Position des Servomotors (50) erfasst;
 - einen zweiten Positionserfassungsteil (80), der eine Position des angesteuerten Körpers (70) erfasst; und
 - eine Motorsteuerungseinheit (10, 10A, 10B, 10C), die den Servomotor (50) steuert, wobei die Motorsteuerungseinheit (10, 10A, 10B, 10C) enthält:
 - einen zweifachen Positionsregelungsteil (30A, 30B), der eine halbgeschlossene Regelung auf Grundlage einer hochfrequenten Komponente einer ersten Abweichung zwischen einem Positionssollwert zum Ansteuern der Steuerung des Servomotors (50) und der durch den ersten Positionserfassungsteil (40) erfassten Position des Servomotors (50) durchführt und eine vollständig geschlossene Regelung auf Grundlage einer niederfrequenten Komponente einer zweiten Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil (80) erfassten Position des angesteuerten Körpers (70) durchführt;
 - einen Erlangungsteil (20, 22, 20C), der eine Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder eine Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) ermittelt; und
 - einen Veränderungsteil (35A, 35B), der eine Veränderung eines Verhältnisses der halbgeschlossenen Regelung zur vollständig geschlossenen Regelung in dem zweifachen Positionsregelungsteil (30A, 30B) als Reaktion auf die Größe oder Veränderung der durch den Erlangungsteil (20, 22, 20C) ermittelten Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder auf die Größe oder Veränderung der durch den Erlangungsteil (20, 22, 20C) ermittelten Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) bewirkt.

2. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 1, wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich ein Anteil der halbgeschlossenen Regelung erhöht und ein Anteil der vollständig geschlossenen Regelung verringert, als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) .

3. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Erlangungsteil (20, 22, 20C) enthält:
 - einen Kraftschätzteil (20), der eine Ansteuerkraft schätzt, die auf den angesteuerten Körper (70) an einem Verbindungsteil zwischen der Verbindungsvorrichtung (60) und dem angesteuerten Körper (70) wirkt; und
 - einen Steifigkeitsschätzteil (22), der eine Größe der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) auf Grundlage der durch den ersten Positionserfassungsteil (40) erfassten Position des Servomotors (50), der durch den zweiten Positionserfassungsteil (80) erfassten Position des angesteuerten Körpers (70) und der durch den Kraftschätzteil (20) geschätzten Ansteuerkraft schätzt.

4. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Erlangungsteil (20, 22, 20C) einen Frequenzgang einer Übertragungscharakteristik einer Regelungsschleife der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) ermittelt und eine Größe der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) aus dem Frequenzgang der so ermittelten Übertragungscharakteristik ermittelt.

5. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Motorsteuerungseinheit (10, 10A, 10B, 10C) weiter einen Speicherteil (24) enthält, der eine Vielzahl von Größen der Steifigkeit oder eine Vielzahl von Größen der Resonanzfrequenz speichert, die durch den Erlangungsteil (20, 22, 20C) zu jedem vorgegebenen Zeitabschnitt oder unbestimmten Zeitabschnitten ermittelt sind, und wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) eine Veränderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder eine Veränderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) auf Grundlage einer Vielzahl von Größen der Steifigkeit oder einer Vielzahl von Größen der Resonanzfrequenz berechnet, die im Speicherteil (24) gespeichert sind.

6. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 5, wobei der zweifache Positionsregelungsteil (30A, 30B) weiter enthält:
 - einen ersten Subtraktionsteil (31A), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil (40) erfassten Position des Servomotors (50) ermittelt;
 - einen zweiten Subtraktionsteil (31B), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil (80) erfassten Position des angesteuerten Körpers (70) ermittelt;
 - ein Hochpassfilter (32A), in das die erste Abweichung vom ersten Subtraktionsteil (31A) eingegeben wird;

ein Tiefpassfilter (32B), in das die zweite Abweichung vom zweiten Subtraktionsteil (31B) eingegeben wird; und einen Additionsteil (33), der eine hochfrequente Komponente der vom Hochpassfilter (32A) ausgegebenen ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der vom Tiefpassfilter (32B) ausgegebenen zweiten Abweichung addiert, und wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters (32A) und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters (32B) als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verändern.

7. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 6, wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters (32A) und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters (32B) als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verringern.

8. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) die Eckfrequenz des Hochpassfilters (32A) und die Eckfrequenz des Tiefpassfilters (32B) auf denselben Wert einstellt.

9. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 5, wobei der zweifache Positionsregelungsteil (30A, 30B) weiter enthält:
einen ersten Subtraktionsteil (31A), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil (40) erfassten Position des Servomotors (50) ermittelt;
einen zweiten Subtraktionsteil (31B), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil (80) erfassten Position des angesteuerten Körpers (70) ermittelt;
einen dritten Subtraktionsteil (31C), der eine dritte Abweichung ermittelt, die durch ein Subtrahieren der ersten Abweichung des ersten Subtraktionsteils (31A) von der zweiten Abweichung des zweiten Subtraktionsteils (31B) erlangt ist;
ein Tiefpassfilter (32B), in das die dritte Abweichung vom dritten Subtraktionsteil (31C) eingegeben wird; und
einen Additionsteil (33), der eine hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung addiert, indem er die erste Abweichung vom ersten Subtraktionsteil (31A) und eine niederfrequente Komponente der vom Tiefpassfilter (32B) ausgegebenen dritten Abweichung addiert, und wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Tiefpassfilters (32B) als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verändert.

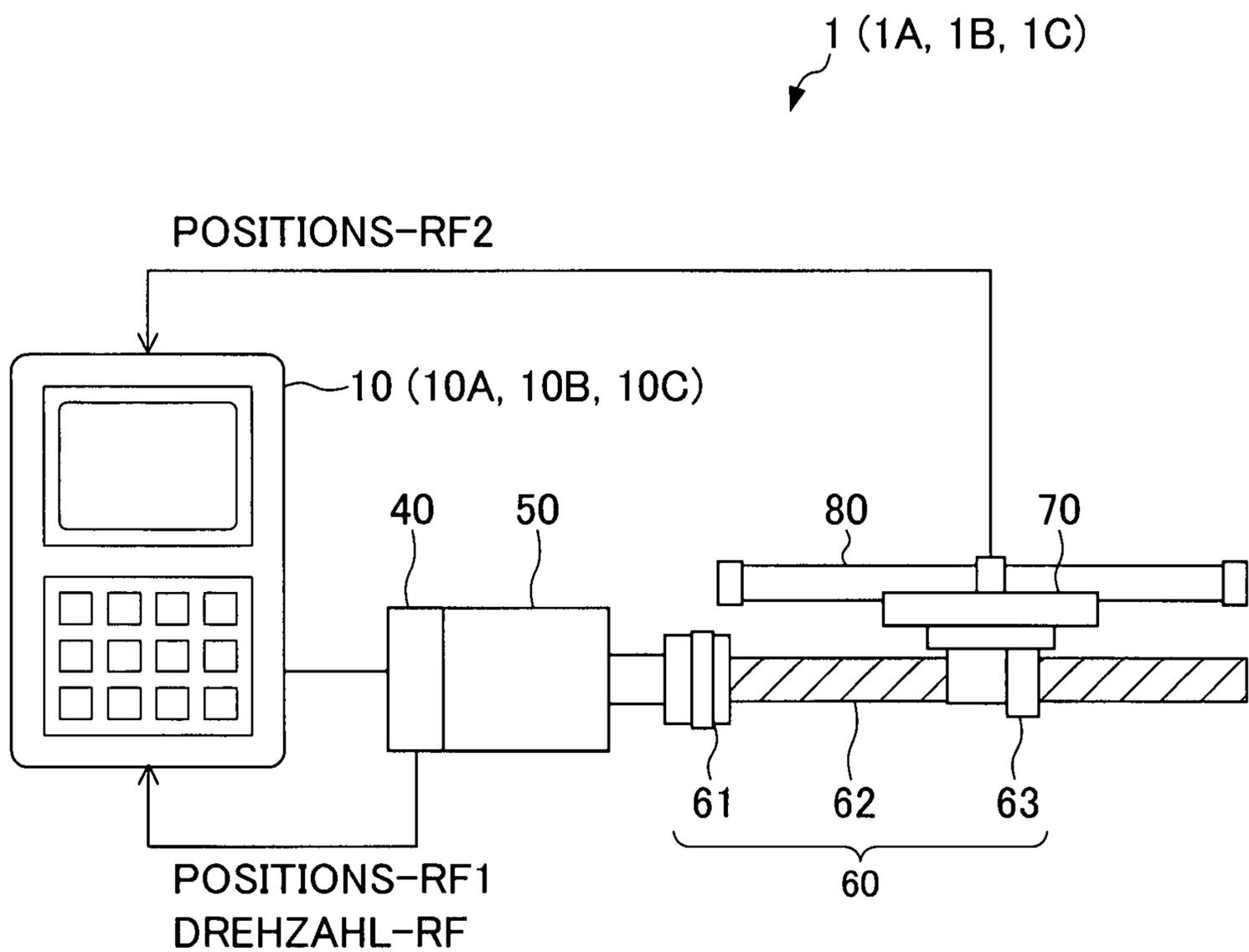
10. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 9, wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Tiefpassfilters (32B) als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verringert.

11. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 5, wobei der zweifache Positionsregelungsteil (30A, 30B) weiter enthält:
einen ersten Subtraktionsteil (31A), der eine erste Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den ersten Positionserfassungsteil (40) erfassten Position des Servomotors (50) ermittelt;
einen zweiten Subtraktionsteil (31B), der eine zweite Abweichung zwischen dem Positionssollwert und der durch den zweiten Positionserfassungsteil (80) erfassten Position des angesteuerten Körpers (70) ermittelt;
einen dritten Subtraktionsteil (31C), der eine dritte Abweichung ermittelt, die durch ein Subtrahieren der zweiten Abweichung des zweiten Subtraktionsteils (31B) von der ersten Abweichung des ersten Subtraktionsteils (31A) erlangt ist;
ein Hochpassfilter (32A), in das die dritte Abweichung vom dritten Subtraktionsteil (31C) eingegeben wird; und
einen Additionsteil (33), der eine hochfrequente Komponente der ersten Abweichung und eine niederfrequente Komponente der zweiten Abweichung addiert, indem er eine hochfrequente Komponente der vom Hochpassfilter (32A) ausgegebenen dritten Abweichung und die zweite Abweichung vom zweiten Subtraktionsteil (32B) addiert, und wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters (32A) als Reaktion auf die Größe oder Änderung der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder die Größe oder Änderung der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verändert.

12. Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) nach Anspruch 11, wobei der Veränderungsteil (35A, 35B) bewirkt, dass sich die Eckfrequenz des Hochpassfilters (32A) als Reaktion auf ein Nachlassen der Steifigkeit der Verbindungsvorrichtung (60) oder ein Nachlassen der Resonanzfrequenz der Servomotor-Steuervorrichtung (1, 1A, 1B, 1C) verringert.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

FIG. 1



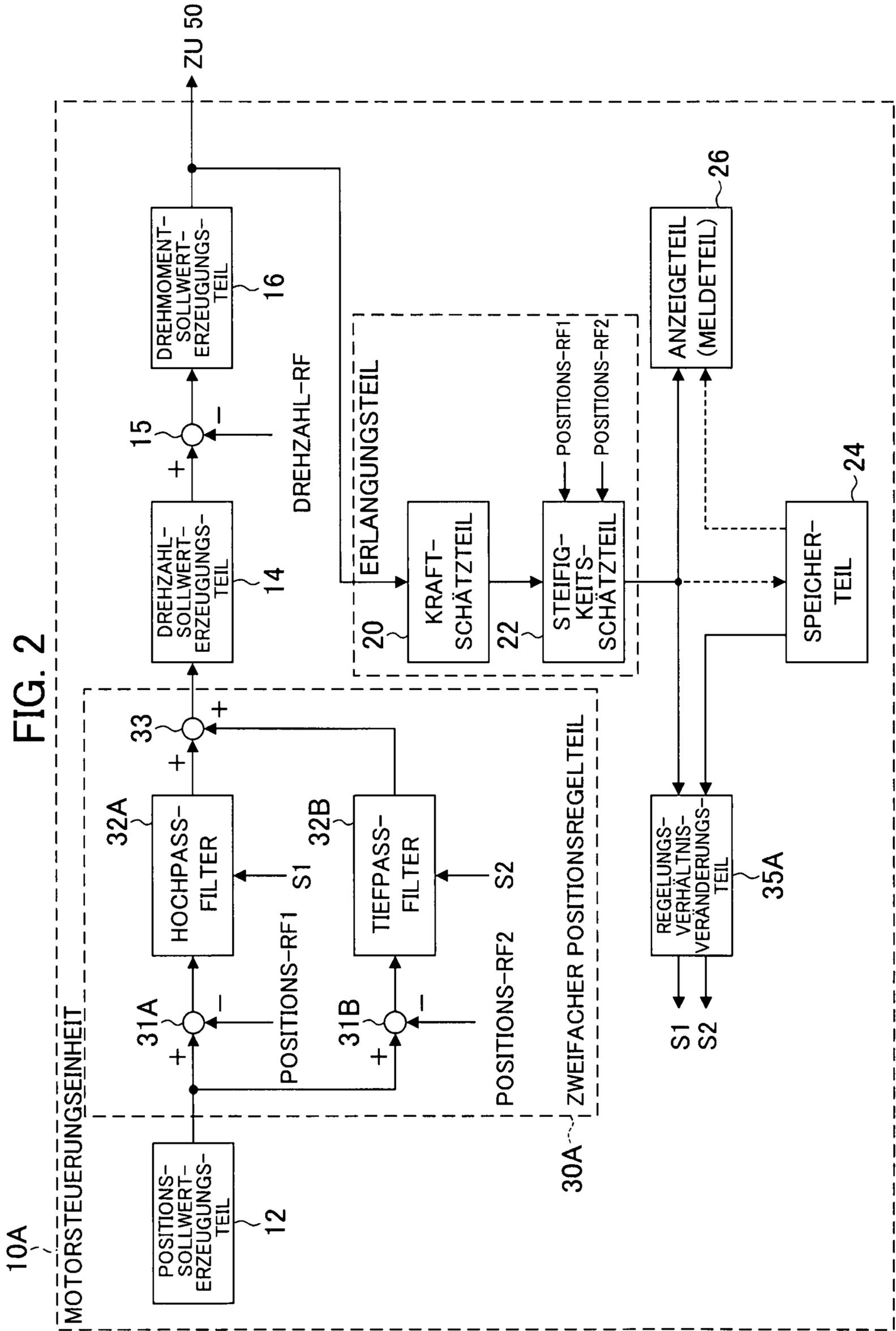


FIG. 3

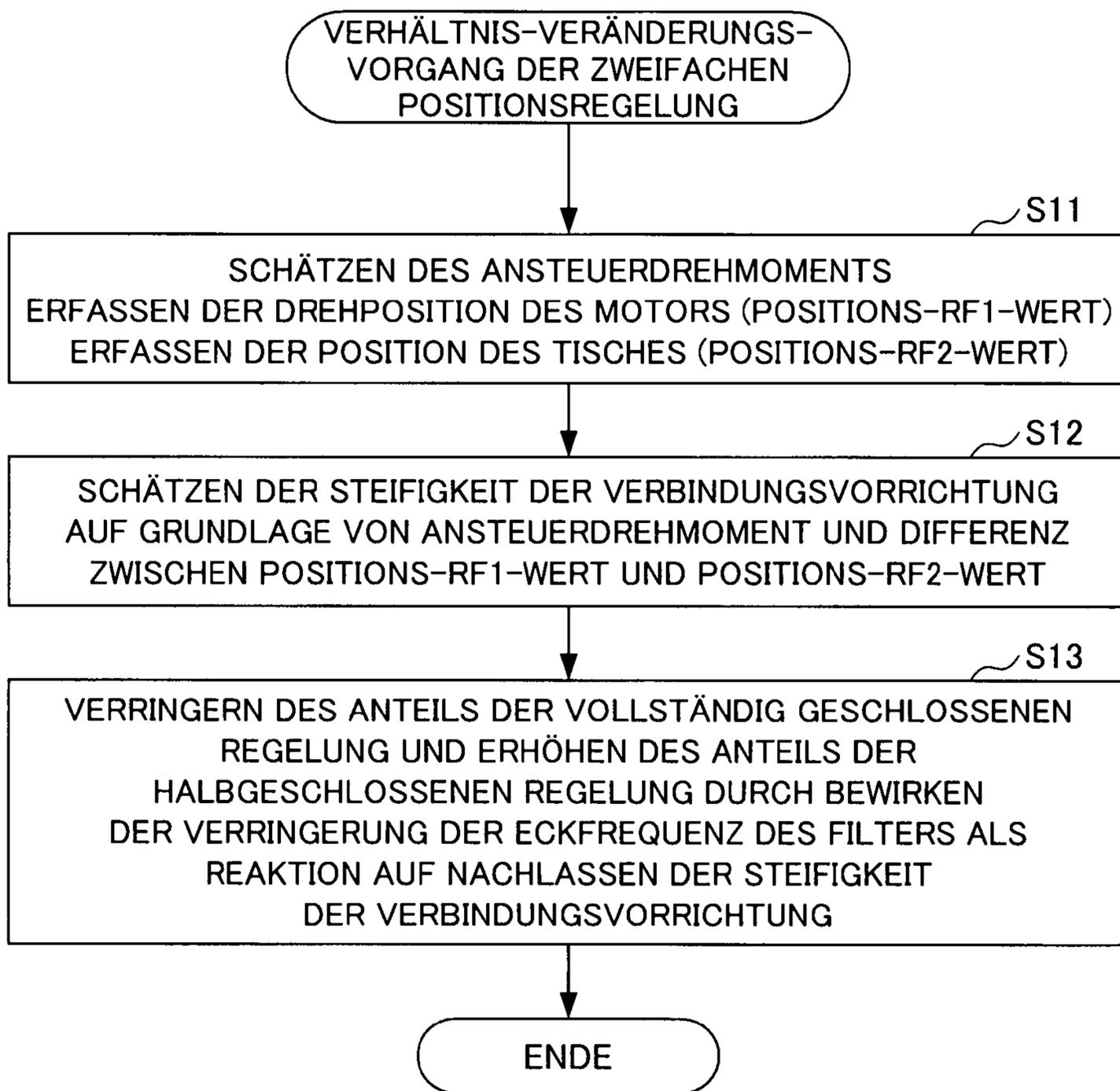


FIG. 4

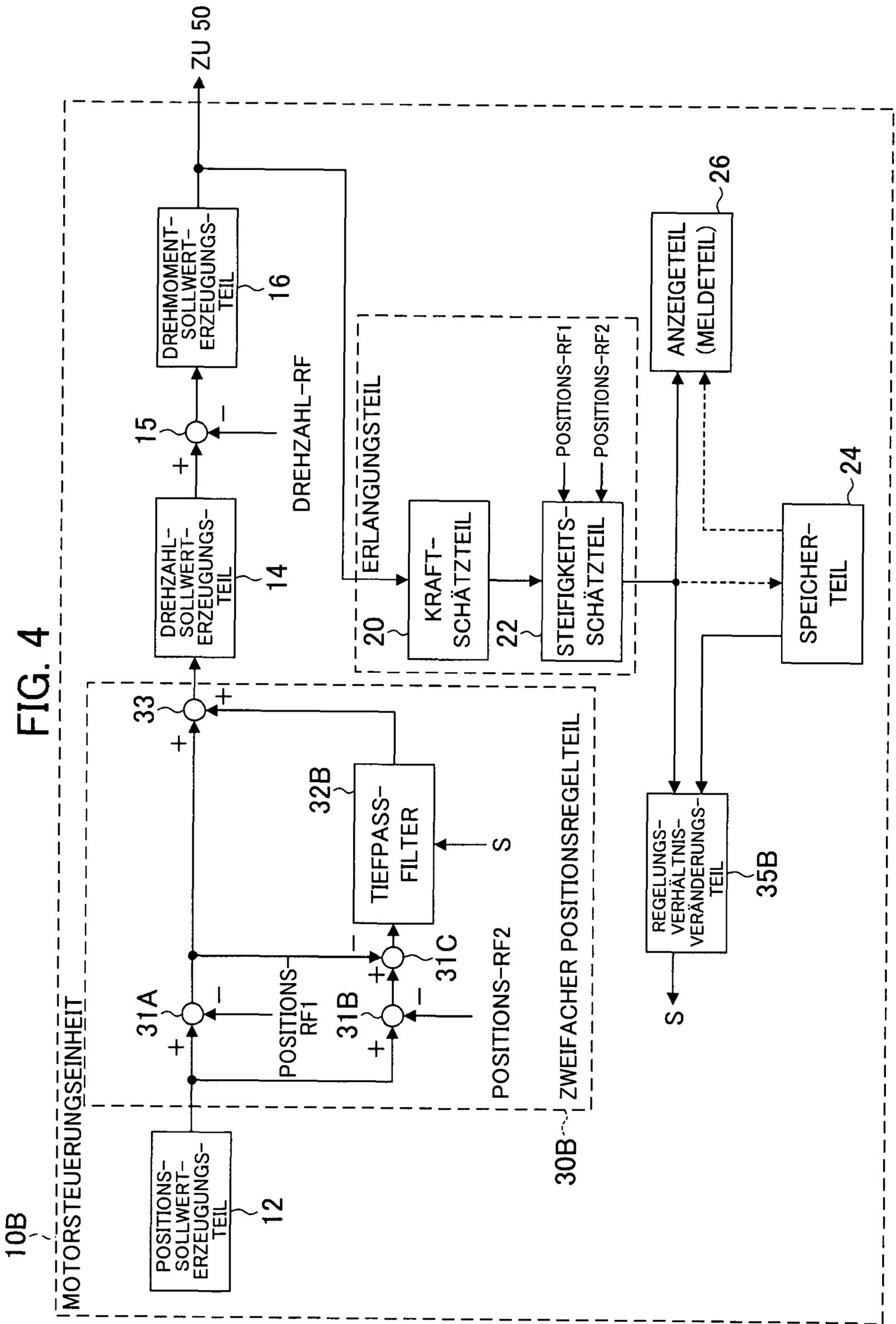


FIG. 5

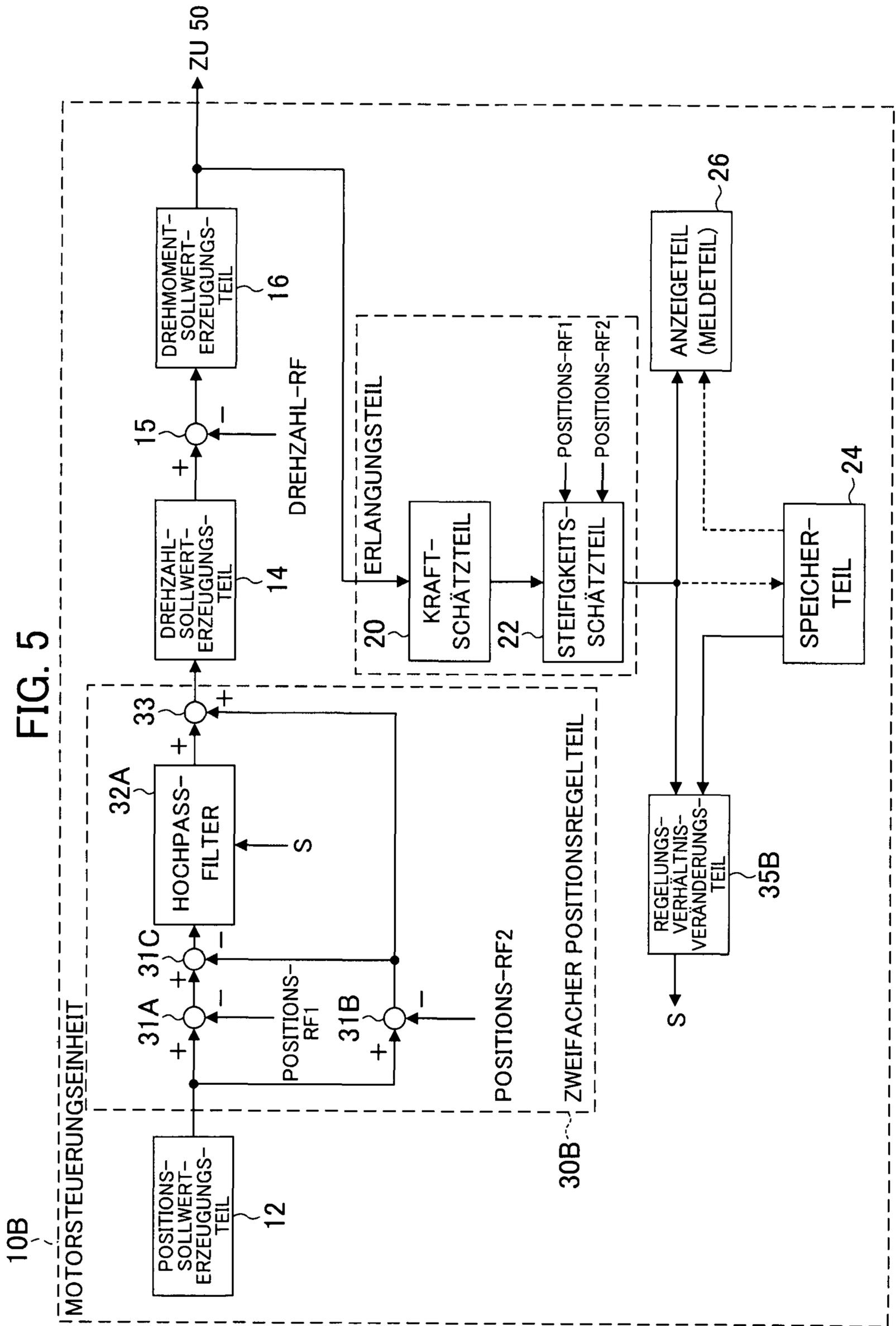


FIG. 6

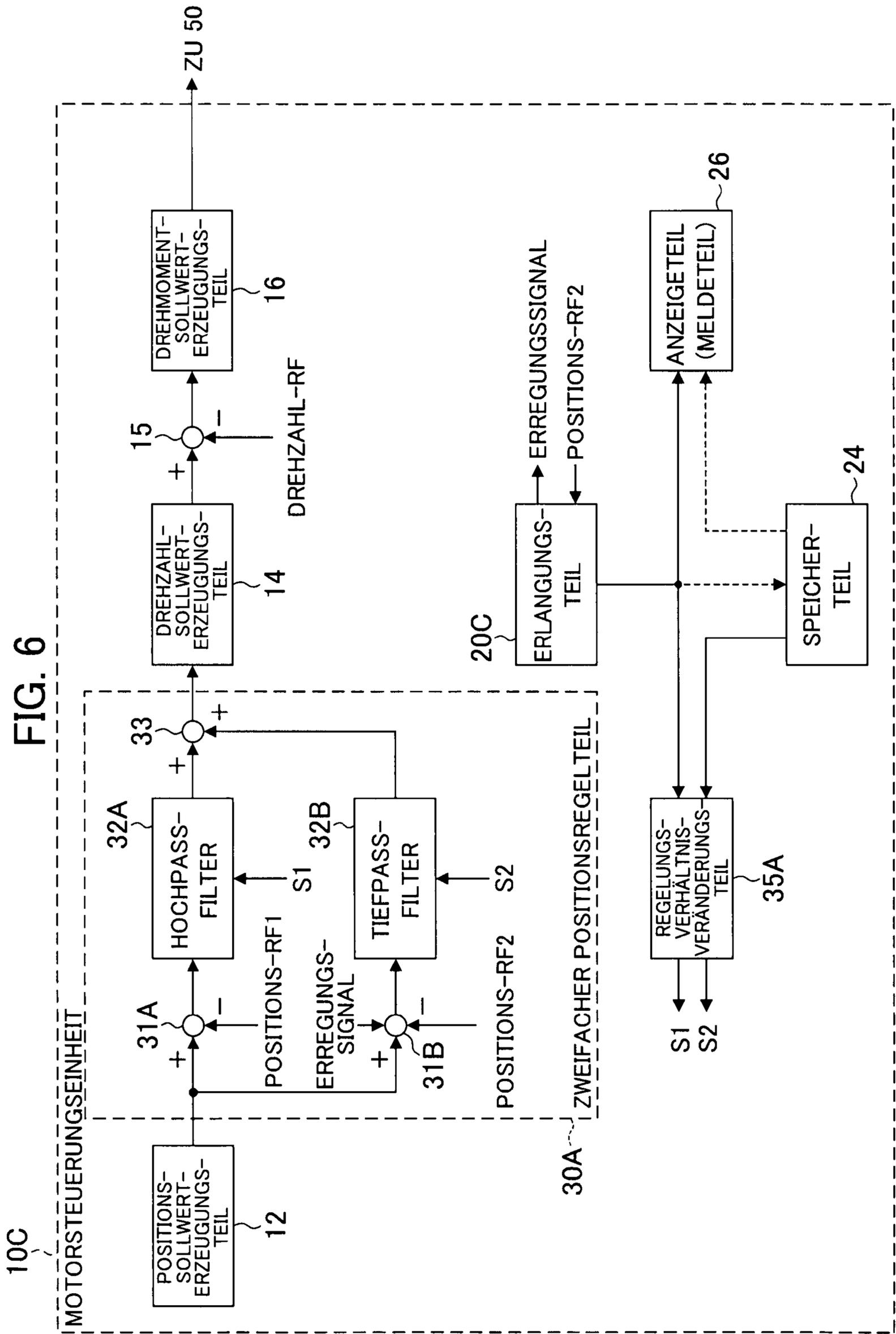


FIG. 7

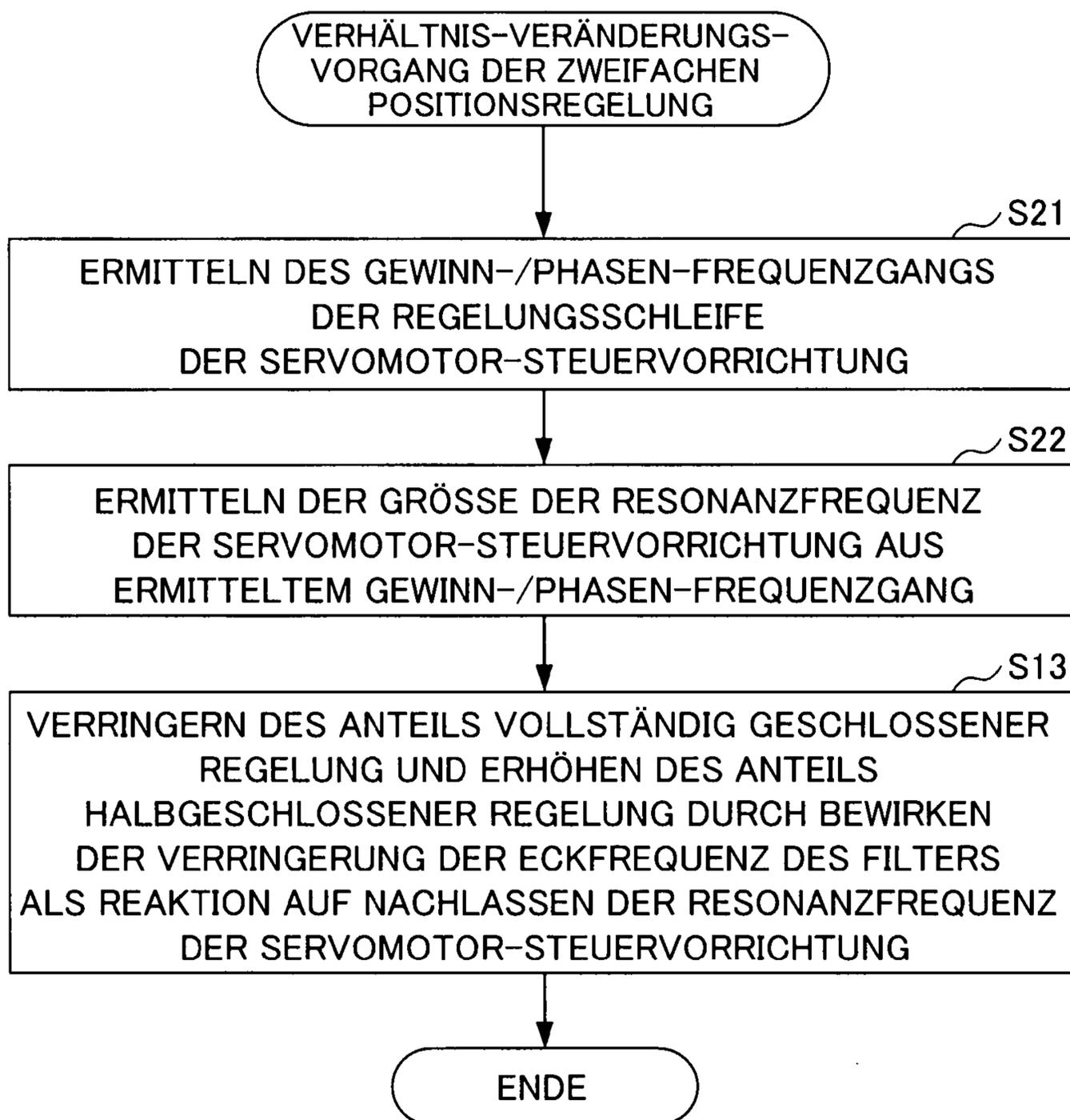


FIG. 8

