



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/276198**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 006 188.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/046102**
(86) PCT-Anmeldetag: **14.12.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.01.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **14.09.2023**

(51) Int Cl.: **H02P 21/05 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
2021-107666 29.06.2021 JP

(71) Anmelder:
**Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd.,
Tokyo, JP**

(74) Vertreter:
**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann
Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE**

(72) Erfinder:
**Matsubara, Mitsuru, Tokyo, JP; Takano, Yuuri,
Tokyo, JP; Uei, Yusuke, Tokyo, JP; Kondo,
Terutomo, Tokyo, JP; Yanada, Tetsuo, Tokyo, JP;
Tobari, Kazuaki, Tokyo, JP**

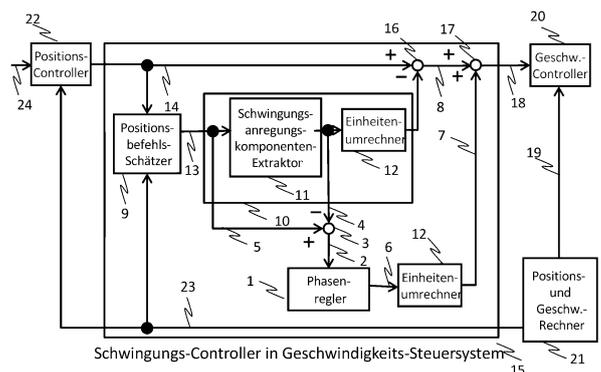
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **MOTORSTEUERVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Eine Motorsteuervorrichtung, die ein Positionsteuersystem umfasst, das die Position eines Maschinenendes, das mit einem Motor verbunden ist, steuert, wobei die Motorsteuervorrichtung die erste Geschwindigkeitsanweisung von dem übergeordneten Controller empfängt, in dem Positionsteuersystem aufgenommen ist, um eine Motorachsen-Positionsantwort an den übergeordneten Controller auszugeben, einen Geschwindigkeits-Controller und einen Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem umfasst, wobei der Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem Folgendes umfasst: einen Positionsbefehls-Schätzer, der eine Schätzung der Ortsanweisung auf der Basis der ersten Geschwindigkeitsanweisung und der Motorachsen-Positionsantwort berechnet, einen parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller, der die in der ersten Geschwindigkeitsanweisung enthaltenen Frequenzkomponenten, die Schwingungen des Maschinenendes anregen, basierend auf dem geschätzten Wert der Ortsanweisung extrahiert und die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt, wobei der parallele Schwingungsdämpfungs-Controller die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt, einen Phasenregler zum Verbessern der durch den parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller verursachten Ansprechverzögerung, einen ersten Einheitenumrechner, der die Ausgabe des Phasenreglers in die Geschwindigkeitsdimension umrechnet, und eine Recheneinheit, wobei in der Recheneinheit

die Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers von der ersten Geschwindigkeitsanweisung subtrahiert wird, um aus der ersten Geschwindigkeitsanweisung die Frequenzkomponenten zu entfernen, die Schwingungen an dem Maschinenende anregen, und das Ergebnis als zweite Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird, die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Ausgabe des Schwingungs-Controllers in einem Geschwindigkeitssteuersystem basierend auf der Ausgabe des ersten Einheitenumrechners und der zweiten Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird und die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Befehl für den Geschwindigkeits-Controller verwendet wird.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Controller für Motoren.

Stand der Technik

[0002] Wenn beim Antreiben einer Maschine, die von einem Motorsteuersystem in einer halbgeschlossenen Konfiguration gesteuert werden soll, die Steifigkeit der Maschine gering ist, können die Resonanz-/Antiresonanzeigenschaften der Maschine dazu führen, dass das Ende der Maschine (im Folgenden als Maschinenende bezeichnet) mit einer niedrigen Frequenz von mehreren Hz bis 100 Hz vibriert, was es unmöglich macht, das gewünschte Ansprechverhalten zu erreichen.**[0003]** Im Bereich der Fabrikautomation, in dem sowohl die Positionierungsgenauigkeit als auch die für die Positionierung erforderliche Zeit reduziert werden müssen, wird im Allgemeinen eine Dämpfungssteuerung verwendet. Die Dämpfungssteuerung wird im Allgemeinen durch die Verarbeitung von Steuerbefehlen erreicht und es sind Verfahren bekannt, Frequenzkomponenten, die Schwingungen an dem Maschinenende anregen, aus den Steuerbefehlen zu entfernen.**[0004]** Das Patentedokument 1 ermöglicht es, das Ende einer Maschine auch dann zu dämpfen, wenn sich die Resonanz-/Antiresonanzeigenschaften der Maschine ändern, indem zwischen zwei Dämpfungsfiltern für die Ortsanweisung umgeschaltet wird. Ein Kerbfilter ist ein Beispiel für ein Dämpfungsfilter.

Entgegenhaltungsliste

Patentedokument

[0005] Patentedokument 1: Patentoffenlegung Nr. 2005-168225

Zusammenfassung der Erfindung

Von der Erfindung zu lösende Probleme

[0006] Wenn es sich bei dem Motorsteuersystem um ein Positionsteuersystem handelt, kann die Dämpfungssteuerung durch die Verarbeitung der Ortsanweisung mithilfe eines Kerbfilters usw. realisiert werden. Wie es in **Fig. 2** dargestellt ist, kann jedoch aus industriellen Gründen, wie z. B. dem Austausch von Ausrüstung, der übergeordnete Controller, der die Ortsanweisung erzeugt, den Positions-Controller umfassen, während der Servomotor-Controller für das Geschwindigkeitssteuersystem zuständig ist, bei dem es sich um eine Nebenschleife handelt.**[0007]** Darüber hinaus kann es aus Gründen wie Wartungsfreundlichkeit und der Spezifikationen jeder Vorrichtung wünschenswert sein, anstelle der Dämpfungssteuerung in dem Positions-Controller die Dämpfungssteuerung in dem Servomotor-Controller zu verwirklichen, der für das Nebenschleifen-Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist.**[0008]** Im Patentedokument 1 sind der Dämpfungsfilter 3, das Filterschaltmittel 9 und das Befehlsrichtungs-Detektionsmittel 4, die zur Dämpfungssteuerung beitragen, so ausgelegt, dass sie die Dämpfungssteuerung in der übergeordneten Steuerung in **Fig. 2** realisieren. Daher ist die Dämpfungssteuerung in Patentedokument 1 nicht in dem Servomotor-Controller realisiert, der für das Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist.**[0009]** Darüber hinaus gibt es dann, wenn die Dämpfungssteuerung unter Verwendung eines Linienverbessers (LE) als Filter zum Extrahieren der Frequenzkomponenten, die Maschinenendenschwingungen anregen, durchgeführt wird, ein Problem damit, die Ansprechverzögerung zu vermeiden, die für die Dämpfungssteuerung kennzeichnend ist.**[0010]** Die Aufgabe dieser Erfindung besteht darin, eine Motorsteuervorrichtung zu schaffen, die die Ansprechverzögerungscharakteristik der Dämpfungssteuerung in einem Motorsteuersystem mit halbgeschlossener Struktur verbessert, wobei der übergeordnete Controller einen Positions-Controller umfasst und

die Dämpfungssteuerung in der Motorsteuervorrichtung realisiert ist, die für die Geschwindigkeitssteuerung verantwortlich ist.

[0011] Bei dieser Erfindung handelt es sich um eine Motorsteuervorrichtung, die ein Positionsteuersystem umfasst, das die Position eines Maschinenendes, das mit einem Motor verbunden ist, steuert, wobei die Motorsteuervorrichtung die erste Geschwindigkeitsanweisung von dem übergeordneten Controller empfängt, in dem Positionsteuersystem aufgenommen ist, um eine Motorachsen-Positionsantwort an den übergeordneten Controller auszugeben, einen Geschwindigkeits-Controller und einen Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem umfasst, wobei der Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem Folgendes umfasst: einen Positionsbefehls-Schätzer, der eine Schätzung der Ortsanweisung auf der Basis der ersten Geschwindigkeitsanweisung und der Motorachsen-Positionsantwort berechnet, einen parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller, der die in der ersten Geschwindigkeitsanweisung enthaltenen Frequenzkomponenten, die Schwingungen des Maschinenendes anregen, basierend auf dem geschätzten Wert der Ortsanweisung extrahiert und die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt, wobei der parallele Schwingungsdämpfungs-Controller die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt, einen Phasenregler zum Verbessern der durch den parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller verursachten Ansprechverzögerung, einen ersten Einheitenumrechner, der die Ausgabe des Phasenreglers in die Geschwindigkeitsdimension umrechnet, und eine Recheneinheit, wobei in der Recheneinheit die Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers von der ersten Geschwindigkeitsanweisung subtrahiert wird, um aus der ersten Geschwindigkeitsanweisung die Frequenzkomponenten zu entfernen, die Schwingungen an dem Maschinenende anregen, und das Ergebnis als zweite Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird, die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Ausgabe des Schwingungs-Controllers in einem Geschwindigkeitssteuersystem basierend auf der Ausgabe des ersten Einheitenumrechners und der zweiten Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird und die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Befehl für den Geschwindigkeits-Controller verwendet wird.

Wirkungen der Erfindung

[0012] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann die der Dämpfungssteuerung zu eigene Ansprechverzögerung verbessert und die Positionierungszeit verkürzt werden, wenn die Dämpfungssteuerung in der Motorsteuereinheit realisiert wird, die für das Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1: Die erste Grundkonfiguration von Beispiel 1.

Fig. 2: Die Figur zeigt eine Konfiguration, die einen übergeordneten Controller und einen Servomotor-Controller umfasst.

Fig. 3: Diagramm zur Erläuterung der Prämisse von Beispiel 1.

Fig. 4: Frequenzgang des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors.

Fig. 5: Frequenzgang des Phasenreglers.

Fig. 6: Frequenzgang des Maschinenendes.

Fig. 7: Die erste Grundkonfiguration von Beispiel 2.

Fig. 8: Diagramm zur Erläuterung der Prämisse von Beispiel 2.

Fig. 9: Spezifische Konfiguration des 2-DOF-Controllers mit FF-CONTROLLER.

Fig. 10: Spezifische Konfiguration des modellanpassenden 2-DOF-Controllers.

Fig. 11: Wechselstrom-Servomotor-Steuersystem.

Fig. 12: Wechselstrom-Servomotor-Steuersystem mit Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem.

Fig. 13A: Die Wirkung der Dämpfungssteuerung in der Konfiguration von **Fig. 12** wird gezeigt.

Fig. 13B: Teilvergrößerung von **Fig. 13A**.

Art der Ausführung der Erfindung

[0013] Zunächst erfolgt eine Erläuterung von **Fig. 3** als Grundkonfiguration für dieses Beispiel. **Fig. 3** ist eine Technik zum Realisieren der Dämpfungssteuerung innerhalb der Servomotor-Controllers 301 ohne Verarbeitung der Ortsanweisung. Der Servomotor-Controller 301 in **Fig. 3** besteht aus einem Positionsfehlschätzer 9, einem parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller 10, einem Geschwindigkeits-Controller 20, einem Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 21, einem Strom-Steuersystem 207 sowie einem Addierer und Subtrahierer 304 und verarbeitet die Geschwindigkeitsanweisung 303, die aus einem übergeordneten Controller 201 erhalten wird.

[0014] Genauer umfasst der parallele Schwingungsdämpfungs-Controller 10 einen Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor und einen Einheitenumrechner. Der Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor extrahiert die Frequenzkomponenten, die Schwingungen an dem Maschinenende 204 anregen, aus der von dem Positionsfehlschätzer 9 erhaltenen Ortsanweisungsschätzung 13, der Einheitenumrechner rechnet sie in Geschwindigkeitseinheiten um und eine Schwingungsunterdrückung des Maschinenendes wird durch Entfernen der Schwingungsanregungskomponenten aus der Geschwindigkeitsanweisung 303 erreicht.

[0015] In **Fig. 3** verwendet der Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor in dem parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller die folgende Formel, die einem Linienverbesserer (LE) als Filter, das die Frequenzkomponenten, die Maschinenendschwingungen anregen, ohne Phasenverzögerung aus dem Positionsfehlschätzer 9 extrahieren kann, entspricht.

[Formel 1]

$$LE = \frac{2WL\omega_n \cdot s}{s^2 + 2W\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (1)$$

[0016] Hier ist W die Extraktionsbreite, L der für das Extraktionsleistungsniveau verantwortliche Parameter und ω_n die zu extrahierende Frequenz [rad/s]. Außerdem ist s der Laplace-Operator (im Folgenden bezeichnet s den Laplace-Operator).

[0017] Der Frequenzgang der Formel (1) für $W=1$, $L=0,1$ und $\omega_n=2\pi \times 10$ sind in **Fig. 4** dargestellt. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude ihren Höhepunkt bei der Frequenz ω_n erreicht und die Phasenverzögerung null beträgt.

[0018] Die vertikale Achse in der oberen Zeile von **Fig. 4** ist der Betrag (die Amplitude der zu extrahierenden Frequenz) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der zu extrahierenden Wellenform). Die vertikale Achse in dem unteren Teil von **Fig. 4** ist die Phase (Phase der zu extrahierenden Frequenz) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der zu extrahierenden Wellenform).

[0019] Bei der Dämpfungssteuerung unter Verwendung von LE in Formel (1) ist das Auftreten einer für die Dämpfungssteuerung typischen Ansprechverzögerung ein Problem. Insbesondere tritt eine Phasenverzögerung in dem Band unterhalb der Frequenz ω_n auf, und obwohl Schwingungen an dem Maschinenende unterdrückt werden können, können keine ausreichenden Ansprecheigenschaften erzielt werden und die Positionierungszeit kann möglicherweise nicht ausreichend verkürzt werden.

[0020] Das folgende Anwendungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist eine Konfiguration zum Verbessern der Ansprechverzögerung, die der Dämpfungssteuerung zu eigen ist, und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert. In jeder Figur sind Komponenten, die eine gemeinsame Funktion haben, mit der gleichen Nummer versehen und Erläuterungen dazu werden weggelassen. „Rückkopplung“ kann als „FB“ und „Vorwärtskopplung“ als „FF“ abgekürzt werden.

[Beispiel 1]

[0021] **Fig. 1** zeigt die Konfiguration des Schwingungs-Controllers in dem Geschwindigkeitssteuersystem 15 in diesem Beispiel. Der Phasenregler 1, der Addierer und Subtrahierer 3, der Addierer und Subtrahierer 17 und der Einheitenumrechner 12 sind neu zu dem Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem 302 in dem Servomotor-Controller 301 von **Fig. 3** hinzugefügt.

[0022] Dieses Beispiel basiert auf der Annahme, dass das Motorsteuersystem aus einem übergeordneten Controller 201 und einem Servomotor-Controller 301 besteht, wie es in **Fig. 3** dargestellt ist. Der Servomo-

tor-Controller 301 ist in diesem Beispiel in dem Positionsteuersystem enthalten, das die Position des mit dem Motor verbundenen Maschinenendes steuert.

[0023] Der übergeordnete Controller 201 generiert die Ortsanweisung 24, umfasst den Positions-Controller 22 und empfängt die Motorachsen-Positionsantwort 23 vom Servomotor-Controller 301. Basierend auf der Ortsanweisung 24 und der Motorachsen-Positionsantwort 23 erzeugt der Positions-Controller 22 eine Geschwindigkeitsanweisung 14 und gibt diese an den Servomotor-Controller 301 aus. Die Ortsanweisung 24 kann von einer anderen übergeordneten Vorrichtung oder einer anderen Vorrichtung außerhalb des übergeordneten Controllers 201 gegeben werden.

[0024] Der Servomotor-Controller 301 umfasst in diesem Beispiel einen Geschwindigkeits-Controller 20, ein Strom-Steuersystem 207, einen Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 21 und einen Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem 15, das die Geschwindigkeitsanweisung 14 von dem übergeordneten Controller 201 empfängt und die Geschwindigkeit des Motors steuert. Die Position der Motorachse wird von dem Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 21 auf der Grundlage des Messsignals des an dem Motor angebrachten Sensors (z. B. Drehgeber) berechnet, der die Position und Geschwindigkeit bestimmen kann, die als Motorachsen-Positionsantwort 23 verwendet wird, und die Motorachsen-Positionsantwort 23 wird an den übergeordneten Controller 201 ausgegeben.

[0025] Der Servomotor-Controller 301 weist über eine Zentralverarbeitungseinheit (CPU) auf, die in der Figur nicht dargestellt ist. Der Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem 302, der den Positionsbefehls-Schätzer 9, parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller, Addierer und Subtrahierer 304 usw. umfasst, der Geschwindigkeits-Controller 20, der Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 21 und das Strom-Steuersystem 207 werden von der CPU ausgeführt, die das Programm liest und das Programm ausführt, und jeweilige Verarbeitungseinheiten werden ausgeführt. Hardware wie eine ASIC (anwendungsspezifische integrierte Schaltung) oder FPGA (feldprogrammierbare Gatteranordnung) kann verwendet werden, um jeden Verarbeitungsteil ganz oder teilweise auszubilden. Der übergeordnete Controller 201 weist eine CPU auf und die CPU führt das Programm aus, das dem Positions-Controller 22 entspricht.

[0026] In diesem Beispiel weist der Positions-Controller 22 des übergeordneten Controllers 201 keine Dämpfungssteuerung auf und die Dämpfungssteuerung wird innerhalb des Servomotor-Controllers 301 realisiert. Das Problem besteht darin, die Ansprechverzögerung, die der Dämpfungssteuerung und dem Schwingungsregler zu eigen ist, zu verbessern, und der Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem ist in diesem Beispiel der Schwingungs-Controller, der dies erreichen soll.

[0027] Die Geschwindigkeitsanweisung 14 kann verarbeitet werden, um eine Dämpfungssteuerung zu erreichen. Um dies zu erreichen, sind grundsätzlich die folgenden Schritte erforderlich.

S1: Verstehen und Einschätzen der Ortsanweisung

S2: Extrahieren von Frequenzkomponenten, die mechanische Randschwingungen anregen, aus den ermittelten und geschätzten Ortsanweisungen.

S3: Erzeugen einer Geschwindigkeitsanweisung, die die in S2 extrahierten Frequenzkomponenten nicht enthält, und Festlegen als Geschwindigkeitsanweisung des Geschwindigkeits-Controllers.

[0028] Schritt S1 wird durch den Positionsbefehls-Schätzer 9 realisiert.

[0029] Ein Beispiel für die Mittel zur Realisierung ist die folgende Formel. Der Positionsbefehls-Schätzer 9 gibt als geschätzten Wert der Ortsanweisung das Signal, das durch Verarbeitung der ersten Geschwindigkeitsanweisung 14 mit einem Schätzfilter erhalten wird, und die Motorachsen-Positionsantwort 23 gemäß Formel (2) aus und sie werden mit dem dritten Addierer und Subtrahierer addiert.

[Formel 2]

$$r_e = F_p \cdot s_r + y_p \quad (2)$$

[0030] Hier sind r_e , s_r und y_p die Ortsanweisungsschätzung 13, die Geschwindigkeitsanweisung 14 bzw. die Motorachsen-Positionsantwort 23 und F_p ist ein Schätzfilter, das den inversen Eigenschaften des Positions-Controllers 22 angepasst ist. Wenn der Positions-Controller 22 beispielsweise ein P-Controller ist, so hat F_p die inverse Kennlinie des P-Controllers, ist also invers zu der P-Verstärkung. Zur Vereinfachung der Diskussion wird davon ausgegangen, dass die aus dem Positionsbefehls-Schätzer 9 erhaltene Ortsanweisungsschätzung 13 die Ortsanweisung 24 fehlerfrei schätzen kann.

[0031] Schritt S2 wird mit dem Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor 11 realisiert, der ein Linienverbesserer (LE) als Filter ist, und der Linienverstärker ist bereits eine Funktion der oben beschriebenen Formel (1).

[0032] Schritt S3 wird mit dem Einheitenumrechner 12 und dem Addierer und Subtrahierer 16 realisiert, wobei die Einheiten der Ausgabe des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 mit dem Einheitenumrechner 12 von Position in Geschwindigkeit umgerechnet werden und durch Entfernen der Einheit der Ausgabe des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 aus der Geschwindigkeitsanweisung 14 durch den Addierer und Subtrahierer 16 kann eine Geschwindigkeitsanweisung 8 realisiert werden, die keine Frequenzkomponenten enthält, die mechanische Randschwingungen anregen. Ein Beispiel für einen Einheitenumrechner 12 ist der Positions-Controller 22, der in dem übergeordneten Controller 201 enthalten ist.

[0033] Der Positions-Controller 22 ist für die Erzeugung einer Geschwindigkeitsanweisung auf der Grundlage der Ortsanweisung 24 und der Abweichung zwischen der Ortsanweisung 24 und der Motorachsen-Positionsantwort 23 verantwortlich. Daher kann er in dem Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem 15 die Rolle des Einheitenumrechners 12 spielen.

[0034] Der LE in Formel (1) des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 kann die Frequenzkomponenten, die mechanische Randschwingungen anregen, ohne Phasenverzögerung aus der Ortsanweisungsschätzung 13 extrahieren, wie es in **Fig. 4** dargestellt ist. Der LE hat jedoch die Eigenschaft, die Phase in dem Band, das niedriger als die zu extrahierende Frequenz ω_n [rad/s] ist, nach vorne zu verschieben (der maximale Betrag der Phasenvoreilung beträgt jedoch $\pi/2$ [rad/s]).

[0035] Es wird nun der folgende Prozess betrachtet, bei dem eine Sinuswelle, deren Amplitude $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ ist und deren Phase um $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ voreilt, von einer Sinuswelle subtrahiert wird, deren Frequenz ω ist.
[Formel 3]

$$S_c(t) = \sin(\omega t) - \alpha \sin(\omega t + \beta) \quad (3)$$

[0036] Eine Variante dieser Formel lautet wie folgt.
[Formel 4]

$$S_c(t) = \sqrt{1 - 2\alpha \cos \beta + \alpha^2} \cdot \sin(\omega t + \gamma) \quad (4)$$

[Formel 5]

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{-\alpha \sin \beta}{1 - \alpha \cos \beta} \right) \quad (5)$$

[0037] Für $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ und $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ ist γ immer negativ. Daher ist die Sinuswelle $S_c(t)$ die erhalten wird, indem eine Sinuswelle, deren Amplitude $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ ist und deren Phase um $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ voreilt, von einer Sinuswelle subtrahiert wird, deren Frequenz ω ist, immer eine Sinuswelle, deren Phase relativ zu einer Sinuswelle verzögert ist, deren Frequenz ω ist. Der Betrag der Phasenverzögerung nimmt tendenziell zu, wenn α groß ist.

[0038] Es wird außerdem der folgende Prozess betrachtet, der eine Sinuswelle mit der Amplitude $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ ist und deren Phase um $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ voreilt, zu einer Sinuswelle mit der Frequenz ω addiert.
[Formel 6]

$$S_c(t) = \sin(\omega t) + \alpha \sin(\omega t + \beta) \quad (6)$$

[0039] Eine Variante dieser Formel lautet wie folgt.
[Formel 7]

$$S_c(t) = \sqrt{1 + 2\alpha \cos \beta + \alpha^2} \cdot \sin(\omega t + \gamma) \quad (7)$$

[Formel 8]

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{-\alpha \sin \beta}{1 - \alpha \cos \beta} \right) \quad (8)$$

γ in Formel (8) ist für $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ und $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ immer positiv. Daher ist die Sinuswelle $S_c(t)$, die durch Addieren einer Sinuswelle, deren Amplitude $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ ist und deren Phase um $\beta(0 < \beta < \pi/2)$ voreilt, zu der Sinuswelle der Frequenz ω erhalten wird, immer eine Sinuswelle der Frequenz ω , deren Phase relativ zu der Sinuswelle der Frequenz ω voreilt.

[0040] In diesem Beispiel werden die Prinzipien der Formeln (6) bis (8) verwendet, um die Ansprechverzögerung zu verbessern, die der Dämpfungssteuerung zu eigen ist.

[0041] Der in **Fig. 1** dargestellte parallele Schwingungsdämpfungs-Controller 10 verwendet Formel (1).

[0042] Aufgrund der Eigenschaften des LE werden daher Frequenzkomponenten mit einer Frequenz kleiner als ω_n (sei es ω_L) von dem LE nach vorne verschoben.

[0043] Da die Frequenzkomponente der Frequenz ω_L , die durch den LE in Bezug auf die Frequenzkomponente der Frequenz ω_L der Geschwindigkeitsanweisung 14 phasenverschoben wird, durch den Addierer und Subtrahierer 16 reduziert wird, weist die Frequenzkomponente der Frequenz ω_L aus dem Prinzip von Gleichung (3) bis Gleichung (5) in der Ausgabe 8 des Addierers und Subtrahierers 16 immer eine Verzögerung gegenüber der gleichen Frequenzkomponente der Geschwindigkeitsanweisung 14 auf.

[0044] Insbesondere wenn ω_L nahe bei ω_n liegt, ist die Verstärkung aufgrund der Eigenschaften von LE hoch (d. h. α ist groß).

[0045] Daher ist der Betrag der Phasenverzögerung ausgeprägter, wenn ω_L nahe bei ω_n liegt.

[0046] Dies ist die Ursache für die Ansprechverzögerungscharakteristik der Dämpfungssteuerung bei paralleler Schwingungssteuerung mittels LE. Diese Phasenverzögerungscharakteristik verzögert die Frequenzkomponenten in dem Band unterhalb ω_n in der Geschwindigkeitsanweisung 14, was zu einer Gesamtverzögerung in der Geschwindigkeitsanweisung führt.

[0047] In diesem Beispiel werden der Phasenregler 1, der Addierer und Subtrahierer 3, der Einheitenumrechner 12 sowie der Addierer und Subtrahierer 17 in **Fig. 1** verwendet, um das Problem der durch die Geschwindigkeitsanweisung 14 verzögerten Phase anzugehen.

[0048] Die Ausgabe 2 des Addierers und Subtrahierers 3 ist eine Ortsanweisung (Schätzung), bei der die Frequenzen, die die Maschinenendschwingung anregen, aus der Natur des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 entfernt sind, jedoch sind Frequenzkomponenten, die niedriger als die Frequenz ω_n sind, gegenüber Ortsanweisungsschätzung 5 (Ortsanweisungsschätzung 13) sowie Ausgabe 8 phasenverzögert.

[0049] Der Phasenregler verschiebt die aufgrund des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 verzögerten Frequenzkomponenten nach vorne und rechnet die Einheiten mit dem Einheitenumrechner 12 von Position in Geschwindigkeit um, bevor er sie mit dem Addierer und Subtrahierer 17 zu der Ausgabe 8 addiert, um sie zu der Ausgabe 8 zu addieren.

[0050] Im Ergebnis ist es gemäß dem Prinzip von Formel (6) bis (8) möglich, die Phasenverzögerung von Ausgabe 8, die aufgrund des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors 11 eine Phasenverzögerung in Frequenzkomponenten kleiner als ω_n aufweist, nach vorne zu schieben. Dadurch kann die für die Dämpfungsregelung spezifische Ansprechverzögerung verbessert werden.

[0051] Mit anderen Worten: Dieses Beispiel verbessert die Phasenverzögerung der Geschwindigkeitsanweisung 14, die durch den Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor 11 verursacht wird, und verbessert dadurch die Verzögerung der Geschwindigkeitsanweisung 18 (im Folgenden ist die tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung 18 die Geschwindigkeitsanweisung des Geschwindigkeits-Controllers 20).

[0052] Da die Ausgabe 2 keine Frequenzkomponenten aufweist, die an dem Maschinenende Schwingungen anregen, ist zu beachten, dass die tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung 18, die durch Addieren von Aus-

gabe 7 des Einheitenrechners 12 zu Ausgabe 8 mit dem Addierer und Subtrahierer 17 erhalten wird, immer noch eine Geschwindigkeitsanweisung mit dämpfender Wirkung ist, die keine Schwingungen an dem Maschinenende anregt.

[0053] Ein Beispiel für Phasenregler 1 ist der unten gezeigte Hochpassfilter erster Ordnung (HPF).
[Formel 9]

$$HPF(s) = (h - 1) \cdot \frac{s}{s + \omega_h} \quad (9)$$

[0054] Hier ist ω_h die Grenzfrequenz [rad/s] und $h (>1)$ die Anpassungsverstärkung.

[0055] Der Frequenzgang des HPF ist in **Fig. 5** dargestellt, wenn $\omega_h = 2\pi \times 10$ und $h = 2,5$.

[0056] Die vertikale Achse in dem oberen Teil von **Fig. 5** ist der Betrag (die Amplitude der Frequenz im HPF) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der Wellenform im HPF). Die vertikale Achse in dem unteren Teil von **Fig. 5** ist die Phase (Phase der Frequenz im HPF) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der Wellenform im HPF).

[0057] Bei der Frequenz ω_h eilt die Phase um $\pi/4$ [rad/s] voraus, im Band unterhalb der Frequenz ω_h maximal um $\pi/2$ [rad/s]. In dem hohen Frequenzbereich erhöht sich die Verstärkungseigenschaft um $20 \times \log_{10}(h)$.

[0058] Daher kann die Phasenverzögerung der Geschwindigkeitsanweisung 14 durch Verwendung von Formel (9) verbessert werden.

[0059] Die Parameter ω_h und h in Formel (9) haben Gestaltungsfreiheit. Wenn beispielsweise die Grenzfrequenz an die durch LE extrahierte Frequenz ω_n angepasst wird ($\omega_h = \omega_n$), kann die Antwortanstiegsverzögerung auf den Rampenbefehl theoretisch linear mit zunehmendem h verbessert werden.

[0060] Die Ansprecheigenschaften von Schwingungen am Maschinenende werden häufig durch die folgende Formel (10) ausgedrückt.
[Formel 10]

$$AR(s) = \frac{2\zeta_a \omega_a s + \omega_a^2}{s^2 + 2\zeta_a \omega_a s + \omega_a^2} \quad (10)$$

[0061] Hier ist ω_a die Frequenz der Schwingungen am Maschinenende [rad/s] und ζ_a der Dämpfungskoeffizient.

[0062] Um die Schwingungsfrequenz des Maschinenendes durch LE zu extrahieren, kann $\omega_a = \omega_n$ gesetzt werden.

[0063] Bei der Gestaltung der HPF-Parameter kann der Frequenzgang von AR in Formel (10) berücksichtigt werden, wenn er bekannt ist.

[0064] Der Frequenzgang von AR ist in **Fig. 6** dargestellt. Es ist zu beachten, dass $\omega_a = 2\pi \times 10$ und $\zeta_a = 0,1$.

[0065] Die obere vertikale Achse in **Fig. 6** ist der Betrag (die Amplitude der Frequenz in AR) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der Wellenform in AR). Die vertikale Achse in dem unteren Teil von **Fig. 6** ist die Phase (Phase der Frequenz in AR) und die horizontale Achse ist die Frequenz (Frequenz der Wellenform in AR).

[0066] AR zeichnet sich durch eine Phasenverzögerung und eine gedämpfte Verstärkung bei höheren Frequenzen als ω_a aus. Daher werden in dem HPF ω_h , ω_a , ζ_a und h als Funktionen von AR und ω_h , ω_a , $\zeta_a > \omega_a$, um die Phase im Hochfrequenzbereich aktiv nach vorne zu schieben, und h , ω_a , $\zeta_a > 2$, um die Verstärkung im hohen Frequenzbereich aktiv zu erhöhen, festgelegt. Die Filterparameter des Phasenreglers werden anhand der Schwingungseigenschaften der Maschinenseite (Schwingungsfrequenz und Schwingungsdämpfungskoeffizient) festgelegt.

[0067] Der Grund, warum eine so aggressive Gestaltung des HPF möglich ist, liegt darin, dass die Ausgabe 2, also die Eingabe des HPF, keine Frequenzkomponenten aufweist, die an dem mechanischen Ende Schwingungen anregen.

[0068] Gemäß diesem Beispiel kann also bei der Bereitstellung eines Motorsteuersystems, bei dem der übergeordnete Controller einen Positions-Controller umfasst und mit einem Mittel zur Realisierung einer Dämpfungssteuerung in der Motorservo-Steuereinheit ausgestattet ist, die für das Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist, die für die Dämpfungssteuerung typische Ansprechverzögerung, die durch den parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller 10 verursacht wird, durch einen einfachen Prozess verbessert werden, was zu einer kürzeren Positionierungszeit führt.

[Beispiel 2]

[0069] Fig. 7 zeigt die Konfiguration des Schwingungs-Controllers in dem Geschwindigkeitssteuersystem 71 in diesem Beispiel, mit dem Unterschied, dass im Vergleich zu Beispiel 1 der FF-Controller 72, der Addierer und Subtrahierer 73 sowie der Addierer und Subtrahierer 79 hinzugefügt sind. Auf die gleichen Details wie in Beispiel 1 wird verzichtet.

[0070] Die Konfiguration des Schwingungs-Controllers in dem Geschwindigkeitssteuersystem 81, die die Voraussetzung für dieses Beispiel ist, ist in Fig. 8 dargestellt. In Fig. 8 ist der FF-Controller 85 zum Zweck der Verbesserung der Ansprecheigenschaften bereitgestellt, wenn der Positions-Controller 22 des übergeordneten Controllers nicht den FF-Controller umfasst. Der FF-Controller 85 verbessert jedoch die Ansprechverzögerung der FB-Schleife, die durch den in dem Positions-Controller 22 enthaltenen FB-Controller verursacht wird, und wird nicht eingeführt, um die für die Dämpfungssteuerung spezifische Ansprechverzögerung zu verbessern.

[0071] Der FF-Controller 72 spielt in diesem Beispiel die gleiche Rolle wie der FF-Controller 85 in Fig. 8 und ist bereitgestellt, um die Ansprechverzögerung der FB-Schleife zu verbessern, die durch den in dem Positions-Controller 22 enthaltenen FB-Controller verursacht wird.

[0072] Da das Steuerziel eines halbgeschlossenen Positionsteuersystems im Allgemeinen ein einfacher Integrator $1/s$ ist, ist der FF-Controller in dem Positionsteuersystem einfach das Produkt aus der skalaren Verstärkung und dem Differenzierer s . In dem Positions-Controller ist der FF-Controller in dem Positions-Controller so, wie es in Fig. 9 dargestellt ist.

[0073] Fig. 9 zeigt die spezifische Konfiguration eines 2-DOF-Controllers mit einem allgemeinen FF-Controller. In Fig. 9 ist die Eingabe 94 in den FF-Controller eine Ortsanweisung.

[0074] Die Antwort 96 des Controllers ist die Antwort des gesteuerten Objekts, wie beispielsweise die Ausgabe des Positions- und Geschwindigkeits-Rechners 21 in Fig. 8.

[0075] Die Eingabe in den FB-Controller 92 ist die Differenz zwischen der Ortsanweisung 94 und der Antwort 96 des gesteuerten Objekts. Die Ausgabe 97 des Positions-Controllers ist die Geschwindigkeitsanweisung. Somit verfügt der FF-Controller 93 über die Eigenschaft, dass die Eingabe in Positionseinheiten und die Ausgabe in Geschwindigkeitseinheiten erfolgen kann.

[0076] Es ist zu beachten, dass der FB-Controller 92 in Fig. 9 oft als P-Controller verwendet wird und daher der FB-Controller 92 einfach eine skalare Verstärkung sein sollte (beschrieben als ω_p). Es ist zu beachten, dass der Positions-Controller 22 in Fig. 7 zu diesem Zeitpunkt ebenfalls ein P-Controller mit der Verstärkung ω_p ist.

[0077] Wenn die modellanpassende 2-DOF-Steuerung 100 mit einem Positions-Controller ausgebildet ist, sollte der FF-Controller 103 wie in Fig. 10 gezeigt zusammen mit dem normativen Modell 101 eingerichtet sein. In diesem Fall sollten der FF-Controller 103 und das normative Modell 101 die folgende Formel als FFM bzw. M sein.

[Formel 11]

$$FFM(s) = \frac{M(s)}{1/s} = \omega_f \cdot \frac{s}{s + \omega_f} \quad (11)$$

[Formel 12]

$$M(s) = \frac{\omega_f}{s + \omega_f} \quad (12)$$

[0078] Allerdings ist ω_f ein Parameter, der die gewünschten Antworteigenschaften definiert und im Allgemeinen als $\omega_p < \omega_f$ ausgelegt ist.

[0079] Der FF-Controller 72 in **Fig. 7** kann der FF-Controller 93 in **Fig. 9** sein. Darüber hinaus kann FF-Controller 72 der FF-Controller in der modellanpassenden 2-DOF-Steuerung 100 von **Fig. 10** sein. In diesem Fall jedoch sollte der FF-Controller 72 die nächste Gleichung sein, anstatt den FF-Controller 103 in **Fig. 10** direkt zu verwenden. Dies ist der FF-Controller 93, wenn die Blockkonfiguration in **Fig. 10** in die in **Fig. 9** gezeigte Form umgewandelt wird.

[Formel 13]

$$FF(s) = \left(\frac{\omega_f}{\omega_p} - 1 \right) \cdot \frac{s}{s + \omega_f} \cdot \omega_p \equiv (h_f - 1) \cdot \frac{s}{s + \omega_f} \cdot \omega_p \equiv HPF_F(s) \cdot \omega_p \quad (13)$$

[0080] Gemäß Formel (13) kann der FF-Controller 72 in **Fig. 7** als Produkt aus Hochpassfilter HPF_F und Positions-Controller 22 interpretiert werden, wenn eine modellanpassende 2-DOF-Steuerung verwendet wird. Darüber hinaus kann er auch als Produkt aus Hochpassfilter HPF_F und Einheitenumrechner 12 interpretiert werden.

[0081] Der Hochpassfilter HPF_F kann mit Formel (9) verglichen werden, die zeigt, dass die Grenzfrequenz ω_f ist und $h_f = \omega_f / \omega_p$ der Anpassungsverstärkung h entspricht. Die Filterparameter des Vorwärtskopplungs-Controllers werden basierend auf den Schwingungseigenschaften des Maschinenendes (Schwingungsfrequenz und Schwingungsdämpfungsfaktor) festgelegt.

[0082] Wenn der in Formel (13) konfigurierte FF-Controller 72 verwendet wird, ist daher ersichtlich, dass in der Konfiguration von **Fig. 7** die Geschwindigkeitsanweisung 78, bei der die der Dämpfungssteuerung zu eigene Ansprechverzögerung durch den Phasenregler 1 verbessert wird, durch die gleiche Phasenvorschubcharakteristik wie in Formel (9) erhalten werden kann. Es ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeitsanweisung 76 mit der durch den FF-Controller 72 verbesserten spezifizierten Phasencharakteristik erhalten werden kann. Da diese Phasenvorschubcharakteristik in dem Positionssteuersystem die Rolle des FF-Controllers spielt, verbessert sie nicht die für die Dämpfungssteuerung spezifische Ansprechverzögerung, sondern die durch den FB-Controller in dem Positions-Controller verursachte Ansprechverzögerung der FB-Schleife 22.

[0083] In **Fig. 7** ist die Eingabe 74 in den FF-Controller die Summe von Eingabe 2 und Ausgabe 6 des Phasenreglers 1 mit dem Addierer und Subtrahierer 73, um zu vermeiden, dass die Ausgabe 77 des FF-Controllers 72 Schwingungen des Maschinenendes anregt, und zwar aus dem Grund, dass veranlasst wird, dass die Ausgabe 77, die das gleiche Phasen Anpassungsergebnis empfängt wie die Geschwindigkeitsanweisung 78, die das Phasen Anpassungsergebnis des Phasenreglers 1 empfangen hat, über den Addierer und Subtrahierer 79 auf die Geschwindigkeitsanweisung 78 einwirkt.

[0084] Gemäß diesem Beispiel mit dem FF-Controller 72 umfasst der übergeordnete Controller daher einen Positions-Controller und stellt einem Motor-Controller Mittel zur Verfügung, um eine Dämpfungssteuerung in dem Motorservo-Controller zu realisieren, der für das Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist. Die für die Dämpfungssteuerung typische Ansprechverzögerung, die durch den parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller 10 verursacht wird, kann durch einen einfachen Prozess verbessert werden und die durch den FB-Controller verursachte Ansprechverzögerung der FB-Schleife kann ebenfalls verbessert werden, wodurch die Positionierungszeit verkürzt werden kann.

[0085] Da ω_f die gewünschte Ansprechcharakteristik in der FF-Steuerung definiert und ω_p die Steuerverstärkung des Positions-Controllers 22 ist, sind die Parameter in Formel (13) eindeutig bestimmt und werden unabhängig von der Ansprechcharakteristik AR der Schwingungen des Maschinenendes ausgelegt. Allerdings kann h_f in Formel (13) als Anpassungsverstärkung betrachtet werden und ω_p in h_f kann aggressiv angepasst werden.

[0086] Wie es bereits erwähnt wurde, gibt es einen deutlichen Unterschied in den zu verbessernden Verzögerungseigenschaften zwischen Phasenregler 1 und FF-Controller 72 und es wird davon ausgegangen, dass sie unabhängig voneinander ausgelegt sind. Es kann jedoch möglich sein, die Ansprechverzögerung des Maschinenendes zu verkürzen und gleichzeitig die Schwingungen des Maschinenendes insgesamt zu unterdrücken, indem ω_p von h_f zu einem Anpassungselement gemacht wird und entsprechend konstruiert wird, so dass ein Gleichgewicht mit den Parametern ω_h , ω_a , ζ_a) und h , ω_a , ζ_a) von Regler 1 herrscht.

[0087] Diese Wirkung kann als Ergebnis der Anpassung der Phase der Geschwindigkeitsanweisung 8 mittels zwei HPFs interpretiert werden, wobei davon ausgegangen wird, dass der FF-Controller 72 die gleiche Rolle spielt wie der HPF des Phasenreglers 1.

[Beispiel 3]

[0088] Der Motor-Controller für dieses Beispiel ist für die Anwendung auf ein Kaskaden-Positions-FB-Steuersystem 1100 eines Wechselstrom-Servomotors vorgesehen, das einen übergeordneten Controller und einen Servomotor-Controller umfasst, wie es in **Fig. 11** gezeigt ist.

[0089] **Fig. 12** zeigt das kaskadierte Positions-FB-Steuersystem 1200 des Wechselstrom-Servomotors in Beispiel 3. **Fig. 12** zeigt den Fall, in dem der in **Fig. 1** gezeigte Schwingungs-Controller in dem Geschwindigkeitssteuersystem 15 auf **Fig. 11** angewendet wird. Der gleiche Inhalt wie im Beispiel 1 wird in der Erläuterung weggelassen.

[0090] Das in **Fig. 12** gezeigte kaskadierte Positions-FB-Steuersystem des Wechselstrom-Servomotors umfasst einen Addierer und Subtrahierer 1410, einen Addierer und Subtrahierer 1411, einen Addierer und Subtrahierer 1412, einen Positions-Controller 1315, einen Geschwindigkeits-Controller 132, einen Strom-Controller 133 und einen ersten Koordinatenumrechner 134, der Koordinaten aus dem d-q-Koordinatensystem in das 3-Phasen-Koordinatensystem umrechnet, einen zweiten Koordinatenumrechner 1310, der Koordinaten von dem 3-Phasen-Koordinatensystem in das d-q-Koordinatensystem umrechnet, eine PWM-Ausgabevorrichtung 135, die 3-Phasen-Spannungsbefehle eingibt und PWM-Impulse ausgibt, einen Wechselrichter (Leistungsumsetzer) 136 mit Schaltelementen, einen Stromdetektor 138, einen Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 1311, einen Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15, einen Codierer zum Messen der Motordrehzahl, einen Motor 137 und eine Maschine 1313, die von dem Motor angetrieben wird und das gesteuerte Objekt ist.

[0091] Der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 gibt die von dem Positions- und Geschwindigkeits-Rechner 1311 aus der Ausgabe des Codierers 139 berechnete Motorachsen-Positionsantwort und den Positionsbetriebsbetrag aus dem Positions-Controller 1315 ein, gibt die Motorachsen-Positionsantwort an den Positions-Controller 1315 aus und gibt die Geschwindigkeitsanweisung an den Geschwindigkeits-Controller 132 aus.

[0092] Der Stromkreisteil des Motors wird durch den Strom-Controller 133 gesteuert, und im Geschwindigkeitsregelsystem wird unter der Annahme, dass dieser Steuerzyklus schneller ist als der Geschwindigkeits-Controller 132, das Strom-Steuersystem als ungefähr 1 betrachtet (der Betriebsbetrag des Geschwindigkeits-Controllers wird direkt auf den mechanischen Teil (Rotor) des Motors übertragen). Daher ist das Steuerobjekt des Geschwindigkeits-Controllers 132 der mechanische Teil (Rotor) des Motors und die mit dem Rotor des Motors gekoppelte Maschine 1313, die dem Steuerobjekt des Geschwindigkeits-Controllers 20 in **Fig. 1** entspricht.

[0093] Unter der Annahme, dass der Steuerzyklus des Geschwindigkeits-Controllers 132 schneller ist als der des Positions-Controllers 1315, wird in dem Positionssteuersystem davon ausgegangen, dass das Geschwindigkeitssteuersystem ungefähr 1 ist.

[0094] Der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 befindet sich an der Vorderseite des Geschwindigkeitssteuersystems und verarbeitet die Geschwindigkeitsanweisung, die die Ausgabe des übergeordneten Controllers ist, um Befehle an den Geschwindigkeits-Controller 132 zu erzeugen.

[0095] Wenn die Trägheitszahl der Maschine 1313 1 beträgt und die Maschine 1313 und der Motorrotor elastisch gekoppelt sind, kann das Steuerziel als ein Zwei-Trägheitssystem betrachtet werden, bei dem die Maschine 1313 und der Motorrotor durch Federn und Dämpfer gekoppelt sind und das Steuerziel über Frequenzeigenschaften einschließlich eines Satzes von Resonanz- und Antiresonanzeigenschaften verfügt.

[0096] Wenn die Trägheitszahl der Maschine 1313 zwei beträgt und jede Trägheit durch Federn und Dämpfer gekoppelt ist, wobei eine elastisch mit dem Motorrotor gekoppelt ist, kann das Steuerobjekt als ein Drei-Trägheitssystem betrachtet werden, bei dem jede Trägheit durch Federn und Dämpfern gekoppelt ist und über Frequenzeigenschaften einschließlich zweier Sätze von Resonanz-/Antiresonanzeigenschaften verfügt.

[0097] Die Maschine 1313 soll geringe Steifigkeit und Resonanz-/Antiresonanzeigenschaften in dem niedrigen Frequenzbereich von mehreren Hz bis 100 Hz aufweisen.

[0098] Zunächst wird **Fig. 11** ohne den Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 betrachtet, wobei die Steuerverstärkung des Positions-Controllers erhöht wird und die Motorachsen-Positionsantwort des Motors 137 von der Ortsanweisung auf eine hohe Antwort gesteuert wird. Wenn die durch die Resonanz-/Antiresonanzeigenschaften der Maschine 1313 verursachte Schwingung durch Erhöhen der Steuerverstärkung des Positions-Controllers unterdrückt wird, wird das Ende der Maschine 1313 aufgrund der geringen Steifigkeit der Maschine 1313 schwingend.

[0099] Wenn hingegen ein Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 enthalten ist, wie es in **Fig. 12** gezeigt ist, kann der Schwingungssteuerwirkung an dem Maschinenende demonstriert werden, wie es in Beispiel 1 erläutert ist, und die Ansprechverzögerungscharakteristik der Dämpfungssteuerung kann verbessert werden.

[0100] **Fig. 13a** und **Fig. 13b** zeigen die Wirkung der Dämpfungssteuerung des in **Fig. 12** gezeigten Wechselstrom-Servomotor-Steuersystems. Die in **Fig. 12** gezeigte Konfiguration kann die Ansprechverzögerung sowie eine ausreichende Dämpfungswirkung verbessern, wie es in **Fig. 13a** und **Fig. 13b** gezeigt ist.

[0101] In **Fig. 13a** und **Fig. 13b** ist die vertikale Achse der Mech. Winkel (Positionsantwort des Maschinenendes) und die horizontale Achse die Zeit. Die Positionsantwort des Maschinenendes gibt die Position an, die durch die Drehung des Motors bewegt wird, d. h. dem Ende der Maschine, das mit dem Motor verbunden ist, und entspricht dem Drehwinkel (rad) des Motors.

[0102] **Fig. 13B** ist eine teilweise vergrößerte Version von **Fig. 13A**. Wie es in **Fig. 13A** und **Fig. 13B** gezeigt ist, liegt in diesem Beispiel bei „mit Dämpfungssteuerung, Phasenanpassung“ 1404, das in durchgezogenen Linien dargestellt ist, im Vergleich zu „ohne Dämpfungssteuerung“ 1402 und „mit Dämpfungssteuerung, ohne Phasenanpassung“ 1403, eine höheres Ansprechvermögen vor.

[0103] Gemäß diesem Beispiel umfasst daher in einem halbgeschlossenen Wechselstrom-Servomotor-Steuersystem der übergeordnete Controller einen Positions-Controller und bietet ein Mittel zur Realisierung der Dämpfungssteuerung im Motorservo-Controller, der für das Geschwindigkeitssteuersystem zuständig ist. Der Motor-Controller verfügt über eine Möglichkeit, die Dämpfungssteuerung in dem Motorservo-Controller zu realisieren, der für das Geschwindigkeitssteuersystem verantwortlich ist, und die für die Dämpfungssteuerung typische Ansprechverzögerung durch einen einfachen Prozess zu verbessern.

[0104] In diesem Beispiel wird der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 von Beispiel 1 auf das kaskadierte Positions-FB-Steuersystem 1100 des Wechselstrom-Servomotors angewendet. Das Geschwindigkeitssteuersystem 71 von Beispiel 2 kann auch auf das kaskadierte Positions-FB-Steuersystem 1100 eines Wechselstrom-Servomotors angewendet werden.

[0105] Zusätzlich zur AC-Servomotor-Steuerung wird auch bei der Gleichstrom-Motorsteuerung eine Kaskadensteuerkonfiguration mit Geschwindigkeits- und Positions-Controllern verwendet, so dass gemäß diesem Beispiel der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 in der ersten Stufe des Geschwindigkeits-Controllers verwendet werden kann. Daher kann gemäß diesem Beispiel der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem 15 eine Schwingungssteuerung des Maschinenendes innerhalb des Geschwindigkeitssteuersystems realisieren, indem er in das Geschwindigkeitssteuersystem eingreift.

Bezugszeichenliste

1	Phasenregler
9	Positionsbefehls-Schätzer
10	paralleler Schwingungsdämpfungs-Controller
11	Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor

14	Geschwindigkeitsanweisung
15	Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem
18	tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung
21	Positions- und Geschwindigkeits-Rechner
23	Motorachsen-Positionsantwort
24	Ortsanweisung
72	FF-Controller
136	Wechselrichter
137	Wechselstrom-Servomotor
138	Stromdetektor
139	Codierer
201	übergeordneter Controller
301	Servomotor-Controller
1313	zu steuernde Maschine

Patentansprüche

1. Motorsteuervorrichtung, die ein Positionsteuersystem umfasst, das die Position eines Maschinenendes, das mit einem Motor verbunden ist, steuert, wobei die Motorsteuervorrichtung die erste Geschwindigkeitsanweisung von dem übergeordneten Controller empfängt, in dem Positionsteuersystem aufgenommen ist, um eine Motorachsen-Positionsantwort an den übergeordneten Controller auszugeben, und einen Geschwindigkeits-Controller und einen Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem umfasst, wobei der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem Folgendes umfasst:

einen Positionsbefehls-Schätzer, der eine Schätzung der Ortsanweisung auf der Basis der ersten Geschwindigkeitsanweisung und der Motorachsen-Positionsantwort berechnet,

einen parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller, der die in der ersten Geschwindigkeitsanweisung enthaltenen Frequenzkomponenten, die Schwingungen des Maschinenendes anregen, basierend auf dem geschätzten Wert der Ortsanweisung extrahiert und die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt, wobei der parallele Schwingungsdämpfungs-Controller die extrahierten Frequenzkomponenten ausgibt,

einen Phasenregler zum Verbessern der durch den parallelen Schwingungsdämpfungs-Controller verursachten Ansprechverzögerung,

einen ersten Einheitenumrechner, der die Ausgabe des Phasenreglers in die Geschwindigkeitsdimension umrechnet, und

eine Recheneinheit,

wobei in der Recheneinheit die Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers von der ersten Geschwindigkeitsanweisung subtrahiert wird, um aus der ersten Geschwindigkeitsanweisung die Frequenzkomponenten zu entfernen, die Schwingungen an dem Maschinenende anregen, und das Ergebnis als zweite Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird, die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Ausgabe des Schwingungs-Controllers in einem Geschwindigkeitssteuersystem basierend auf der Ausgabe des ersten Einheitenumrechners und der zweiten Geschwindigkeitsanweisung ausgegeben wird und die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Befehl für den Geschwindigkeits-Controller verwendet wird.

2. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1,

wobei die Recheneinheit umfasst,

einen ersten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers von der ersten Geschwindigkeitsanweisung subtrahiert und

einen zweiten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe des ersten Einheitenumrechners und die zweite Geschwindigkeitsanweisung addiert.

3. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der obige Positionsbefehls-Schätzer umfasst:

ein Schätzfilter, das den inversen Eigenschaften des in dem übergeordneten Controller enthaltenen Positions-Controllers entspricht,

und einen dritten Addierer und Subtrahierer,

und als Schätzung der Ortsanweisung das Signal ausgibt, das durch Addieren der ersten Geschwindigkeitsanweisung, die von dem Schätzfilter verarbeitet wurde, und der Motorachsen-Positionsantwort durch den dritten Addierer und Subtrahierer erhalten wird.

4. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der parallele Schwingungsdämpfungs-Controller umfasst:

einen Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor, der die in der ersten Geschwindigkeitsanweisung enthaltenen Frequenzkomponenten, die Schwingungen des Maschinenendes anregen, aus dem geschätzten Wert der Ortsanweisung ohne Phasenverzögerung extrahiert, und

einen zweiten Einheitenumrechner, der die Einheiten des Signals der Schwingungsanregungskomponente, das durch den Schwingungsanregungskomponenten-Extraktor extrahiert wird, in die Geschwindigkeitsdimension umrechnet,

wobei die Ausgabe des zweiten Einheitenumrechners als Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers ausgegeben wird,

die Recheneinheit die Differenz zwischen der Eingabe und der Ausgabe des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors berechnet,

der Phasenregler die Differenz eingibt, die Phase anpasst und das Ergebnis an den ersten Einheitenumrechner ausgibt.

5. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 4, wobei die Recheneinheit umfasst:

einen ersten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe des parallelen Schwingungsdämpfungs-Controllers von der ersten Geschwindigkeitsanweisung subtrahiert,

einen zweiten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe des ersten Einheitenumrechners und der zweiten Geschwindigkeitsanweisung addiert, und

einen vierten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe von der Eingabe des Schwingungsanregungskomponenten-Extraktors subtrahiert.

6. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Schwingungs-Controller im Geschwindigkeitssteuersystem umfasst:

einen Vorwärtskopplungs-Controller zum Verbessern der Ansprechverzögerung bei der Rückkopplungsteuerung des in dem übergeordneten Controller enthaltenen Positions-Controllers,

wobei die Recheneinheit Eingabe und Ausgabe des Phasenreglers berechnet,

der Vorwärtskopplungs-Controller das Ergebnis der Berechnung eingibt,

eine zweite tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung wird aus der Ausgabe des Vorwärtskopplungs-Controllers und der ersten tatsächlichen Geschwindigkeitsanweisung berechnet wird,

die zweite tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung als Ausgabe des Schwingungs-Controllers im Geschwindigkeitssteuersystem ausgegeben wird.

7. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Recheneinheit umfasst:

einen fünften Addierer und Subtrahierer, der die Eingabe und Ausgabe des Phasenreglers addiert und

einen sechsten Addierer und Subtrahierer, der die Ausgabe des Vorwärtskopplungs-Controllers und die erste tatsächliche Geschwindigkeitsanweisung addiert.

8. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Phasenregler ein Hochpassfilter ist.

9. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 6, wobei der Vorwärtskopplungs-Controller ein Hochpassfilter ist.

10. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Filterparameter des Phasenreglers basierend auf den Schwingungseigenschaften des Maschinenendes eingestellt sind.

11. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Filterparameter des Vorwärtskopplungs-Controllers basierend auf den Schwingungseigenschaften des Maschinenendes eingestellt sind.

12. Motorsteuervorrichtung nach Anspruch 1,

wobei der übergeordnete Controller einen Positions-Controller umfasst, der in das Orts-Steuersystem integriert ist, das die Ortsanweisung erzeugt,

der Positions-Controller die erste Geschwindigkeitsanweisung aus der Ortsanweisung und der aus der Motorsteuervorrichtung empfangenen Motorachsen-Positionsantwort erzeugt.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

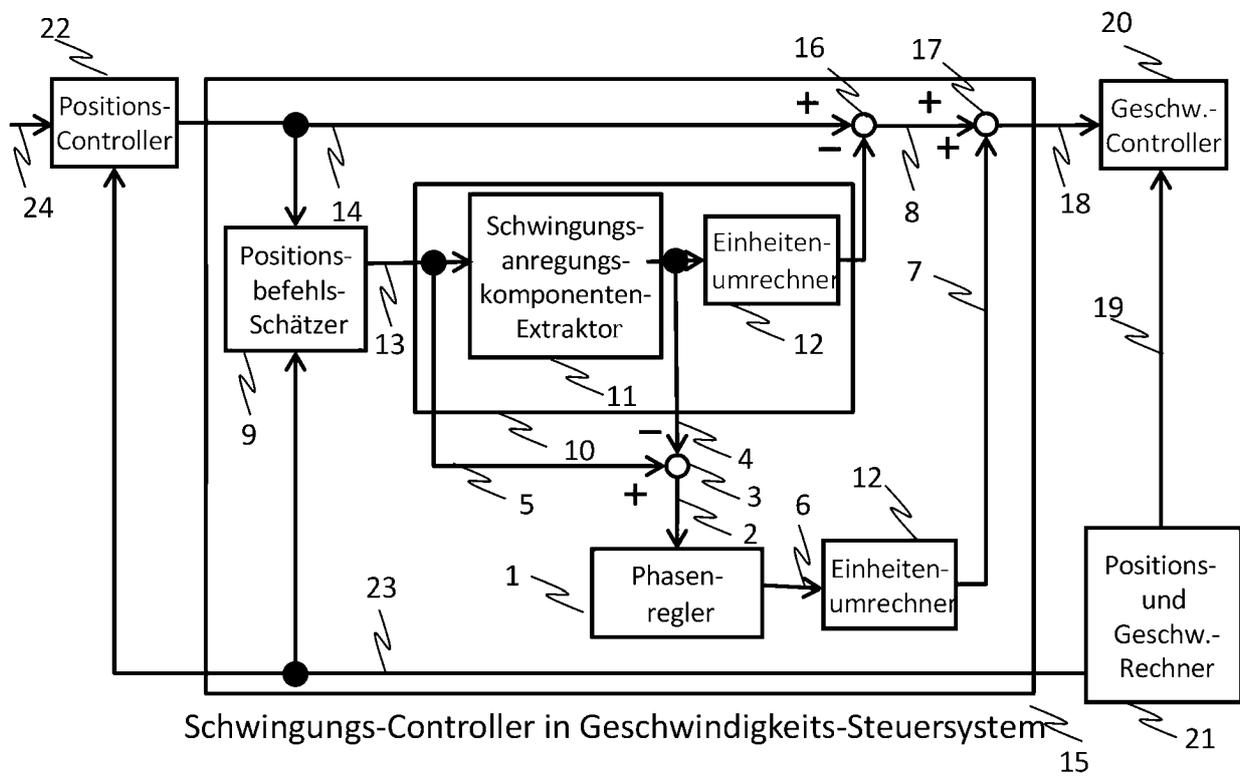


Fig. 1

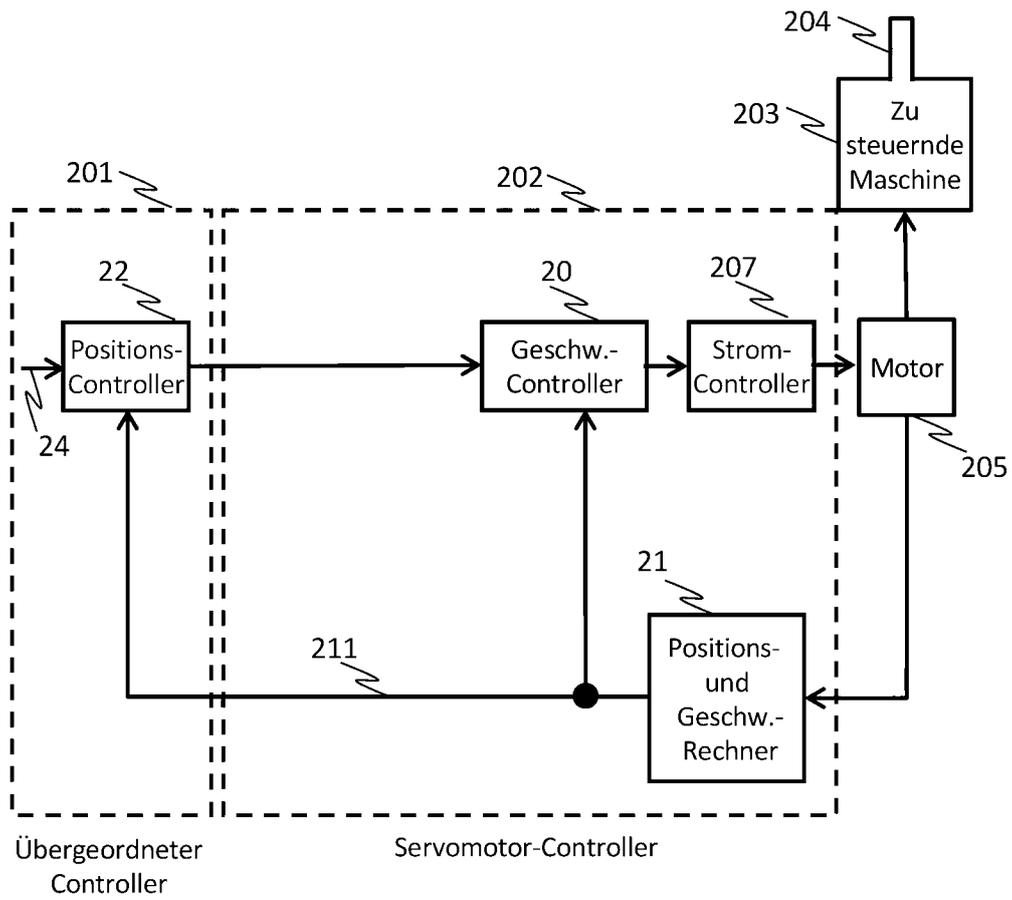


Fig. 2

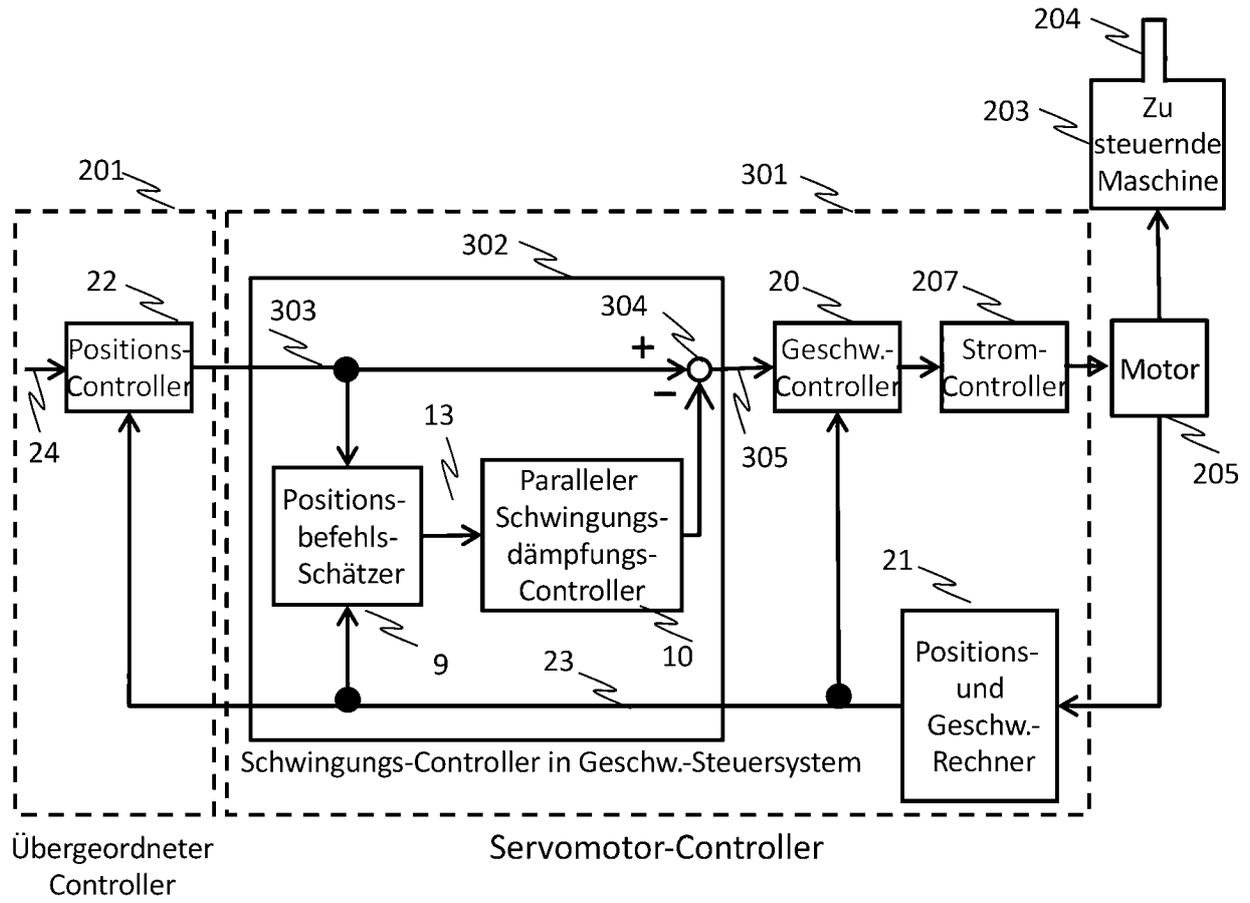


Fig. 3

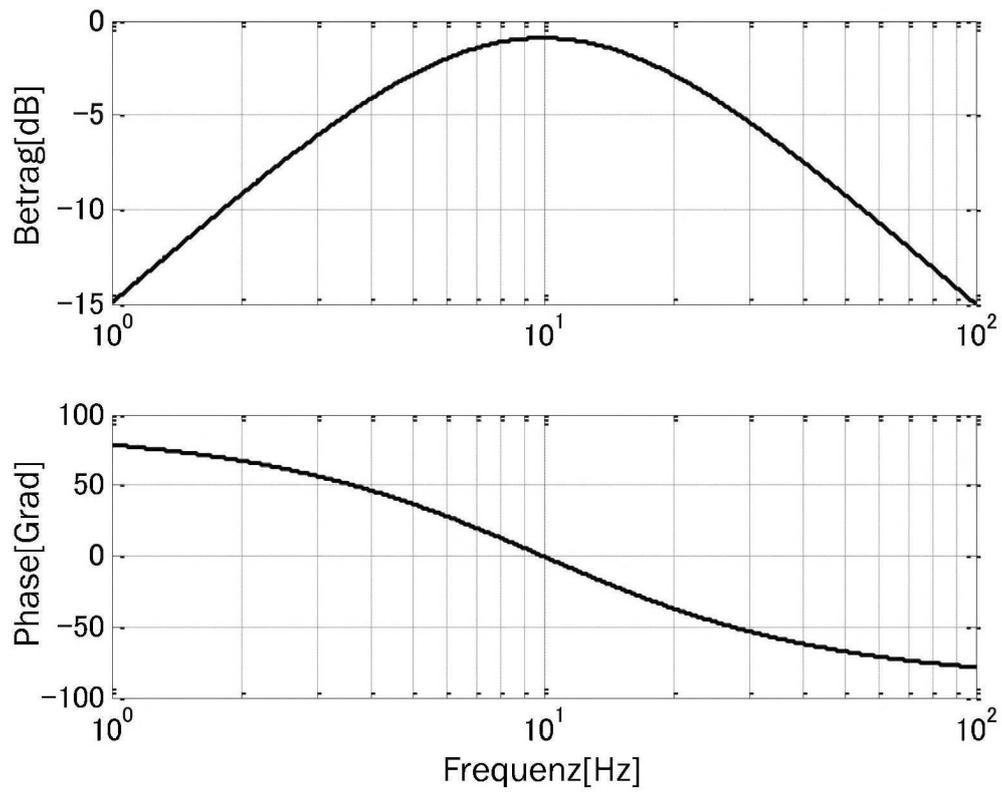


Fig. 4

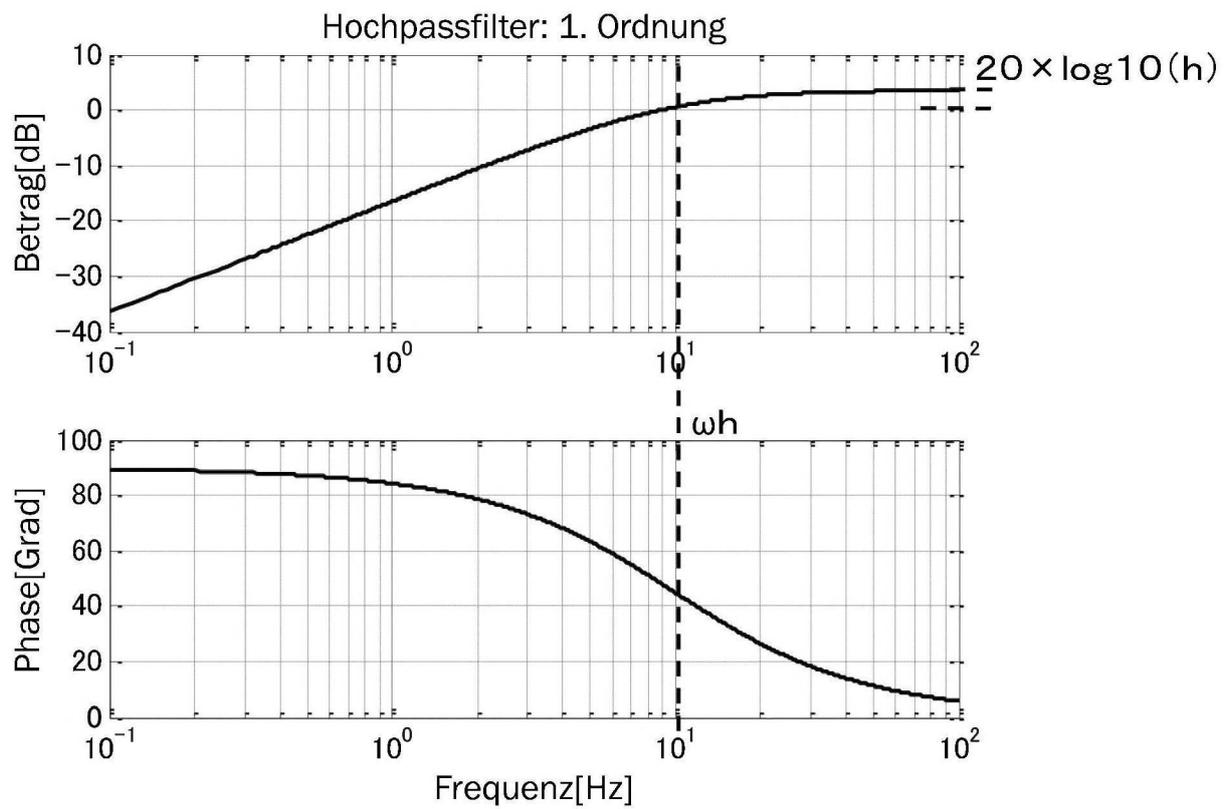


Fig. 5

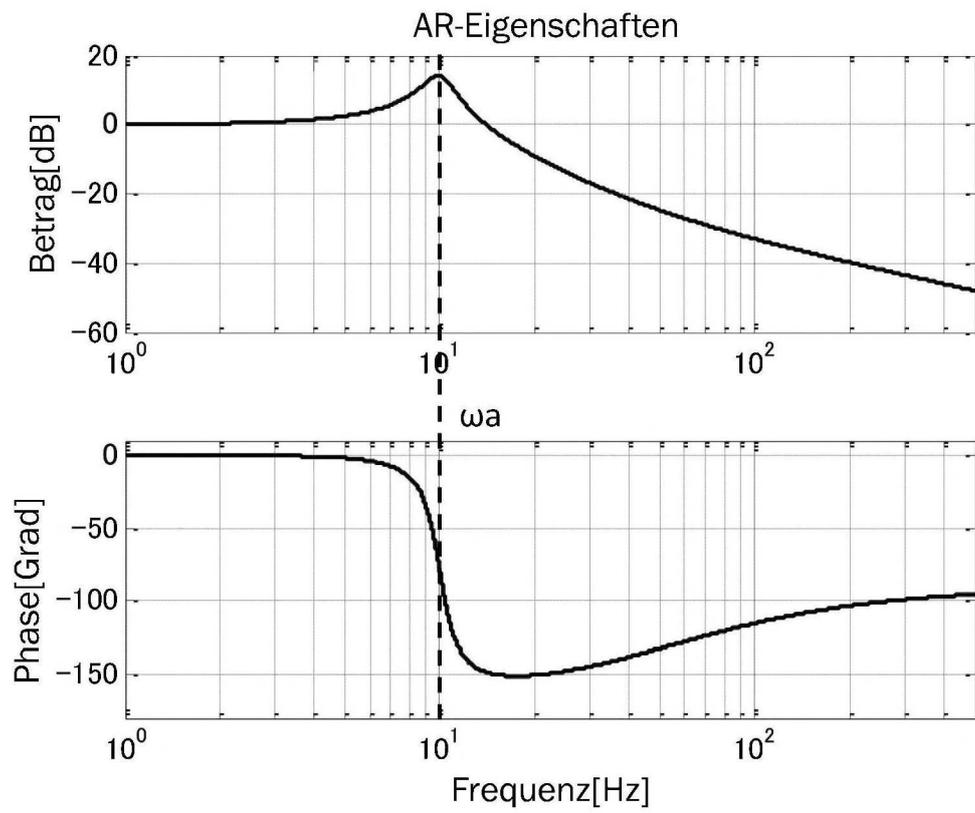


Fig. 6

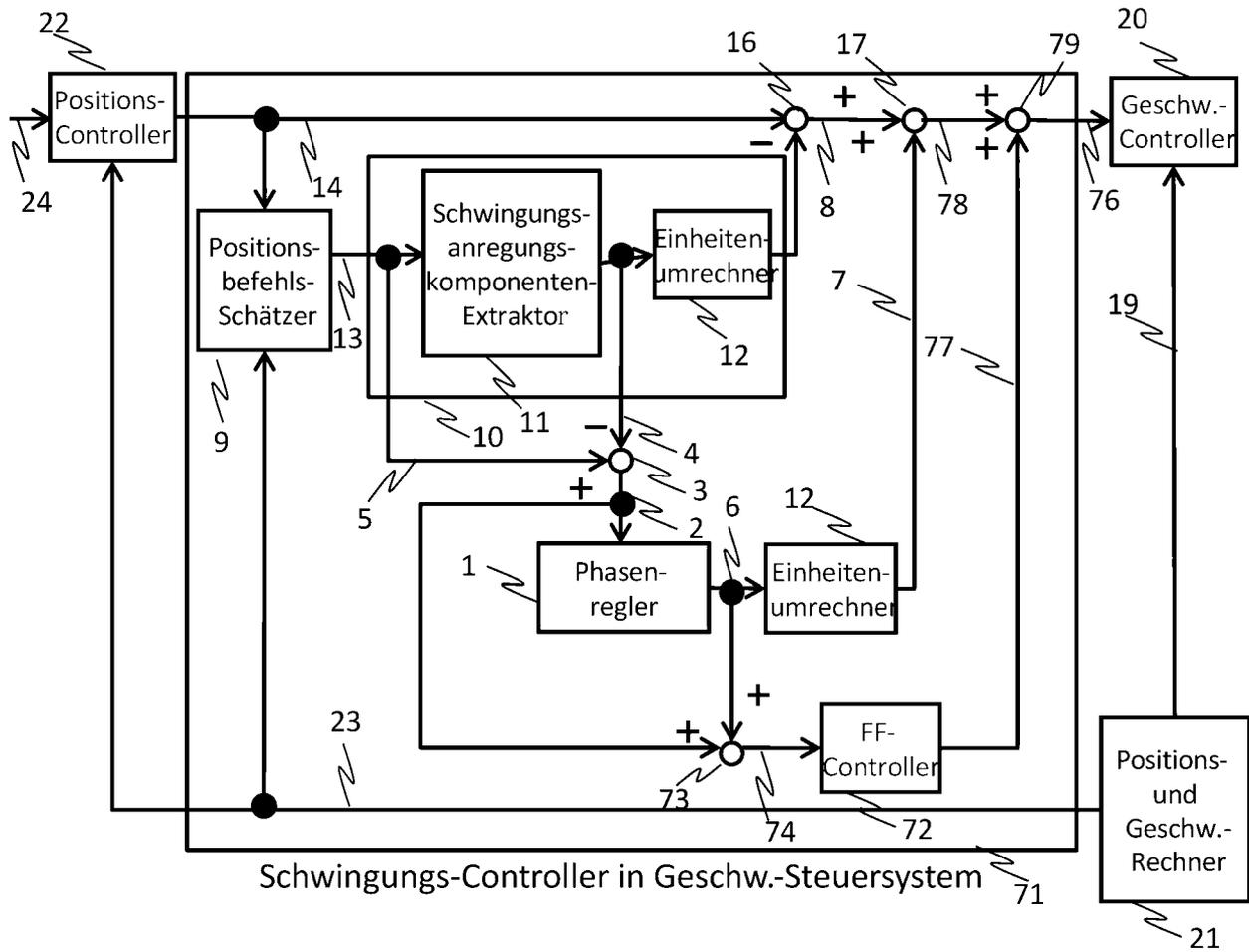
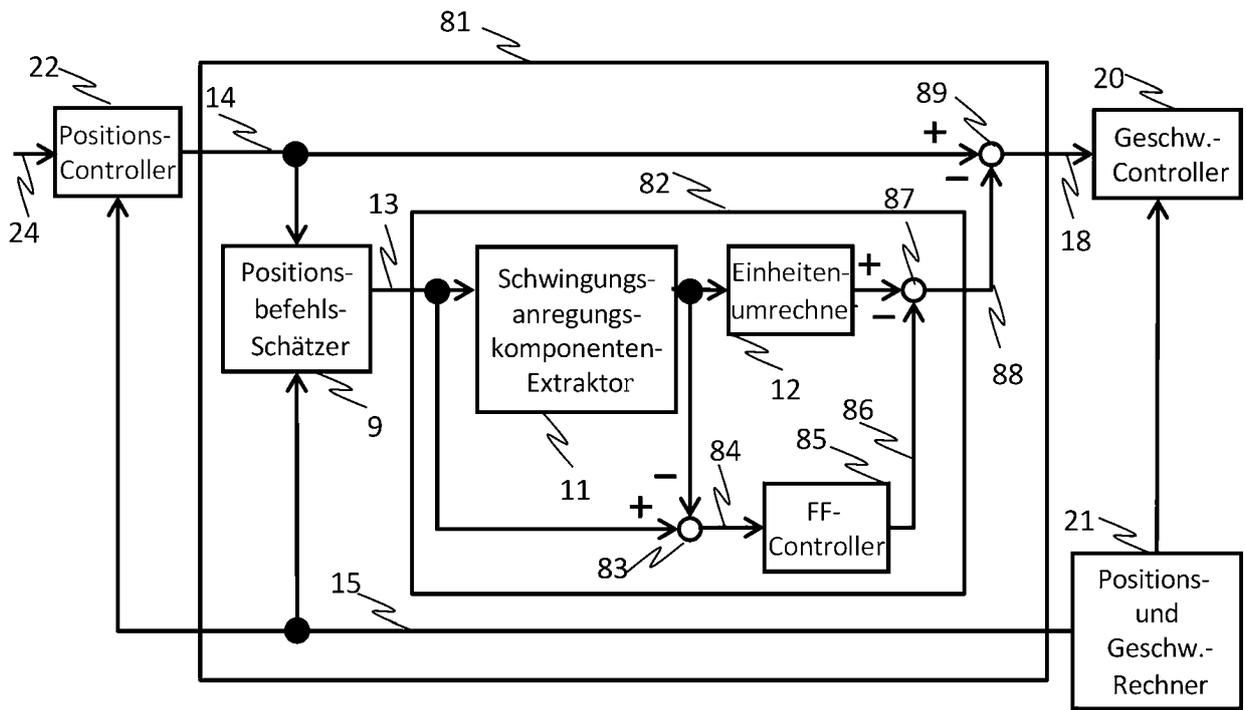


Fig. 7



Schwingungs-Controller in Geschw.-Steuersystem

Fig. 8

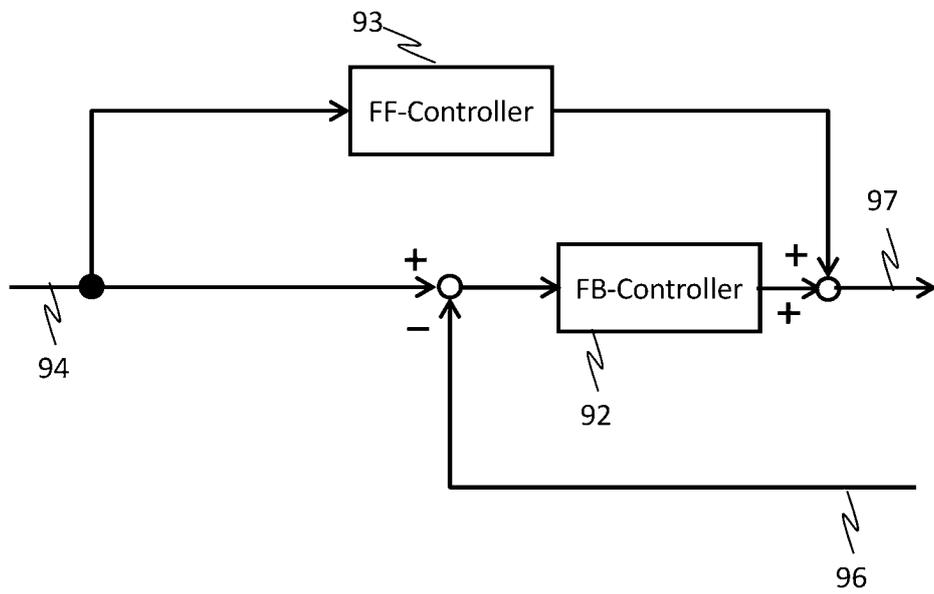


Fig. 9

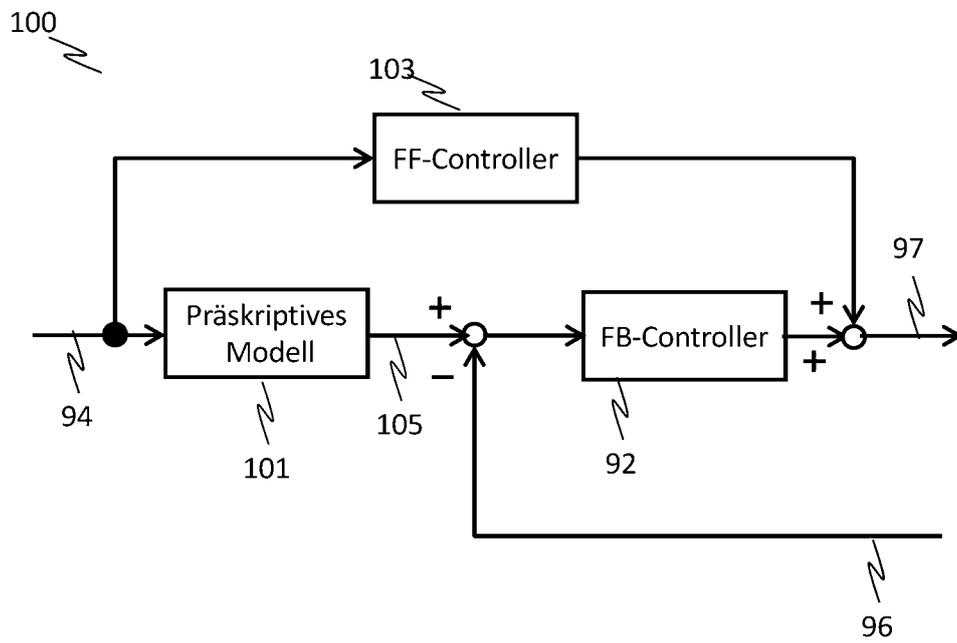


Fig. 10

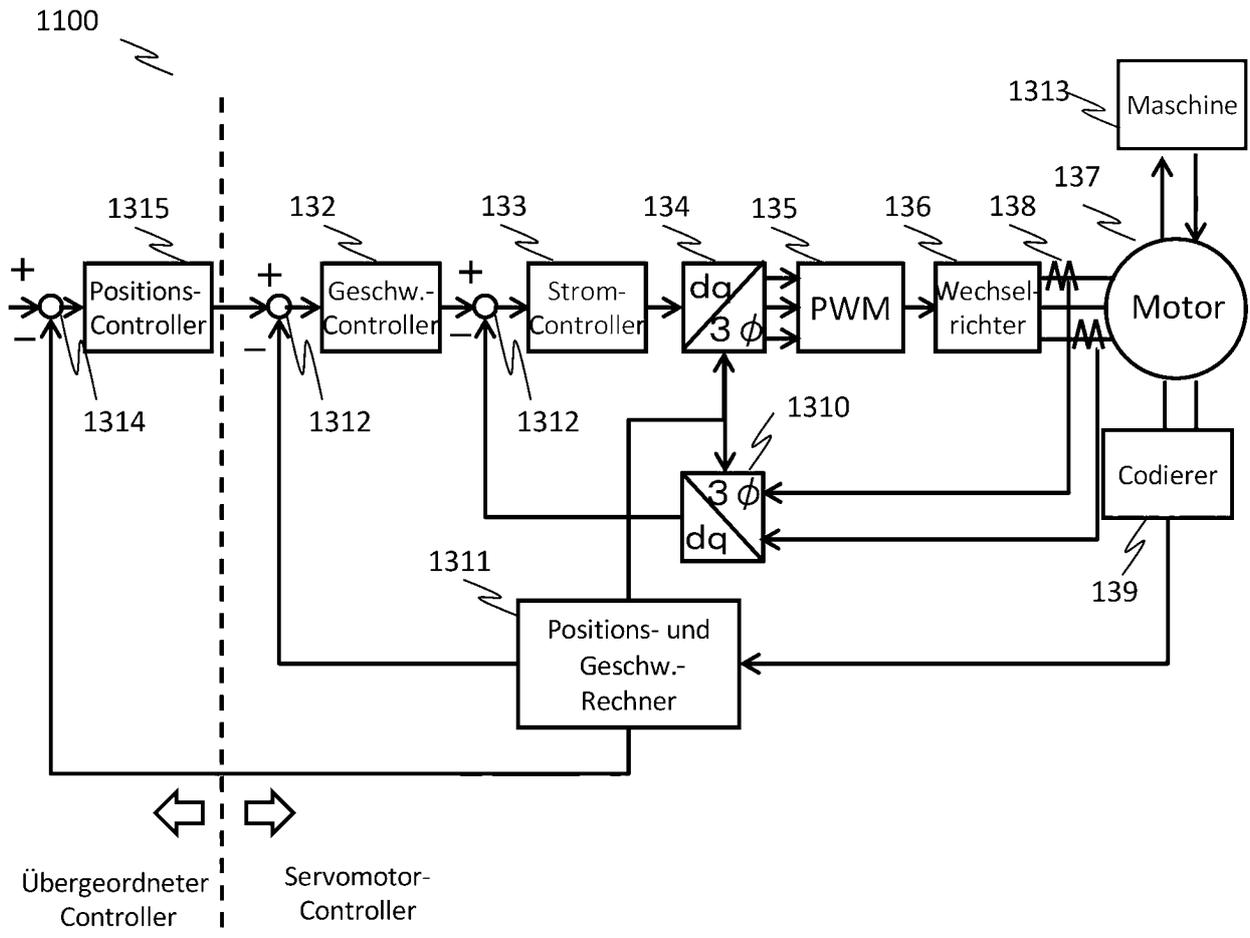


Fig. 11

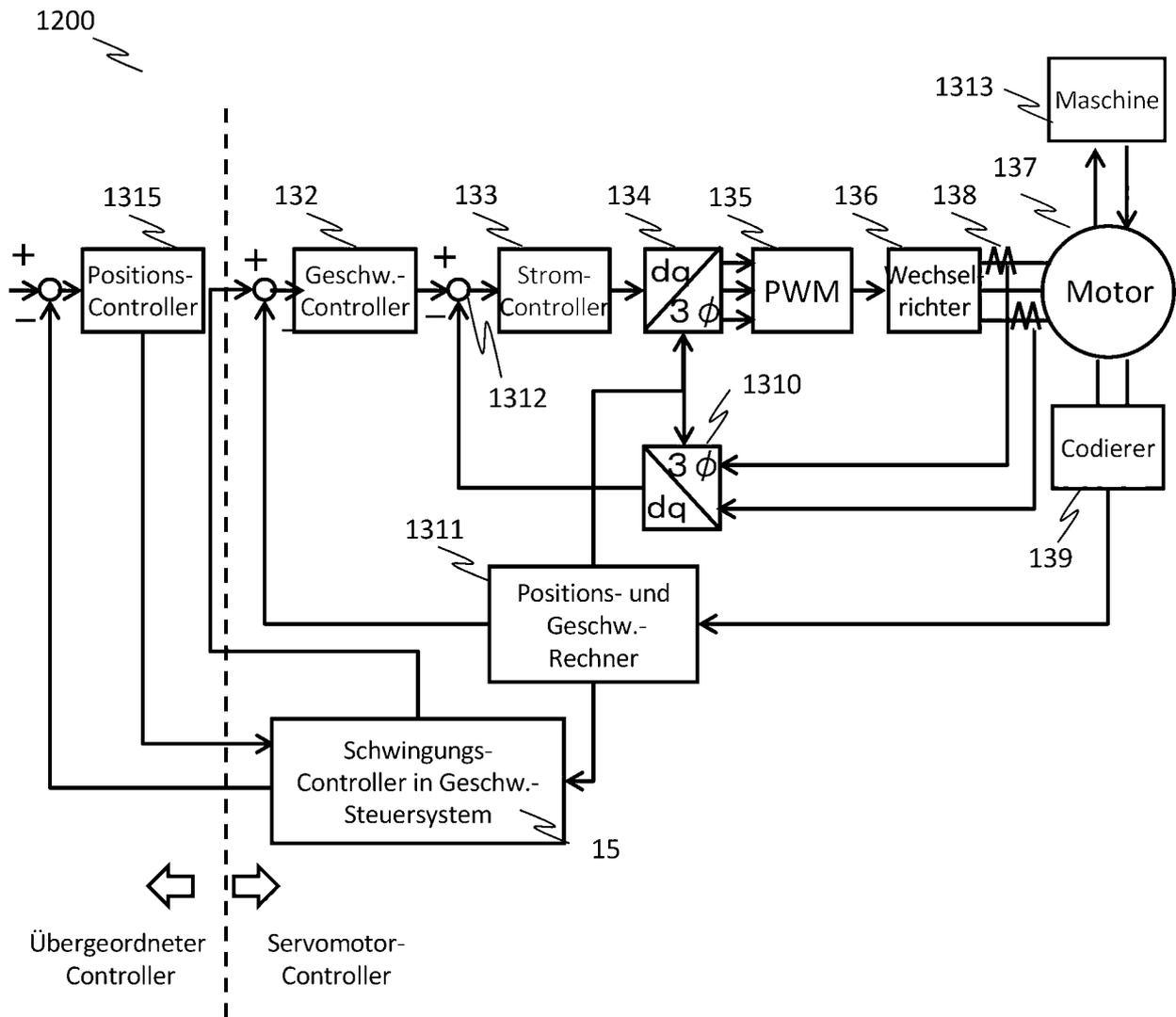


Fig. 12

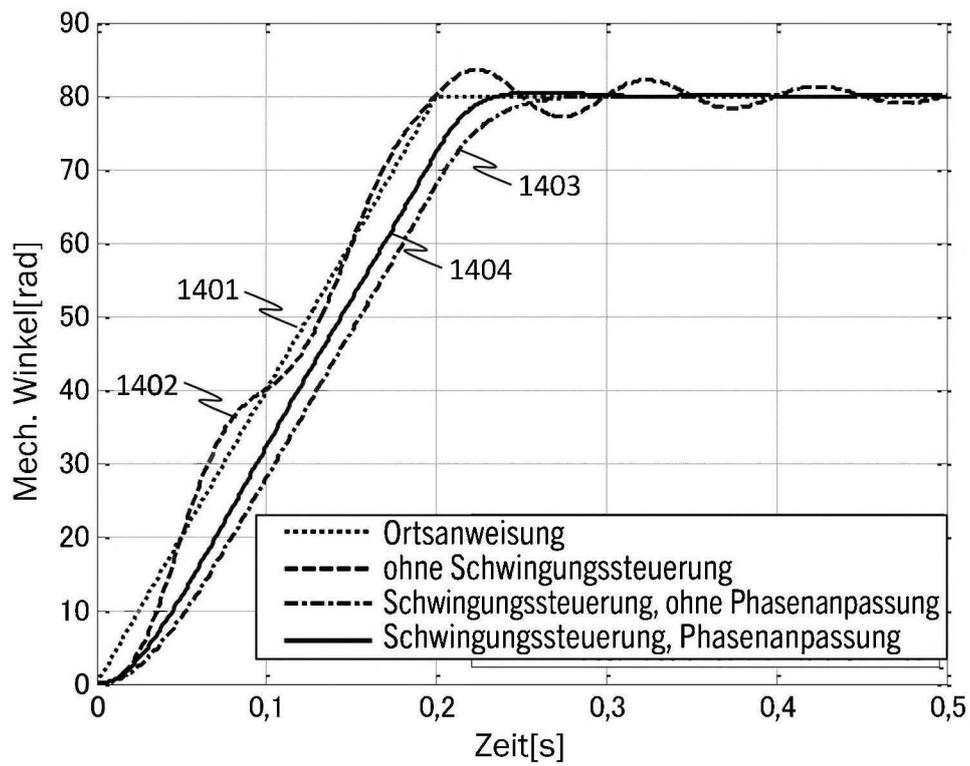


Fig. 13A

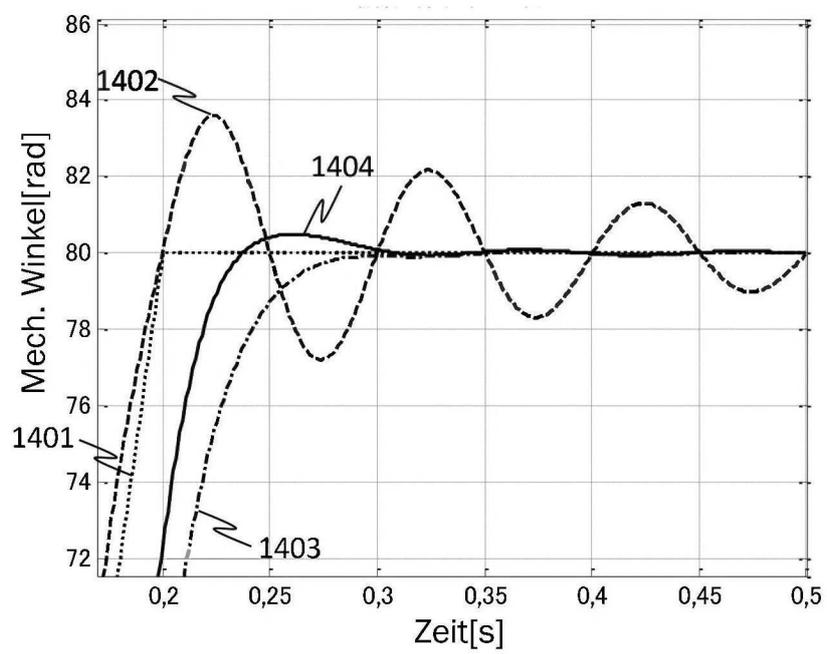


Fig. 13B