



(10) **DE 10 2015 114 458 A1** 2016.03.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 458.1**

(22) Anmeldetag: **31.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2016**

(51) Int Cl.: **G05B 19/404** (2006.01)

**G05B 19/416** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**2014-179299** **03.09.2014** **JP**

(71) Anmelder:  
**Okuma Corporation, Aichi, JP**

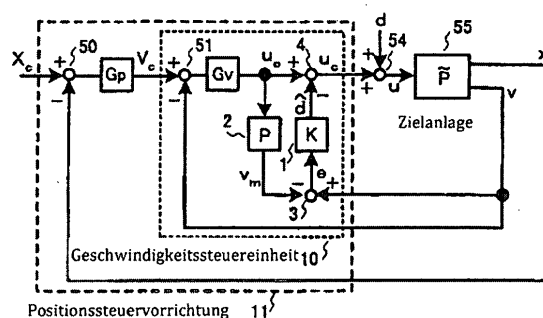
(74) Vertreter:  
**TER MEER STEINMEISTER & PARTNER**  
**PATENTANWÄLTE mbB, 80335 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Eguchi, Satoshi, Aichi, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **SERVOSTEUERVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein Störungsunterdrückungssystem ist in einer Servosteuvorrichtung enthalten. In dem Störungsunterdrückungssystem wird eine Komponente  $e$ , die in einer Ausgabe einer Zielanlage aufgrund eines Störungsschätzfehlers enthalten ist, in einer Störungsunterdrückungssteuerung verstärkt, die einen Frequenzverlauf entsprechend einer Größe eines Anlagenfehlers aufweist, welcher eine Differenz in Übertragungsmerkmalen zwischen der Zielanlage und dem Anlagenmodell darstellt, und die verstärkte Komponente  $e$  wird in eine Steuereingabe zurückgeführt.



**Beschreibung**

## PRIORITÄTSINFORMATION

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung 2014-179299, eingereicht am 03.09.2014.

## TECHNISCHES GEBIET

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Servosteuvorrichtung und insbesondere eine Geschwindigkeitssteuvorrichtung und eine Positionssteuvorrichtung zur Steuerung von Achsen in einer numerisch gesteuerten Maschine.

## ERFINDUNGSHINTERGRUND

**[0003]** Im allgemeinen müssen Servosteuvorrichtungen (wie etwa Geschwindigkeitssteuvorrichtungen und Positionssteuvorrichtungen), die zur Steuerung der Achsen in numerisch gesteuerten Maschinen verwendet werden, eine gute Systemstabilität aufweisen (einschließlich einer guten Vibrationsunterdrückung), und ein hohes Niveau bezüglich der Befehlsfolgeleistung und Störungsunterdrückungsleistung. **Fig. 6** zeigt den allgemeinen Aufbau eines Servosystems in einer von derartigen Servosteuvorrichtungen. Gemäß **Fig. 6** bildet eine Servosteuvorrichtung ein Rückkopplungssystem, in welchem eine Steuerung **C** verwendet wird und eine Störung **d** in einen Eingang **u** einer Zielanlage **55** eingegeben wird, um somit eine Ausgabe **y** der Zielanlage **55** basierend auf einem Befehlswert **Y** zu erzeugen. In diesem Servosystem wird die Befehlsfolgeleistung verbessert, wenn eine Bandbreite (ein Bereich, in welchem  $|T| \approx 1$ ) einer komplementären Empfindlichkeitsfunktion  $T = C \sim P / (1 + C \sim P)$ , welche Übertragungscharakteristik von  $Y \rightarrow y$  darstellt, breiter wird, während die Störungsunterdrückungsleistung zur Unterdrückung der Störung **d** verbessert wird, wenn ein Wert  $|S|$  in einem mittleren bis niedrigen Frequenzbereich einer Empfindlichkeitsfunktion  $S = 1 / (1 + C \sim P)$ , welche eine Übertragungscharakteristik von  $d \rightarrow u$  darstellt, kleiner wird.

**[0004]** Hier kann die Befehlsfolgeleistung durch Bildung eines Vorwärtskopplungssystems (nicht dargestellt) verbessert werden. Wenn indessen die Empfindlichkeitsfunktion **S** in dem mittleren bis niedrigeren Frequenzbereich minimiert wird, um die Störungsunterdrückungsleistung zu verbessern, verbreitert sich zwangsläufig die Bandbreite der komplementären Empfindlichkeitsfunktion **T** zu einem großen Bereich. Dies führt oft zu Problemen wie etwa dem Auftreten von Vibrationen in einem hohen Frequenzband und einer Abnahme der Systemstabilität. Um solche Probleme zu vermeiden, wurde nach dem Stand der Technik ein Steuerungsverfahren zur Unterdrückung lediglich der Störungen in einer kleineren Schleife vorgeschlagen. Als ein herkömmliches Störungsunterdrückungssteuerverfahren wurde ein bekanntes Steuerverfahren vorgeschlagen (nachfolgend als Störungsbeobachterverfahren bezeichnet), in welchem eine Zielanlage eines Modells niedrigerer Ordnung geschätzt wurde, zur Schätzung einer Störung **d**, die in die Zielanlage eingegeben wird, und zur Bereitstellung von Rückkopplungsdaten zu einem Steuerungseingang zur Beseitigung der Störung **d**, so dass die Störung unterdrückt wird.

**[0005]** **Fig. 7** ist ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Beispiels einer herkömmlichen Positionssteuvorrichtung, in welcher das Störungsbeobachterverfahren angewendet wird. Die Zielanlage **55** wird durch einen Antriebsmotor angetrieben (nicht dargestellt) und eine Steuereingabe **u** der Zielanlage **55** empfängt ein Signal, das durch Addition der Störung **d** zu einer durch einen Motor erzeugten Antriebskraft **uc** in einem Addierer **55** erhalten wird. Eine Ausgabe **v** aus der Zielanlage **55** repräsentiert eine Motorgeschwindigkeit, die von einem Detektor (nicht dargestellt) oder dergleichen detektiert wird, und eine weitere Ausgabe **x** aus der Zielanlage **55** setzt sich zusammen aus einer Treiberposition und einer Motorposition, die auf eine Weise ähnlich zu derjenigen detektiert wird, die von dem Detektor verwendet wird. Eine Geschwindigkeitssteuereinheit **100** ist eine Geschwindigkeitssteuvorrichtung zur Steuerung einer Motorgeschwindigkeit **v** genau entsprechend einem Geschwindigkeitsbefehlswert **Vc** und ist dazu vorgesehen, ein Geschwindigkeitsabweichungssignal in einem Geschwindigkeitsabweichungsverstärker **Gv** zu verstärken, das durch Subtraktion der Motorgeschwindigkeit **v** von dem Geschwindigkeitsbefehlswert **Vc** erhalten wird.

**[0006]** Ein Störungsbeobachter **53** speichert intern ein Modell niedrigerer Ordnung der Zielanlage **55** und gibt einen Störungsschätzwert  $\hat{d}$  aus, der aus der motorgenierten Antriebskraft **uc** und der Motorgeschwindigkeit **v** berechnet wird. Ein Antriebskraftbefehlswert **u0**, welcher eine Ausgabe des Geschwindigkeitsabweichungsverstärkers **Gv** ist, wird als motorgenerierte Antriebskraft **uc**, die durch Subtraktion des Störungsschätzwerts  $\hat{d}$  vom Antriebskraftbefehlswert **u0** erhalten wird, in einen Subtrahierer **52** gegeben. Zur Steuerung einer Treiber-

position  $x$  (oder einer Motorposition, die indirekt die Treiberposition anzeigt), exakt entsprechend einem Positionsbefehlswert  $X_c$  subtrahiert eine Positionssteuervorrichtung **101** die Treiberposition  $x$  vom Positionsbefehlswert  $X_c$  in einem Subtrahierer **50** zur Ermittlung einer Positionsabweichung und verstärkt die Positionsabweichung in einem Positionsabweichungsverstärker  $G_p$ . Eine verstärkte Ausgabe aus der Positionssteuervorrichtung **101** wird als Geschwindigkeitsbefehlswert  $V_c$  an die Geschwindigkeitssteuereinheit **100** weitergegeben.

**[0007]** In der herkömmlichen Positionssteuervorrichtung, in welcher das zuvor beschriebene Störungsbeobachterverfahren angewendet wird, wird der Störungsschätzwert  $\hat{d}$  als ein präziser Schätzwert der Störung  $d$  erhalten, solange eine Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage einer Übertragungscharakteristik  $P$  des Modells niedrigerer Ordnung entspricht, die in dem Störungsbeobachter gespeichert ist, und die Störung  $d$  kann durch Rückkopplung des genauen Störungsschätzwerts  $\hat{d}$  beseitigt werden. Auf diese Weise kann die Störungsunterdrückungsleistung verbessert werden, ohne dass dies einen Einfluss auf die Befehlsfolgeleistung hat. Da jedoch im Allgemeinen die Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage nicht der Übertragungscharakteristik  $P$  des Modells niedrigerer Ordnung entspricht, insbesondere in einem Hochfrequenzband, kann der Störungsschätzwert  $\hat{d}$ , der zurückgegeben werden soll, Daten einer sozusagen unbeabsichtigten Zustandsrückkopplung enthalten. Dies übt oft einen negativen Einfluss auf die Befehlsfolgeleistung aus und führt zu Vibrationen. Anhand von **Fig. 8** werden Steuerungsmerkmale genauer beschrieben, die mit der derart aufgebauten herkömmlichen Positionssteuervorrichtung verbunden sind. **Fig. 8** ist ein Blockdiagramm, das im Einzelnen ein Ausführungsbeispiel einer Geschwindigkeitssteuerungseinheit **100** darstellt. Eine Beschreibung der Bestandteile, die im Zusammenhang mit **Fig. 7** erläutert wurden, wird hier nicht wiederholt. Hier ist die Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage angenommen als eine Übertragungscharakteristik von der Steuereingabe  $u$  zu der Motorgeschwindigkeit  $v$  und ist definiert als ein Zweifach-Inertialsystem mit einem Übertragungspol  $\omega_p$  und einer Übertragungs-Null  $\omega_z$ , ausgedrückt durch Gleichung (1) wie folgt.

$$\tilde{P} = (s^2 + \omega_z^2) / \{I_1 s(s^2 + 2\zeta\omega_p s + \omega_p^2)\} \quad (1)$$

**[0008]** Hierbei repräsentiert  $I_1$  einen Seitenantriebsträgheitsmoment,  $I_2$  repräsentiert ein Seitenlastträgheitsmoment und  $\zeta$  repräsentiert einen Dämpfungsfaktor. Dann ist das Modell niedrigerer Ordnung, das in dem Störungsbeobachter gespeichert ist, als ein Einfachinertialsystem definiert, und die Übertragungscharakteristik  $P$  des Modells ist derart definiert, dass sie die Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage in einem niedrigen Frequenzbereich durch Gleichung (2) wie folgt trifft.

$$P = 1/(I_s) = 1/\{(I_1 + I_2)s\} \quad (2)$$

**[0009]** Hierbei ist das äquivalente Trägheitsmoment  $(I_1 + I_2)$ .

**[0010]** Die Operation der Ausgabe des Störungsschätzwerts  $\hat{d}$ , die von dem Störungsbeobachter **53** ausgeführt wird, kann in gleicher Weise durch eine Operation ausgedrückt werden, in der in einem Subtrahierer **56** die motorgenerierte Antriebskraft  $u_c$  von der Motorgeschwindigkeit  $v$  subtrahiert wird, die mit einer umgekehrten Übertragungscharakteristik  $P - 1$  des Modells niedrigerer Ordnung multipliziert wird, und Multiplikation des subtrahierten Ergebnisses mit einer Übertragungscharakteristik  $K_0$  in einem Übertragungsfunktionsblock **57**. Die Übertragungscharakteristik  $K_0$  im Übertragungsfunktionsblock **57**, die unter Verwendung einer Beobachterverstärkung  $\omega_0$  als  $K_0 = I \cdot \omega_0$  ausgedrückt werden kann, dient als primäre Tiefpassfiltercharakteristik in der unten angegebenen Gleichung (3).

$$PK_0/(1 + PK_0) = (\omega_0/s) / \{1 + (\omega_0/s)\} = \omega_0/(s + \omega_0) \quad (3)$$

**[0011]** Hier sind die Parameter, die mit der Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  festgelegt sind, festgelegt als  $I_1 = 0.2$  [kgm<sup>2</sup>],  $I_2 = 0.4$  [kgm<sup>2</sup>],  $\zeta = 0.005$ ,  $\omega_p = 628$  [rad/s], und  $\omega_z = 364$  [rad/s], und der Geschwindigkeitsabweichungsverstärker  $G_v$  wird geeignet unter der Bedingung bestimmt, dass das Störungsbeobachterverfahren nicht angewendet wird ( $\omega_0 = 0$ ). Frequenzverläufe ( $V_c, d \rightarrow v, v_2$ ) der Geschwindigkeitssteuereinheit **100**, die mit den oben genannten Parameter und dem Geschwindigkeitsabweichungsverstärker  $G_v$  erhalten werden, sind in **Fig. 9** dargestellt. Es wird angemerkt, dass  $v_2$  die Lastseitengeschwindigkeit der Zielanlage **55** repräsentiert, die in dem Zweifach-Inertialsystem ausgedrückt wird, und der Geschwindigkeitsabweichungsverstärker  $G_v$  wird durch einen allgemein verwendeten Proportional-Integral-Kompensator konfiguriert. Im Vergleich dazu zeigt **Fig. 10** die Frequenzverläufe ( $V_c, d \rightarrow v, v_2$ ), die man erhält, wenn das Störungsbeobachterverfahren mit der Beobachterverstärkung  $\omega_0$  gewählt als  $\omega_0 = 300$  [rad/s] angewendet wird.

**[0012]** Die Störungsunterdrückungsleistung, die durch die Frequenzverläufe ( $d \rightarrow v, v_2$ ) repräsentiert wird, wird in dem mittleren bis niedrigen Bereich durch Anwendung des Störungsbeobachterverfahrens verbessert. Wie

jedoch aus **Fig. 10** deutlich wird, beeinträchtigt in einem Frequenzband in der Nähe der Übertragungs-Null  $\omega_z$ , in welchem eine Differenz zwischen der Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage und der Übertragungscharakteristik  $P$  des Modells niedrigerer Ordnung maximiert wird, die Anwendung des Störungsbeobachterverfahrens die Befehlsfolgeleistung, die durch den Frequenzverlauf ( $V_c \rightarrow v_2$ ) repräsentiert wird, für welchen eine Verstärkung vergrößert wird, was zum Auftreten von Vibrationen führt.

**[0013]** Wie die Befehlsfolgeleistung durch das Störungsbeobachterverfahren beeinträchtigt wird, lässt sich aus dem Folgenden verstehen. Da die Übertragungscharakteristik  $K_0$  in dem Übertragungsfunktionsblock **57** in **Fig. 8** maximal einen Abfall von lediglich  $-20$  db/dec hat, wie in Gleichung (3) dargestellt ist, kann der Übertragungsfunktionsblock **57** keine anderen wachsenden Komponenten abschneiden als die Störung, die in einer Eingabe in den Übertragungsfunktionsblock **57** in dem Frequenzbereich enthalten ist, in welchem ein Anlagenfehler, der die Differenz zwischen den Übertragungscharakteristiken  $\tilde{P}$  und  $P$  ist, vergrößert ist.

**[0014]** Zur Erfassung der Operation des Störungsunterdrückungssystems in **Fig. 8** wird ein Störungsunterdrückungsteil in gleicher Weise umgewandelt, unter der Annahme, dass  $u_0 = 0$ . **Fig. 11** zeigt ein Ergebnis dieser äquivalenten Umwandlung. Wenn die Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$  der Zielanlage durch eine Nominalcharakteristik der Übertragungscharakteristik  $P$  und den Anlagenfehler ausgedrückt wird, kann das Problem der Reduktion der Größe von Gleichung (3) bezüglich des Anlagenfehlers durch ein ernsthaftes Stabilitätsproblem ersetzt werden. Dies wird in JPH11-24708 A zur Bezeichnung der Übertragungscharakteristik  $K_0$  mit  $H_\infty$  Steuerdesign verwendet (wobei  $K_0$  eine  $H_\infty$  Unendlichkeitssteuerung ist).

**[0015]** In JP H11-24708 A ist jedoch eine Geschwindigkeitssteuerungseinheit so aufgebaut, wie in **Fig. 12** dargestellt, was bewirkt, dass eine Antwort an den Antriebskraftbefehlswert  $u_0$  äquivalent zu einer Antwort der Störung  $d$  in dem Störungsunterdrückungssystem wird. Wenn somit dieses Störungsunterdrückungssystem eingeführt wird, wird eine Befehlsfolgecharakteristik in dem mittleren bis niedrigeren Bereich einer Veränderung unterzogen. Zur Vermeidung dieser Änderung sollte die Befehlsfolgeleistung nicht unabhängig von der Störungsunterdrückungsleistung gehandhabt werden, was zwangsläufig ein neues Design des Geschwindigkeitsabweichungsverstärkers  $G_v$  erfordern würde.

**[0016]** Wie zuvor beschrieben, kann durch die herkömmliche Servosteuervorrichtung mit dem Störungsunterdrückungssystem, welches in der kleineren Schleife ausgebildet ist, mit der Absicht zur Verbesserung einer Störungsunterdrückungsleistung, die Störungsunterdrückungsleistung in dem mittleren bis niedrigen Bereich verbessert werden, während die Störungsunterdrückungsleistung andererseits das Befehlsfolgesystem beeinträchtigt und somit Vibrationen oder andere negative Einflüsse einbringt. Aufgrund dieser Einflüsse war es unmöglich, die Befehlsfolgeleistung und die Störungsunterdrückungsleistung einzeln zu gestalten. Es besteht daher ein Bedarf nach einer Servosteuervorrichtung mit einem Störungsunterdrückungssystem, das dazu in der Lage ist, ausschließlich die Störungsunterdrückungsleistung in dem mittleren bis niedrigen Bereich zu verbessern, ohne dass dies einen Einfluss auf das Befehlsfolgesystem hat.

## ZUSAMMENFASSUNG

**[0017]** Die vorliegende Erfindung erreicht dieses Ziel durch Einführung eines Störungsunterdrückungssystems in eine Servosteuervorrichtung, in der eine Komponente, die aufgrund eines Störungsschätzfehlers in einer Ausgabe einer Zielanlage enthalten ist, in einer Störungsunterdrückungsstörung verstärkt wird, die einen Frequenzverlauf entsprechend der Größe eines Anlagefehlers aufweist, der eine Differenz in der Übertragungscharakteristik zwischen der Zielanlage und dem Anlagenmodell ist, und in die Steuereingabe zurückgeführt wird.

**[0018]** In der Servosteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Zielanlagenmodell dazu verwendet, ein Störungsschätzfehlersignal zu berechnen. Das Störungsunterdrückungssystem ist dazu ausgebildet, dass Störungsschätzfehlersignal in größerem Umfang in einem mittleren bis niedrigen Frequenzbereich zu verstärken, in welchem der Anlagenfehler klein genug ist, um das Störungsschätzfehlersignal mit einem hohen Genauigkeitsgrad zu detektieren, und das Störungsschätzfehlersignal in geringerem Umfang in einem höheren Frequenzbereich zu verstärken, in welchem der Anlagefehler groß genug ist, um die Genauigkeit der Detektion des Störungsschätzfehlersignals zu beeinträchtigen, und das Störungsschätzfehlersignal, das auf irgendeine Weise verstärkt worden ist, zu der Steuerungseingabe zurückzugeben. Durch das so aufgebaute Störungsunterdrückungssystem kann eine Verbesserung der Störungsunterdrückungsleistung in dem mittleren bis niedrigen Bereich ausschließlich erreicht werden, ohne dass die Befehlsfolgeleistung in dem gesamten Frequenzbereich beeinflusst wird. Dies hat die vorteilhaften Wirkungen, dass keine Vibrationen ausgeübt werden, die durch Bildung des Störungsunterdrückungssystems in einer kleineren Schleife verursacht werden, und dass somit die Störungsunterdrückungsleistung unabhängig von der Befehlsfolgeleistung gehandhabt werden

kann. Da ferner verhindert wird, dass sich alle Eigenschaften in dem hohen Bereich ändern, wird sichergestellt, dass die Stabilität des Geschwindigkeitssteuerungssystems und des Positionssteuersystems verschlechtert.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0019]** Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche Teile in verschiedenen Ansichten beziehen.

**[0020]** Fig. 1 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Aufbaus einer Positionssteuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**[0021]** Fig. 2 ist ein Blockdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zur Gestaltung einer Störungsunterdrückungssteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung;

**[0022]** Fig. 3 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Beispiels von Frequenzverläufen für jeden Block in Fig. 2;

**[0023]** Fig. 4 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Beispiels von Frequenzverläufen der Störungsunterdrückungssteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung;

**[0024]** Fig. 5 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Beispiels von Frequenzverläufen einer Geschwindigkeitssteuereinheit in der Positionssteuervorrichtung aus Fig. 1;

**[0025]** Fig. 6 ist ein Diagramm zur Darstellung eines schematischen Aufbaus einer typischen Servosteuer-  
vorrichtung;

**[0026]** Fig. 7 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Beispiels einer herkömmlichen Positionssteuervorrichtung, in welcher ein Störungsbeobachterverfahren angewendet wird;

**[0027]** Fig. 8 ist ein Blockdiagramm, das im Einzelnen einen beispielhaften Aufbau einer Geschwindigkeitssteuereinheit in Fig. 7 zeigt;

**[0028]** Fig. 9 ist ein Diagramm, das ein Beispiel von Frequenzverläufen in einer herkömmlichen Geschwindigkeitssteuereinheit zeigt, in der kein Störungsbeobachterverfahren angewendet wird;

**[0029]** Fig. 10 ist ein Diagramm zur Darstellung eines Beispiels von Frequenzverläufen einer herkömmlichen Geschwindigkeitssteuereinheit, in der das Störungsbeobachterverfahren angewendet wird;

**[0030]** Fig. 11 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung einer Anordnung, die erhalten wird durch äquivalente Umwandlung einer Störungsunterdrückungseinheit, wie sie in Fig. 8 dargestellt ist und

**[0031]** Fig. 12 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung eines Aufbaus einer herkömmlichen Geschwindigkeitssteuervorrichtung.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0032]** In der folgenden Beschreibung wird die vorliegende Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. In der vorliegenden Erfindung wird ein Störungsunterdrückungssystem ebenfalls in einer kleineren Schleife gebildet, durch welche Daten zu einem Steuereingang zurückgeführt werden, wie es auch herkömmlich der Fall ist. Zunächst wird eine Anfrage zur Bildung des Störungsunterdrückungssystems, welche keine Vibrationen induziert, ersetzt, wie oben beschrieben, durch ein Problem der Auffindung einer Übertragungscharakteristik  $K_0$ , welche es ermöglicht, dass ein Rückkopplungsbetrag, der in den Steuereingang eingegeben wird, in einem Frequenzbereich reduziert wird, in welchem ein Anlagenfehler, der durch eine Differenz zwischen Übertragungscharakteristiken  $\hat{P}$  und  $P$  repräsentiert wird, größer wird. Die Lösung dieses Problems kann eine Veränderung in der Befehlsfolgeleistung in einem hohen Frequenzbereich aufgrund der Bildung des Störungsunterdrückungssystems verhindern. Zweitens wird ein äquivalenter Block, der in Fig. 11 dargestellt ist, wie oben beschrieben, zur Betrachtung der Störungsunterdrückungsleistung verwendet. Eine Anfrage zur Vergrößerung der Störungsunterdrückungsleistung in einem mittleren bis niedrigen Frequenzbereich, in welchem der Anlagenfehler klein ist, wird durch ein Problem ersetzt, die Übertragungscharakteristik  $K_0$  zu finden, welche eine Minimierung einer Übertragungscharakteristik von  $d \rightarrow u$  in dem mittleren bis niedrigen Frequenzbereich in Fig. 11 ermöglicht.

**[0033]** Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm, das erhalten wird durch Einbringung der zwei Probleme, die als ein robustes Steuerproblem formuliert werden, in eine verallgemeinerte Anlage G. In Fig. 2 repräsentiert das Bezugszeichen P eine Übertragungscharakteristik eines Anlagenmodells, das durch Modellierung einer Zielanlage geschaffen wird, und das Bezugszeichen K repräsentiert eine robuste Steuerung mit einer Übertragungscharakteristik entsprechend der oben beschriebenen Übertragungscharakteristik K0. Die robuste Steuerung K ist die Störungsunterdrückungssteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung. Ein Verfahren zur Lösung des robusten Steuerproblems, um die Störungsunterdrückungssteuerung K mit der Übertragungscharakteristik zu erhalten, welche die oben genannten Erfordernisse erfüllt, wird im Folgenden beschrieben. Es wird angemerkt, dass M eine Übertragungsmatrix von  $[w_1, w_2]^T \rightarrow [z_1, z_2]^T$  repräsentiert und  $M_{ij}$  repräsentiert eine Übertragungsfunktion von Elementen in i Zeilen und j Spalten.

**[0034]** Wenn der Anlagenfehler als Multiplikationsvariable dargestellt wird, ist eine gewichtete Übertragungsfunktion  $W_m$  in Fig. 2 diejenige eines Phasensystems mit einem stabilen Minimum, mit einer Größe des Anlagenfehlers, die repräsentiert wird als Multiplikationsvariable der Frequenzverläufe, und die Funktion wird so bestimmt, dass sie der Beziehung genügt, die durch die folgende Gleichung (4) ausgedrückt wird.

$$|W_m| > |1 - P/P| \quad (4)$$

**[0035]** Hier kann eine Übertragungscharakteristik M22 für  $w_2 \rightarrow z_2$  durch Gleichung (5) wie folgt ausgedrückt werden.

$$M_{22} = -W_m \cdot PK / (1 + PK) \quad (5)$$

**[0036]** Da  $W_m$  sich in dem hohen Bereich vergrößert, entspricht die Aufgabe der Schaffung einer Übertragungscharakteristik K, die es ermöglicht, dass Gleichung (5) minimiert wird, dem oben beschriebenen Problem, zu verhindern, dass sich die Steuerfolgeleistung in dem hohen Bereich verändert.

**[0037]** Im Folgenden wird eine Übertragungsfunktion M11 für  $w_1 \rightarrow z_1$  durch Gleichung (6) wie folgt ausgedrückt.

$$M_{11} = W_d \cdot 1 / (1 + PK) \quad (6)$$

**[0038]** Wenn die gewichtete Übertragungsfunktion  $W_d$  so ausgewählt wird, dass sie dem Phasensystem mit stabilem Minimum entspricht, was einen Zuwachs in dem mittleren bis niedrigeren Bereich zeigt, entspricht eine Aufgabe der Schaffung der Transfercharakteristik K, die eine Minimierung von Gleichung (6) zulässt, dem Problem der Verbesserung der Störungsunterdrückungsleistung in dem mittleren bis niedrigen Bereich.

**[0039]** Da nämlich, wie bereits oben beschrieben, das Problem, in welchem die zwei oben beschriebenen Erfordernisse formuliert sind, in der Übertragungsmatrix M enthalten ist, wird die Störungsunterdrückungssteuerung K, welche eine allgemeine Lösung sein wird, erhalten durch Lösung des robusten Steuerproblems. Die unten beschriebene Gleichung (7) stellt eine Struktur der Übertragungsmatrix M dar, die nicht diagonale Elemente enthält.

[Ausdruck 1]

$$M = \begin{bmatrix} W_d \frac{1}{1+PK} & -W_m \frac{K}{1+PK} \\ W_d \frac{P}{1+PK} & -W_m \frac{PK}{1+PK} \end{bmatrix} \dots\dots (7)$$

**[0040]** In einem Verfahren zur Lösung des robusten Steuerproblems ist es aufgrund der Tatsache, dass die nicht diagonalen Elemente in Gleichung (7) nicht in der Formulierung der Bedingungen enthalten sind, unerwünscht, dass die nicht diagonalen Elemente eine Beschränkung bezüglich der Bildung der Störungsunterdrückungssteuerung K darstellen. Dementsprechend wird gemäß der vorliegenden Erfindung das robuste Steuerproblem mit einem  $\mu$ -Design gelöst, so dass die nicht diagonalen Elemente mit einem Skalierungsfaktor multipliziert werden, um die Beschränkung des Designs zu minimieren.

**[0041]** Die im Folgenden gegebene Gleichung (8) zeigt die Struktur der gewichteten Übertragungsfunktion  $W_m$ , die in dieser Ausführungsform verwendet wird und so bestimmt ist, dass sie  $|1 - \tilde{P}/P|$  der Frequenzverläufe abdeckt.

[Ausdruck 2]

$$W_m = \left( k \frac{s^2 + 2 \zeta_b \omega_b s + \omega_b^2}{s^2 + 2 \zeta_a \omega_a s + \omega_a^2} \right)^2 \dots\dots (8)$$

**[0042]** Hierbei ist  $W_m$  vom Hochpass-Typ und +80 dB/sec wird für eine Übertragungscharakteristik gewählt.

**[0043]** In gleicher Weise zeigt die unten angegebene Gleichung (9) die Struktur der gewichteten Transferfunktion  $W_d$ , die so bestimmt ist, dass sie in dem mittleren bis niedrigen Bereich anwächst.

[Ausdruck 3]

$$W_d = \frac{s^2 + 2 \zeta_f \omega_f s + \omega_f^2}{s^2 + 2 \zeta_e \omega_e s + \omega_e^2} \dots\dots (9)$$

**[0044]** Hierbei ist  $W_d$  vom Tiefpass-Typ und -40 dB/dec wird für die Übertragungscharakteristik gewählt.

**[0045]** Fig. 3 zeigt die Frequenz-Verstärkungs-Funktionen der oben beschriebenen Übertragungscharakteristiken  $\tilde{P}$  und  $P$ ,  $|1 - \tilde{P}/P|$ , und die Transferfunktionen  $W_m$  und  $W_d$ , die unter Verwendung von Parameter ( $k$ ,  $\zeta_a$ ,  $\zeta_b$ ,  $\zeta_e$ ,  $\zeta_f$ ,  $\omega_a$ ,  $\omega_b$ ,  $\omega_e$ ,  $\omega_f$ ), die bestimmt werden durch einen Versuch- und Irrtumsprozess für die Zielanlage **55** mit der Übertragungscharakteristik  $\tilde{P}$ , die ausgedrückt wird durch Gleichung (1), (wobei  $I_1 = 0.2$  [kgm<sup>2</sup>],  $I_2 = 0.4$  [kgm<sup>2</sup>],  $\zeta = 0.005$ ,  $\omega_p = 628$  [rad/s], und  $\omega_z = 364$  [rad/s]), die zur Erläuterung des Standes der Technik verwendet wurde. Es wird angemerkt, dass die Übertragungscharakteristik  $P$  des Anlagemodells auch bestimmt wird durch Festlegung des Modells niedrigerer Ordnung mit der Übertragungscharakteristik aus Gleichung (2), die bei der Erläuterung des Standes der Technik verwendet wurde.

**[0046]** Der Frequenzverlauf der Störungsunterdrückungssteuerung  $K$ , die unter den oben beschriebenen Bedingungen erzeugt wird, ist in Fig. 4 dargestellt. Da in der Übertragungscharakteristik  $M_{11}$ , die durch Gleichung (6) definiert wird, -40 dB/dec für die Übertragungscharakteristik der gewichteten Übertragungsfunktion  $W_d$  in dem mittleren bis niedrigen Bereich gewählt wird, ist die H<sub>cc</sub>-Norm der Übertragungscharakteristik  $M_{11}$  reduziert, wenn die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$  die Übertragungscharakteristik von -20 dB/dec in dem mittleren bis niedrigen Bereich aufweist. Andererseits wird in der Übertragungscharakteristik  $M_{22}$ , die durch Gleichung (5) definiert wird, +80 dB/dec für die Übertragungscharakteristik der gewichteten Übertragungsfunktion  $W_m$  gewählt, die einem Bereich in der Nähe der Übertragungs-Null  $\omega_z$  der Zielanlage zugeordnet ist, und die H<sub>∞</sub>-Norm der Übertragungscharakteristik  $M_{22}$  wird reduziert, wenn die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$  einen scharf abfallenden Verlauf in diesem Bereich aufweist.

**[0047]** Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Funktionssteuervorrichtung darstellt, welche die Servosteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist. Im Folgenden werden Komponenten erläutert, die sich von der oben beschriebenen herkömmlichen Positionssteuervorrichtung unterscheiden. Diese Positionssteuervorrichtung **11** ist intern mit einer Geschwindigkeitssteuereinheit **10** ausgestattet, die das Störungsunterdrückungssystem bildet, in welchem die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$  (bezeichnet durch Bezugsziffer **1**) gemäß der vorliegenden Erfindung in der kleineren Schleife enthalten ist. Das Anlagemodell weist die Übertragungsfunktion  $P$  auf, die bezüglich der Zielanlage modelliert ist, empfängt als Eingabe den Antriebskraftbefehlswert  $u_0$  und gibt eine Modellgeschwindigkeit  $v_m$  aus. Ein Subtrahierer **3** subtrahiert die Modellgeschwindigkeit  $v_m$  von der Motorgeschwindigkeit  $v$  und gibt ein Subtraktionsergebnis aus, welches das oben beschriebene Störungsschätzfehlersignal  $e$  ist. Somit wirkt der Subtrahierer **3** als der Störungsschätzfehlerberechner zur Berechnung des Störungsschätzfehlersignals. Das Störungsschätzfehlersignal  $e$  ist eine Eingabe in die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$ , von der der Störungsschätzwert  $\hat{d}$  gemäß der vorliegenden Erfindung ausgegeben wird. Der ausgegebene Störungsschätzwert  $\hat{d}$  wird von dem Antriebskraftbefehlswert  $u_0$  in einem Subtrahierer **4** subtrahiert und als durch den Motor erzeugte Antriebskraft  $u_c$  weitergegeben.

**[0048]** Hier wird das Störungsschätzfehlersignal  $e$  durch Gleichung (10) wie folgt ausgedrückt.

[Ausdruck 4]

$$e = \tilde{P} [u_0 + (d - \hat{d})] - P u_0 = \tilde{P} (d - \hat{d}) + (\tilde{P} - P) u_0 \quad (10)$$

**[0049]** Aus der Definition des Störungsschätzfehlers  $(d - \hat{d})$  ergibt sich, dass das Störungsschätzfehlersignal  $e$  einen Störungsschätzfehler mit einer hohen Genauigkeit in dem mittleren bis niedrigeren Bereich umfasst, in welchem der Anlagenfehler klein ist, doch einen Störungsschätzfehler, der nicht mit einer hohen Genauigkeit erhalten wird, in dem hohen Bereich umfasst, in welchem der Anlagenfehler groß ist. Somit weist das Störungsunterdrückungssystem der vorliegenden Erfindung eine Störungsstruktur auf, in welchem der Rückkopplungsbetrag, der zu dem Steuerungseingang zurückgegeben wird, vergrößert ist, während sich das Maß der Genauigkeit der Detektion des Störungsschätzfehlers vergrößert.

**[0050]** Somit wird die Übertragungscharakteristik von  $u_0, d \rightarrow u$  in dem Störungsunterdrückungssystem durch Gleichung (11) wie folgt ausgedrückt.

[Ausdruck 5]

$$u = \frac{1+PK}{1+\tilde{P}K} u_0 + \frac{1}{1+\tilde{P}K} d \quad \dots\dots (11)$$

**[0051]** Da die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$  ein Verstärker ist, der eine Verstärkung mit einer höheren Verstärkungsrate in dem mittleren bis niedrigeren Bereich durchführt, in welchem der Anlagenfehler kleiner ist, und eine niedrigere Verstärkungsrate in dem hohen Bereich verwendet, in welchem der Anlagenfehler groß ist, wird ein verbesserter Störungsunterdrückungseffekt in dem mittleren bis niedrigeren Bereich erhalten, so dass der Einfluss durch die Störung  $d$  auf die Steuereingabe  $u$  entsprechend abgeschwächt wird. Durch Gleichung (11) wird bestätigt, dass aufgrund der Tatsache, dass die Steuereingabe  $u$  erhalten wird als  $u \approx u_0$ , wenn  $d = 0$  in dem gesamten Bereich ist, das Befehlsfolgesystem nicht durch das Störungsunterdrückungssystem beeinträchtigt wird.

**[0052]** Fig. 5 zeigt Frequenzverläufe ( $V_c, d \rightarrow v, v_2$ ) der Geschwindigkeitssteuereinheit **10**, die in Fig. 1 dargestellt ist. Hier ist der Geschwindigkeitsabweichungsverstärker  $G_v$  so definiert, dass er die gleichen Eigenschaften hat wie derjenige, der zur Erreichung der Frequenzverläufe in den oben beschriebenen Fig. 9 und Fig. 10 aufweist. Die Frequenzverläufe ( $V_c \rightarrow v, v_2$ ), welche die Befehlsfolgeleistung in Fig. 5 bezeichnen, ähneln denjenigen, die auf herkömmliche Weise, wie in Fig. 9 dargestellt, unter der Bedingung erhalten werden, dass die Störungsbeobachtermethode nicht verwendet wird. D. h., im Gegensatz zu herkömmlichen Verläufen, wie in Fig. 10 dargestellt, und erhalten durch das Störungsbeobachterverfahren, verursacht die Befehlsfolgeleistung gemäß Fig. 5 keine Vibrationen, die durch eine vergrößerte Verstärkung verursacht werden. Indessen werden die Frequenzverläufe ( $d \rightarrow v, v_2$ ), welche die Störungsunterdrückungsleistung darstellen, aus dem Folgenden verständlich. Der Frequenzverlauf ( $d \rightarrow v$ ) in dem mittleren bis niedrigen Bereich kann durch die folgende Gleichung (12) ausgedrückt werden.

[Ausdruck 6]

$$v = \frac{\tilde{P}}{(1+\tilde{P}K) + G_v\tilde{P}(1+PK)} d \doteq \frac{1}{G_vPK} d \quad \dots\dots (12)$$

**[0053]** Da die Störungsunterdrückungssteuerung  $K$  die Übertragungscharakteristik von  $-20$  dB/dec in dem mittleren bis niedrigen Bereich aufweist, werden die Übertragungscharakteristiken der Frequenzverläufe ( $d \rightarrow v, v_2$ ) in dem mittleren bis niedrigen Bereich steiler als diejenigen der herkömmlichen Verläufe in Fig. 10, die durch das Störungsbeobachterverfahren erhalten werden. Aus Gleichung (12) und der steileren Übertragungscharakteristik ergibt sich, dass die Störungsunterdrückungsleistung verbessert wird. Ferner ist in dem mittleren bis niedrigen Bereich, in welchem  $v \approx v_2$ , der Frequenzverlauf ( $d \rightarrow v_2$ ) im wesentlichen identisch mit dem Frequenzverlauf ( $d \rightarrow v$ ).

**[0054]** Wie oben beschrieben, weist die Servosteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung eine Struktur auf, welche das Störungsunterdrückungssystem enthält, das dazu in der Lage ist, allein die Störungsunterdrückungsleistung in dem mittleren bis niedrigen Bereich zu verbessern, ohne dass dies einen Einfluss auf die Befehlsfolgeleistung in dem gesamten Frequenzbereich hat. Da dieser Aufbau eine Änderung der Frequenzverläufe verhindern kann, die in dem hohen Bereich aufgrund des Einschlusses des Störungsunterdrückungs-

systems auftreten können, ist es möglich, die Befehlsfolgeleistung und die Störungsunterdrückungsleistung getrennt voneinander zu gestalten, ohne dass die Stabilität des Geschwindigkeitssteuersystems und des Positionssteuersystems beeinträchtigt wird.

**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 2014-179299 [0001]
- JP 11-24708 A [0014, 0015]

**Patentansprüche**

1. Servosteuervorrichtung für eine numerisch gesteuerte Maschine, in der eine Zielanlage durch einen Servomotor zur Steuerung einer Position oder Geschwindigkeit der Zielanlage entsprechend einem Positionsbefehlswert oder einem Geschwindigkeitsbefehlswert angetrieben wird, der von einer Host-Vorrichtung ausgegeben wird, wobei die Servosteuervorrichtung umfasst:

– ein Störungsunterdrückungssystem zur Schätzung eines Störungswerts, der in die Zielanlage eingegeben wird, und zur Eingabe des Schätzwertes zurück zu einer Steuereingabe,

wobei das Störungsunterdrückungssystem umfasst:

– einen Störungsschätzfehlerberechner zur Berechnung eines Störungsschätzfehlersignals auf Grundlage einer detektierten Geschwindigkeit der Zielanlage und einer Anlagenmodellgeschwindigkeit entsprechend einem Antriebskraftbefehlswert für den Servomotor, und

– eine Störungsunterdrückungssteuerung, die durch  $\mu$ -Design konfiguriert ist, zur Verbesserung einer Störungsunterdrückungsleistung, die einem mittleren bis niedrigen Bereich einer Frequenzdomäne zugeordnet ist, während verhindert wird, dass sich die Befehlsfolgeleistung in einem hohen Bereich der Frequenzdomäne ändert, wobei das Störungsschätzfehlersignal in der Störungsunterdrückungssteuerung verstärkt wird und zurück zu dem Antriebskraftbefehlswert gegeben wird.

2. Servosteuervorrichtung für eine numerisch gesteuerte Maschine gemäß Anspruch 1, wobei die Störungsunterdrückungssteuerung eine Verstärkung mit einem höheren Verstärkungsverhältnis ausführt, wenn die Frequenz niedriger wird.

3. Servosteuervorrichtung für eine numerisch gesteuerte Maschine gemäß Anspruch 1 oder 2, bei welcher:

wenn  $M22 = -W_m \cdot PK / (1 + PK)$ , und

$M11 = W_d \cdot 1 / (1 + PK)$ ,

wobei K eine Übertragungscharakteristik der Störungsunterdrückungssteuerung darstellt, P eine Übertragungscharakteristik eines Anlagenmodells darstellt,  $W_m$  eine gewichtete Übertragungsfunktion darstellt, die einen Anlagenfehler anzeigt,  $W_d$  eine Übertragungscharakteristik von  $w_1 \rightarrow z_1$  (wobei  $w_1$  ein Störungswert ist, und  $z_1$  eine Eingabe in die Zielanlage ist),

wobei die Übertragungscharakteristik K, die eine Minimierung M22 und M11 ermöglicht, in dem  $\mu$ -Design gefunden werden kann.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

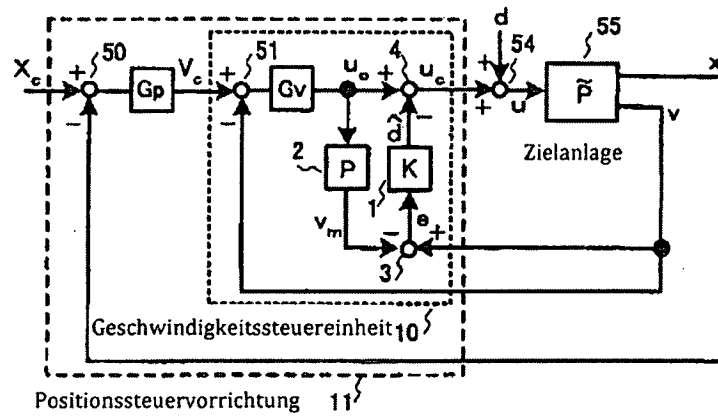


FIG. 1

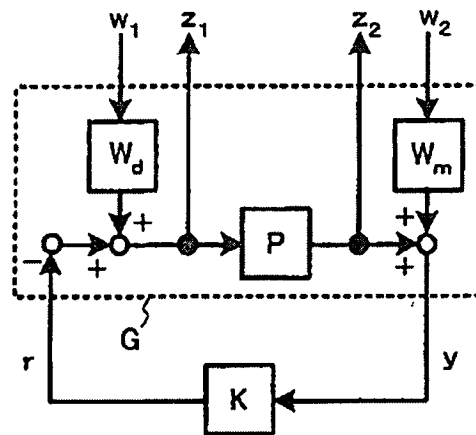


FIG. 2

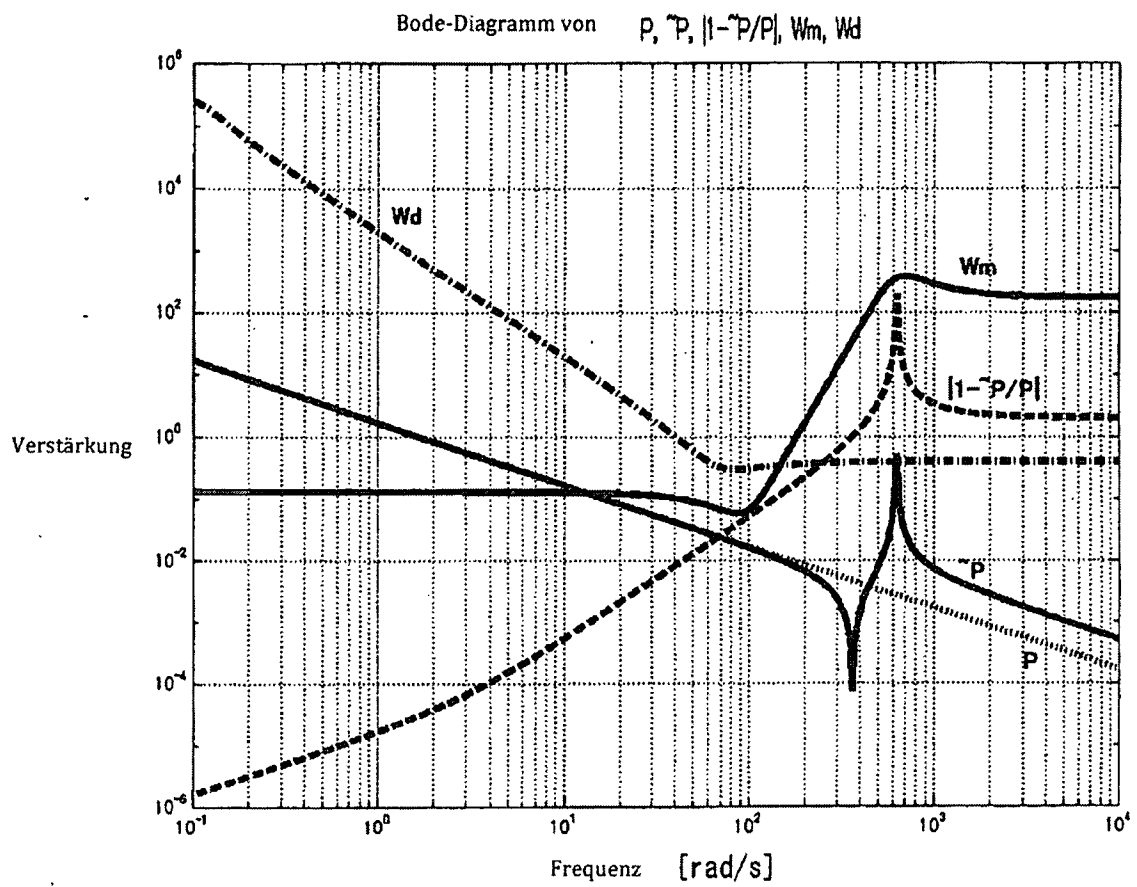


FIG. 3

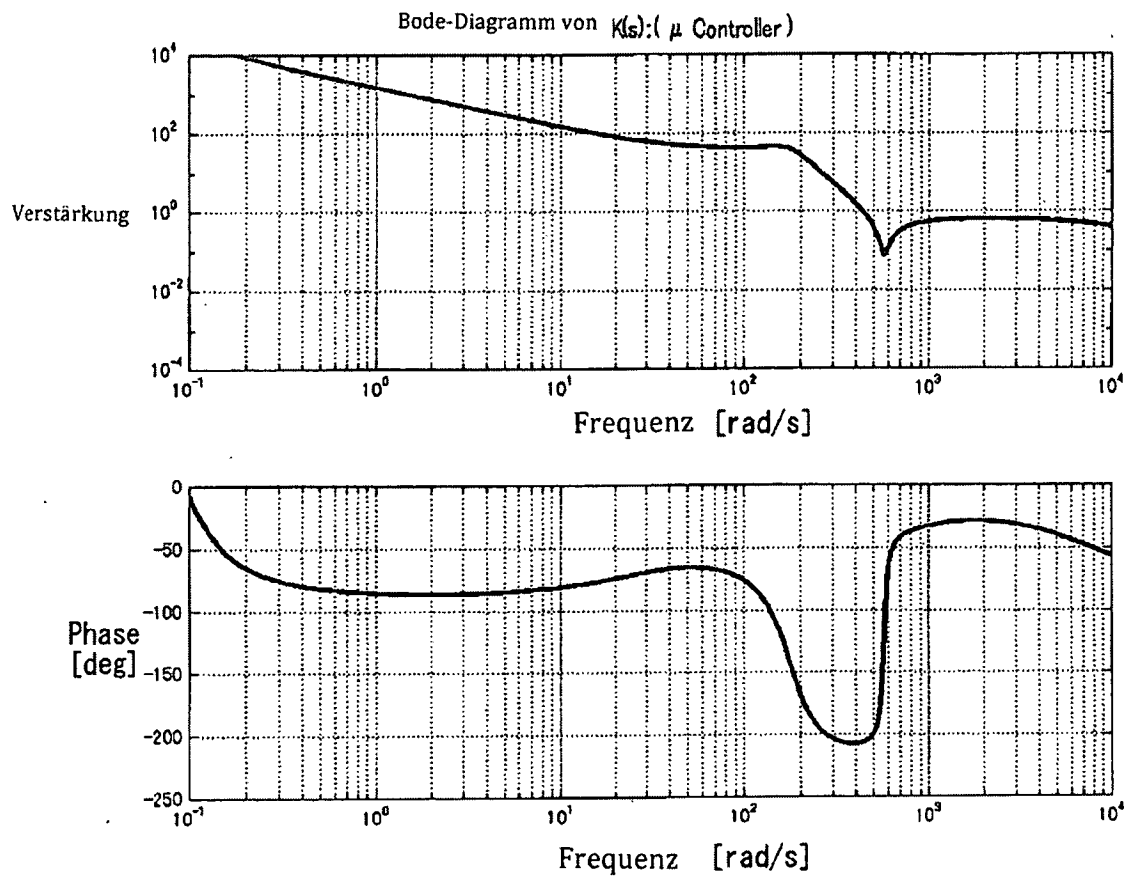


FIG. 4

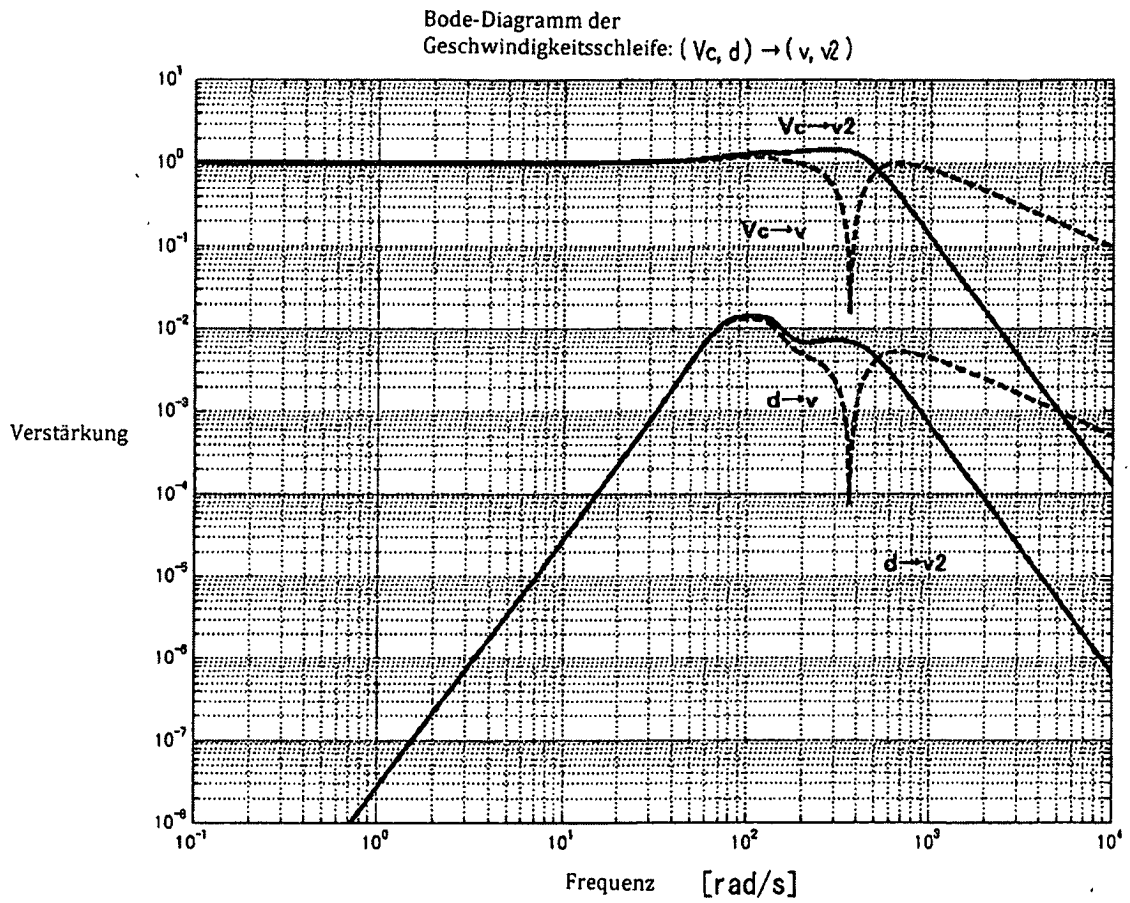


FIG. 5

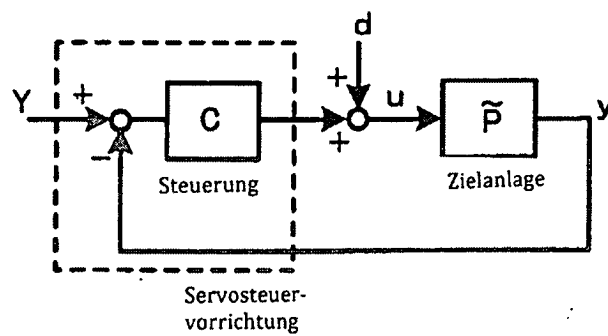


FIG. 6

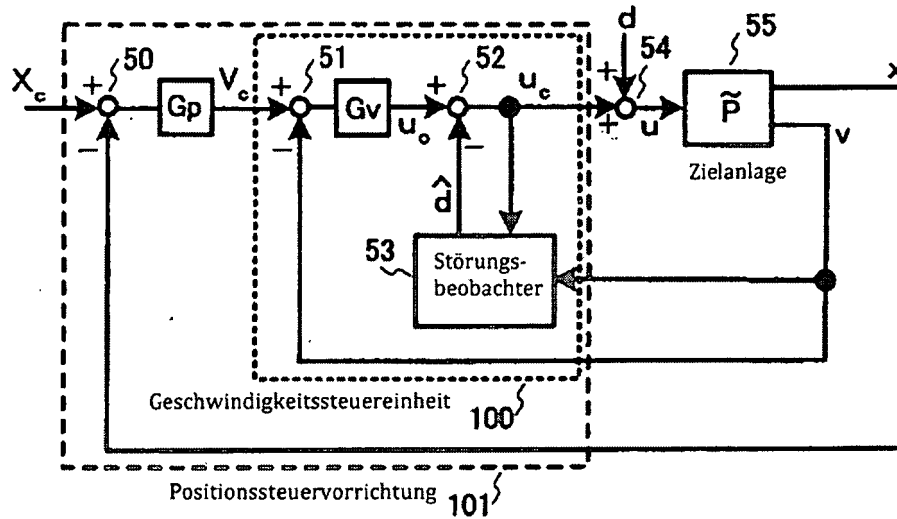


FIG. 7

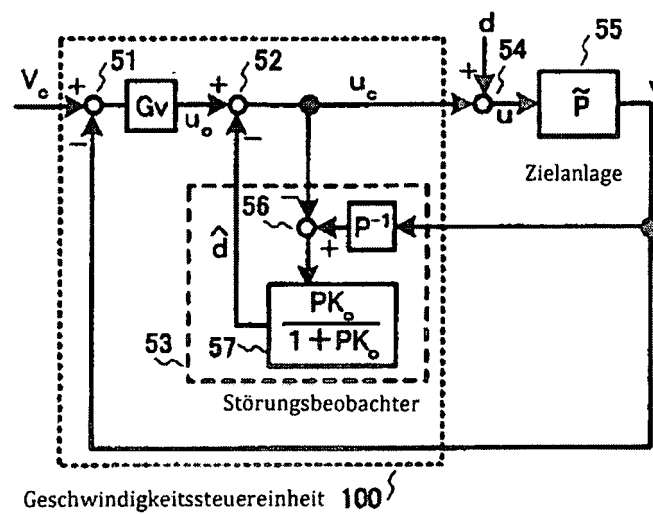


FIG. 8

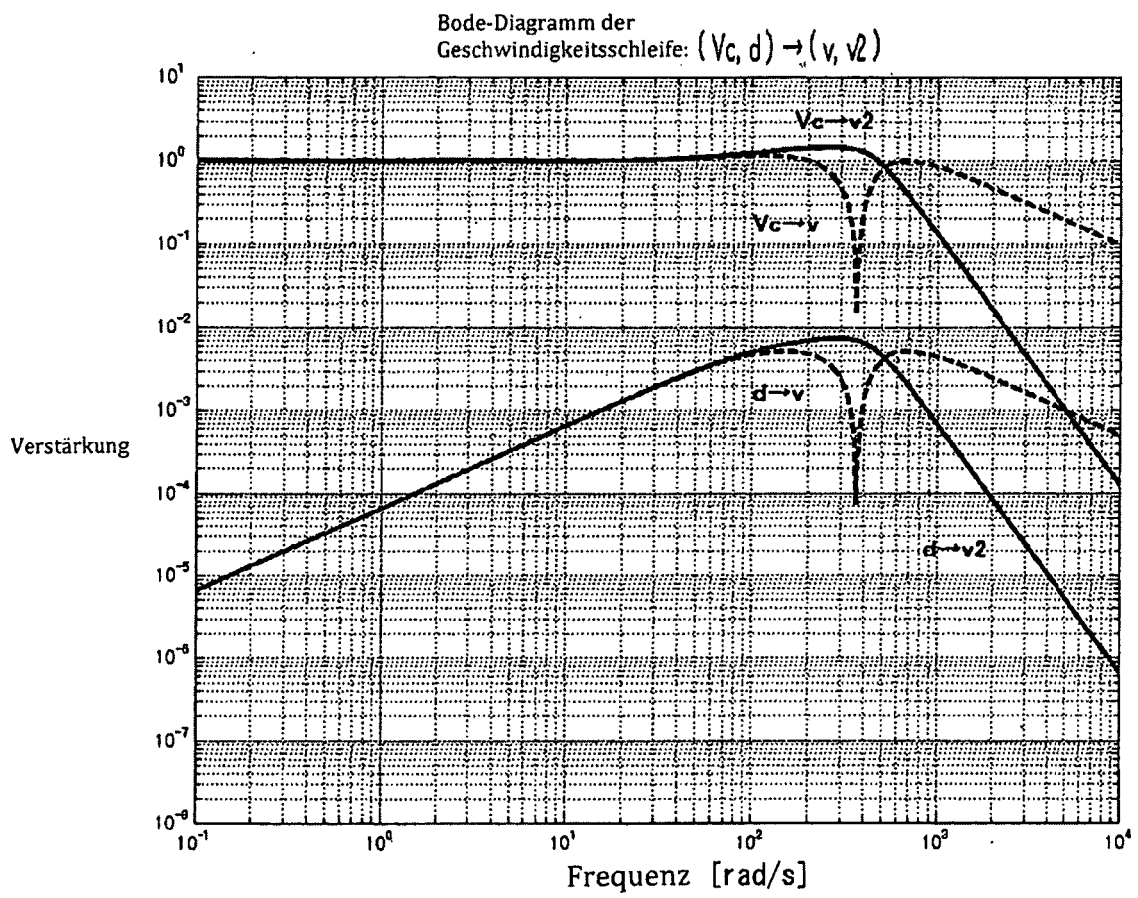


FIG. 9

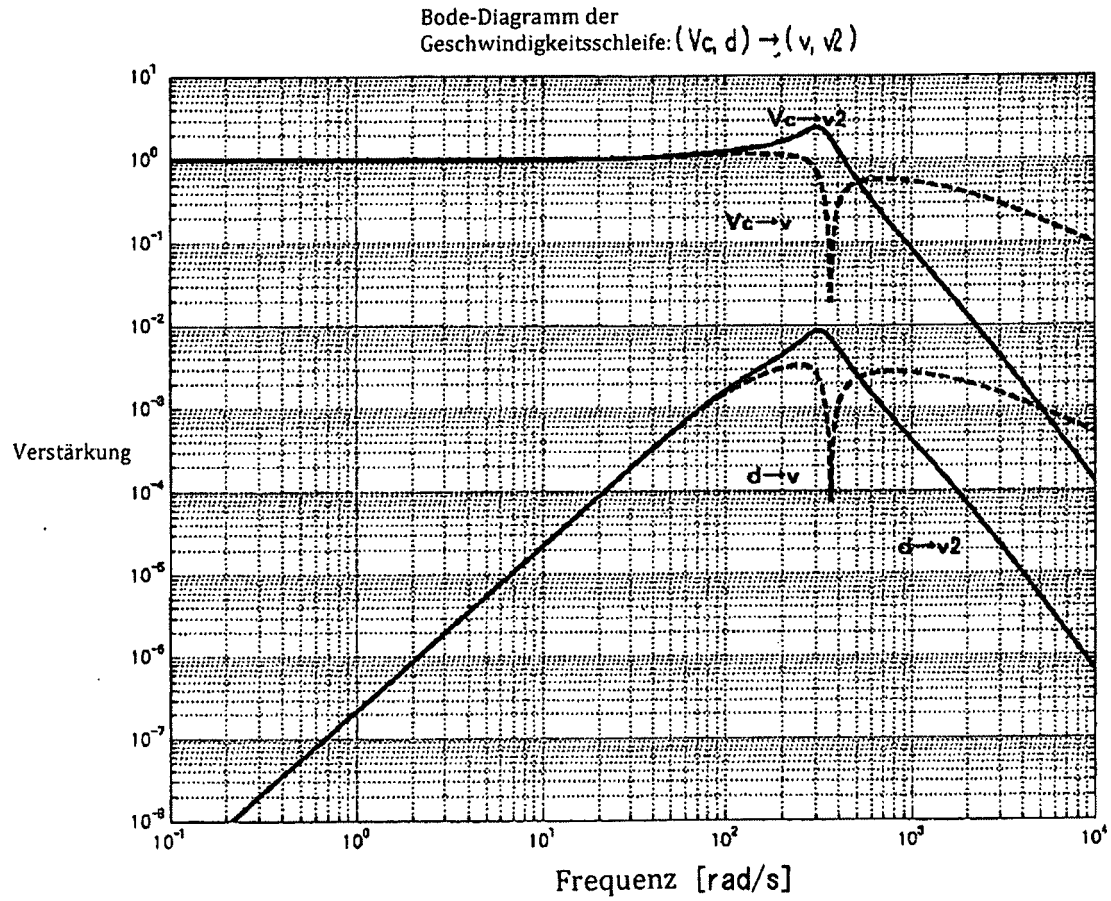


FIG. 10

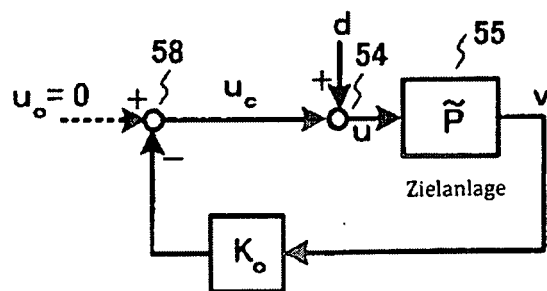


FIG. 11

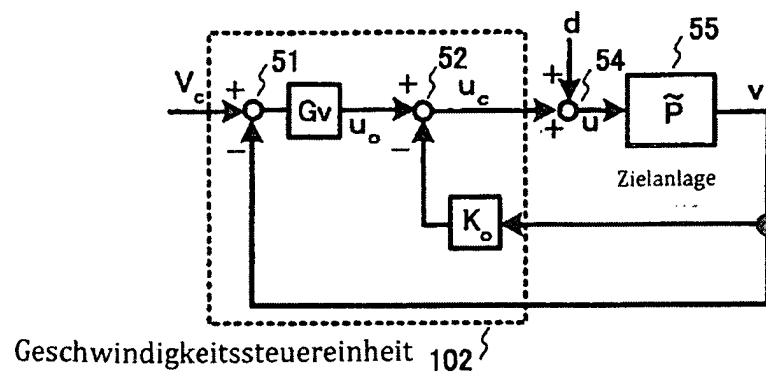


FIG. 12