



(10) **DE 10 2016 103 614 A1** 2016.09.22

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 103 614.5**

(22) Anmeldetag: **01.03.2016**

(43) Offenlegungstag: **22.09.2016**

(51) Int Cl.: **G05B 19/416 (2006.01)**

**G05B 11/01 (2006.01)**

**G05B 19/404 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**2015-056945**

**19.03.2015**

**JP**

(71) Anmelder:

**Okuma Corporation, Aichi, JP**

(74) Vertreter:

**TER MEER STEINMEISTER & PARTNER**

**PATENTANWÄLTE mbB, 80335 München, DE**

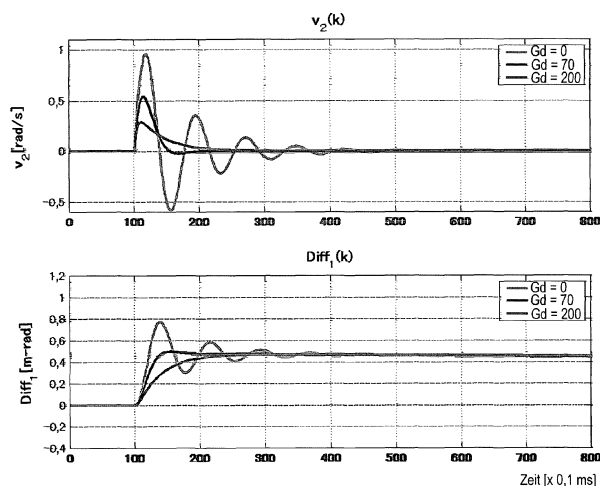
(72) Erfinder:

**Eguchi, Satoshi, Aichi, JP**

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

(54) Bezeichnung: **Tandem-Positionssteuervorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Positionssteuervorrichtung zum Antreiben eines Steuerziels unter Verwendung von zwei Antriebswellen weist Positionssteuereinheiten auf, die für die jeweiligen Antriebswellen vorgesehen sind. Jede Positionssteuereinheit umfasst eine Berechnungseinheit zum Berechnen eines Drehmomentbefehlswerts vor der Kompensation, einen Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator zum Berechnen einer Abweichungsdrehmomentabschätzung und Berechnen eines Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags auf der Basis der Abweichungsdrehmomentabschätzung und einer Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung und eine Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit zum Ausgeben eines Signals beim Empfangen eines Tandemsteuerbefehls an den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator zum Ausgeben des Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags und Berechnen der Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung, und jede der Positionssteuereinheiten gibt einen Wert, der durch Addieren des Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags zum Drehmomentbefehlswert vor der Kompensation erhalten wird, als Drehmomentbefehlswert aus.



**Beschreibung****QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN**

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung Nr. 2015-056945, eingereicht am 19. März 2015, die hier durch Bezugnahme vollständig mit aufgenommen ist.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Gebiet der Erfindung:**

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Servosteuvorrichtung zum Steuern einer Welle eines Arms oder dergleichen einer Werkzeugmaschine oder eines Roboters und insbesondere auf eine Tandemsteuerung zum Steuern eines Steuerziels unter Verwendung von zwei Motoren.

**2. Beschreibung des Standes der Technik:**

**[0003]** In einem Antriebsmechanismus einer Werkzeugmaschine, eines Roboters oder dergleichen kann, wenn ein Steuerziel oder eine Bewegungseinheit so groß ist, dass ein Drehmoment (eine Schubkraft im Fall eines linearen Bewegungstyps) eines einzelnen Motors zum Antreiben einer Welle der Bewegungseinheit unzureichend ist, eine Tandemsteuerung ausgeführt werden, indem zwei Motoren ein Befehl gegeben wird, um ein einzelnes Steuerziel unter Verwendung von zwei Motoren anzutreiben. Im Tandemsteuerzustand treiben jeweilige Motoren (ein Rotationstyp oder ein Lineartyp) ein Steuerziel in einer Drehrichtung oder einer linearen Bewegungsrichtung über ein Zahnrad oder ein Kopplungselement an.

**[0004]** Fig. 8 ist ein schematisches Diagramm, das eine Zielanlage in Form einer rotierenden Motorwelle im Tandemsteuerzustand zeigt. Hier ist zu beachten, dass ein Trägheitsmoment einer Antriebswelle 1 und einer Antriebswelle 2 mit zwei Motoren und einem Steuerziel als in  $I_1$  und  $I_2$  aufgeteilt ausgedrückt ist, und eine zwischen der Antriebswelle 1 und der Antriebswelle 2 verursachte Abweichung durch ein Federsystem mit der Steifigkeit  $K$  ausgedrückt ist. Die jeweiligen Positionen der Antriebswelle 1 und der Antriebswelle 2 sind durch  $x_1$ ,  $x_2$  angegeben, ein Störungs-drehmoment ist als  $\tau_{dis}$  bezeichnet und jeweilige erzeugte Drehmomente als  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ .

**[0005]** Eine Bewegungsgleichung im Fall des Antriebs der in Fig. 8 gezeigten Zielanlage unter der Tandemsteuerung wird als Ausdrücke (1) und (2) ausgedrückt.

[Ausdruck 1]

$$I_1 \dot{v}_1 + \tau_r = \tau_1 - \tau_{dis} \quad (1)$$

$$I_2 \dot{v}_2 - \tau_r = \tau_2 + \tau_{dis} \quad (2)$$

wobei die jeweiligen Geschwindigkeiten der Antriebswelle 1 und der Antriebswelle 2 als  $v_1$ ,  $v_2$  bezeichnet sind und ein Abweichungs-drehmoment  $\tau_r$  als Ausdruck (3) ausgedrückt wird.

[Ausdruck 2]

$$\tau_r = K(x_1 - x_2) \quad (3)$$

**[0006]** Fig. 9 ist ein Blockdiagramm, das eine Bewegungsgleichung einer Zielanlage im Tandemsteuerzustand zeigt.

**[0007]** Fig. 10 ist ein Beispiel eines Blockdiagramms einer herkömmlichen Positionssteuvorrichtung **300** zum Steuern der Positionen  $x_1$ ,  $x_2$  einer Zielanlage im Tandemsteuerzustand gemäß einem Positionsbefehls-wert  $X$ , der als Funktion für jede konstante Periode durch eine Vorrichtung oberer Ebene (nicht dargestellt) erzeugt wird. Eine erste Wellenpositionssteuereinheit **100a** steuert die Antriebswelle 1 und eine zweite Wellenpositionssteuereinheit **100b** steuert die Antriebswelle 2. In der nachstehenden Beschreibung wird für jedes der Elemente mit derselben Funktion, die jeweils für jede Welle vorgesehen sind, entweder a (erste Welle) oder b (zweite Welle) zum Ende des Bezugszeichens davon hinzugefügt. Im Folgenden wird ein Betrieb der herkömmlichen Positionssteuvorrichtung **300**, die in Fig. 10 gezeigt ist, beschrieben.

**[0008]** Anfänglich wird die erste Wellenpositionssteuereinheit **100a** beschrieben. Gemäß dem Stand der Technik wird eine Mitkopplungsstruktur verwendet, um eine Reaktion auf einen Befehl mit hoher Geschwindigkeit zu erreichen. Insbesondere führt eine Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitungseinheit **50a** eine Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitung für eine geeignete Beschleunigung oder Ableitung der Beschleunigung in Bezug auf einen Positionsbefehlswert  $X$  aus, um einen Positionsbefehlswert  $X_c$  auszugeben, der einer solchen Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitung unterzogen wird. Der Positionsbefehlswert  $X_c$  wird einer Zeitdifferenzierung in einem Differenzierer **54a** unterzogen, wodurch ein Geschwindigkeitsmitkopplungsbetrag  $V_F$  gegeben wird, und ferner einer Zeitdifferenzierung im Differenzierer **55a** unterzogen, wodurch ein Beschleunigungsbetragsbefehlswert  $A_F$  gegeben wird. Eine Verstärkungsrate  $A_{TF1}$  eines Verstärkers  $A_{TF1}$  ist eine Konstante zum Erhalten eines Beschleunigungs/Verlangsamungs-Drehmomentmitkopplungsbetrags  $\tau_{F1}$ , der einem Motordrehmoment entspricht, das die in **Fig. 8** gezeigte Zielanlage **200** um einen Beschleunigungsbetrag  $A_F$  beschleunigt.

**[0009]** Die Mitkopplungsstruktur ist ausgebildet, wie nachstehend beschrieben. Das heißt, unter Verwendung der Position  $x_1$  der Antriebswelle 1, die durch einen Positionsdetektor (nicht dargestellt) detektiert wird, als Positionsrückkopplung subtrahiert eine Subtrahierereinheit **51a** vom Positionsbefehlswert  $X_c$ , um einen Positionsfehler auszugeben, der durch einen Positionsfehlerverstärker  $K_{p1}$  verstärkt wird. Eine Ausgabe aus dem Positionsfehlerverstärker  $K_{p1}$  wird zum Geschwindigkeitsmitkopplungsbetrag  $V_F$  in einer Addierereinheit **52a** addiert, wodurch ein Geschwindigkeitsbefehlswert  $V_1$  gegeben wird.

**[0010]** Die Subtrahierereinheit **53a** subtrahiert eine Geschwindigkeit  $v_1$ , die durch Differenzieren der Position  $x_1$  in einem Differenzierer **56a** erhalten wird, vom Geschwindigkeitsbefehlswert  $V_1$ , um einen Geschwindigkeitsfehler auszugeben, der dann im Allgemeinen einer Proportional-Integral-Verstärkung in einem Geschwindigkeitsfehlerverstärker  $G_{v1}$  unterzogen wird. Eine Ausgabe aus dem Geschwindigkeitsfehlerverstärker  $G_{v1}$  wird zum Beschleunigungs/Verlangsamungs-Drehmomentmitkopplungsbetrag  $\tau_{F1}$  in einer Addierereinheit **57a** addiert, damit sie von der ersten Wellenpositionssteuereinheit **100a** ausgegeben wird.

**[0011]** Die zweite Wellenpositionssteuereinheit **100b** wird hier nicht beschrieben, da die innere Struktur und die Strukturelemente davon dieselben wie jene der ersten Wellenpositionssteuereinheit **100a** sind. Es ist zu beachten, dass im Tandemsteuerzustand der ersten Wellenpositionssteuereinheit **100a** und der zweiten Wellenpositionssteuereinheit **100b** ein gemeinsamer Positionsbefehlswert  $X$  von einer Vorrichtung oberer Ebene (nicht dargestellt) gegeben wird und der Positionsbefehlswert  $X_c$ , der der Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitung unterzogen wird, gemeinsam sein muss, was bedeutet, dass Operationen der Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitungseinheit **50a** und der Beschleunigungs/Verlangsamungs-Verarbeitungseinheit **50b** gleich sind.

**[0012]** Die Subtrahierereinheit **58** subtrahiert die Geschwindigkeit  $v_2$  der Antriebswelle 2 von der Geschwindigkeit  $v_1$  der Antriebswelle 1, um eine Geschwindigkeitsdifferenz (nachstehend als Abweichungsgeschwindigkeit bezeichnet) auszugeben. Die Abweichungsgeschwindigkeit wird  $G_d$ -mal durch einen Verstärker  $G_d$  verstärkt, wodurch eine Drehmomentrückkopplung  $\tau_b$  gegeben wird. Die Drehmomentrückkopplung  $\tau_b$  wird dann vom Drehmomentbefehlswert oder einer Ausgabe von der ersten Wellenpositionssteuereinheit **100a** in der Subtrahierereinheit **59** subtrahiert, wodurch ein Drehmomentbefehlswert  $\tau_1$  in Bezug auf die Antriebswelle 1 der Positionssteuervorrichtung **300** gegeben wird. Außerdem wird die Drehmomentrückkopplung  $\tau_b$  zum Drehmomentbefehlswert oder einer Ausgabe von der zweiten Wellenpositionssteuereinheit **100b** in einer Addierereinheit **60** addiert, wodurch ein Drehmomentbefehlswert  $\tau_2$  in Bezug auf die Antriebswelle 2 der Positionssteuervorrichtung **300** gegeben wird.

**[0013]** Mit dieser Struktur wird der Drehmomentbefehlswert korrigiert, um die Erzeugung einer Abweichung zu verringern. In diesem Fall weist die Drehmomentrückkopplung  $\tau_b$  einen Effekt der Verringerung einer Vibration aufgrund einer Drehmomentstörung zwischen der Antriebswelle 1 und der Antriebswelle 2 auf. Während  $I_1 = 0,3 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ ,  $I_2 = 0,1 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$  und  $K = 50 \cdot 10^3 \text{ [Nm/rad]}$  als Zielanlagenbedingung ausgewählt werden, wird eine bevorzugte Steuerbedingung ( $K_{p*}$ ,  $G_{v*}$ ,  $A_{TF*}$ :  $*$  = 1 oder 2) für diese Zielanlage festgelegt und ein Störungsdrehmoment  $\tau_{dis}$ , das in **Fig. 8** und **Fig. 9** gezeigt ist, wird schrittweise gegeben, und eine Störungsreaktion wird für jede Periode  $T_S = 0,1 \text{ [ms]}$  simuliert. Das Ergebnis der Simulation ist in **Fig. 11** und **Fig. 12** gezeigt.

**[0014]** Der obere Graph in **Fig. 11** zeigt das Störungsdrehmoment  $\tau_{dis}$ . Mit einer schrittweisen Störung von  $+100 \text{ [Nm]}$ , die zum Zeitpunkt von  $10 \text{ ms}$  gegeben ist, ergibt sich eine Abweichung zwischen der Antriebswelle 1 und der Antriebswelle 2, die in **Fig. 8** gezeigt ist. Der untere Graph in **Fig. 11** zeigt die Geschwindigkeit  $v_1$  der Antriebswelle 1, die aufgrund der schrittweisen Störung erzeugt wird. Der obere Graph in **Fig. 12** zeigt

die Geschwindigkeit  $v_2$  der Antriebswelle 2 und der untere Graph zeigt den Positionsfehler  $\text{Diff}_1 (= X_c - x_1)$  der Antriebswelle 1.

**[0015]** Aus **Fig. 11** und **Fig. 12** ist bekannt, dass eine Vibrationscharakteristik der Störungsreaktion in Abhängigkeit von der Verstärkungsrate  $G_d$  des Verstärkers  $G_d$  signifikant variiert. Wenn  $G_d = 0 \rightarrow G_d = 70$  festgelegt ist, wird eine Drehmomentrückkopplung  $\tau_b$  erzeugt und eine Dämpfungscharakteristik wird verbessert. Wenn jedoch  $G_d = 70 \rightarrow G_d = 200$  festgelegt ist, wird die Dämpfungscharakteristik übermäßig, was die Reaktionscharakteristik verschlechtert. Dies bedeutet, dass es eine bevorzugte Verstärkungsrate  $G_d$  in Abhängigkeit von einer Ziellanlagenbedingung gibt.

**[0016]** Hier ist zu beachten, dass durch Einschließen der Abweichungsgeschwindigkeitsdetektion zwischen Steuerwellen und der Drehmomentrückkopplungssteuerung durch den Verstärker  $G_d$  (nachstehend außerdem unter Verwendung des Terms der Drehmomentkompensationssteuerung) in die Bewegungsgleichung, nämlich die Ausdrücke (1), (2) und (3), die Übertragungscharakteristik des Abweichungsdrehmoments  $\tau_r$  relativ zum Störungsdrehmoment  $\tau_{dis}$  als Ausdruck (4) ausgedrückt wird.

[Ausdruck 3]

$$\frac{\tau_r(s)}{\tau_{dis}(s)} = - \frac{\omega_p^2}{s^2 + G_d \left( \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} \right) s + \omega_p^2} ; \omega_p = \sqrt{K \left( \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} \right)} \quad \dots\dots(4)$$

**[0017]** Da diese Charakteristik von einem sekundären Verzögerungssystem ist, kann die Vibrationscharakteristik als Ausdruck (5) unter Verwendung eines Dämpfungskoeffizienten  $\zeta$  ausgedrückt werden.

[Ausdruck 4]

$$\zeta = \frac{G_d}{2K} \omega_p \quad \dots\dots(5)$$

**[0018]** Das heißt, um sowohl eine geeignete Dämpfungscharakteristik als auch Reaktionscharakteristik zu erreichen, ist es erforderlich, die Verstärkungsrate  $G_d$  so, dass der Dämpfungskoeffizient  $\zeta = 0,5$  bis  $0,8$  erreicht wird, in Abhängigkeit von der Ziellanlagenbedingung auszuwählen.

**[0019]** Die in **Fig. 10** gezeigte herkömmliche Positionssteuervorrichtung basiert auf einer Struktur, die zur gleichzeitigen Detektion der Geschwindigkeit  $v_1$  der Antriebswelle 1 und der Geschwindigkeit  $v_2$  der Antriebswelle 2 und zur Echtzeitberechnung der Abweichungsgeschwindigkeit in der Lage ist. Gemäß einer typischen Positionssteuervorrichtung ist es jedoch häufig der Fall, dass die erste Wellenpositionssteuereinheit und die zweite Wellenpositionssteuereinheit unabhängig ausgebildet sind, und in einer solchen Struktur ist es auf einer Steuerwellenseite nicht möglich, gleichzeitig auf einer Echtzeitbasis die Geschwindigkeit ihrer eigenen Welle und jene der anderen Welle zu detektieren. Daher ist es nicht möglich, eine Drehmomentkompensationssteuerung unter Verwendung einer Abweichungsgeschwindigkeit zwischen Steuerwellen relativ zu einer Ziellanlage im Tandemsteuerzustand auszuführen.

**[0020]** In dem Fall, in dem die Bedingung einer Ziellanlage im Tandemsteuerzustand konstant ist oder nur geringfügig variiert, wie z. B. im Tandemantrieb einer Vorschubwelle einer Werkzeugmaschine, ist es ferner möglich, eine Verstärkungsrate  $G_d$  im Voraus auszuwählen, während die Vibrationscharakteristik geprüft wird. In einem Fall, in dem ein Werkstück an beiden Endabschnitten davon durch zwei jeweilige Hauptwellen gehalten wird, die auf den entgegengesetzten Seiten relativ zueinander angeordnet sind, und einer Drehbearbeitung unterzogen wird, wird jedoch das Werkstück von einem unabhängigen Steuerzustand auf den Tandemsteuerzustand umgestellt, in dem eine Drehmomentstörung zwischen den Wellen, die in **Fig. 8** gezeigt ist, zu dem Zeitpunkt verursacht wird, zu dem eine Hauptwelle, die auf der entgegengesetzten Seite relativ zur anderen Hauptwelle angeordnet ist, die einen Endabschnitt des Werkstück hält, den anderen Endabschnitt des Werkstücks ergreift.

**[0021]** Bei einem solchen Betrieb variiert die Ziellanlagenbedingung (Trägheitsmomente  $I_1, I_2$  der jeweiligen Wellen und die Steifigkeit  $K$  im Tandemsteuerzustand) signifikant in Abhängigkeit von dem Material oder der Form des Werkstücks. Selbst wenn die Verstärkungsrate  $G_d$  im Voraus ausgewählt wird, weicht daher der

Dämpfungskoeffizient  $\zeta$  folglich signifikant von einem geeigneten Wert ab, sobald das Werkstück in ein anderes ausgewechselt wird, und folglich ist es nicht möglich, eine Tandemsteuerung mit einer bevorzugten Dämpfungscharakteristik und Reaktionscharakteristik zu erreichen.

**[0022]** Angesichts des Obigen zielt die vorliegende Erfindung darauf ab, eine Positionssteuervorrichtung zu schaffen, die für den Tandemantrieb geeignet ist und zum unverzüglichen Erreichen einer Drehmomentkompensationssteuerung mit bevorzugter Dämpfungscharakteristik in der Lage ist, selbst in einer Positionssteuervorrichtung mit unabhängig ausgebildeten ersten und zweiten Wellenpositionssteuereinheiten, die außerstande ist zu einer Drehmomentkompensationssteuerung unter Verwendung einer Abweichungsgeschwindigkeit zwischen Steuerwellen, oder bei einem Betrieb, in dem der unabhängige Steuerzustand und der Tandemsteuerzustand wiederholt umgeschaltet werden und sich die Ziellanlagenbedingung folglich signifikant verändert.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0023]** Im Tandemsteuerzustand wird im Allgemeinen ein Abweichungsdrehmoment  $\tau_r$  durch Abschätzung berechnet. Insbesondere wird zum Zeitpunkt der Umstellung auf den Tandemsteuerzustand die Steifigkeit  $K$  auf der Basis der Geschwindigkeit der anderen Welle, die von einer Vorrichtung oberer Ebene (nicht dargestellt) übertragen wird, der Geschwindigkeit ihrer eigenen Welle und des Abweichungsdrehmoments, die gleichzeitig wie die Abschätzung der Geschwindigkeit der anderen Welle abgeschätzt werden, berechnet, um eine Kompensatorverstärkung für einen Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator festzulegen, der einen geeigneten Dämpfungskoeffizienten  $\zeta$  für die Tandemsteuerreaktion gibt.

**[0024]** Mit dem Obigen wird ein Drehmomentbefehlswert mit einem addierten Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrag erhalten, und folglich ist es möglich, eine Tandemsteuerung mit bevorzugter Dämpfungscharakteristik und Reaktionscharakteristik mit einem geeigneten Dämpfungskoeffizienten  $\zeta$  in Abhängigkeit von einer Ziellanlagenbedingung, die signifikant variiert, zu erreichen.

**[0025]** Gemäß einer Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Tandemsteuerung unverzüglich zu erreichen, die zur Drehmomentkompensationssteuerung mit bevorzugter Dämpfungscharakteristik in der Lage ist, zum Zeitpunkt der Umstellung auf den Tandemsteuerzustand selbst in einer Struktur mit unabhängig ausgebildeten ersten und zweiten Wellenpositionssteuereinheiten, die zur Drehmomentkompensationssteuerung unter Verwendung einer Abweichungsgeschwindigkeit zwischen Steuerwellen außerstande ist, oder in dem Fall, in dem der unabhängige Steuerzustand und der Tandemsteuerzustand wiederholt umgeschaltet werden und die Ziellanlagenbedingung folglich signifikant variiert.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0026]** Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Struktur einer Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0027]** Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Struktur eines Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensators zeigt, der innerhalb einer Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist;

**[0028]** Fig. 3 ist ein Ablaufplan, der eine Operation einer Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit erläutert, die innerhalb einer Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist;

**[0029]** Fig. 4 zeigt ein Beispiel einer Simulationswellenform einer Störungsreaktionsoperation zum Zeitpunkt der Umstellung auf den Tandemsteuerzustand;

**[0030]** Fig. 5 zeigt ein Beispiel einer Simulationswellenform einer Steifigkeitsabschätzoperation zum Zeitpunkt der Umstellung auf den Tandemsteuerzustand;

**[0031]** Fig. 6 zeigt ein Beispiel einer Störungsreaktionssimulationswellenform einer Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung in einem stetigen Tandemsteuerzustand;

**[0032]** Fig. 7 zeigt ein Beispiel einer anderen Störungsreaktionssimulationswellenform einer Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung im stetigen Tandemsteuerzustand;

**[0033]** Fig. 8 ist ein schematisches Diagramm, das eine Ziellanlage im Tandemsteuerzustand erläutert;

**[0034]** Fig. 9 ist ein Blockdiagramm, das eine Bewegungsgleichung einer Zielanlage im Tandemsteuerzustand zeigt;

**[0035]** Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Struktur einer herkömmlichen Positionsteuervorrichtung zeigt;

**[0036]** Fig. 11 zeigt ein Beispiel einer Störungsreaktionssimulationswellenform einer herkömmlichen Positionsteuervorrichtung; und

**[0037]** Fig. 12 zeigt ein Beispiel einer anderen Störungsreaktionssimulationswellenform einer herkömmlichen Positionsteuervorrichtung.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0038]** Im Folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf ein Beispiel (nachstehend als Ausführungsform bezeichnet) beschrieben. **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Positionsteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt. Im Folgenden wird nur ein Unterschied zum vorstehend beschriebenen Stand der Technik beschrieben. Diese Positionsteuervorrichtung basiert auf einer Struktur, in der eine erste Wellenpositionssteuereinheit und eine zweite Wellenpositionssteuereinheit unabhängig ausgebildet sind und die Geschwindigkeiten der jeweiligen Wellen nicht gleichzeitig auf einer Echtzeitbasis detektiert werden können.

**[0039]** Nachstehend wird eine erste Wellenpositionssteuereinheit **5a** beschrieben. Eine zweite Wellenpositionssteuereinheit **5b** wird nicht beschrieben, da die innere Struktur und die Strukturelemente davon dieselben wie jene der ersten Wellenpositionssteuereinheit **5a** sind. Jede der Wellenpositionssteuereinheiten **5a**, **5b** umfasst grob eine Berechnungseinheit zum Berechnen eines Drehmomentbefehlswerts vor der Kompensation (ein Ausgangswert aus der Addiereinheit **57a**, **57b**), einen Abweichungsvibrationsverringersdrehmomentkompensator **2a**, **2b** und eine Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a**, **3b**. Physikalisch umfasst die Wellenpositionssteuereinheit **5a**, **5b** eine CPU für verschiedene Operationen und einen Speicher zum Speichern von verschiedenen Steuerparametern und eines detektierten Werts. Der Abweichungsvibrationsverringersdrehmomentkompensator **2a** wendet eine Dämpfungsscharakteristik auf eine Zielanlage an, um die Vibration zu verringern. Da in der Positionsteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung eine Echtzeitdetektion einer Abweichungsgeschwindigkeit nicht möglich ist, wird ein Abweichungsdrehmoment  $\tau_r$  abgeschätzt und ein Abweichungsvibrationsverringersdrehmomentkompensationsbetrag  $\tau_{b1}$  wird auf der Basis des abgeschätzten Abweichungsdrehmoments  $\tau_r$  berechnet.

**[0040]** **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Struktur des Abweichungsvibrationsverringersdrehmomentkompensators **2#** (# gibt entweder a oder b an) zeigt.  $\hat{d}^*$  im Diagramm wird als Ausdruck (6) relativ zu einer Eingabe  $\tau^*$ ,  $v^*$  (\* gibt entweder 1 oder 2 an) ausgedrückt.

[Ausdruck 5]

$$\hat{d}^*(s) = \frac{1}{s + L} \{ J \cdot sv^*(s) - \tau_r(s) \} \quad (6)$$

wobei sich J auf ein Trägheitsmoment bezieht, das unter Verwendung einer öffentlich bekannten Technik in Bezug auf jede der Antriebswellen 1 und 2 im unabhängigen Steuerzustand identifiziert wird. Insbesondere wird das Trägheitsmoment  $I_1$  der Antriebswelle 1 in der Abweichungsdrehmomentabschätzereinheit **6a** angewendet und das Trägheitsmoment  $I_2$  der Antriebswelle 2 wird in der Abweichungsdrehmomentabschätzereinheit **6b** angewendet.

**[0041]** Da es möglich ist, den Inhalt der geschweiften Klammern des Ausdrucks (6) durch einen Ausdruck (7) auf der Basis des Blockdiagramms einer Zielanlage im Tandemsteuerzustand auszudrücken, der in **Fig. 9** gezeigt ist, wird ferner ein relationaler Ausdruck (8) durch Einsetzen des Ausdrucks (7) in den Ausdruck (6) erhalten.

[Ausdruck 6]

$$J \cdot sv^*(s) - \tau_r(s) = (-1)^* \{ \tau_r(s) + \tau_{dis}(s) \} \quad (7)$$

[Ausdruck 7]

$$\hat{d}_*(s) = \frac{1}{s+L} \{T_r(s) + \tau_{dis}(s)\} \quad (8)$$

wobei L ein Parameter zum Bestimmen eines Abschätzungsbandes einer oberen Grenze (Grenzfrequenz) von  $\hat{d}_*$  ist, das im Voraus in der Abweichungsdrehmomentabschätzereinheit **6#** festgelegt wird.

**[0042]** Danach wird unter Verwendung des Hochpassfilters **10#** (Grenzfrequenz  $\omega_h$ ) und des Tiefpassfilters **11#** (Grenzfrequenz  $\omega_c$ ) in der Abweichungsdrehmomentabschätzereinheit **6#** das Störungsdrehmoment  $\tau_{dis}$  von  $\hat{d}_*$  entfernt, das auf der Basis des Ausdrucks (8) abgeschätzt wird. Folglich wird eine Ausgabe der Abweichungsdrehmomentabschätzereinheit **6#** durch einen Ausdruck (9) ausgedrückt, der eine Abschätzung  $\hat{\tau}_r$  des Abweichungsdrehmoments  $\tau_r$  gibt.

[Ausdruck 8]

$$\hat{\tau}_r(s) \doteq (-1) \cdot T_r(s) \quad (9)$$

**[0043]** Ferner wendet der Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator **2#** eine Zeitdifferenzierung auf die Abweichungsdrehmomentabschätzung  $\hat{\tau}_r$  im Differenzierer **12#** an und verstärkt durch die Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung  $C_{vs*}$  mal im Differenzierer **13#**, wobei  $C_{vs*}$  als Ausdruck (10) ausgedrückt wird.

[Ausdruck 9]

$$C_{vs*} = \frac{D_p}{\hat{K}} \dots\dots(10)$$

**[0044]** In der nachstehend zu beschreibenden Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** werden eine Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  und eine Verstärkungsrate  $D_p$  des Ausdrucks (10) bestimmt und die Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung  $C_{vs*}$  wird berechnet, damit sie für den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator **2#** festgelegt wird.

**[0045]** Wenn der Schalter **14#** eingeschaltet wird, bildet eine Ausgabe aus dem Verstärker **13#** einen Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrag  $\tau_{b*}$  oder eine Ausgabe aus dem Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator **2#**. Die Verarbeitung der Berechnung eines Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags  $\tau_{b*}$  aus der Abweichungsdrehmomentabschätzung  $\hat{\tau}_r$  wird als Ausdruck (11) ausgedrückt. Um im Blockdiagramm einer Ziellanlage im Tandemsteuerzustand, der in **Fig. 9** gezeigt ist, auszudrücken, nähert diese Verarbeitung die Verarbeitung der Berechnung des Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags  $\tau_{b*}$  durch Multiplizieren der Verstärkungsrate  $D_p$  mit der Abweichungsgeschwindigkeit.

[Ausdruck 10]

$$\tau_{b*} = C_{vs*} \frac{d\hat{\tau}_r}{dt} = \frac{D_p}{\hat{K}} \frac{d\hat{\tau}_r}{dt} \doteq (-1)^* D_p \frac{1}{K} \frac{d\tau_r}{dt} = (-1)^* D_p (v_1 - v_2) \dots\dots(11)$$

**[0046]** Der Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrag  $\tau_{b1}$  wird zu einer Ausgabe (einem Drehmomentwert vor der Kompensation) der Addierereinheit **57a** durch eine Addierereinheit **4a**, die in **Fig. 1** gezeigt ist, addiert, wodurch ein Drehmomentbefehlswert  $\tau_1$  in Bezug auf die Antriebswelle 1 der Positionssteuervorrichtung **1** gegeben wird. Das heißt, gemäß der Positionssteuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die in **Fig. 1** gezeigt ist, ist es möglich, einen Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrag  $\tau_{b*}$  zum Verringern der Vibration aufgrund der Drehmomentstörung zwischen dem Wellen zu erhalten, ähnlich zu einer herkömmlichen Positionssteuervorrichtung, die in **Fig. 10** gezeigt ist, die zu einer Echtzeitdetektion einer Abweichungsgeschwindigkeit in der Lage ist, selbst in einer Struktur, die zur Echtzeitdetektion einer Abweichungsgeschwindigkeit außerstande ist. Es ist zu beachten, dass, wenn die Tandemsteuerung nicht ausgeführt wird, der Schalter **14#** ausgeschaltet bleibt und der Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator **2#** null ausgibt.

**[0047]** Im Folgenden wird eine Operation der Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a**, die in **Fig. 1** gezeigt ist, beschrieben. Die Geschwindigkeit  $v_1$  der Antriebswelle 1, die auf einer Echtzeitbasis detektiert wird, wird in die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** eingegeben. Außerdem wird die Geschwindigkeit  $v_1$  zu einer Vorrichtung oberer Ebene und ferner zur Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3b** der zweiten Wellenpositionssteuereinheit **5b** über die Vorrichtung oberer Ebene übertragen. Unterdessen wird die Geschwindigkeit  $v_2$  der Antriebswelle 2 mit einer Detektionsverzögerungszeit  $T_d$  von der Vorrichtung oberer Ebene zur Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** übertragen. **Fig. 3** ist ein Ablaufplan, der eine Operation der Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** erläutert. Es ist zu beachten, dass \* in **Fig. 3** 1 für die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** und 2 für die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3b** angibt.

**[0048]** Die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** führt wiederholt eine serielle Verarbeitung, die im Ablaufplan in **Fig. 3** gezeigt ist, für jede Periode  $T_s$  aus. Zum Zeitpunkt der Umstellung vom unabhängigen Steuerzustand auf den Tandemsteuerzustand, wie z. B. wenn eine Hauptwelle, die auf der entgegengesetzten Seite relativ zur anderen Hauptwelle angeordnet ist, die einen Endabschnitt eines Werkstücks hält, den anderen Endabschnitt des Werkstücks ergreift, befiehlt eine Vorrichtung oberer Ebene das Einschalten des Tandemsteuerbefehls-Flags  $F_{tdmc}$ . Unterdessen befiehlt zum Zeitpunkt der Umstellung vom Tandemsteuerzustand auf den unabhängigen Steuerzustand eine Vorrichtung oberer Ebene das Ausschalten des Tandemsteuerbefehls-Flags  $F_{tdmc}$ .

**[0049]** Anfänglich wird das Tandemsteuerbefehls-Flag  $F_{tdmc}$  bei S10 geprüft. Wenn sich das Tandemsteuerbefehls-Flag  $F_{tdmc}$  in einem Ein-Zustand befindet, wird ein Tandemsteuer-Flag für den stetigen Zustand  $F_{tdm}$  bei S11 geprüft. Das heißt, das Tandemsteuer-Flag für den stetigen Zustand  $F_{tdm}$  in einem Ein-Zustand gibt die Vollendung der Kompensatorverstärkungsberechnung an und die Verarbeitung wird einfach beendet. Unterdessen gibt das Tandemsteuer-Flag für den stetigen Zustand  $F_{tdm}$  in einem Aus-Zustand an, dass es sich im Kompensatorverstärkungsberechnungszyklus befindet. In diesem Fall wird ein Kompensatorverstärkungsberechnungs-Flag  $F_{cal}$  bei S12 geprüft. Da das Kompensatorverstärkungsberechnungs-Flag  $F_{cal}$  in einem Aus-Zustand den anfänglichen Zyklus der Kompensatorverstärkungsberechnung angibt, wird die Tandemsteuerinitialisierungsverarbeitung bei S13 ausgeführt.

**[0050]** In der Tandemsteuerinitialisierungsverarbeitung werden die Abweichungsvibrationsverringerkompensationsverstärkung  $C_{VS1} = 0$  und ein Schaltsignal  $SW_1$  in einem Ein-Zustand an den Abweichungsvibrationsverringerkompensator **2a** ausgegeben, um dadurch die Tandemsteuerstruktur zu validieren. Nach dem Einschalten des Kompensatorverstärkungsberechnungs-Flags  $F_{cal}$  und nach dem vorliegenden Zyklus wird ferner die Kompensatorverstärkungsberechnung ausgeführt. Bei S14 wird der Berechnungszyklus  $k$  auf 1 gesetzt, bevor zu S15 fortgefahren wird. Wenn das Kompensatorverstärkungsberechnungs-Flag  $F_{cal}$  sich in einem Ein-Zustand bei S12 befindet, fährt unterdessen der Kompensatorverstärkungsberechnungszyklus fort. Folglich geht die Verarbeitung zu S15 weiter. Es ist zu beachten, dass die Berechnungszyklusendnummer  $cycend$  ein im Voraus festgelegter Parameter ist. Die Verarbeitung bei S16 und danach wird ausgeführt, bis der Berechnungszyklus  $k$  die Berechnungszyklusendnummer  $cycend$  erreicht.

**[0051]** Bei S16 wird eine Steifigkeitsabschätzung  $^AK$  berechnet. Insbesondere werden für jede Periode  $T_s$  die Geschwindigkeit  $v_1(k)$  der Antriebswelle 1 und die Abweichungsdrehmomentabschätzung  $^AT_r(k)$ , die aus dem Abweichungsvibrationsverringerkompensator **2a** ausgegeben wird, im Speicher gepuffert. Die Geschwindigkeit  $v_2(k)$  der Antriebswelle 2 mit der Detektionsverzögerungszeit  $T_d$ , die von einer Vorrichtung oberer Ebene übertragen wird, wird auch im Speicher gepuffert. Die Geschwindigkeit  $v_2(k)$  der Antriebswelle 2 und die Geschwindigkeit  $v_1(k)$  und die Abweichungsdrehmomentabschätzungen  $^AT_r(k)$  und  $^AT_r(k-1)$  zum gleichen Detektionszeitpunkt werden aus dem Puffer ausgewählt und die Berechnung eines Ausdrucks (12) oder (13) wird ausgeführt.



[Ausdruck 11]

$$\left\{ \begin{array}{l} |v_1(k) - v_2(k)| > A_{lim} \\ \hat{K}_0(k) = \frac{\left| \frac{\hat{\tau}_r(k) - \hat{\tau}_r(k-1)}{T_s} \right|}{|v_1(k) - v_2(k)|} \dots\dots(12) \\ |v_1(k) - v_2(k)| \leq A_{lim} \\ \hat{K}_0(k) = \hat{K}_0(k-1) \dots\dots(13) \end{array} \right.$$

**[0052]** Der Zähler auf der rechten Seite des Ausdrucks (12) ist eine Näherung eines Differenzwerts des Abweichungsdrehmoments  $\tau_r$  und die Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}_0(k)$ , die durch Dividieren des Zählers durch die Abweichungsgeschwindigkeit erhalten wird, gibt eine berechnete Abschätzung der Steifigkeit  $K$ , die in **Fig. 9** gezeigt ist. Der Ausdruck (13) gibt das Weglassen der Berechnung an, wenn die Abweichungsgeschwindigkeit  $|v_1(k) - v_2(k)|$  kleiner ist als ein vorbestimmter Referenzwert  $A_{lim}$ , da sich ein großer Rechenfehler ergibt.

**[0053]** Ein Ausdruck (14) drückt die Filterverarbeitung zum Entfernen eines Geschwindigkeitsdetektionsfehlers oder einer Fehlerkomponente aufgrund einer subtilen Diskrepanz im Detektionszeitpunkt aus, die in der Berechnung der Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}_0(k)$  enthalten ist.

[Ausdruck 12]

$$\hat{K}(k) = \hat{K}(k-1) + C_F \{ \hat{K}_0(k) - \hat{K}(k-1) \} \quad (14)$$

**[0054]** Im Ausdruck (14) wird eine Steifigkeitsabschätzung nach dem Filtern als  $\hat{K}(k)$  ausgedrückt, wobei  $C_F$  eine im Voraus festgelegte Filterkonstante im Bereich von  $0 \leq C_F \leq 1$  ist. Das vorstehend beschriebene ist eine Operation zum Berechnen einer Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  bei S16. Bei S17 wird der Berechnungszyklus  $k$  hochgezählt.

**[0055]** Nachstehend wird ein Beispiel einer Operation zur Abschätzungsberechnung einer Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  mit Bezug auf einer in **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Simulationswellenform beschrieben. Insbesondere zum Zeitpunkt, wenn der unabhängige Steuerzustand auf den Tandemsteuerzustand umschaltet ( $F_{tdmc}$  aus  $\rightarrow$  ein), wie z. B. wenn eine Hauptwelle auf der entgegengesetzten Seite relativ zur anderen Hauptwelle, die einen Endabschnitt eines Werkstücks hält, den anderen Endabschnitt des Werkstücks ergreift, wird eine schrittweise Störung folglich auf die jeweiligen Wellen aufgebracht. **Fig. 4** zeigt die Simulation der Abweichungsgeschwindigkeit auf der Basis einer Annahme, dass diese Störung eine schrittweise Störung  $\tau_{dis}$  ähnlich zu der in **Fig. 11** gezeigten ist. Es ist zu beachten, dass die Ziellanlagenbedingungen ( $I_1, I_2, K$ ), die Steuerbedingung ( $Kp^*, Gv^*, A_{TF}; * = 1, 2$ ) und die Berechnungsperiode  $T_s$  dieselben wie jene des vorstehend beschriebenen Standes der Technik sind.

**[0056]** **Fig. 5** zeigt die Simulation einer Operation zum Berechnen einer Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$ . Der obere Graph zeigt ein Ergebnis der Berechnung des Ausdrucks (12) oder (13) für jeden Berechnungszyklus, wobei eine Bedingung des vorstehend beschriebenen Referenzwerts  $A_{lim} = 0,2$  [rad/s] gegeben ist. Unterdessen zeigt der untere Graph ein Ergebnis der Berechnung mit Filterverarbeitung, die durch den Ausdruck (14) ausgedrückt wird, die mit  $C_F = 0,1$  ausgeführt wird. Wenn in diesem Beispiel die Berechnungszyklusendnummer  $cycend$  auf etwa 400 gesetzt wird, ist es möglich, eine Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  zu erhalten, die einer Berechnungskonvergenz unterliegt.

**[0057]** Mit Rückkehr zum Ablaufplan in **Fig. 3** wird, wenn der Berechnungszyklus  $k$  die Berechnungszyklusendnummer  $cycend$  bei S15 erreicht, die Verarbeitung bei S18 und danach ausgeführt. Insbesondere wird bei S18 die Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung  $C_{VS1}$ , die für den Verstärker **13a** festgelegt werden soll, auf der Basis eines Ausdrucks (15) unter Verwendung der Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  im vorherigen Zyklus berechnet.

[Ausdruck 13]

$$C_{VS1} = \frac{D_p}{\hat{K}} \dots\dots(15)$$

[0058] Hier ist zu beachten, dass, wenn die Verstärkungsrate  $D_p$  der Verstärkungsrate  $G_d$  in der in **Fig. 10** gezeigten herkömmlichen Positionssteuervorrichtung entspricht, wie aus dem relationalen Ausdruck (11) bekannt, die Verstärkungsrate  $D_p$  auf der Basis eines Ausdrucks (16) unter Verwendung der Beziehung zwischen den Ausdrücken (5) und (4) bestimmt wird.

[Ausdruck 14]

$$D_p = \frac{2 \xi \hat{K}}{\omega_p} = 2 \xi \sqrt{\frac{\hat{K}}{\left(\frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2}\right)}} \dots\dots(16)$$

[0059] Hier ist zu beachten, dass das Trägheitsmoment  $I_1$  und das Trägheitsmoment  $I_2$  hinsichtlich der jeweiligen Wellen 1 und 2 im unabhängigen Steuerzustand identifiziert werden und für die jeweiligen Wellen im Voraus über eine Vorrichtung oberer Ebene festgelegt werden. Es ist zu beachten, dass ein geeigneter Wert für den Dämpfungskoeffizienten  $\zeta$  im Voraus festgelegt wird.

[0060] Nach der Vollendung der Berechnung und Festlegung der Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung  $C_{VS}$  bei S18 wird das Tandemsteuer-Flag für den stetigen Zustand  $F_{tdm}$  bei S19 eingeschaltet. Die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3a** arbeitet nicht im anschließenden Zyklus mit dem Tandemsteuerbefehls-Flag  $F_{tdmc}$  in einem Ein-Zustand. Wenn der Tandemsteuerzustand danach auf den unabhängigen Steuerzustand umstellt ( $F_{tdmc}$  ein  $\rightarrow$  aus), wird danach die Verarbeitung zur Zeit der unabhängigen Steuerung bei S20 ausgeführt.

[0061] Bei der Verarbeitung zur Zeit der unabhängigen Steuerung wird ein Schaltsignal  $SW_1$  in einem Aus-Zustand an den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator **2a** ausgegeben, um dadurch die Tandemsteuerstruktur zu invalidieren. Um auf die anschließende Umstellung auf den Tandemsteuerzustand vorzubereiten, werden ferner das Kompensatorverstärkungsberechnungs-Flag  $F_{cal}$  und das Tandemsteuer-Flag für den stetigen Zustand  $F_{tdm}$  auf aus gesetzt.

[0062] Im stetigen Tandemsteuerzustand nach der Vollendung der Berechnung und Festlegung der Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung  $C_{VS}$  wendet die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit **3#** ein Störungs-drehmoment  $\tau_{dis}$  schrittweise an, um eine Störungsreaktion für jede Periode  $T_S = 0,1$  [ms] zu simulieren. Das Ergebnis der Simulation ist in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt. Der obere Graph in **Fig. 6** zeigt ein Störungs-drehmoment  $\tau_{dis}$ , während der untere Graph Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  der jeweiligen Wellen zeigt, die aufgrund der schrittweisen Störung erzeugt werden. Der obere Graph in **Fig. 7** zeigt Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbeträge  $\tau_{b1}$  und  $\tau_{b2}$  der jeweiligen Wellen, während der untere Graph einen Positionsfehler  $Diff_1 (= X_c - x_1)$  der Antriebswelle 1 zeigt. Es ist zu beachten, dass der Dämpfungskoeffizient ( $\zeta$ , der bei der Bestimmung der Verstärkungsrate  $D_p$  ausgewählt wird, im Ausdruck (16)  $\zeta = 0,8$  ist.

[0063] Mit dem Obigen ist es möglich, eine Leistung in der Dämpfungscharakteristik und Reaktionscharakteristik auf der Positionsfehlerebene äquivalent zu jener einer herkömmlichen Struktur zu erreichen, die direkt eine Abweichungsgeschwindigkeit detektiert. Da die Verwendung einer Abweichungsdrehmomentabschätzung  $\tau_r$  die Berechnung zum Identifizieren einer Steifigkeitsabschätzung  $\hat{K}$  ermöglicht, was für eine herkömmliche Struktur nicht möglich ist, ist es ferner möglich, die Tandemsteuerung unverzüglich zu erreichen, die zur Drehmomentkompensationssteuerung mit einem geeigneten Dämpfungskoeffizienten  $\zeta$  zum Zeitpunkt der Umstellung auf den Tandemsteuerzustand in der Lage ist, selbst wenn der unabhängige Zustand und der Tandemsteuerzustand wiederholt umgeschaltet werden und die Ziellanlagenbedingung folglich signifikant variiert.

**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**

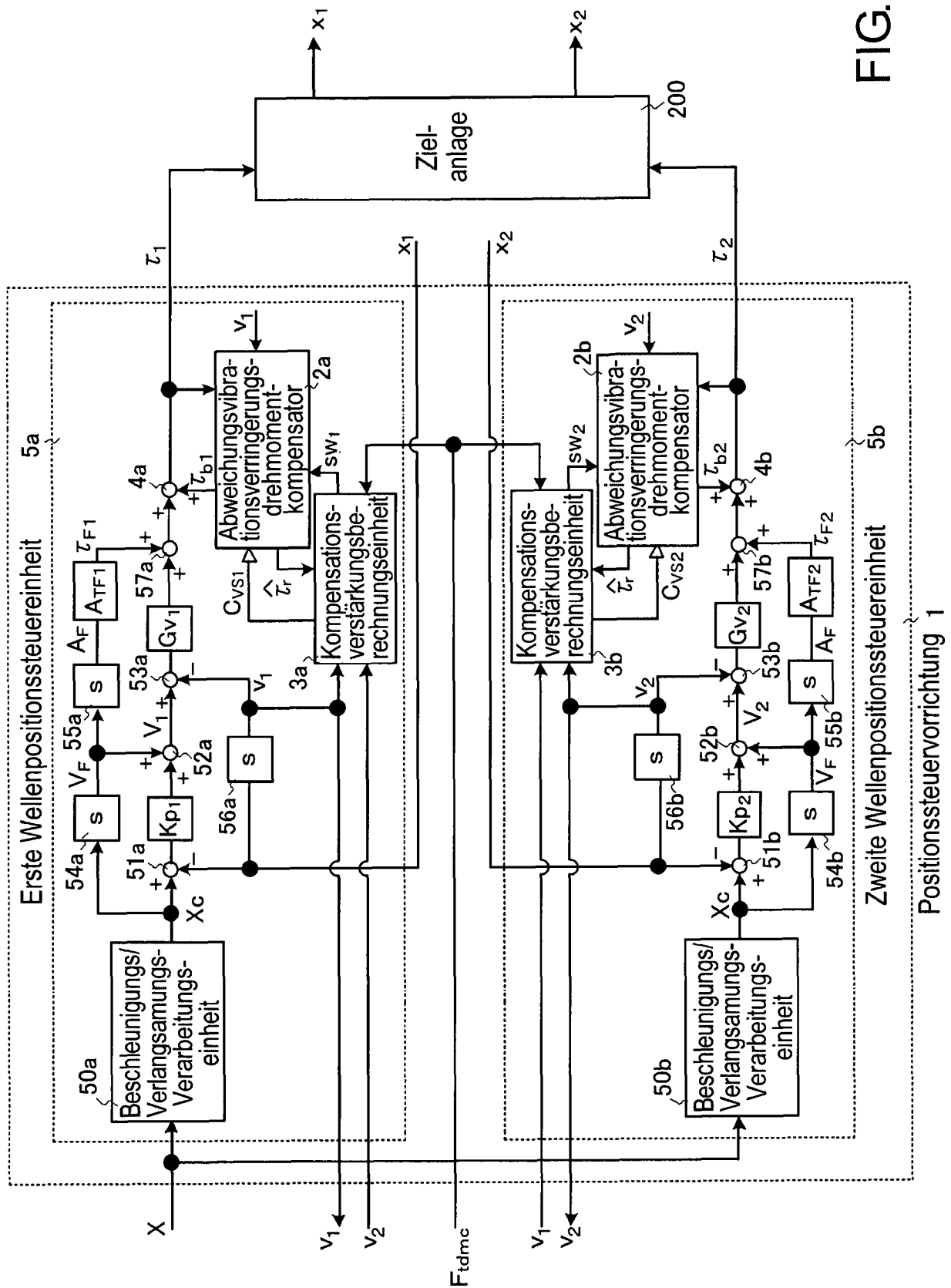
- JP 2015-056945 [0001]

**Patentansprüche**

1. Positionssteuervorrichtung, die ein Tandemsteuerverfahren zum Antreiben eines Steuerziels unter Verwendung von zwei Antriebswellen verwendet, die umfasst:  
zwei Positionssteuereinheiten, die für die jeweiligen Antriebswellen vorgesehen sind, um jeweils einen Drehmomentbefehlswert für eine entsprechende Antriebswelle auszugeben, wobei  
jede der Positionssteuereinheiten umfasst  
eine Berechnungseinheit zum Berechnen eines Drehmomentbefehlswerts vor der Kompensation auf der Basis eines Positionsbefehlswerts, der von einer Vorrichtung oberer Ebene eingegeben wird, und eines detektierten Positionswerts der entsprechenden Antriebswelle,  
einen Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator zum Berechnen einer Abweichungsdrehmomentabschätzung auf der Basis des Drehmomentbefehlswerts für die entsprechende Antriebswelle und ihre eigene Wellengeschwindigkeit oder einer Geschwindigkeit der entsprechenden Antriebswelle und zum Berechnen eines Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags, der zum Drehmomentbefehlswert vor der Kompensation der entsprechenden Antriebswelle addiert werden soll, auf der Basis der Abweichungsdrehmomentabschätzung und einer Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung, um den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrag auszugeben, und  
eine Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit zum Ausgeben eines Schaltsignals beim Empfangen eines Tandemsteuerbefehls, der von der Vorrichtung oberer Ebene eingegeben wird, an den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator zum Ausgeben des Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags, Berechnen der Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung auf der Basis ihrer eigenen Wellengeschwindigkeit, einer Geschwindigkeit einer anderen Welle und der Abweichungsdrehmomentabschätzung und Ausgeben der berechneten Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung an den Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensator, und  
jede der Positionssteuereinheiten einen Wert, der durch Addieren des Abweichungsvibrationsverringerungsdrehmomentkompensationsbetrags zum Drehmomentbefehlswert vor der Kompensation erhalten wird, als Drehmomentbefehlswert ausgibt.

2. Positionssteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Kompensatorverstärkungsberechnungseinheit die Abweichungsvibrationsverringerungskompensationsverstärkung auf der Basis einer Steifigkeitsabschätzung einer Zielanlage, die auf der Basis der Abweichungsdrehmomentabschätzung berechnet wird, ihrer eigenen Wellengeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der anderen Welle, eines Trägheitsmoments, das im Voraus in Bezug auf jede Welle identifiziert wird, und eines im Voraus festgelegten Dämpfungskoeffizienten berechnet.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen



**FIG. 1**

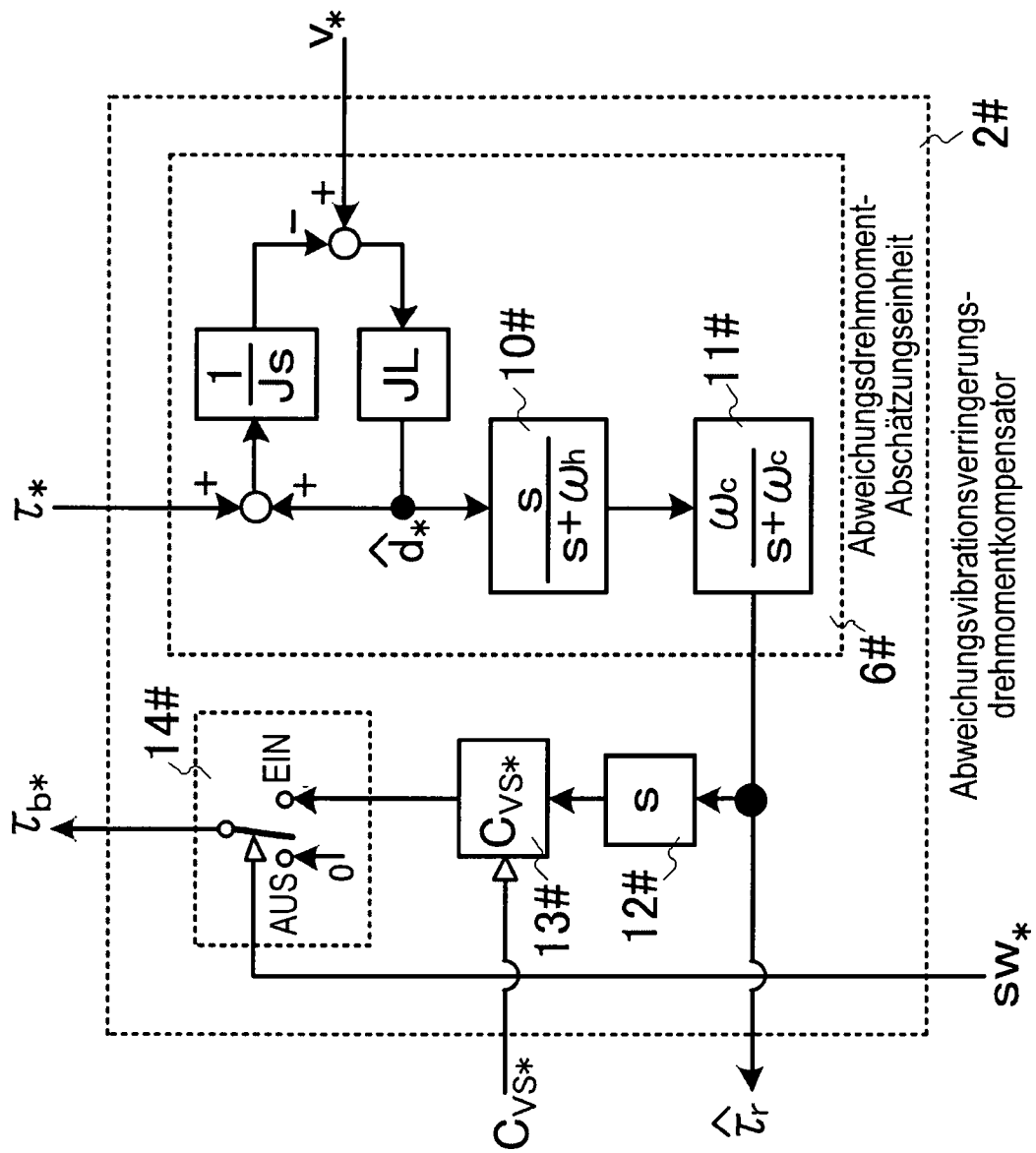


FIG. 2

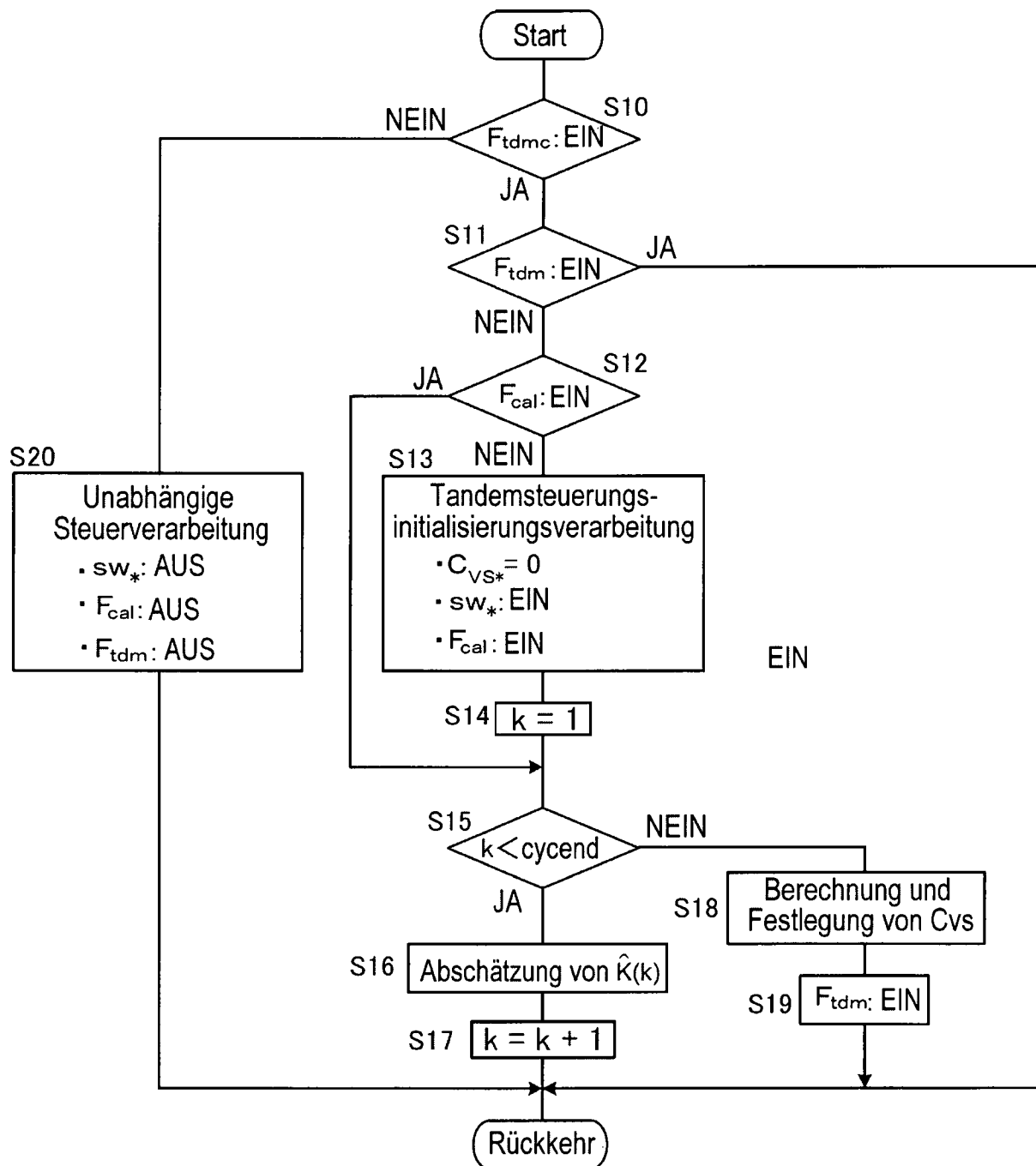


FIG. 3

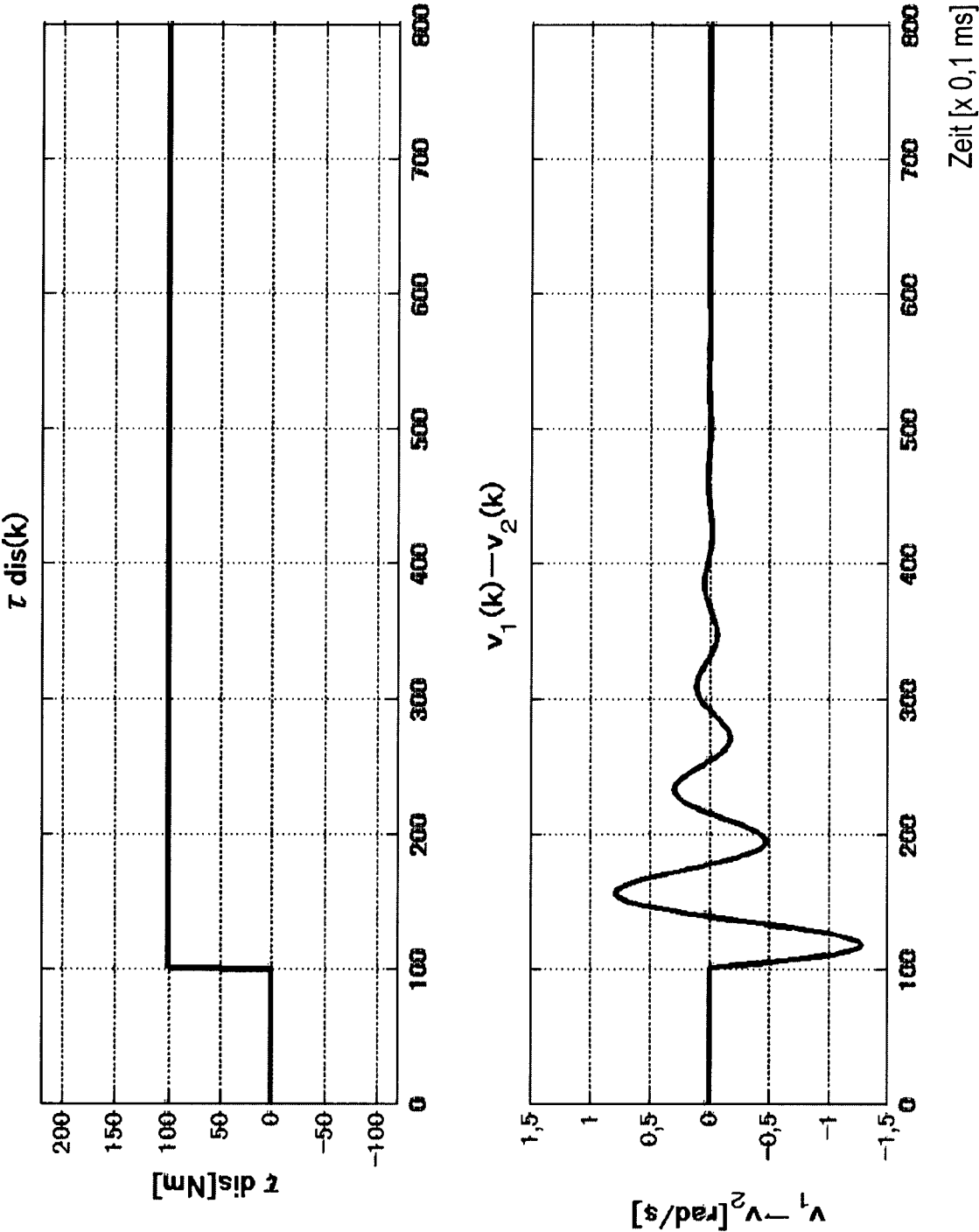


FIG. 4



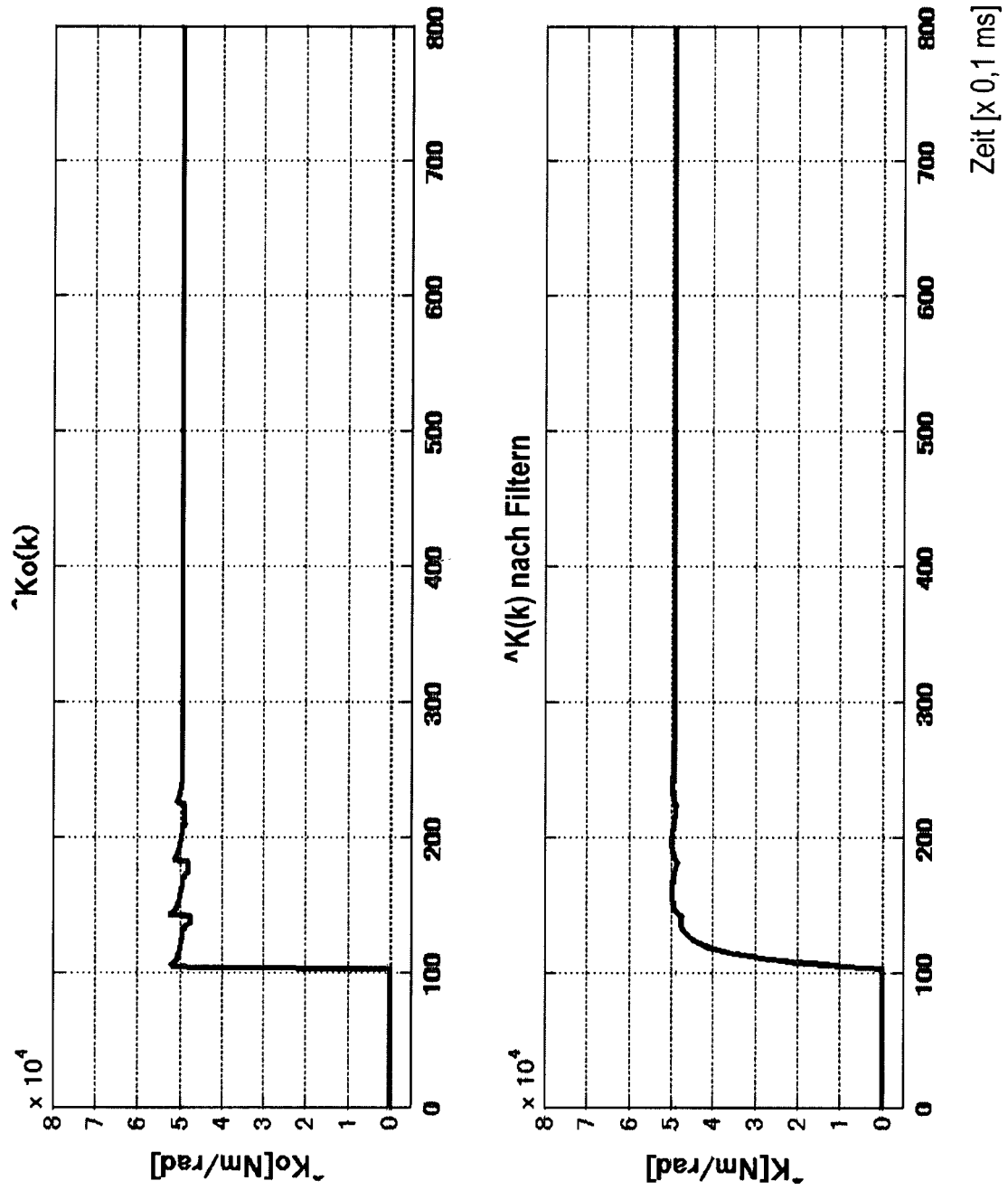


FIG. 5

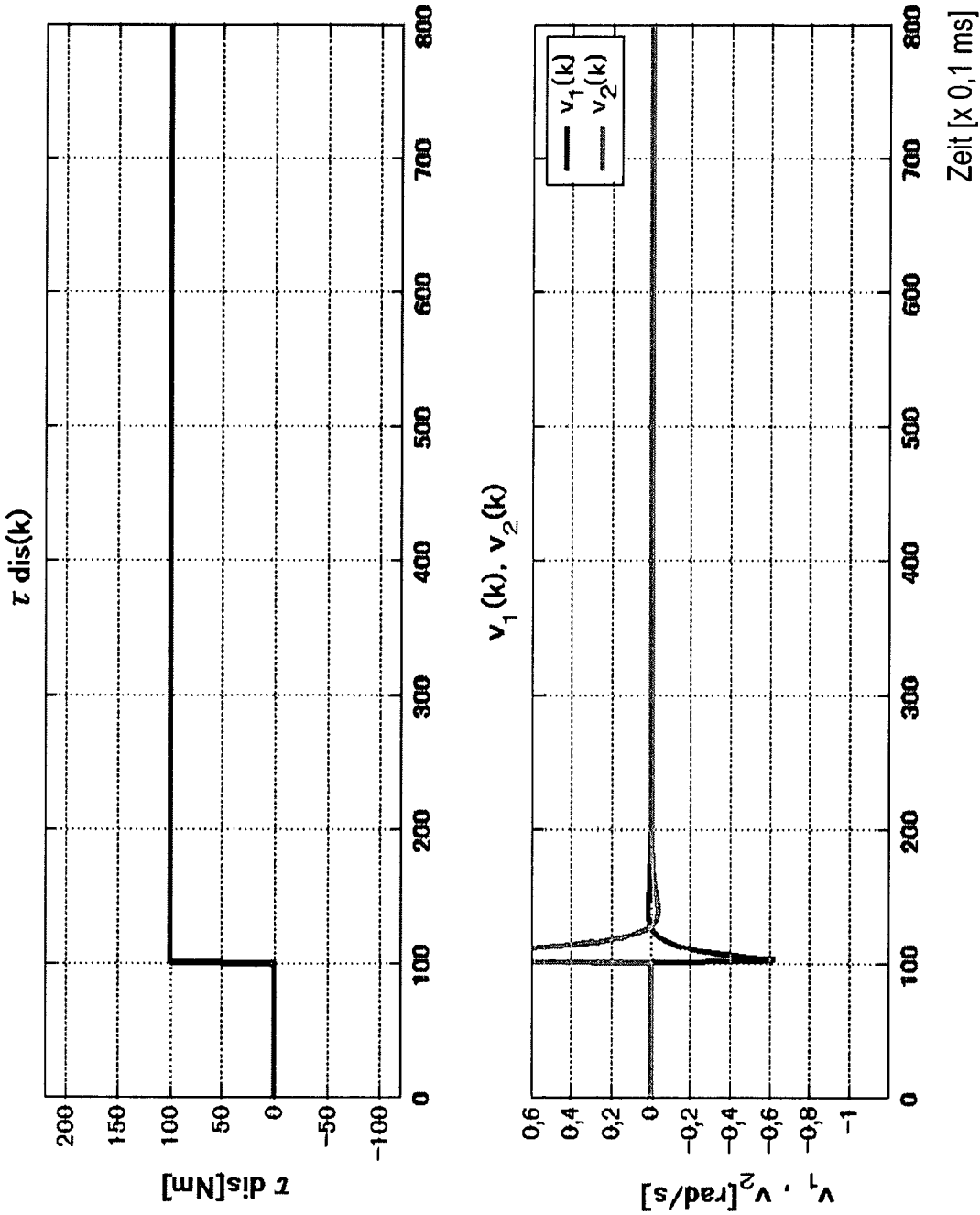


FIG. 6

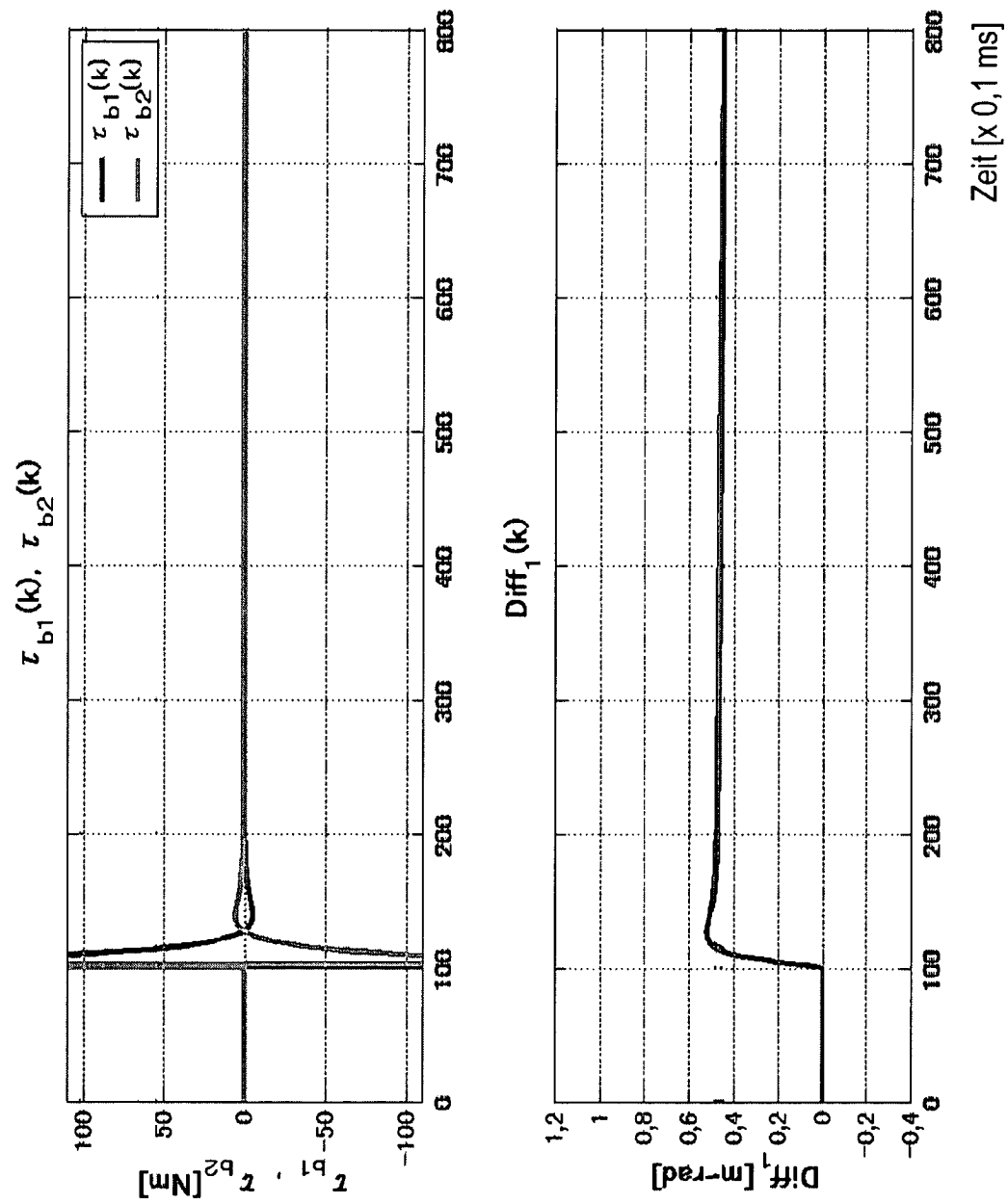


FIG. 7

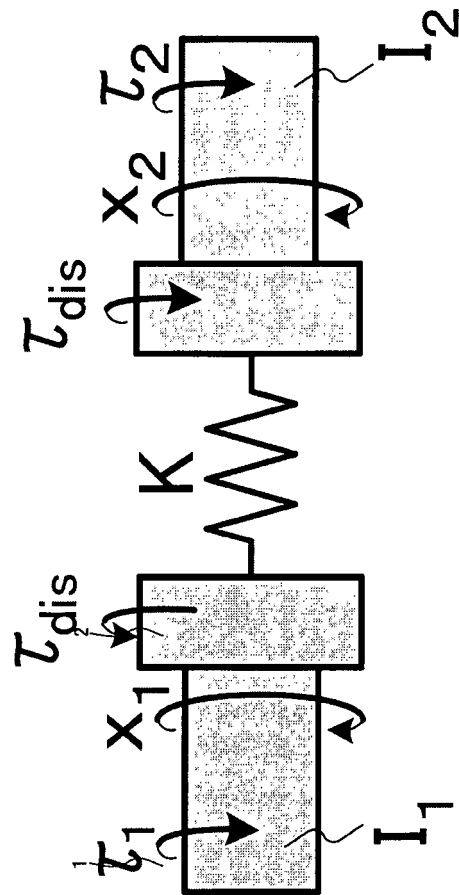


FIG. 8

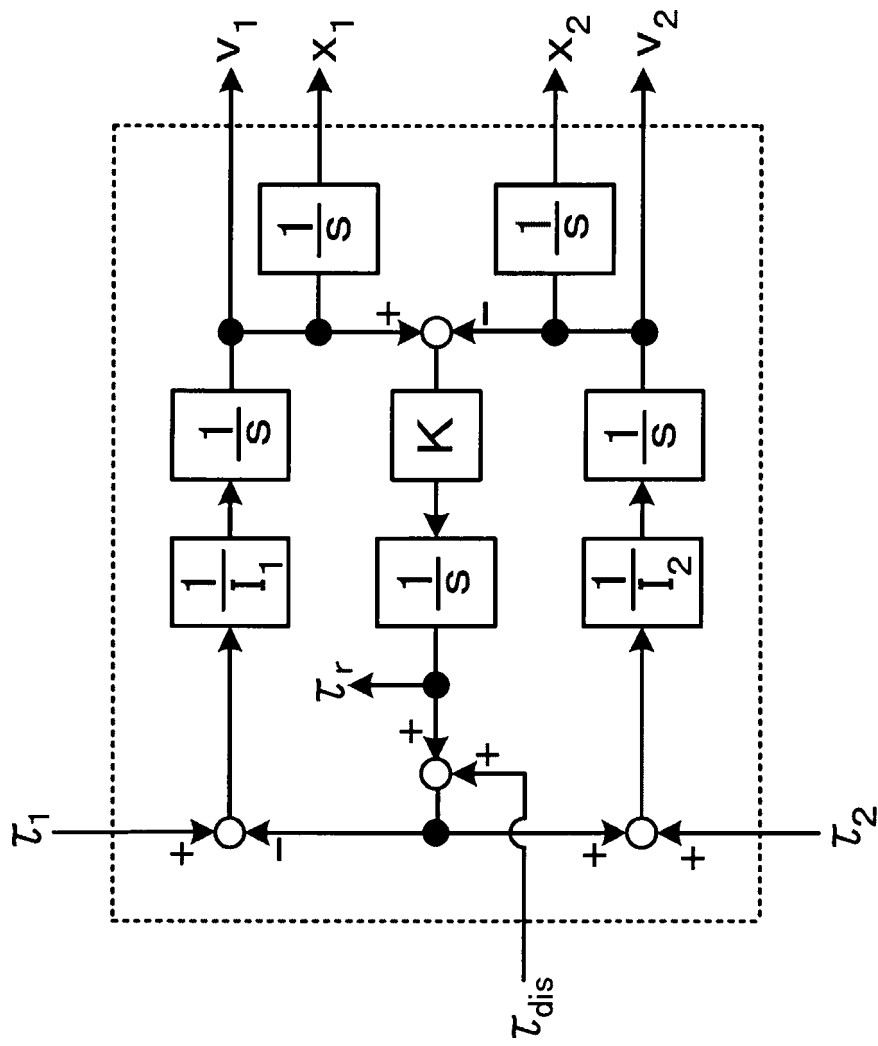


FIG. 9

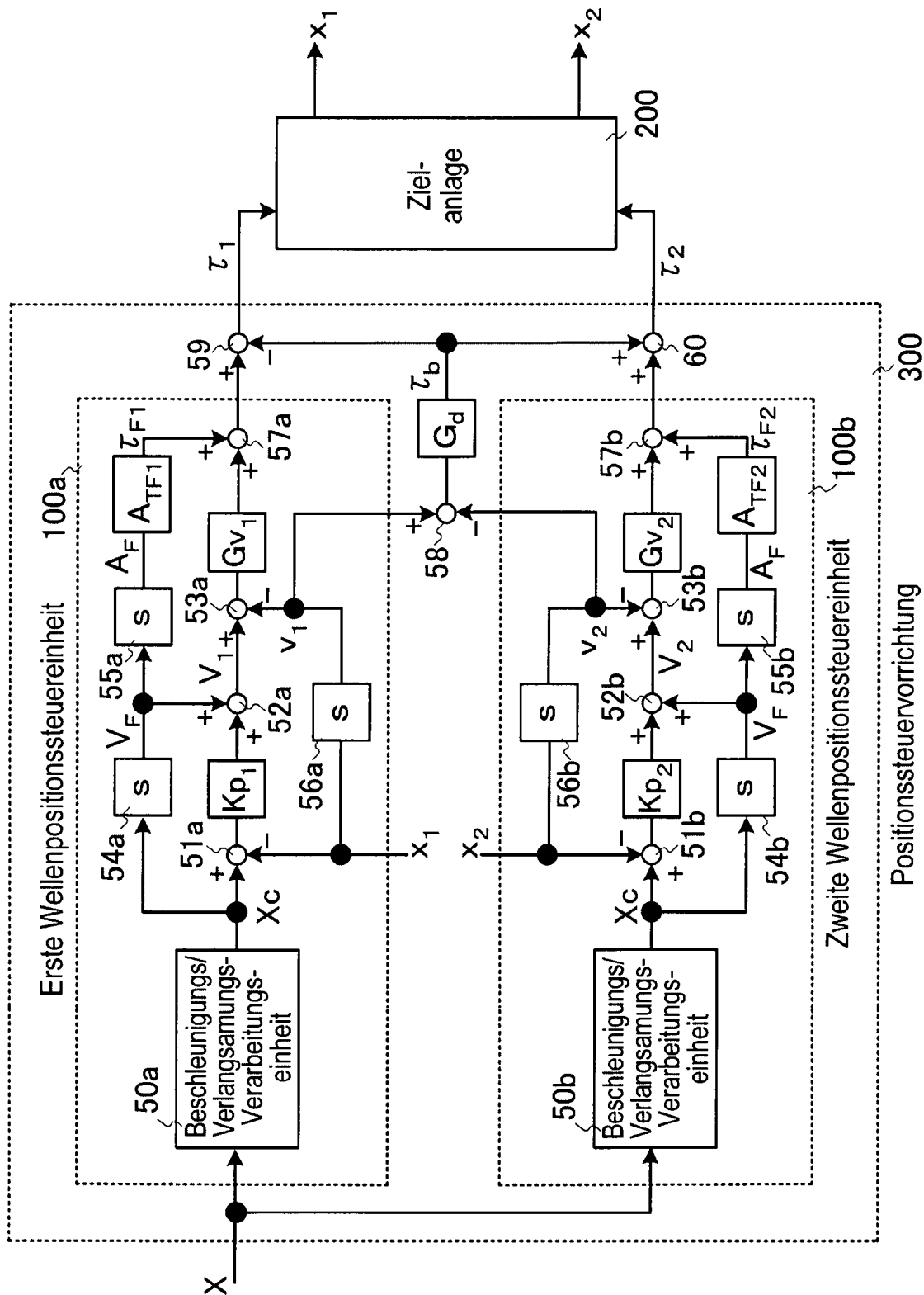


FIG. 10

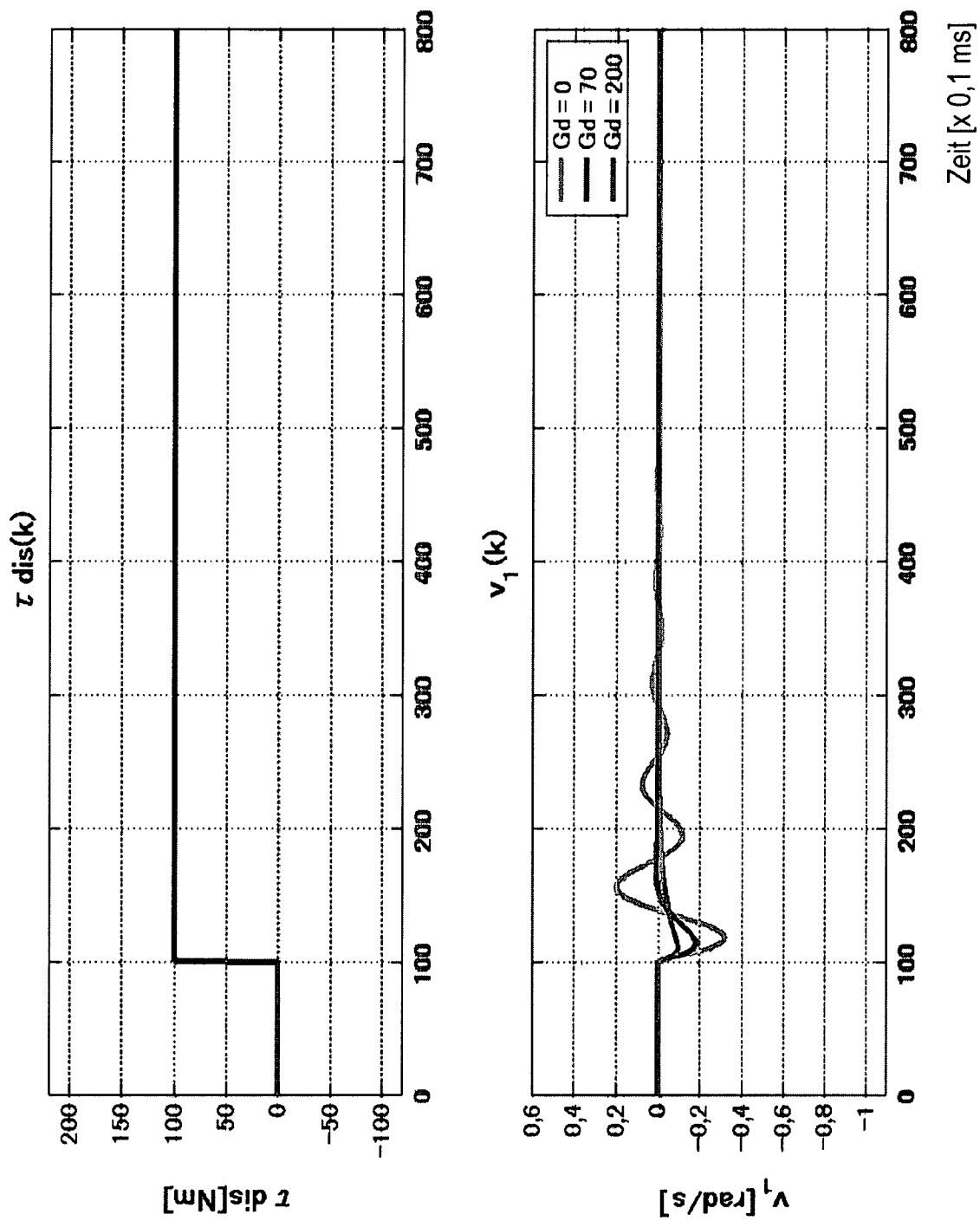


FIG. 11

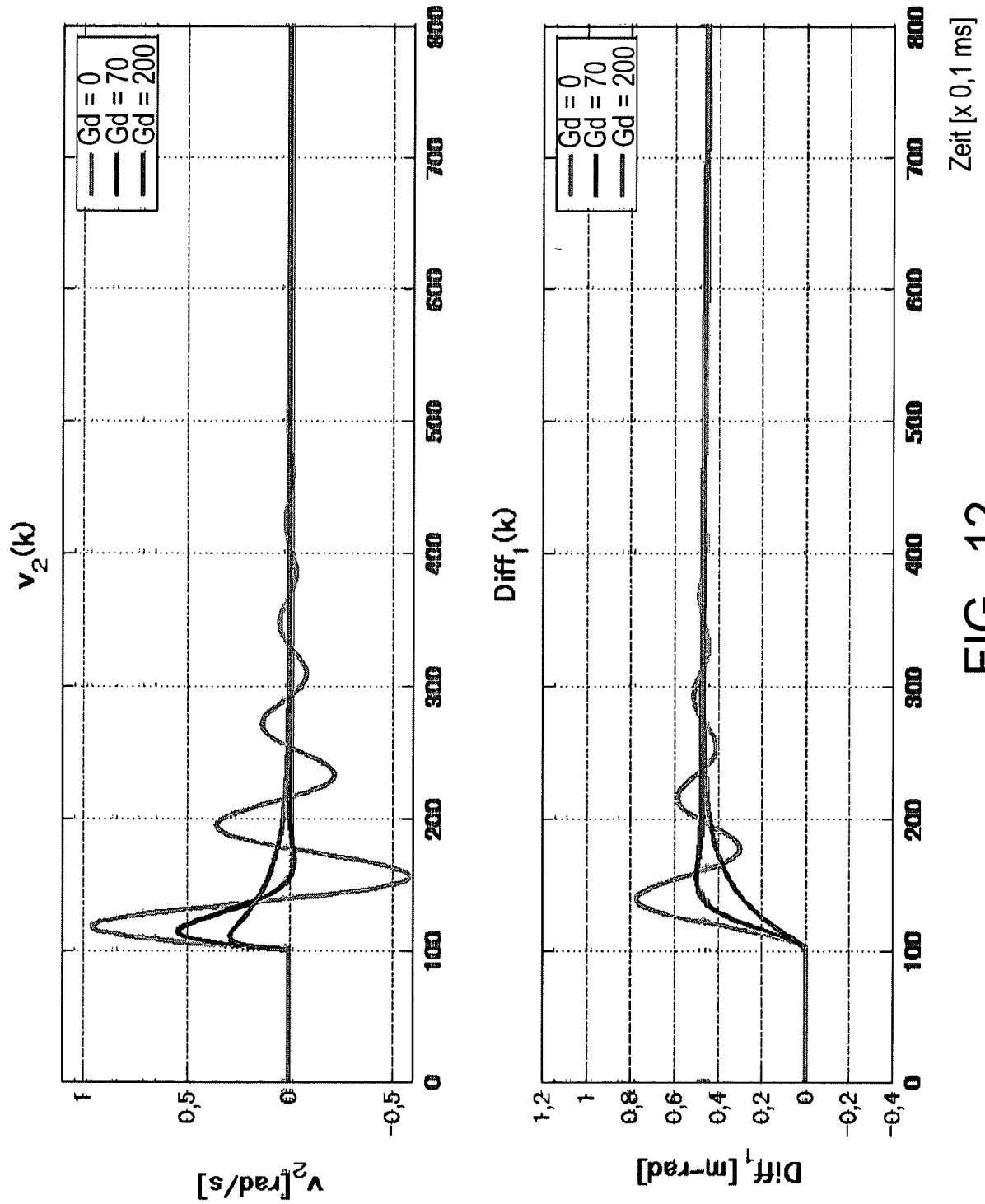


FIG. 12