



(10) **DE 10 2010 001 829 B4** 2011.09.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 001 829.5**
 (22) Anmeldetag: **11.02.2010**
 (43) Offenlegungstag: **11.08.2011**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **01.09.2011**

(51) Int Cl.: **G05B 19/402 (2006.01)**
B23Q 15/12 (2006.01)
G05B 19/404 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:
Bock, Marco, 91056, Erlangen, DE; Papiernik, Wolfgang, Prof., 91077, Neunkirchen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 10 2006 056080 A1
DE 10 2005 061570 A1
DE 103 55 614 A1
DE 37 08 266 A1

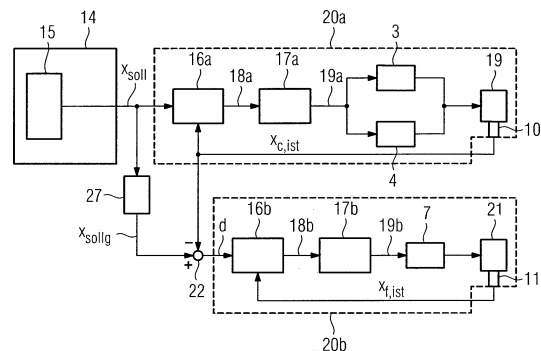
US 57 98 927 A
US 57 51 585 A
US 51 09 148 A
EP 1 688 807 A1

S. Staroselsky et al.: Two Stage Actuation for Improved Accuracy of Contouring, Proceedings of the American Control, Atlanta 1988, S. 127-132

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bewegung eines Maschinenelements einer Maschine aus der Automatisierungstechnik und Antriebssystem**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bewegung eines Maschinenelements (8) einer Maschine (36) aus der Automatisierungstechnik,

- wobei die Bewegung des Maschinenelements (8) einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$, $x_{f,ist}$) aufweist, welche in einer gemeinsamen Richtung (X) verlaufen,
- wobei der erste Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) mittels einer ersten Antriebsachse (20a) durchgeführt wird und der zweite Bewegungsanteil ($x_{f,ist}$) mittels einer zweiten Antriebsachse (20b) durchgeführt wird,
- wobei die erste Antriebsachse (20a) eine erste Regelung (16a) und die zweite Antriebsachse (20b) eine zweite Regelung (16b) aufweist,
- wobei die Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) durch die erste Regelung (16a) erfolgt und die Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) durch die zweite Regelung (16b) erfolgt,
- wobei eine erste Sollgröße (x_{soll}) für eine Gesamtbewegung (x_{ist}), die sich aus erstem und zweiten Bewegungsanteil zusammensetzt, als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (16a) zugeführt wird,
- wobei eine gemessene, den...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewegung eines Maschinenelements einer Maschine aus der Automatisierungstechnik und ein Antriebssystem.

[0002] Insbesondere Werkzeugmaschinen sind häufig mit so genannten redundanten Kinematiken ausgestattet. Unter einer redundanten Kinematik wird dabei die Möglichkeit verstanden, mit Hilfe von zwei separaten Antriebsachsen ein Maschinenelement, das z. B. in Form einer Werkzeugaufnahmevorrichtung oder eines Werkzeugs, das in die Werkzeugaufnahmevorrichtung eingespannt ist, vorliegen kann, entlang einer Richtung zu bewegen.

[0003] In [Fig. 1](#) ist anhand einer schematisiert dargestellten Werkzeugmaschine **36** das Prinzip einer redundanten Kinematik dargestellt. Mit Hilfe von zwei Linearmotoren **3** und **4** kann ein Träger **5** in einer Richtung X bewegt werden. Die Führung der Bewegung in X-Richtung wird dabei von zwei Säulen **1** und **2** gewährleistet. An dem Träger **5** ist eine weitere Säule **6**, die zur Führung der Bewegung eines zweiten Linearmotors **7** dient, befestigt. Der Linearmotor **7** führt ebenfalls eine Bewegung in X-Richtung aus. Die Bewegungsrichtung der Linearmotoren **3**, **4** und **7** ist durch eingezeichnete Pfeile **37**, **12** und **13** angedeutet. An den Linearmotor **7** ist ein Maschinenelement **8** angebracht, das im Rahmen des Ausführungsbeispiels in Form einer Werkzeugaufnahmevorrichtung vorliegt. In die Werkzeugaufnahmevorrichtung ist ein Werkzeug **9** eingespannt.

[0004] Selbstverständlich weist die Werkzeugmaschine **36** noch weitere Motoren auf, die eine Bewegung des Maschinenelements **8**, z. B. in Y-Richtung und Z-Richtung erlauben, die jedoch der Übersichtlichkeit halber und da zum Verständnis der Erfindung unwesentlich, in [Fig. 1](#) nicht dargestellt sind.

[0005] Zur Messung einer ersten Istgröße $x_{c,ist}$, die die Lage der Säule **6** in Bezug zu einem ruhenden Maschinenbett **35** der Maschine angibt, weist die Maschine **36** eine erste Messeinrichtung auf, die der Übersichtlichkeit halber in [Fig. 1](#) nicht dargestellt ist. Zur Messung einer zweiten Istgröße $x_{f,ist}$, die die Lage des Maschinenelements **8** in Bezug zur Säule **6** angibt, weist die Werkzeugmaschine **36** eine zweite Messeinrichtung auf, die der Übersichtlichkeit halber in [Fig. 1](#) ebenfalls nicht dargestellt ist.

[0006] Wenn das Maschinenelement **8** in Richtung X auf einen bestimmten Lagesollwert verfahren werden soll, dann stellt sich das Problem, wie die dafür erforderliche Bewegung zwischen den beiden Linearmotoren **3** und **4**, und dem Linearmotor **7** aufgeteilt werden soll. Da der Linearmotor **7** nur kleine Massen bewegen muss (Maschinenelement **8** und Werkzeug **9**) ist er in der Lage dynamische Bewegungen (z. B. Bewegungen mit hohen Beschleunigungen) in X-Richtung auszuführen, während die beiden Linearmotoren **3** und **4**, bedingt durch die von ihnen zu bewegenden größeren Massen, nur relativ träge Bewegungen ausführen können. Es ist deshalb sinnvoll, die Bewegung des Maschinenelements in einen ersten Bewegungsanteil, der von den beiden Linearmotoren **3** und **4** durchgeführt wird, und einen zweiten Bewegungsanteil, der von dem Linearmotor **7** durchgeführt wird, aufzuteilen. Der erste Bewegungsanteil beinhaltet dabei die wenig dynamischen, d. h. niederfrequenten Bewegungsvorgänge, während der zweite Bewegungsanteil die dynamischen, d. h. hochfrequenten Bewegungsvorgänge des Maschinenelements beinhaltet.

[0007] In [Fig. 2](#) ist im Rahmen einer schematisierten blockförmigen Darstellung ein für die Werkzeugmaschine **36** handelsüblich bekanntes Antriebssystem dargestellt. Eine Sollgrößenerzeugungseinheit **15**, die in der Regel Bestandteil einer Steuereinrichtung **14**, die z. B. in Form einer CNC-Steuerung vorliegen kann, erzeugt eine erste Sollgröße x_{soll} , die im Rahmen des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 1](#) in Form einer Lagesollgröße vorliegt, und die gewünschte Lage des Maschinenelements **8** in Bezug zum Maschinenbett **35** angibt. Die erste Sollgröße x_{soll} wird als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils des Maschinenelements **8** einer ersten Regelung **16a** zugeführt. Weiterhin wird der Regelung **16a**, die mittels einer ersten Messeinrichtung **10** gemessene erste Istgröße $x_{c,ist}$, die im Rahmen des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 1](#) die Lage der Säule **6** im Bezug zum Maschinenbett **35** angibt, der ersten Regeleinheit **16a** als Regelistgröße zugeführt. Die erste Istgröße $x_{c,ist}$ gibt den ersten Bewegungsanteil des Maschinenelements **8** an, indem sie im Rahmen des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 1](#) die Lage der Säule **6** im Bezug zum Maschinenbett **35** angibt.

[0008] Die erste Regelung **16a** steuert entsprechend der ersten Sollgröße x_{soll} und der ersten Istgröße $x_{c,ist}$ einen ersten Stromrichter **17a** an, was durch einen Pfeil **18a** in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Die erste Sollgröße x_{soll} ist die Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils des Maschinenelements **8**. Der erste Stromrichter **17a** steuert entsprechend die beiden Linearmotoren **3** und **4** an, was durch einen Pfeil **19a** dargestellt ist, wobei die Linearmotoren **3** und **4** eine Last **19** bewegen. Die Last **19** beinhaltet dabei alle Elemente, die durch die Linearmotoren **3** und **4** in Richtung X bewegt werden. Die erste Regelung **16a**, der erste Stromrichter

17a, die Linearmotoren **3** und **4**, die Last **19** und die Messeinrichtung **10** bilden eine erste Antriebsachse **20a**, mittels derer der erste Bewegungsanteil des Maschinenelements **8** durchgeführt wird.

[0009] Zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils des Maschinenelements **8** wird beim Stand der Technik der so genannte Schleppfehler s ermittelt, indem mittels eines Subtrahierers **22** die erste Istgröße $x_{c,ist}$ von der ersten Sollgröße x_{soll} subtrahiert wird. Der Schleppfehler s wird als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils des Maschinenelements **8** einer zweiten Regelung **16b** zugeführt. Weiterhin wird der Regelung **16b**, die mittels einer zweiten Messeinrichtung **11** gemessene zweite Istgröße $x_{f,ist}$, die im Rahmen des Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 1** die Lage des Maschinenelements **8** im Bezug zur Säule **6** angibt, der zweiten Regeleinheit **16b** als Regelistgröße zugeführt. Die zweite Istgröße $x_{f,ist}$ gibt den zweiten Bewegungsanteil des Maschinenelements **8** an, indem sie im Rahmen des Ausführungsbeispiels nach **Fig. 1** die Lage des Maschinenelements **8** im Bezug zur Säule **6** angibt.

[0010] Die zweite Regelung **16b** steuert entsprechend dem Schleppfehler s und der zweiten Istgröße $x_{f,ist}$ einen zweiten Stromrichter **17b** an, was durch einen Pfeil **18b** in **Fig. 2** dargestellt ist. Der zweite Stromrichter **17b** steuert entsprechend den Linearmotor **7** an, was durch einen Pfeil **19b** dargestellt ist, wobei der Linearmotor **7** eine Last **21** bewegt. Die Last **21** beinhaltet dabei alle Elemente, die durch den Linearmotor **7** in Richtung X bewegt werden. Die zweite Regelung **16b**, der zweite Stromrichter **17b**, der Linearmotor **7**, die Last **21** und die Messeinrichtung **11** bilden eine zweite Antriebsachse **20b**, mittels derer der zweite Bewegungsanteil des Maschinenelements **8** durchgeführt wird.

[0011] Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Sollgrößenerzeugungseinheit **15** zur Steuerung der Bewegung der Antriebsachsen, mittels derer die Bewegung des Maschinenelements in Y-Richtung und in Z-Richtung erfolgt, ebenfalls entsprechende Sollwerte erzeugt. Diese und die Antriebsachsen, mittels derer die Bewegung des Maschinenelements in Y-Richtung und in Z-Richtung erfolgt, sind in **Fig. 2** und den nachfolgenden Figuren der Übersichtlichkeit halber und da zum Verständnis der Erfindung unwesentlich, nicht dargestellt.

[0012] In **Fig. 3** ist das in **Fig. 2** gezeigte Antriebssystem noch einmal vereinfacht in Form eines Blockfunktionsdiagramms dargestellt. Gleiche Elemente sind dabei mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in **Fig. 2**. Die erste Antriebsachse **20a** weist dabei eine Übertragungsfunktion $G(s)$ und die zweite Antriebsachse **20b** eine Übertragungsfunktion $F(s)$ auf. Die Gesamtlage x_{st} des Maschinenelements **8**, d. h. seine Lage in Bezug zum Maschinenbett **35** (siehe **Fig. 1**), ergibt sich durch Addition der ersten Istgröße $x_{c,ist}$ und der zweiten Istgröße $x_{f,ist}$.

[0013] In **Fig. 4** ist ein weiteres aus dem Stand der Technik bekanntes Antriebssystem dargestellt, bei der eine Bewegungsaufteilung in einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil erfolgt. Die Ausführungsform gemäß **Fig. 4** ist mit der Ausführungsform gemäß **Fig. 2**, soweit es die erste Antriebsachse **20a** und **20b** betrifft, identisch. Gleiche Elemente sind daher in **Fig. 4** mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in **Fig. 2**. Der wesentliche Unterschied bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 4** besteht darin, dass die Steuereinrichtung **14'** gegenüber der Steuereinrichtung **14** gemäß **Fig. 2** um eine Aufteilungseinheit **23** erweitert wurde. Die Sollgrößenerzeugungseinheit **15** erzeugt eine Sollgröße x'_{soll} , die der ersten Sollgröße x_{soll} gemäß **Fig. 2** entspricht. Die Aufteilungseinheit **23** ermittelt aus der Sollgröße x'_{soll} eine erste Sollgröße $x_{c,soll}$, die als Regelsollgröße der Regelung **16a** zugeführt wird und eine zweite Sollgröße $x_{f,soll}$, die als Regelsollgröße der Regelung **16b** zugeführt wird.

[0014] In **Fig. 5** ist die Steuereinrichtung **14'** und insbesondere die Aufteilungseinheit **23**, noch einmal im Detail dargestellt, wobei gleiche Elemente in **Fig. 5** mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind wie in **Fig. 4**. Zur Aufteilung der Bewegung wird die Sollgröße x'_{soll} mittels eines Tiefpassfilters **24** gefiltert und solchermaßen die erste Sollgröße $x_{c,soll}$ für die erste Antriebsachse **20a** erzeugt. Mittels eines Subtrahierers **26** wird die erste Sollgröße $x_{c,soll}$ von der Sollgröße x'_{soll} subtrahiert und solchermaßen die zweite Sollgröße $x_{f,soll}$ für die zweite Antriebsachse **20b** erzeugt.

[0015] In **Fig. 6** ist eine weitere aus dem Stand der Technik bekannte Realisierung der Aufteilungseinheit in Form der Aufteilungseinheit **23'** dargestellt. Gleiche Elemente sind in **Fig. 6** mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in **Fig. 5**. Die Ausführungsform gemäß **Fig. 6** unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß **Fig. 5** nur darin, dass zur Kompensation der durch den Tiefpassfilter **24** verursachten zeitlichen Verzögerung der Sollgröße $x_{c,soll}$, die Sollgröße x'_{soll} mittels eines Verzögerers **25** um eine bestimmte Zeit verzögert wird, bevor sie dem Subtrahierer **26** als Eingangsgröße zugeführt wird.

[0016] In [Fig. 7](#) ist das in [Fig. 6](#) gezeigte Antriebssystem noch einmal vereinfacht dargestellt. Gleiche Elemente sind dabei mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in [Fig. 6](#). Die erste Antriebsachse **20a** weist dabei eine Übertragungsfunktion $G(s)$ und die zweite Antriebsachse **20b** eine Übertragungsfunktion $F(s)$ auf. Die Gesamtlage x_{ist} des Maschinenelements **8**, d. h. seine Lage in Bezug zum Maschinenbett **35**, ergibt sich durch Addition der ersten Istgröße $x_{c,\text{ist}}$ und der zweiten Istgröße $x_{f,\text{ist}}$.

[0017] Aus der EP 1 688 807 A1 ist ein Verfahren zur Bewegungsaufteilung einer Relativbewegung zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug einer Werkzeugmaschine bekannt.

[0018] Aus der US 5 798 927 A, der US 5 751 585 A, der DE 103 55 614 A1, der DE 102 005 06 1570 A1 und der US 5 109 148 A sind Verfahren zur Bewegungsaufteilung einer Bewegung eines Maschinenelements einer Maschine und Positionierverfahren bekannt.

[0019] Eine Bewegungsaufteilung einer Bewegung eines Maschinenelements einer Maschine nach dem Konzept der so genannten "Schleppfehlerkompensation" ist aus Veröffentlichung "Two-Stage Actuation for Improved Accuracy of Contouring", Proceedings of the American Control, S. Staroselsky, K. A. Stelson, Atlanta 1988, bekannt.

[0020] Bei den bekannten Verfahren ist die Gesamtdynamik der Maschine durch die Regeldynamik der trägen ersten Antriebsachse (Grobtriebsachse) bestimmt. Damit wird das Potential der dynamischen zweiten Antriebsachse (Feintriebsachse) nicht voll ausgeschöpft.

[0021] Weiterhin treten bei den bekannten Verfahren zur Bewegungsaufteilung im Allgemeinen größere Konturfehler auf. So kommt es z. B. bei den bekannten Verfahren häufig zu Überschwingungen, wenn sich die Sollgröße rasch verändert, sowie zur Konturaufweitung bei kreisförmigen vom Maschinenelement abzufahrenden Konturen.

[0022] Es wird somit z. B. aus einer vom Maschinenelement abzufahrenden kreisförmigen Kontur eine eiförmige Kontur.

[0023] Aus der DE 10 2006 056 080 A1, welche als nächstliegender Stand der Technik erachtet wird, ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Lageregelung wenigstens eines Paares von Bewegungsachsen einer Maschine bekannt. Es wird dabei eine Zerlegung der Lageregelung in eine Grobpositionierung einer ersten Bewegungsachse und eine Feinpositionierung einer zweiten Bewegungsachse durchgeführt, wobei die erste Bewegungsachse eine größere Schwingneigung aufweist als die zweite Bewegungsachse. Es wird dabei eine Kompensation eines Schleppfehlers der ersten Bewegungsachse durch eine den Schleppfehler kompensierende Positionierung der zweiten Bewegungsachse durchgeführt, wobei die Kompensation des Schleppfehlers auf der Grundlage eines prädiktiven Schleppfehlermodells unter Verwendung einer Sollposition der ersten Bewegungsachse erfolgt.

[0024] Aus der DE 37 08 266 A1 ist ein Servosystem mit einem Steuersystem und einem zu steuernden Objekt bekannt. Dabei wird ein Signalumkehrsystem mit einer umgekehrten Funktion $1/W$ einer Transferfunktion W als ein Vorkompensationssystem schaltungsmäßig vor dem Steuersystem angeordnet, so dass eine Eingabe von zu steuernden Geschwindigkeits- oder Positionswerten in das Vorkompensationssystem erfolgt.

[0025] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Bewegung eines Maschinenelements einer Maschine aus der Automatisierungstechnik, die über eine redundante Kinematik verfügt, zu ermöglichen, bei der Konturfehler einer vom Maschinenelement abzufahrenden Kontur reduziert werden und die Dynamik der Bewegung des Maschinenelements erhöht ist.

[0026] Der Konturfehler ist dabei die Abweichung zwischen einer vorgegebenen Sollkontur und der tatsächlich vom Maschinenelement abgefahrenden Istkontur.

[0027] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und 2 sowie ein Antriebssystem nach Anspruch 4 und 5.

[0028] Es wird eine besonders hohe Reduzierung der Konturfehler erreicht, da die frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)}$$

ist, wobei $G(s)$ die Übertragungsfunktion der ersten Antriebsachse und $F(s)$ die Übertragungsfunktion der zweiten Antriebsachse ist und

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist, da dann auftretende Konturfehler besonders gering sind.

[0029] Die Maschine aus der Automatisierungstechnik kann z. B. als Werkzeugmaschine ausgebildet sein. Gerade bei Werkzeugmaschinen sind eine hohe Präzision der Bewegung von Maschinenelementen gefordert ist. Selbstverständlich kann die Erfindung aber auch bei anderen Arten von Maschinen aus der Automatisierungstechnik eingesetzt werden.

[0030] Zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert. Dabei zeigen:

[0031] [Fig. 1](#) einer schematisiert dargestellte bekannte Werkzeugmaschine (siehe DE 103 55 614 A1),

[0032] [Fig. 2](#) ein handelsüblich bekanntes Antriebssystem (interner Stand der Technik),

[0033] [Fig. 3](#) ein vereinfacht dargestelltes bekanntes Antriebssystem in Form eines Blockfunktionsdiagramms (interner Stand der Technik),

[0034] [Fig. 4](#) ein weiters handelsüblich bekanntes Antriebssystem,

[0035] [Fig. 5](#) eine bekannte Steuereinrichtung (siehe DE 103 55 614 A1),

[0036] [Fig. 6](#) eine weitere bekannte Steuereinrichtung (siehe DE 103 55 614 A1),

[0037] [Fig. 7](#) ein weiteres vereinfacht dargestelltes bekanntes Antriebssystem (interner Stand der Technik),

[0038] [Fig. 8](#) eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Antriebssystems,

[0039] [Fig. 9](#) ein Blockfunktionsdiagramm der ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Antriebssystems,

[0040] [Fig. 10](#) eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Antriebssystems,

[0041] [Fig. 11](#) ein Blockfunktionsdiagramm der zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Antriebssystems,

[0042] [Fig. 12](#) ein regelungstechnisches Blockschaltbild der ersten Antriebsachse,

[0043] [Fig. 13](#) ein regelungstechnisches Blockschaltbild der zweiten Antriebsachse.

[0044] In [Fig. 8](#) ist in Form einer schematisierten blockförmigen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Antriebssystems dargestellt. Das erfindungsgemäße Antriebssystem gemäß [Fig. 8](#) entspricht dabei dem aus dem Stand der Technik bekannten Antriebssystem gemäß [Fig. 2](#), wobei erfindungsgemäß ein Filter **27**, das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ aufweist, eingefügt wurde. Gleiche Elemente sind in [Fig. 8](#) mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in [Fig. 2](#). Erfindungsgemäß wird die erste Sollgröße x_{soll} mittels des Filters **27** gefiltert und solchermaßen eine gefilterte erste Sollgröße x_{sollg} ermittelt. Anschließend wird die Differenz d von der gefilterten ersten Sollgröße x_{sollg} und der ersten Istgröße $x_{\text{c,ist}}$ ermittelt, indem mittels des Subtrahierers **22** die erste Istgröße $x_{\text{c,ist}}$ von der gefilterten ersten Sollgröße x_{sollg} subtrahiert wird. Die Differenz d wird als Regelsollgröße zur Regelung der Bewegung des zweiten Bewegungsanteils des Maschinenelements **8** der zweiten Regelung **16b** zugeführt.

[0045] In [Fig. 9](#) ist das zu [Fig. 8](#) zugehörige Blockfunktionsdiagramm dargestellt. Die erste Antriebsachse **20a** weist dabei die Übertragungsfunktion $G(s)$ auf und die zweite Antriebsachse **20b** weist die Übertragungsfunktion $F(s)$ auf. Das Filter **27** weist die Übertragungsfunktion $V(s)$ auf. Die Bezugszeichen stimmen mit den in [Fig. 8](#) dargestellten Elementen überein.

[0046] Zeitlich Größen sind im Rahmen dieser Anmeldung mit Kleinbuchstaben bezeichnet. Im Folgenden sind jeweils die Laplace-Transformierten der zeitlichen Größen mit einem Großbuchstaben dargestellt, d. h. die Laplace-Transformierte $X(s)$ ergibt sich der entsprechend aus der von der Zeit t abhängigen Größe $x(t)$ zu:

$$X(s) := L[x(t)](s) := \int_0^{\infty} x(t) e^{-st} dt \quad (1)$$

wobei

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma \quad (2)$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist.

[0047] Die Übertragungsfunktion $H(s)$ des erfindungsgemäßen Antriebssystems gemäß **Fig. 9** ergibt sich somit

$$H(s) = \frac{X_{ist}(s)}{X_{soll}(s)} = (V(s) - G(s)) \cdot F(s) + G(s) \quad (3)$$

[0048] Eine besonders hohe Reduzierung der Konturfehler lässt sich erreichen, wenn die Übertragungsfunktion des Filters **27** gewählt wird zu:

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)} \quad (4)$$

[0049] Die Übertragungsfunktion $H(s)$ des Antriebssystems, wenn Gleichung (4) in Gleichung (3) eingesetzt wird, ergibt sich dann zu

$$H(s) = F(s) \quad (5)$$

d. h. die Bewegung des Maschinenelements **8** wird mit der Dynamik der zweiten Antriebsachse **20b** durchgeführt und die nicht dynamische Antriebsachse, d. h. die träge Antriebsachse **20a**, ist regelungstechnisch scheinbar nicht mehr vorhanden. Wenn die Übertragungsfunktionen $G(s)$ und $F(s)$ kausal sind, was praktisch immer zutrifft, existiert immer eine realisierbare Übertragungsfunktion $V(s)$.

[0050] In **Fig. 12** ist ein regelungstechnisches Blockschaltbild der ersten Antriebsachse **20a** dargestellt. Die Regelung **16a** weist dabei im Rahmen des Ausführungsbeispiels einen Lageregler **30a** sowie einen Geschwindigkeitsregler **31a** auf. Der erste Stromrichter **17a** sowie die beiden Linearmotoren **3** und **4** und die Last **19** sind mit einem Nachbildungsfunktionsblock **33a** nachgebildet. Die erste Istgröße $x_{c,ist}$ wird mittels des Differenzierers **32a** nach der Zeit t abgeleitet und solchermaßen eine erste Istgeschwindigkeit $v_{c,ist}$ berechnet. Die in **Fig. 12** dargestellten runden Symbole sind jeweils Subtrahierer, die eine Ausgangsgröße von der anderen Ausgangsgröße abziehen und die Differenz ausgeben. Die in Funktionsblöcken (eckige Kästen) angegebenen Funktionen sind die Übertragungsfunktionen der Funktionsblöcke.

[0051] Index c kennzeichnet dabei, dass es sich um einen Parameter der ersten Antriebsachse **20a** handelt. Der Index c kann dabei hoch oder tief gestellt sein.

[0052] Für die Übertragungsfunktion $G(s)$ der ersten Antriebsachse **20a** ergibt sich somit im Rahmen des Ausführungsbeispiels

$$G(s) = \frac{X_{c,ist}(s)}{X_{soll}(s)} = \frac{1}{1 + s \frac{1}{Kv_c} + s^2 \frac{1}{Kv_c} Kr_c \tau^c + s^3 \frac{1}{Kv_c} \tau^c T_m^c + s^4 \frac{1}{Kv_c} T_{ers}^c \tau^c T_m^c} \quad (6)$$

mit

Kv_c	Regelverstärkung Lageregler
Kr_c	Regelverstärkung Drehzahlregler
τ^c	Integrierzeitkonstante des Drehzahlreglers
T_{ers}^c	Ersatzzeitkonstante des Stromregelkreises
T_m^c	Mechanische Zeitkonstante

[0053] In [Fig. 13](#) ist ein regelungstechnisches Blockschaltbild der zweiten Antriebsachse **20b** dargestellt. Die Regelung **16b** weist dabei im Rahmen des Ausführungsbeispiels einen Lageregler **30b** sowie einen Geschwindigkeitsregler **31b** auf. Der zweite Stromrichter **17b** sowie der Linearmotoren **7** und die Last **19** sind mit einem Nachbildungsfunktionsblock **33b** nachgebildet. Die zweite Istgröße $x_{f,ist}$ wird mittels des Differenzierers **32b** nach der Zeit t abgeleitet und solchermassen eine zweite Istgeschwindigkeit $v_{f,ist}$ berechnet. Die in [Fig. 13](#) dargestellten runden Symbole sind jeweils Subtrahierer, die eine Ausgangsgröße von der anderen Ausgangsgröße abziehen und die Differenz ausgeben. Die in Funktionsblöcken (eckige Kästen) angegebenen Funktionen sind die Übertragungsfunktionen der Funktionsblöcke.

[0054] Index f kennzeichnet dabei, dass es sich um einen Parameter der zweiten Antriebsachse **20b** handelt. Der Index f kann dabei hoch oder tief gestellt sein.

[0055] Für die Übertragungsfunktion $F(s)$ der zweiten Antriebsachse **20b** ergibt sich somit im Rahmen des Ausführungsbeispiels

$$F(s) = \frac{X_{f,ist}(s)}{D(s)} = \frac{1}{1 + s \frac{1}{Kv_f} + s^2 \frac{1}{Kv_f} Kr_f \tau^f + s^3 \frac{1}{Kv_f} \tau^f T_m^f + s^4 \frac{1}{Kv_f} T_{ers}^f \tau^f T_m^f} \quad (7)$$

mit

Kv_f	Regelverstärkung Lageregler
Kr_f	Regelverstärkung Drehzahlregler
τ^f	Integrierzeitkonstante des Drehzahlreglers
T_{ers}^f	Ersatzzeitkonstante des Stromregelkreises
T_m^f	Mechanische Zeitkonstante
$D(s)$:	Laplace Transformierte der Differenz d (siehe Fig. 8 und Fig. 9)

[0056] Die Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters **27** ergibt sich somit durch Einsetzen von Gleichung (6) und Gleichung (7) in Gleichung (4) zu:

$$V(s) = \frac{1 + s \left(\frac{1}{Kv_c} - \frac{1}{Kv_f} \right) + s^2 \left(\frac{Kr_c \tau^c}{Kv_c} - \frac{Kr_f \tau^f}{Kv_f} \right) + s^3 \left(\frac{\tau^c T_m^c}{Kv_c} - \frac{\tau^f T_m^f}{Kv_f} \right) + s^4 \left(\frac{T_{ers}^c \tau^c T_m^c}{Kv_c} - \frac{T_{ers}^f \tau^f T_m^f}{Kv_f} \right)}{1 + s \frac{1}{Kv_c} + s^2 \frac{Kr_c \tau^c}{Kv_c} + s^3 \frac{\tau^c T_m^c}{Kv_c} + s^4 \frac{T_{ers}^c \tau^c T_m^c}{Kv_c}}$$

(8)

[0057] Die Übertragungsfunktion $V(s)$ ist realisierbar.

[0058] Wie man anhand der Gleichung (8) erkennt, ergibt sich eine einfache Parametrierbarkeit des Filters.

[0059] Je nach dem, wie genau die Übertragungsfunktionen $G(s)$ und $F(s)$, welche das Übertragungsverhalten der jeweilig zugeordneten Antriebsachse angeben, aufgestellt werden, ergibt sich ein wirksames oder sehr wirksames Filter, so dass eine deutliche oder sehr deutliche Reduzierung von Konturfehlern durch die Erfindung erzielt wird. Wenn die Terme quadratischer und höherer Ordnung in Gleichung (8) vernachlässigt werden, ergibt sich die Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters zu

$$V(s) = \frac{1 + s \left(\frac{1}{Kv_c} - \frac{1}{Kv_f} \right)}{1 + s \frac{1}{Kv_c}} \quad (9)$$

[0060] Es hat sich gezeigt, dass selbst wenn die Übertragungsfunktion des Filters vereinfacht gemäß Gleichung (9) gewählt wird, sich immer noch eine sehr deutliche Reduzierung von Konturfehlern ergibt.

[0061] Die Inverse Laplace-Transformation (10) ist definiert zu:

$$x(t) = L^{-1}[X(s)](t) := \frac{1}{2\pi j} \oint X(s) e^{st} ds, \quad t > 0 \quad (10)$$

[0062] Die sogenannte Faltungsregel der Laplace-Transformation lautet:

$$L^{-1}[X(s) \cdot Y(s)] = x(t) * y(t) = \int_0^t x(t-\tau) \cdot y(\tau) d\tau \quad (11)$$

[0063] Unter Zuhilfenahme der Gleichungen (10) und (11) ergibt sich die gefilterte erste Sollgröße x_{sollg} somit zu

$$\begin{aligned} X_{\text{sollg}}(t) &= L^{-1}[X_{\text{sollg}}(s)](t) \\ &= L^{-1}[V(s) \cdot X_{\text{soll}}(s)](t) \\ &= L^{-1}[V(s)](t) \cdot L^{-1}[X_{\text{soll}}(s)](t) \\ &= L^{-1}[V(s)](t) \cdot x_{\text{soll}}(t), \quad t > 0 \end{aligned} \quad (12)$$

[0064] In [Fig. 10](#) ist in Form einer schematisierten blockförmigen Darstellung ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Antriebssystems dargestellt. Das erfindungsgemäße Antriebssystem gemäß [Fig. 10](#) entspricht dabei dem aus dem Stand der Technik bekannten Antriebssystem gemäß [Fig. 4](#), wobei erfindungsgemäß ein Filter **27**, das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ aufweist, eingefügt wurde. Gleiche Elemente sind in [Fig. 10](#) mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in [Fig. 4](#). Erfindungsgemäß wird die erste Sollgröße $x_{c,\text{soll}}$ mittels des Filters **27** gefiltert und solchermaßen eine gefilterte erste Sollgröße $x_{c,\text{sollg}}$ ermittelt.

[0065] Anschließend wird die Summe von der gefilterten ersten Sollgröße $x_{c,\text{sollg}}$ und einer zweiten Sollgröße $x_{f,\text{soll}}$ ermittelt und solchermaßen eine Summengröße sg ermittelt. Anschließend wird die Differenz d' von der Summengröße sg und der ersten Istgröße $x_{c,\text{ist}}$ ermittelt indem die erste Istgröße $x_{c,\text{ist}}$ von der Summengröße sg subtrahiert wird. Die Differenz d' wird als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils der zweiten Regelung **16b** zugeführt.

[0066] In [Fig. 11](#) ist das zu [Fig. 10](#) zugehörige Blockfunktionsdiagramm dargestellt. Die erste Antriebsachse **20a** weist dabei die Übertragungsfunktion $G(s)$ auf und die zweite Antriebsachse **20b** weist die Übertragungsfunktion $F(s)$ auf. Das Filter **27** weist die Übertragungsfunktion $V(s)$ auf. Die Bezugszeichen stimmen mit den in [Fig. 8](#) dargestellten Elementen überein.

[0067] Für die Übertragungsfunktionen $G(s)$, $H(s)$ und die Übertragungsfunktionen $V(s)$ des Filters **27** des zweiten Ausführungsbeispiels gelten entsprechend die Gleichungen (1), (2), (4) und (6) bis (9) und die diesbezügliche obenstehende Beschreibung zum ersten Ausführungsbeispiel, so dass an dieser Stelle auf die Beschreibung zum ersten Ausführungsbeispiel verwiesen wird, wobei in Gleichung (6) $X_{\text{soll}}(s)$ gegen $X_{c,\text{soll}}(s)$ und in Gleichung (7) $D(s)$ gegen $D'(s)$ zu ersetzen ist. $D'(s)$ ist die Laplace Transformierte der Differenz d' (siehe [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#)). Die Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filter **27** gemäß [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) (zweites Ausführungsbeispiel) stimmt mit der Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filter **27** gemäß [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) (erstes Ausführungsbeispiel) überein.

[0068] Entsprechend den Gleichungen (10) und (11) ergibt sich im zweiten Ausführungsbeispiel die gefilterte erste Sollgröße $x_{c,\text{sollg}}$ somit zu:

$$\begin{aligned}
x_{c,sollg}(t) &= L^{-1}[X_{c,sollg}(s)](t) \\
&= L^{-1}[V(s) \cdot X_{c,soll}(s)](t) \\
&= L^{-1}[V(s)](t) \cdot L^{-1}[X_{c,soll}(s)](t) \\
&= L^{-1}[V(s)](t) \cdot x_{c,soll}(t), t > 0
\end{aligned} \tag{13}$$

[0069] Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die erste Regelung **16a**, die zweite Regelung **16b**, der Subtrahierer **22** und der Addierer **28** in der Regel in Form von ausführbarem Softwarecode realisiert sind, der von einem Einzelprozessor oder mehreren Prozessoren ausgeführt wird. Die Prozessoren können dabei physikalisch in einer einzelnen oder in unterschiedlichen Komponenten des Antriebssystems angeordnet sein.

[0070] Weiterhin sei an dieser Stelle angemerkt, dass die oben aufgeführten mathematischen Herleitungen für den ganz allgemeinen zeitkontinuierlichen Fall aufgestellt wurden. Für den Spezialfall von zeitdiskreten Systemen geht die allgemeine kontinuierliche Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters in die zeitdiskrete Übertragungsfunktion $V(z = e^{sT})$ über, wobei T die Abtastzeit ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewegung eines Maschinenelements (**8**) einer Maschine (**36**) aus der Automatisierungstechnik,

- wobei die Bewegung des Maschinenelements (**8**) einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$, $x_{f,ist}$) aufweist, welche in einer gemeinsamen Richtung (X) verlaufen,
- wobei der erste Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) mittels einer ersten Antriebsachse (**20a**) durchgeführt wird und der zweite Bewegungsanteil ($x_{f,ist}$) mittels einer zweiten Antriebsachse (**20b**) durchgeführt wird,
- wobei die erste Antriebsachse (**20a**) eine erste Regelung (**16a**) und die zweite Antriebsachse (**20b**) eine zweite Regelung (**16b**) aufweist,
- wobei die Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) durch die erste Regelung (**16a**) erfolgt und die Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) durch die zweite Regelung (**16b**) erfolgt,
- wobei eine erste Sollgröße (x_{soll}) für eine Gesamtbewegung (x_{ist}), die sich aus erstem und zweiten Bewegungsanteil zusammensetzt, als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei eine gemessene, den ersten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) angegebende erste Istgröße ($x_{c,ist}$) als Regelistgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei die erste Sollgröße (x_{soll}) mittels eines Filters (**27**), das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ($V(s)$) aufweist, gefiltert wird und solchermaßen eine gefilterte erste Sollgröße (x_{sollg}) ermittelt wird,
- wobei die Differenz (d) von der gefilterten ersten Sollgröße (x_{sollg}) und der ersten Istgröße ($x_{c,ist}$) ermittelt wird und als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) der zweiten Regelung (**16b**) zugeführt wird,
- wobei die frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters (**27**)

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)}$$

ist, wobei $G(s)$ die Übertragungsfunktion der ersten Antriebsachse (**20a**) und $F(s)$ die Übertragungsfunktion der zweiten Antriebsachse (**20b**) ist und

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist.

2. Verfahren zur Bewegung eines Maschinenelements (**8**) einer Maschine (**36**) aus der Automatisierungstechnik,

- wobei die Bewegung des Maschinenelements (**8**) einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$, $x_{f,ist}$) aufweist, welche in einer gemeinsamen Richtung (X) verlaufen,
- wobei der erste Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) mittels einer ersten Antriebsachse (**20a**) durchgeführt wird und der zweite Bewegungsanteil ($x_{f,ist}$) mittels einer zweiten Antriebsachse (**20b**) durchgeführt wird,
- wobei die erste Antriebsachse (**20a**) eine erste Regelung (**16a**) und die zweite Antriebsachse (**20b**) eine zweite Regelung (**16b**) aufweist,
- wobei die Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) durch die erste Regelung (**16a**) erfolgt und die Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) durch die zweite Regelung (**16b**) erfolgt,
- wobei eine erste Sollgröße ($x_{c,soll}$) als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,

- wobei eine gemessene, den ersten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) angegebende erste Istgröße als Regelgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei die erste Sollgröße ($x_{c,soll}$) mittels eines Filters (**27**), das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ($V(s)$) aufweist, gefiltert wird und solchermassen eine gefilterte erste Sollgröße ($x_{c,sollg}$) ermittelt wird,
- wobei die Summe von der gefilterten ersten Sollgröße ($x_{c,sollg}$) und einer zweiten Sollgröße ($x_{f,soll}$) ermittelt wird und solchermassen eine Summengröße (sg) ermittelt wird,
- wobei die Differenz (d) von der Summengröße (sg) und der ersten Istgröße ($x_{c,ist}$) ermittelt wird und als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) der zweiten Regelung (**16b**) zugeführt wird,
- wobei die frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters (**27**)

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)}$$

ist, wobei $G(s)$ die Übertragungsfunktion der ersten Antriebsachse (**20a**) und $F(s)$ die Übertragungsfunktion der zweiten Antriebsachse (**20b**) ist und

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine (**36**) als Werkzeugmaschine ausgebildet ist.

4. Antriebssystem,

- wobei mittels des Antriebssystems eine Bewegung eines Maschinenelements (**8**) einer Maschine (**36**) aus der Automatisierungstechnik erfolgt,
- wobei die Bewegung des Maschinenelements (**8**) einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$, $x_{f,ist}$) aufweist, welche in einer gemeinsamen Richtung (X) verlaufen,
- wobei das Antriebssystem eine erste und eine zweite Antriebsachse aufweist,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass der erste Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) mittels einer ersten Antriebsachse (**20a**) durchgeführt wird und der zweite Bewegungsanteil ($x_{f,ist}$) mittels einer zweiten Antriebsachse (**20b**) durchgeführt wird,
- wobei die erste Antriebsachse (**20a**) eine erste Regelung (**16a**) und die zweite Antriebsachse (**20b**) eine zweite Regelung (**16b**) aufweist,
- wobei die Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) durch die erste Regelung (**16a**) erfolgt und die Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) durch die zweite Regelung (**16b**) erfolgt,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass eine erste Sollgröße (x_{soll}) für eine Gesamtbewegung (x_{ist}), die sich aus erstem und zweiten Bewegungsanteil zusammensetzt, als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass eine gemessene, den ersten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) angegebende erste Istgröße ($x_{c,ist}$) als Regelgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass die erste Sollgröße (x_{soll}) mittels eines Filters (**27**), das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ($V(s)$) aufweist, gefiltert wird und solchermassen eine gefilterte erste Sollgröße (x_{sollg}) ermittelt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass die Differenz (d) von der gefilterten ersten Sollgröße (x_{sollg}) und der ersten Istgröße ($x_{c,ist}$) ermittelt wird und als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) der zweiten Regelung (**16b**) zugeführt wird,
- wobei die frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters (**27**)

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)}$$

ist, wobei $G(s)$ die Übertragungsfunktion der ersten Antriebsachse (**20a**) und $F(s)$ die Übertragungsfunktion der zweiten Antriebsachse (**20b**) ist und

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist.

5. Antriebssystem,

- wobei mittels des Antriebssystems eine Bewegung eines Maschinenelements (**8**) einer Maschine (**36**) aus der Automatisierungstechnik erfolgt,
- wobei die Bewegung des Maschinenelements (**8**) einen ersten und einen zweiten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$, $x_{f,ist}$) aufweist, welche in einer gemeinsamen Richtung (X) verlaufen,
- wobei das Antriebssystem eine erste und eine zweite Antriebsachse aufweist,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass der erste Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) mittels einer ersten Antriebsachse (**20a**) durchgeführt wird und der zweite Bewegungsanteil ($x_{f,ist}$) mittels einer zweiten Antriebsachse (**20b**) durchgeführt wird,
- wobei die erste Antriebsachse (**20a**) eine erste Regelung (**16a**) und die zweite Antriebsachse (**20b**) eine zweite Regelung (**16b**) aufweist,
- wobei die Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) durch die erste Regelung (**16a**) erfolgt und die Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) durch die zweite Regelung (**16b**) erfolgt,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass eine erste Sollgröße ($x_{c,soll}$) als Regelsollgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass eine gemessene, den ersten Bewegungsanteil ($x_{c,ist}$) angegebende erste Istgröße als Regelistgröße zur Regelung des ersten Bewegungsanteils ($x_{c,ist}$) der ersten Regelung (**16a**) zugeführt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass die erste Sollgröße ($x_{c,soll}$) mittels eines Filters (**27**), das eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ($V(s)$) aufweist, gefiltert wird und solchermaßen eine gefilterte erste Sollgröße ($x_{c,sollg}$) ermittelt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass die Summe von der gefilterten ersten Sollgröße ($x_{c,sollg}$) und einer zweiten Sollgröße ($x_{f,soll}$) ermittelt wird und solchermaßen eine Summengröße (sg) ermittelt wird,
- wobei das Antriebssystem derart ausgebildet ist, dass die Differenz (d) von der Summengröße (sg) und der ersten Istgröße ($x_{c,ist}$) ermittelt wird und als Regelsollgröße zur Regelung des zweiten Bewegungsanteils ($x_{f,ist}$) der zweiten Regelung (**16b**) zugeführt wird,
- wobei die frequenzabhängige Übertragungsfunktion $V(s)$ des Filters (**27**)

$$V(s) = 1 + G(s) - \frac{G(s)}{F(s)}$$

ist, wobei $G(s)$ die Übertragungsfunktion der ersten Antriebsachse (**20a**) und $F(s)$ die Übertragungsfunktion der zweiten Antriebsachse (**20b**) ist und

$$s = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f + \sigma$$

ist, wobei f die Frequenz ist und j die imaginäre Einheit ist und σ der Realteil von s ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1
(Stand der Technik)

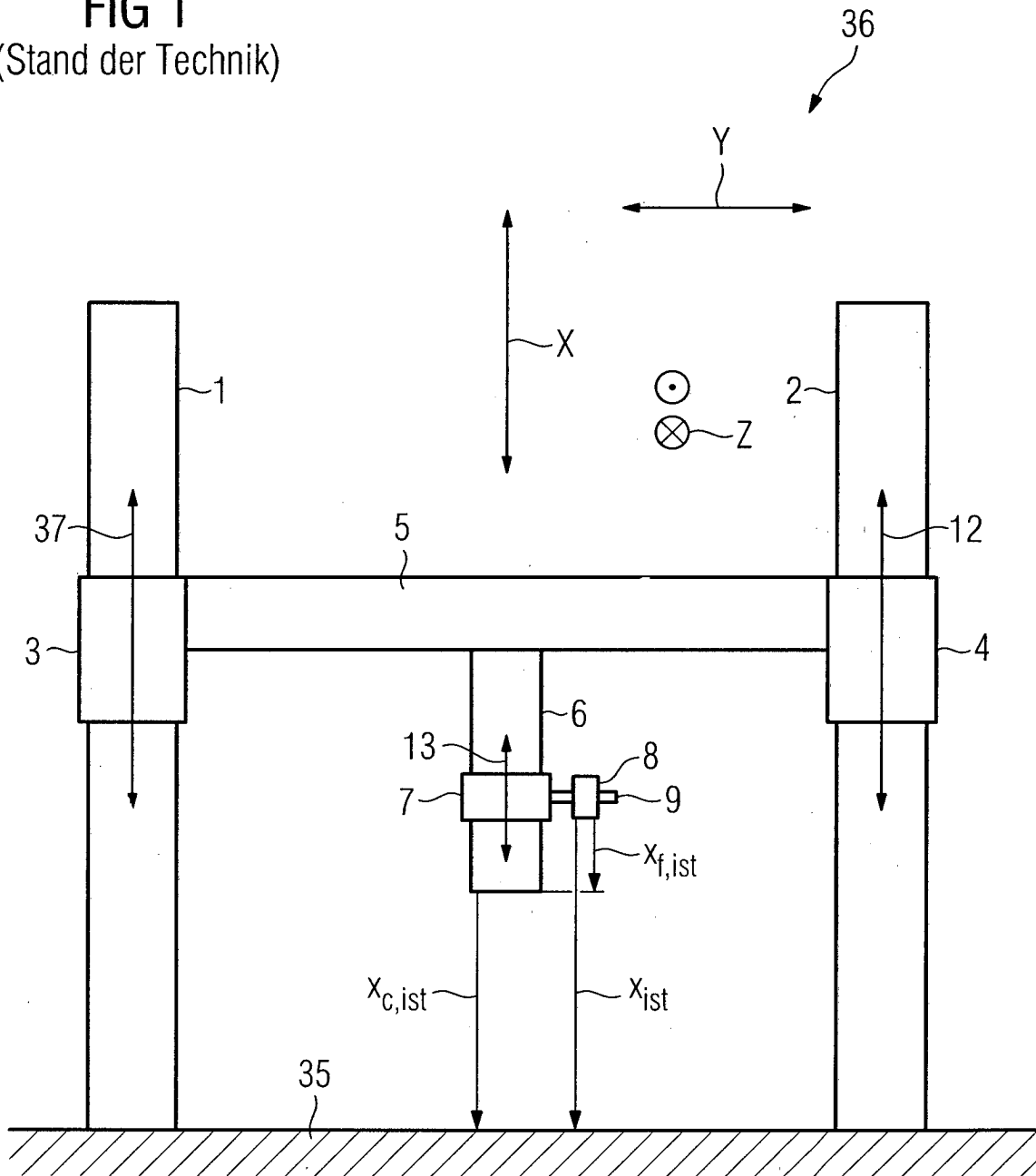


FIG 2
(Stand der Technik)

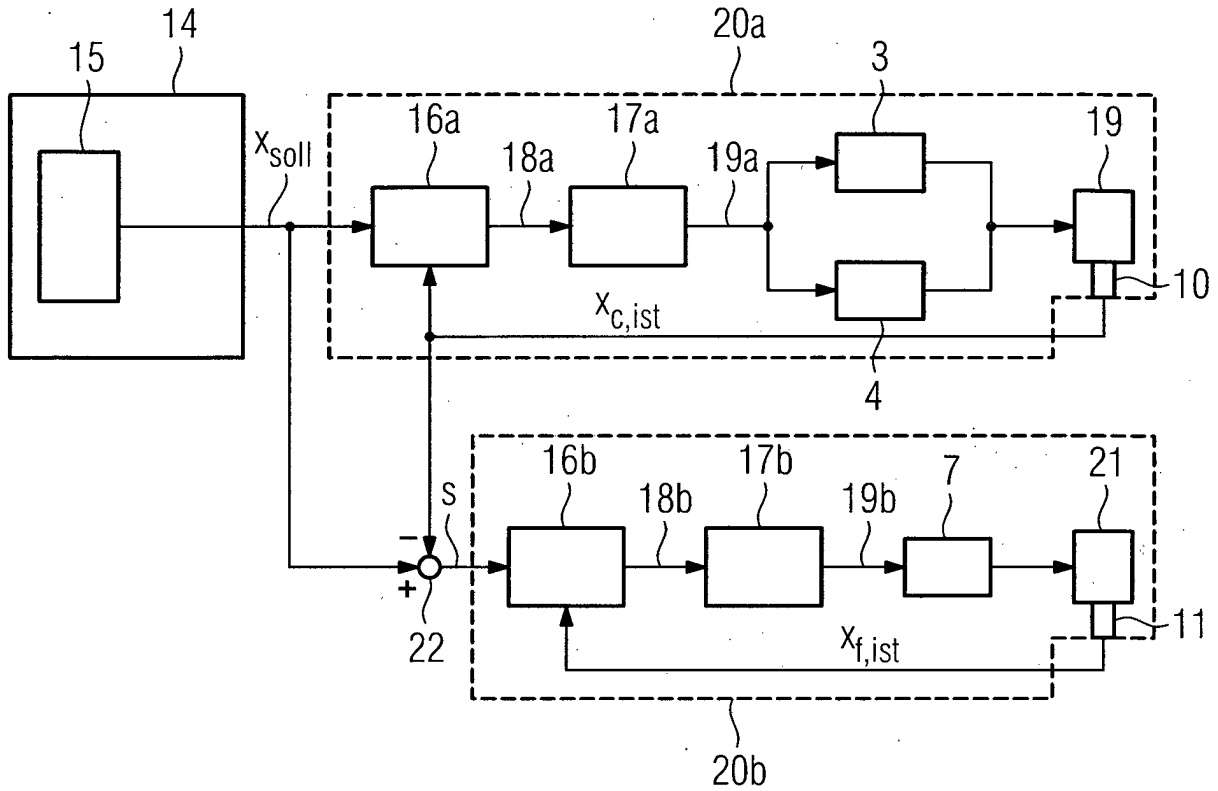


FIG 3
(Stand der Technik)

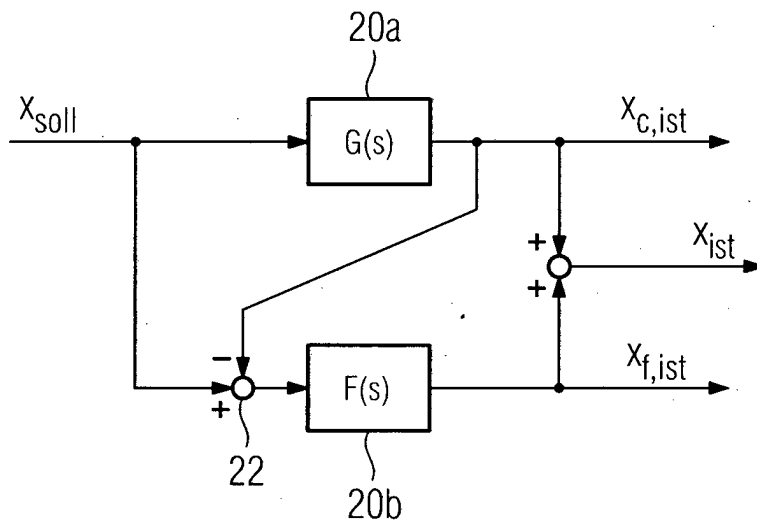


FIG 4
(Stand der Technik)

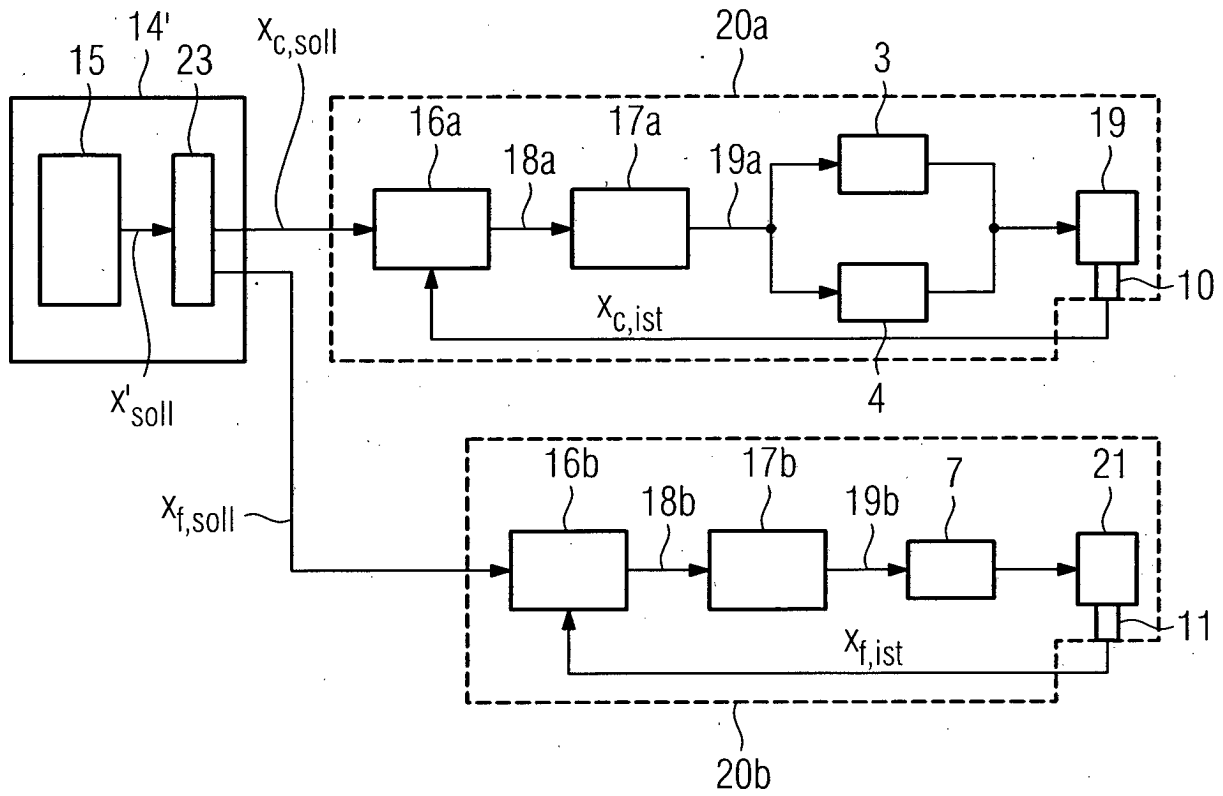


FIG 5
(Stand der Technik)

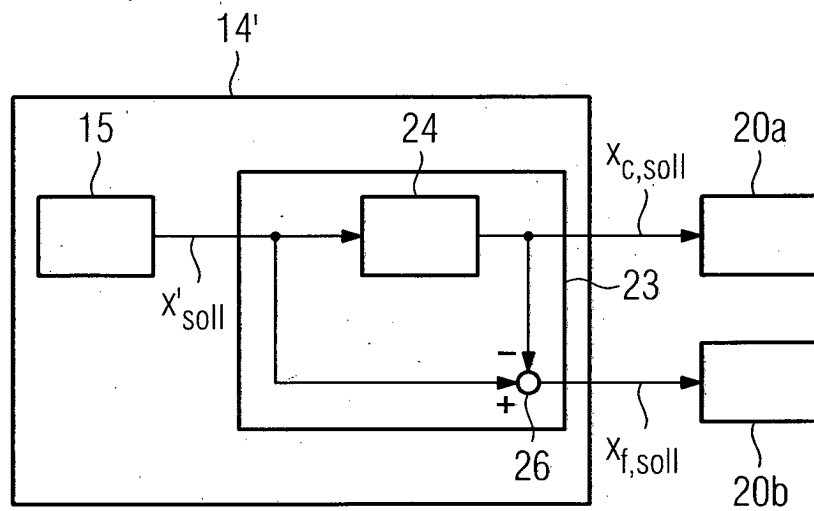


FIG 6
(Stand der Technik)

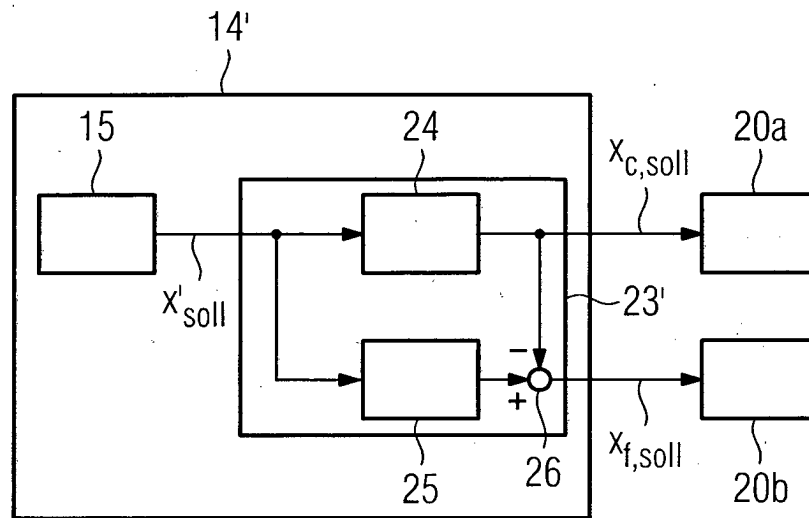


FIG 7
(Stand der Technik)

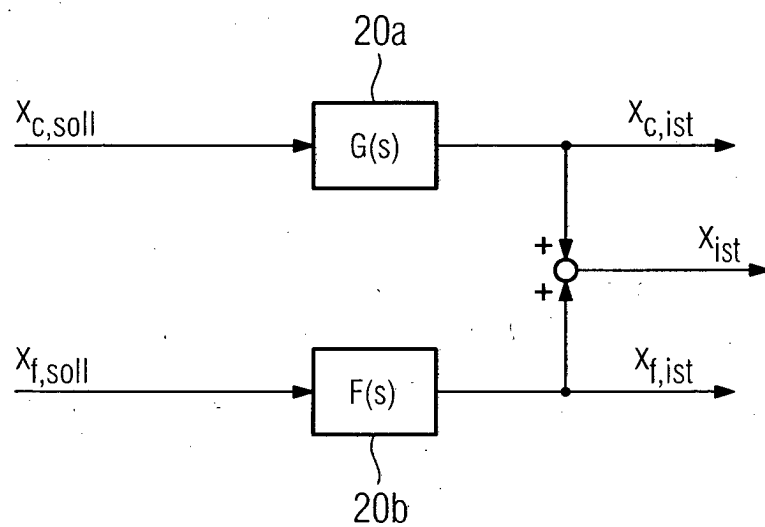


FIG 8

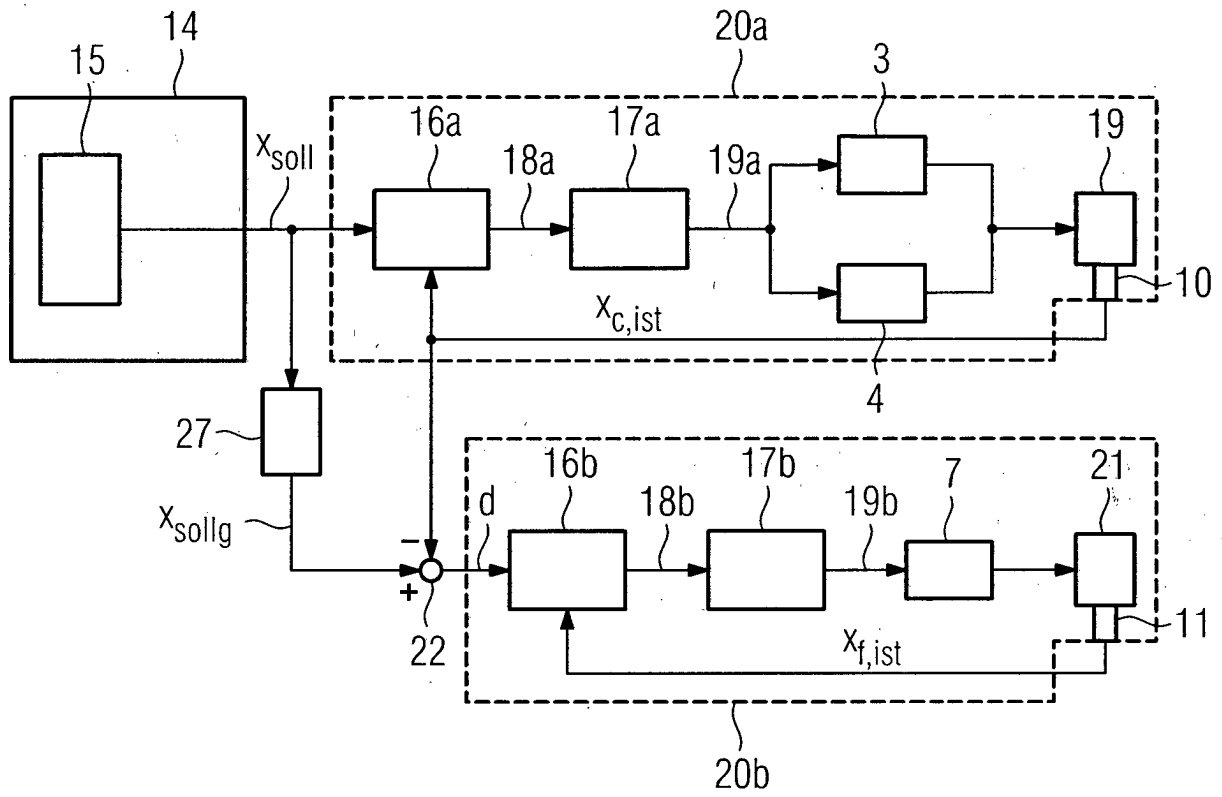


FIG 9

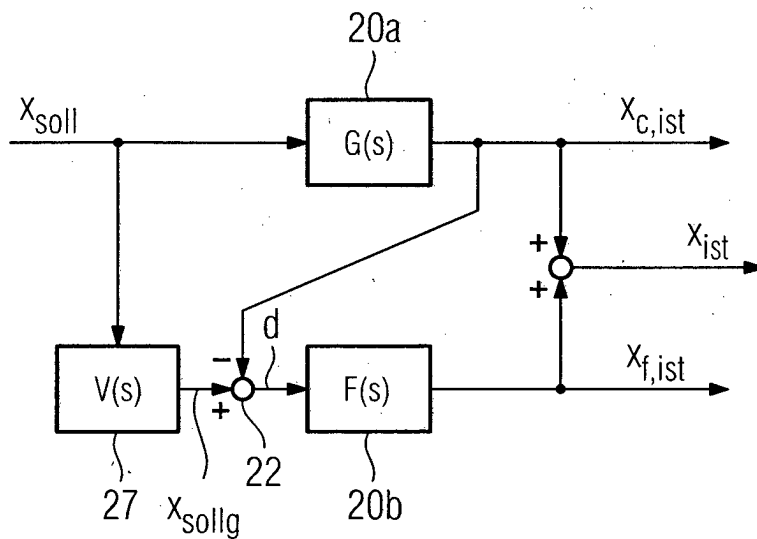


FIG 10

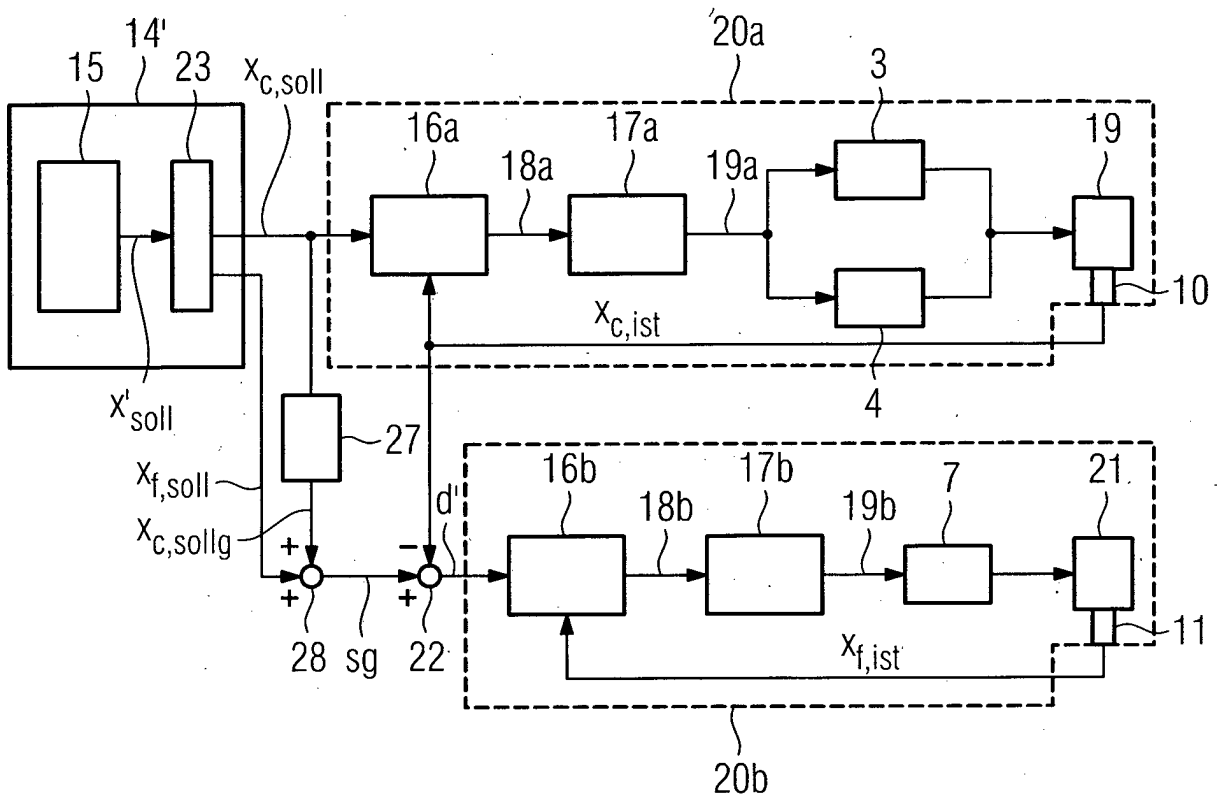


FIG 11

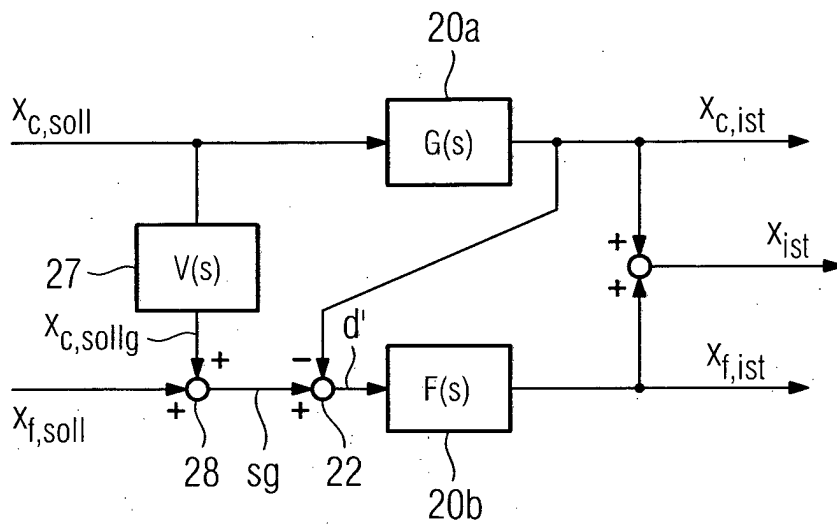


FIG 12

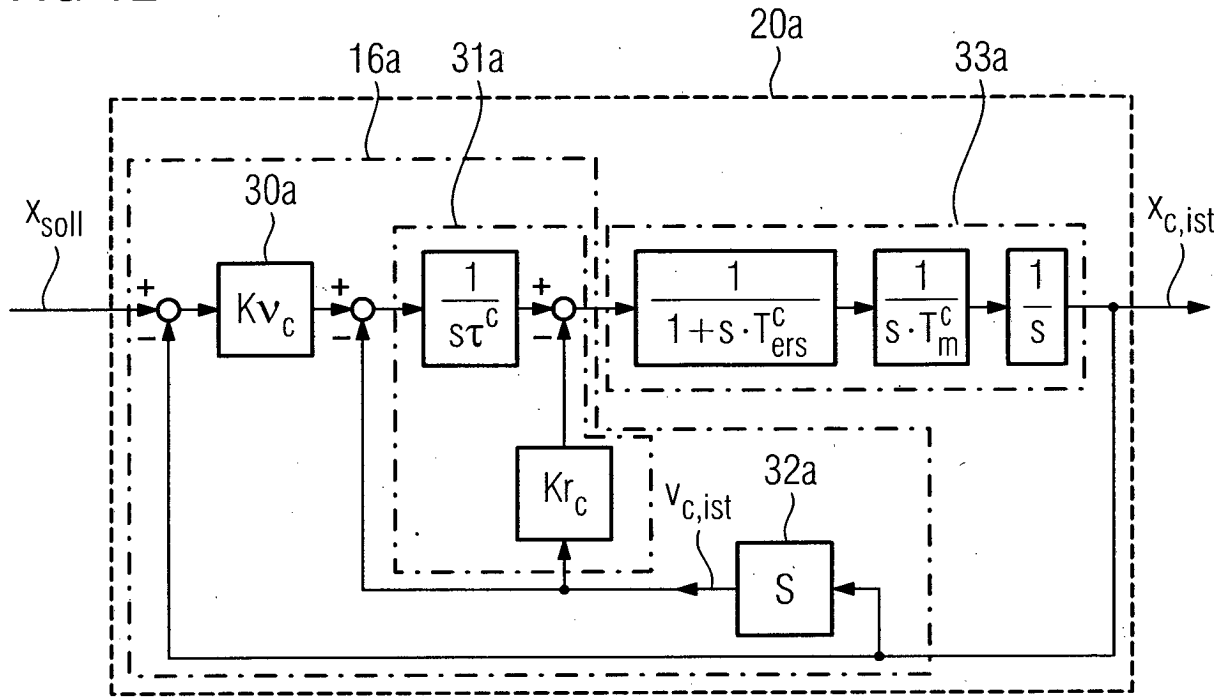


FIG 13

