(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 454 033 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
**30.04.2014 Patentblatt 2014/18**

(21) Anmeldenummer: **10732933.6**

(22) Anmeldetag: **09.07.2010**

(51) Int Cl.:
***B21B 37/50*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
**PCT/EP2010/059941**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
**WO 2011/006851 (20.01.2011 Gazette 2011/03)**

(54) **Bandzug- und Schlingenregelung**

Ribbon stroke and loop control

Réglage du feuillard et des n'uds

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **15.07.2009 EP 09165549**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
**23.05.2012 Patentblatt 2012/21**

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

(72) Erfinder:
- **TAUTZ, Wilfried**
  **91301 Forchheim (DE)**
- **WOHLD, Dietrich**
  **91462 Rauschenberg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 0 710 513**
**DE-T2- 69 412 099**
**JP-A- 62 296 905**
**US-A- 5 701 774**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 454 033 B1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Regelverfahren zum Regeln eines Istzuges, der in einem zwischen zwei Walzgerüsten eingespannten Band herrscht, auf einen Sollzug und einer Iststellung eines zwischen den zwei Walzgerüsten angeordneten, an das Band angestellten Schlingenhebers auf eine Sollstellung.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode aufweist, der von einer Regeleinrichtung unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch die Regeleinrichtung bewirkt, dass die Regeleinrichtung ein derartiges Regelverfahren ausführt.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Regeleinrichtung, die derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein derartiges Regelverfahren ausführt.

**[0004]** Beim Walzen von Bändern - insbesondere von Metallbändern - in mehrgerüstigen Walzstraßen wird in der Regel in den einzelnen Bandabschnitten (das heißt in den Abschnitten des Bandes, die sich zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden, das Band walzenden Walzgerüsten der Walzstraße befinden) ein Bandzug eingestellt. Aus technologischen Gründen - beispielsweise zur Einhaltung der Dicken- und Breitenkonstanz des Bandes - soll der Bandzug möglichst konstant gehalten werden. Zum Einstellen des Bandzuges wird in der Regel ein Geschwindigkeitszusatzsollwert ermittelt, der auf eines der beiden den Bandabschnitt begrenzenden Walzgerüste wirkt. Weiterhin wird eine Anstellung eines Schlingenhebers eingestellt, der zwischen den zwei aufeinander folgenden Walzgerüsten angeordnet ist und an das Band angestellt ist.

**[0005]** Auch zum Erfassen des Bandzuges werden im Stand der Technik oftmals die Schlingenheber verwendet. Das Anstellen der Schlingenheber erfolgt im Stand der Technik mittels eines elektrischen Antriebs (seltener) oder einer Hydraulikzylindereinheit (häufiger).

**[0006]** Mittels des Schlingenhebers wird nicht nur der Zug im Band gemessen. Weiterhin wird über die Auslenkung des Schlingenhebers auch eine Menge an Band eingestellt, die im jeweiligen Bandabschnitt gepuffert ist (Schlinge).

**[0007]** Nicht nur der im Band herrschende Zug, sondern auch die Stellung des Schlingenhebers müssen geregelt werden. So kann insbesondere der Schlingenheber erst nach dem Einfädeln des Bandes in seine angehobene Stellung gebracht werden, in welcher er das Band auslenkt. Auch muss der Schlingenheber vor dem Ausfädeln des Bandes wieder abgesenkt werden. Wie sich aus einfachen geometrischen Überlegungen ergibt, beeinflusst ein Verstellen des Schlingenhebers direkt die im Bandabschnitt befindliche Länge des Bandes und damit indirekt den Bandzug. Die Schlingenregelung ist daher mit der Zugregelung verkoppelt.

**[0008]** Aus dem Fachaufsatz "Development of Looper Tension Control System for Hot Strip Mill" von C. J. Park et al., Proceedings of the IASTED International Conference, Applied Simulation and Modelling 2000, 24. bis 26. Juli 2000, Banff, Alberta, Kanada, Seiten 423 bis 427, ist ein Regelverfahren zum Regeln eines Istzuges, der in einem zwischen zwei Walzgerüsten eingespannten Band herrscht, auf einen Sollzug und einer Iststellung eines zwischen den beiden Walzgerüsten angeordneten, an das Band angestellten Schlingenhebers auf eine Sollstellung bekannt, die einen Zugregler und einen Schlingenregler umfasst. Dem Zugregler werden der Sollzug und der Istzug zugeführt. Dem Schlingenregler werden die Sollstellung und die Iststellung zugeführt. Beide Regler sind als PI-Regler ausgebildet. Beide Regler ermitteln jeweils ein Ausgangssignal. Beide Ausgangssignale wirken sowohl auf die Walzgeschwindigkeit des vor- bzw. nachgeordneten Walzgerüsts und auf die Stellung des Schlingenhebers. Jede der insgesamt vier Wirkungen ist über einen entsprechenden Verstärkungsfaktor eingestellt.

**[0009]** Dem Fachaufsatz "Application of ILQ control theory to steel rolling processes" von H. Imanari et al., Proceedings of The 7th International Conference on Steel Rolling 1998, Chiba, Japan, Seiten 36 bis 41, ist ein im Wesentlichen gleichgelagerter Offenbarungsgehalt zu entnehmen.

**[0010]** Die aus den Fachaufsätzen bekannten Regelverfahren stellen einen Fortschritt gegenüber den konventionellen Regelverfahren dar. Sie arbeiten mit einer Entkopplung der Regeleingriffe voneinander.

**[0011]** Aus der EP 0 710 513 A1 ist ein Regelverfahren bekannt, mittels dessen ein in einem zwischen zwei Walzgerüsten eingespannten Band herrschender Istzug auf einen Sollzug und eine Iststellung eines zwischen den zwei Walzgerüsten angeordneten, an das Band angestellten Schlingenhebers auf eine Sollstellung geregelt werden. Zu diesem Zweck werden einem Zugregler für den Sollzug und den Istzug charakteristische Werte zugeführt. Weiterhin werden die Sollstellung und die Iststellung einem Schlingenregler zugeführt. Der Zugregler ermittelt anhand der ihm zugeführten charakteristischen Werte ein Zugausgleichssignal. Der Schlingenregler ermittelt anhand der Sollstellung und der Iststellung ein Schlingenausgleichssignal. In Abhängigkeit von dem Zugausgleichssignal und dem Schlingenausgleichssignal werden eine Verstellgeschwindigkeit für den Schlingenheber und ein Geschwindigkeitszusatzsollwert für das vorgeordnete oder das nachgeordnete Walzgerüst ermittelt. Aus der EP 0 710 513 A1 ist weiterhin bekannt, dass die Ansteuerung des entsprechenden Walzgerüsts und des Schlingenhebers sich gegenseitig beeinflussen.

**[0012]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer bewirkt wird, dass Eingriffe des Schlingenreglers keine oder nur eine sehr geringe Auswirkung auf den Istzug haben und Eingriffe des Zugreglers mit hoher Dynamik erfolgen.

**[0013]** Die Aufgabe wird durch ein Regelverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Regelverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis

8.

**[0014]** Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Weiterhin wird die Aufgabe durch eine Regeleinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst.

**[0015]** Bei dem erfindungsgemäßen Regelverfahren ist vorgesehen,

- dass einem Zugregler für den Sollzug und für den Istzug charakteristische Werte zugeführt werden,
- dass der Zugregler anhand der ihm zugeführten charakteristischen Werte ein Zugausgleichssignal ermittelt, das einen Integralanteil umfasst,
- dass anhand des Integralanteils ein erster Geschwindigkeitszusatzsollwert für mindestens eines der zwei Walzgerüste ermittelt wird,
- dass der Integralanteil zeitlich verzögert wird,
- dass anhand der Differenz von Zugausgleichssignal und verzögertem Integralanteil ein erster Sollverstellgeschwindigkeitsanteil für den Schlingenheber ermittelt wird,
- dass die Sollstellung und die Iststellung einem Schlingenregler zugeführt werden, der anhand der Sollstellung und der Iststellung ein Schlingenausgleichssignal ermittelt,
- dass durch Verzögern des Schlingenausgleichssignals ein zweiter Sollverstellgeschwindigkeitsanteil für den Schlingenheber ermittelt wird,
- dass anhand des Schlingenausgleichssignals ein zweiter Geschwindigkeitszusatzsollwert für das mindestens eine der zwei Walzgerüste ermittelt wird,
- dass die Summe von erstem und zweitem Geschwindigkeitszusatzsollwert an eine Drehzahlregelung für das mindestens eine der zwei Walzgerüste ausgegeben wird und
- dass an eine Verstelleinheit, mittels derer die Stellung des Schlingenhebers eingestellt wird, eine resultierende Sollverstellgeschwindigkeit ausgegeben wird, in die als Summanden der erste und der zweite Sollgeschwindigkeitsanteil eingehen.

**[0016]** Die Begriffe "Zugausgleichssignal" und "Schlingenausgleichssignal" wurden so gewählt, weil sie zum Ausdruck bringen, von welchem Regler sie stammen, welcher Regelabweichung sie entgegen wirken sollen und um sie sprachlich voneinander unterscheiden zu können. Eine weitergehende Bedeutung kommt der Wortwahl nicht zu. Man hätte die beiden Signale ebenso als "Ausgangssignal des Zugreglers" und "Ausgangssignal des Schlingenreglers" bezeichnen können.

**[0017]** Zur korrekten Anpassung der von jeweils einem der beiden Regler vorgenommenen Eingriffe ist vorzugsweise vorgesehen, dass bei der Ermittlung der Geschwindigkeitszusatzsollwerte relativ zu den Sollverstellgeschwindigkeitsanteilen die Ableitung der Länge des zwischen den zwei Walzgerüsten eingespannten Bandes nach der Stellung des Schlingenhebers berücksichtigt wird.

**[0018]** Im Rahmen des Ermittelns der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit werden sowohl der Integralanteil des Zugausgleichssignals als auch das Schlingenausgangssignal zeitlich verzögert. Das Regelverfahren kann daher dadurch vereinfacht werden, dass im Rahmen des Ermittelns der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit der unverzögerte Integralanteil von einem modifizierten Schlingenausgleichssignal subtrahiert wird, die sich ergebende Differenz verzögert wird und die verzögerte Differenz zum Zugausgleichssignal addiert wird, wobei das modifizierte Schlingenausgleichssignal durch Skalieren des Schlingenausgleichssignals mit einem die Ableitung berücksichtigenden Wert ermittelt wird.

**[0019]** Es ist möglich, dass der für den Istzug charakteristische Wert direkt gemessen wird. In der Regel jedoch ist der Wert entweder nicht oder zumindest nicht einfach messbar. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist daher bevorzugt, dass der für den Istzug charakteristische Wert indirekt anhand gemessener Größen mittels eines Bandzugbeobachters ermittelt wird. Bandzugbeobachter als solche sind Fachleuten bekannt.

**[0020]** In der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit ist - unter anderem - der erste Sollverstellgeschwindigkeitsanteil enthalten, der vom Zugregler ermittelt wird. In vielen Fällen wird weiterhin dem Bandzugbeobachter die resultierende Sollverstellgeschwindigkeit zugeführt, also die Summe der Sollverstellgeschwindigkeitsanteile. Auf Grund dieses Umstands entsteht innerhalb der Regelung eine Mitkopplung. Die Mitkopplung kann zur Instabilität des Zugreglers führen. Vorzugsweise ist daher vorgesehen, dass anhand von für die Stabilität des Zugreglers charakteristischen Größen dynamisch eine Ersatzzeitkonstante für den Bandzugbeobachter ermittelt wird und der Bandzugbeobachter den für den Istzug charakteristischen Wert unter Berücksichtigung der Ersatzzeitkonstante ermittelt. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass anhand der für die Stabilität des Zugreglers charakteristischen Größen dynamisch eine Regelverstärkung für den Zugregler ermittelt wird und der Zugregler das Zugausgleichssignal unter Berücksichtigung der Regelverstärkung ermittelt.

**[0021]** In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Regelverfahrens ist weiterhin vorgesehen, dass dem Bandzugbeobachter eine Vorsteuerung parallel geschaltet ist. Dadurch kann die Dynamik, mittels derer der für den Istzug charakteristische Wert ermittelt wird, gesteigert werden.

**[0022]** In vielen Fällen ist es weiterhin von Vorteil,

- dass einem Momentregler der für den Sollzug charakteristische Wert, ein durch den Schlingenheber bewirktes Eigenmoment und ein von einer Verstelleinrichtung für den Schlingenheber bewirktes Verstellmoment zugeführt werden und
- dass der Momentregler einen Zusatzsollverstellgeschwindigkeitsanteil ermittelt, der ebenfalls als Summand in die resultierende Sollverstellgeschwindig-

keit eingeht.

**[0023]** Dadurch kann eine höhere Dynamik erreicht werden. Der Momentregler ist vorzugsweise als P-Regler (P = proportional) oder PD-Regler (= proportional-differenzial) ausgebildet.

**[0024]** Das erfindungsgemäße Computerprogramm ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ausführung seines Maschinencodes durch eine Regeleinrichtung bewirkt, dass die Regeleinrichtung ein erfindungsgemäßes Regelverfahren ausführt. Gleiches gilt in analoger Weise für die Regeleinrichtung selbst. Das Computerprogramm kann insbesondere auf einem Datenträger in maschinenlesbarer Form gespeichert sein.

**[0025]** Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

FIG 1 eine mehrgerüstige Walzstraße,
FIG 2 einen einzelnen Bandabschnitt,
FIG 3 eine Zugregelung,
FIG 4 eine Schlingenregelung,
FIG 5 eine mögliche Kombination der Zugregelung von FIG 3 und der Schlingenregelung von FIG 4,
FIG 6 ein Gesamtschaltbild mehrerer Regler,
FIG 7 ein weiteres Gesamtschaltbild mehrerer Regler und
FIG 8 eine mögliche Ergänzung eines Bandzugbeobachters.

**[0026]** Gemäß FIG 1 weist eine Walzstraße mehrere Walzgerüste 1 auf. Bei der Walzstraße kann es sich insbesondere um ein Warmwalzwerk handeln. Dargestellt sind in FIG 1 insgesamt drei Walzgerüste 1. In der Regel weist die Walzstraße jedoch mehr als drei Walzgerüste 1 auf, beispielsweise fünf bis acht Walzgerüste. In den Walzgerüsten 1 wird ein Band 2 gewalzt. Das Band 2 ist in der Regel ein Metallband, beispielsweise ein Stahlband, ein Aluminiumband oder ein Kupferband. Es kann jedoch aus einem anderen Material bestehen, beispielsweise ein Buntmetall oder ein Nichtmetall sein. Die Walzgerüste 1 werden zum Walzen des Bandes 2 mit einer für das jeweilige Walzgerüst 1 individuellen Walzgeschwindigkeit v angetrieben.

**[0027]** Zwischen jeweils zwei unmittelbar aufeinander folgenden Walzgerüsten 1 ist jeweils ein Schlingenheber 3 angeordnet. Jeder Schlingenheber 3 weist eine Schlingenheberrolle 4 auf, die an das Band 2 angestellt ist. Mittels der Schlingenheber 3 wird das Band 2 zwischen den Walzgerüsten 1 aus einer Walzlinie 5 (das heißt der direkten Verbindungslinie der Walzspalte der Walzgerüste 1 miteinander) ausgelenkt, in der Regel nach oben.

**[0028]** Zwischen den Walzgerüsten 1 (und in der Regel auch zwischen einem Abhaspel 6 und dem ersten der Walzgerüste 1 sowie zwischen dem letzten der Walzgerüste 1 und einem Aufhaspel 7) ist das Band 2 eingespannt. Im Band 2 herrscht daher ein Istzug Z. Der Istzug Z innerhalb jedes Bandabschnitts ist (selbstverständlich) einheitlich. In den einzelnen Bandabschnitten können die Istzüge Z untereinander gleich oder voneinander verschieden sein.

**[0029]** FIG 2 zeigt einen einzelnen Bandabschnitt einschließlich der beiden den Bandabschnitt begrenzenden Walzgerüste 1. Die beiden Walzgerüste 1 sind in FIG 2 mit den Bezugszeichen 1' und 1" versehen, um sie voneinander unterscheiden zu können. Die beiden Walzgerüste 1', 1" werden nachfolgend entsprechend ihrer Reihenfolge als vorderes Walzgerüst 1' und als hinteres Walzgerüst 1" bezeichnet. Es handelt sich bei dem in FIG 2 dargestellten Abschnitt um einen beliebigen Abschnitt.

**[0030]** Gemäß FIG 2 ist eine Regeleinrichtung 8 vorhanden. Die Regeleinrichtung 8 ist derart ausgebildet, dass sie im Betrieb ein Regelverfahren ausführt, das nachfolgend näher erläutert werden wird.

**[0031]** Die Regeleinrichtung 8 kann schaltungstechnisch realisiert sein. In der Regel ist die Regeleinrichtung 8 jedoch entsprechend der Darstellung von FIG 2 als softwareprogrammierbare Regeleinrichtung 8 ausgebildet. In diesem Fall ist die Regeleinrichtung 8 mit einem Computerprogramm 9 programmiert. Das Computerprogramm 9 weist Maschinencode 10 auf. Der Maschinencode 10 ist von der Regeleinrichtung 8 unmittelbar abarbeitbar. Die Abarbeitung des Maschinencodes 10 durch die Regeleinrichtung 8 bewirkt, dass die Regeleinrichtung 8 die Schritte des nachfolgend erläuterten Regelverfahrens ausführt.

**[0032]** Das Computerprogramm 9 kann der Regeleinrichtung 8 auf beliebige Weise zugeführt werden. Beispielsweise ist es möglich, das Computerprogramm 9 der Regeleinrichtung 8 über eine Rechner-Rechner-Verbindung, beispielsweise ein LAN oder das Internet, zuzuführen. Ebenso ist es möglich, das Computerprogramm 9 der Regeleinrichtung 8 über einen Datenträger 11 zuzuführen, auf dem das Computerprogramm 9 in maschinenlesbarer Form gespeichert ist. Der Datenträger 11 kann zu diesem Zweck nach Bedarf ausgebildet sein. Rein beispielhaft ist in FIG 2 der Datenträger 11 als USB-Stick dargestellt. Der Datenträger 11 könnte jedoch anders ausgebildet sein, beispielsweise als SD-Speicherkarte oder als CD-ROM.

**[0033]** Gemäß FIG 2 wird der Regeleinrichtung 8 ein Sollzug Z* zugeführt. Weiterhin wird der Regeleinrichtung 8 ein für den Istzug Z charakteristischer Wert Z' zugeführt. Schließlich werden der Regeleinrichtung 8 eine Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 und eine Sollstellung $\varphi^*$ des Schlingenhebers 3 zugeführt. Mittels der Regeleinrichtung 8 sollen der Istzug Z und der Sollzug Z* und die Iststellung $\varphi$ auf die Sollstellung $\varphi^*$ geregelt werden.

**[0034]** Anhand der genannten Größen Z*, Z', $\varphi$, $\varphi^*$ ermittelt die Regeleinrichtung 8 einen resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ für das dem Schlingenheber 3 vorgeordnete Walzgerüst 1'. Der resultierende

Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ wird an eine Drehzahlregelung 12 für das vorgeordnete Walzgerüst 1' ausgegeben. Alternativ könnte der resultierende Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ für das dem Schlingenheber 3 nachgeordnete Walzgerüst 1" ermittelt werden und an eine Drehzahlregelung 13 dieses Walzgerüsts 1" ausgegeben werden. Dies ist in FIG 2 gestrichelt angedeutet. Auch eine Aufteilung auf beide Walzgerüste 1', 1" kann vorgenommen werden.

**[0035]** Weiterhin ermittelt die Regeleinrichtung 8 anhand der genannten Größen Z*, Z', $\varphi$, $\varphi^*$ eine resultierende Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ für den Schlingenheber 3. Die resultierende Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ wird an eine Verstelleinheit 14 ausgegeben, mittels derer die Stellung des Schlingenhebers 3 eingestellt wird. Die Verstelleinheit 14 kann elektrisch oder - bevorzugt - hydraulisch arbeiten.

**[0036]** Die Art und Weise der Ermittlung des resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwerts $\delta v^*$ und der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

**[0037]** Die Regeleinrichtung 8 umfasst einen Zugregler 15. Der Zugregler 15 und seine Wirkungsweise werden nachfolgend in Verbindung mit FIG 3 näher erläutert. Die Regeleinrichtung 8 umfasst weiterhin einen Schlingenregler 16. Der Schlingenregler 16 und seine Wirkungsweise werden nachfolgend in Verbindung mit FIG 4 näher erläutert. Die gesamte Regeleinrichtung 8 wird nachfolgend in Verbindung mit FIG 5 nochmals erläutert.

**[0038]** Dem Zugregler 15 werden gemäß FIG 3 ein für den Sollzug Z* charakteristischer Wert Z'* und der für den Istzug Z charakteristische Wert Z' zugeführt. Der Zugregler 15 ist vorzugsweise als PI-Regler (PI = proportional-integral) ausgebildet. Er ermittelt anhand der ihm zugeführten charakteristischen Werte Z'*, Z' ein Zugausgleichssignal ZA.

**[0039]** Beispielsweise kann eine Sollwertermittlungseinrichtung 8' vorhanden sein, welcher der Sollzug Z* und weitere Größen zugeführt werden. Die weiteren Größen können beispielsweise die Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3, die Abstände des Schlingenhebers 3 vom vorgeordneten und vom nachgeordneten Walzgerüst 1', 1" und weitere Geometrieparameter umfassen, so dass die Sollwertermittlungseinrichtung 8' in der Lage ist, anhand der ihr zugeführten Größen die Abstände der Schlingenheberrolle 4 von den Walzgerüsten 1', 1" sowie die Höhe der Schlingenheberrolle 4 relativ zur Walzlinie 5 zu ermitteln. Weiterhin werden der Sollwertermittlungseinrichtung 8' Größen zugeführt, die das Band 2 beschreiben, beispielsweise dessen Dicke, dessen Breite und dessen Elastizitätsmodus. Wenn diese Größen bekannt sind, kann der für den Sollzug Z* charakteristische Wert Z'* anhand einfacher geometrischer Berechnungen ermittelt werden. Der charakteristische Wert Z'* entspricht in diesem Falle einer Sollkraft, die das Band 2 auf den Schlingenheber 3 ausüben sollte, bzw. einem Sollmoment, welches das Band 2 auf den Schlingenheber 3 ausüben sollte.

**[0040]** Von den Größen, die der Sollwertermittlungseinrichtung 8' zugeführt werden, sind zumindest der Sollzug Z* und die Iststellung $\varphi$ (alternativ die Sollstellung $\varphi^*$) Variable. Bei den anderen Größen kann es sich alternativ um Variable oder um Parameter handeln. Der Unterschied zwischen Variablen und Parametern besteht darin, dass Variable im Betrieb der Regeleinrichtung 8 dynamisch variieren können, während Parameter im Rahmen der Inbetriebnahme der Regeleinrichtung 8 einmalig eingestellt werden und danach konstant gehalten werden.

**[0041]** Die Sollwertermittlungseinrichtung 8' kann Bestandteil der Regeleinrichtung 8 sein. Alternativ kann sie außerhalb der Regeleinrichtung 8 angeordnet sein. Im letztgenannten Fall wird der Regeleinrichtung 8 anstelle des Sollzuges Z* der entsprechende charakteristische Wert Z'* zugeführt.

**[0042]** Der für den Istzug Z charakteristische Wert Z' kann alternativ gemessen werden oder anderweitig ermittelt werden. Hierauf wird später noch eingegangen werden.

**[0043]** Der Zugregler 15 umfasst gemäß FIG 3 einen Integrator 17. Das Zugausgleichssignal ZA umfasst daher einen Integralanteil IA. Weiterhin umfasst der Zugregler 15 einen Zweig 18, über den ein Proportionalanteil PA des Zugausgleichssignals ZA ausgegeben wird.

**[0044]** Eine Integrationsverstärkung kI des Integrators 17 kann eine Konstante sein. Bevorzugt ist sie jedoch eine Variable, die unter anderem mit zunehmender Regelabweichung ($|Z'^*-Z'|$) ansteigt.

**[0045]** Gemäß FIG 3 wird anhand des Integralanteils IA ein erster Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v1^*$ für das vorgeordnete Walzgerüst 1' ermittelt. Der erste Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v1^*$ geht als einer von zwei Summanden in den resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ ein.

**[0046]** Gemäß FIG 3 wird weiterhin der Integralanteil IA einem Verzögerungsglied 19 zugeführt, in dem der Integralanteil IA zeitlich verzögert wird. Der zeitlich verzögerte Integralanteil wird nachfolgend zur Unterscheidung vom unverzögerten Integralanteil IA als verzögerter Integralanteil IA' bezeichnet.

**[0047]** Der zeitlich verzögerte Integralanteil IA' wird in einem Knotenpunkt 20 vom Zugausgleichssignal ZA subtrahiert. Anhand der sich ergebenden Differenz wird ein erster Sollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega1^*$ für den Schlingenheber 3 ermittelt. Der erste Sollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega1^*$ geht als einer von mehreren Summanden in die resultierende Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ ein.

**[0048]** Die Sollstellung $\varphi^*$ und die Iststellung $\varphi$ werden gemäß FIG 4 dem Schlingenregler 16 zugeführt. Der Schlingenregler 16 kann als P-Regler ausgebildet sein. Er ermittelt anhand der Sollstellung $\varphi^*$ und der Iststellung $\varphi$ ein Schlingenausgleichssignal SA. Das Schlingenausgleichssignal SA wird (unter anderem) einem Verzögerungsglied 21 zugeführt. In dem Verzögerungsglied 21 wird das Schlingenausgleichssignal SA zeitlich verzögert

und so ein verzögertes Schlingenausgleichssignal SA' ermittelt. Das verzögerte Schlingenausgleichssignal SA' entspricht einem zweiten Sollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega 2^*$ für den Schlingenheber 3. Auch der zweite Sollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega 2^*$ geht als Summand in die Ermittlung der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ ein.

**[0049]** Gemäß FIG 4 wird weiterhin anhand des Schlingenausgleichssignals SA ein zweiter Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v2^*$ für das vorgeordnete Walzgerüst 1' ermittelt. Der zweite Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v2^*$ ist der zweite Summand, der in den resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ eingeht.

**[0050]** Gemäß FIG 3 ist ein Teilerglied 22 vorhanden. In dem Teilerglied 22 wird die Differenz von Zugausgleichssignal ZA und verzögertem Integralanteil IA' durch einen Wert kL dividiert. Der Wert kL entspricht vom Ansatz her der Ableitung der Länge des Bandes 2, das sich zwischen den beiden den Bandabschnitt begrenzenden Walzgerüsten 1', 1" befindet, nach der Stellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3.

**[0051]** In analoger Weise ist bei der Ermittlung des zweiten Geschwindigkeitszusatzsollwerts $\delta v2^*$ vorgesehen, mittels eines Multipliziergliedes 23 eine Multiplikation mit dem Wert kL vorzunehmen und zur Kompensation dieser Multiplikation im Rahmen des Ermittelns des zweiten Sollverstellgeschwindigkeitsanteils $\omega 2^*$ mittels eines Teilergliedes 24 eine Division durch den Wert kL vorzunehmen. Das mit dem Wert kL multiplizierte Schlingenausgleichssignal wird nachfolgend als modifiziertes Schlingenausgleichssignal SA" bezeichnet.

**[0052]** Durch das gegenüber dem Ausgeben des resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwerts $\delta v^*$ verzögerte Ansteuern der Verstelleinheit 14 wird erreicht, dass die Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 erst dann nachgeführt wird, wenn durch den resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ eine entsprechende Anpassung der zwischen den Walzgerüsten 1', 1" eingespannten Bandlänge erfolgt. Durch das Subtrahieren des zeitlich verzögerten Integralanteils IA' vom Zugausgleichssignal ZA wird erreicht, dass der Integralanteil IA nicht permanent an den Schlingenheber 3 ausgegeben wird, sondern - entsprechend der zeitlichen Verzögerung durch das Verzögerungsglied 19 - vom Schlingenheber 3 auf das vorgeordnete Walzgerüst 1' (gegebenenfalls alternativ oder zusätzlich auf das nachgeordnete Walzgerüst 1") verlagert wird. Durch die zeitliche Verzögerung des Verzögerungsgliedes 19 wird die zeitliche Verzögerung kompensiert, welche die geregelte Strecke als solche aufweist. Dadurch werden die Wirkungen des resultierenden Geschwindigkeitszusatzsollwertes $\delta v^*$ und der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ miteinander synchronisiert.

**[0053]** FIG 5 zeigt die Gesamtverschaltung der Regeleinrichtung 8. Die Ausgestaltung gemäß FIG 5 ist funktional völlig gleichwertig zu den obenstehend in Verbindung mit den FIG 3 und 4 erläuterten Vorgehensweise. Lediglich die Reihenfolge der einzelnen Additions-, Subtraktions- und Verzögerungsmaßnahmen ist geringfügig modifiziert. Insbesondere wird im Rahmen von FIG 5 der unverzögerte Integralanteil IA vom modifizierten Schlingenausgleichssignal SA" subtrahiert, wird die so ermittelte Differenz verzögert und die verzögerte Differenz zum Zugausgleichssignal ZA addiert. Diese Vorgehensweise ist insbesondere rechentechnisch einfacher, weil das Verzögerungsglied 21 eingespart werden kann. Funktional besteht jedoch kein Unterschied.

**[0054]** Prinzipiell ist es möglich, den für den Istzug Z charakteristischen Wert Z' zu messen. In vielen Fällen ist die Messung jedoch messtechnisch aufwändig oder gar nicht möglich. Aus diesem Grund ist gemäß den FIG 3 und 5 ein Bandzugbeobachter 25 vorhanden. Mittels des Bandzugbeobachters 25 wird der für den Istzug Z charakteristische Wert Z' indirekt anhand gemessener Größen ermittelt. Die gemessenen Größen können insbesondere ein vom Schlingenheber 3 aufgebrachtes Verstellmoment MV umfassen. Weiterhin können dem Bandzugbeobachter 25 Größen zugeführt werden, die für die Verstellgeschwindigkeit $\omega$ des Schlingenhebers 3 und ein durch den Schlingenheber 3 bewirktes Eigenmoment ME charakteristisch sind. Bei der Verstellgeschwindigkeit $\omega$ kann alternativ ein gemessener Istwert verwendet werden oder die resultierende Sollverstellgeschwindigkeit $\omega^*$ herangezogen werden. Das Eigenmoment ME ist im Wesentlichen durch die Gewichtskraft der auf die Verstelleinheit 14 wirkenden Komponenten des Schlingenhebers 3 verursacht. Das Eigenmoment ME kann alternativ konstant sein oder eine Funktion der Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 sein.

**[0055]** Der Aufbau und die Wirkungsweise des Bandzugbeobachters 25 sind Fachleuten allgemein bekannt. Insbesondere kann der Bandzugbeobachter 25 so aufgebaut sein wie der Lastbeobachter, der in FIG 3 der Patentanmeldung "Lastkraftregelung einer Hydraulikzylindereinheit mit Lastbeobachter" der Anmelderin, Zeichen der Anmelderin 200907995, eingereicht beim Europäischen Patentamt am 03. Juli 2009, amtliches Aktenzeichen 09 164 521, detailliert dargestellt und in Verbindung mit dieser Figur beschrieben ist. Von näheren Ausführungen kann daher abgesehen werden.

**[0056]** Das erfindungsgemäße Regelverfahren liefert sehr gute Ergebnisse. Durch die nachstehend in Verbindung mit den FIG 6 bis 8 beschriebenen Ausgestaltungen ist das Regelverfahren noch weiter verbesserbar. Die nachstehend in Verbindung mit den FIG 6 bis 8 beschriebenen Ausgestaltungen sind alternativ einzeln oder in Kombination miteinander realisierbar.

**[0057]** Gemäß FIG 6 ist zusätzlich zum Zugregler 15 und zum Schlingenregler 16 ein Momentregler 26 vorhanden. Dem Momentregler 26 werden der für den Sollzug Z* charakteristische Wert Z'*, das Eigenmoment ME und das Verstellmoment MV zugeführt. Der Momentregler 26 ermittelt anhand der ihm zugeführten Größen Z'*, ME, MV einen Zusatzsollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega 3^*$. Auch der Zusatzsollverstellgeschwindigkeitsanteil $\omega 3^*$ geht als Summand in die resultierende Sollverstell-

geschwindigkeit $\omega^*$ ein. Der Momentregler 26 kann insbesondere als P-Regler oder als PD-Regler ausgebildet sein. Er bewirkt eine Stabilisierung des Verhaltens der gesamten Regeleinrichtung 8.

**[0058]** Zusätzlich kann gemäß FIG 6 ein Heranfahrregler 27 vorhanden sein. Der Heranfahrregler 27 ist, sofern er vorhanden ist, nur in einer Anfangsphase aktiv. Der Heranfahrregler 27 wird aktiviert, sobald erkannt wird, dass das Band 2 in das dem Schlingenheber 3 nachgeordnete Walzgerüst 1" eingefädelt ist. Der Heranfahrregler 27 wird abgeschaltet, wenn die Schlingenheberrolle 4 das Band 2 kontaktiert. Das Abschalten kann gleitend in Abhängigkeit von der Differenz des Istzuges Z vom Sollzug Z* (bzw. der entsprechenden charakteristischen Werte Z'*, Z') erfolgen. Der Heranfahrregler 27 sorgt dafür, dass der Schlingenheber 3 aus der abgesenkten Position (unterhalb der Walzlinie 5) schnell an das Band 2 angestellt wird.

**[0059]** Die erfindungsgemäße Regeleinrichtung 8 kann gemäß FIG 7 weiterhin einen Positionsregler 28 aufweisen. Der Positionsregler 28 wird insbesondere verwendet, wenn der Schlingenheber 3 beim Ein- oder Ausfädeln des Bandes 2 unterhalb der Walzlinie 5 in einer festen Position gehalten werden soll. Er ist alternativ zu dem Zugregler 15 und dem Schlingenregler 16 (und gegebenenfalls auch dem Momentregler 26 und/oder dem Heranfahrregler 27) aktiv. Die Umschaltung erfolgt - vorzugsweise gleitend - in Abhängigkeit von einer Ein- und Ausfädelungserkennung. Der Positionsregler 28 ist vorzugsweise so aufgebaut, wie es in der Patentanmeldung "Steuereinrichtung für eine Hydraulikzylindereinheit" der Anmelderin, Zeichen der Anmelderin 200910164, eingereicht beim Europäischen Patentamt am 03. Juli 2009, amtliches Aktenzeichen 09 164 543, detailliert beschrieben ist. In Einzelfällen kann weiterhin der resultierende Geschwindigkeitszusatzsollwert $\delta v^*$ gemäß den FIG 6 und 7 durch ein PT1-Verzögerungsglied 31 verzögert werden.

**[0060]** FIG 7 zeigt weiterhin, dass die Regeleinrichtung 8 eine Adaptionseinrichtung 29 aufweisen kann. Der Adaptionseinrichtung 29 werden Größen zugeführt, die für die Stabilität des Zugreglers 15 charakteristisch sind. Die Adaptionseinrichtung 29 ermittelt beispielsweise eine Ersatzzeitkonstante T für den Bandzugbeobachter 25. Wenn dies der Fall ist, gibt die Adaptionseinrichtung 29 die Ersatzzeitkonstante T an den Bandzugbeobachter 25 aus. Der Bandzugbeobachter 25 ermittelt in diesem Fall den für den Istzug Z charakteristischen Wert Z' unter Berücksichtigung der Ersatzzeitkonstante T.

**[0061]** Alternativ oder zusätzlich kann die Adaptionseinrichtung 29 anhand der ihr zugeführten Größen eine Regelverstärkung k für den Zugregler 15 ermitteln und an den Zugregler 15 ausgeben. Der Zugregler 15 ermittelt in diesem Fall das Zugausgleichssignal ZA unter Berücksichtigung der an ihn übermittelten Regelverstärkung k.

**[0062]** Die für die Stabilität des Zugreglers 15 charakteristischen Größen können nach Bedarf bestimmt sein. Beispielsweise kann die Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 herangezogen werden. Unabhängig davon, anhand welcher Größen die Adaptionseinrichtung 29 die Ersatzzeitkonstante T und/oder die Regelverstärkung k ermittelt, erfolgt die Ermittlung jedoch dynamisch, also im laufenden Betrieb der Regeleinrichtung 8. Die Ersatzzeitkonstante T und die Regelverstärkung k sind also Variable, nicht Parameter.

**[0063]** Gemäß FIG 8 kann weiterhin dem Bandzugbeobachter 25 eine Vorsteuerung 30 parallel geschaltet sein. Durch diese Ausgestaltung kann der für den Istzug Z charakteristische Wert Z' mit höherer Dynamik ermittelt werden. Insbesondere erscheinen Änderungen des für den Istzug Z charakteristischen Wertes Z', die durch Änderungen der Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 entstehen, sofort im charakteristischen Wert Z', ohne dass der Bandzugbeobachter 25 erst einschwingen muss. Der Vorsteuerung 30 wird zumindest die Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 als Variable zugeführt.

**[0064]** Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist das erfindungsgemäße Regelverfahren schnell und stabil. Weiterhin ist eine einfache Nachrüstbarkeit bei existierenden Regeleinrichtungen gegeben. Weiterhin weist das erfindungsgemäße Regelverfahren überlegene Regelergebnisse auf. Insbesondere hat eine Änderung der Iststellung $\varphi$ des Schlingenhebers 3 nahezu keine Auswirkungen auf den Istzug Z. Dies ist insbesondere wichtig beim Absenken des Schlingenhebers 3 vor dem Ausfädeln des Bandes 2. Weiterhin werden Abweichungen des Istzuges Z vom Sollzug Z* sehr schnell ausgeregelt. Dennoch erfolgt nur eine sehr geringe Anregung von Eigenschwingungen. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Regelverfahrens besteht darin, dass kein Messwert für die Verstellgeschwindigkeit $\omega$ des Schlingenhebers 3 benötigt wird. Auch treten keine langsamen, kriechenden Einschwingvorgänge auf, sondern es erfolgt ein schnelles Einschwingen.

**[0065]** Die obige Beschreibung dient ausschließlich der Erläuterung der vorliegenden Erfindung. Der Schutzumfang der vorliegenden Erfindung soll hingegen ausschließlich durch die beigefügten Ansprüche bestimmt sein.

## Patentansprüche

1. Regelverfahren zum Regeln eines Istzuges (Z), der in einem zwischen zwei Walzgerüsten (1', 1") eingespannten Band (2) herrscht, auf einen Sollzug (Z*) und einer Iststellung ($\varphi$) eines zwischen den zwei Walzgerüsten (1', 1") angeordneten, an das Band (2) angestellten Schlingenhebers (3) auf eine Sollstellung ($\varphi^*$),

   - wobei einem Zugregler (15) für den Sollzug (Z*) und für den Istzug (Z) charakteristische Werte (Z'*, Z') zugeführt werden,
   - wobei der Zugregler (15) anhand der ihm zu-

geführten charakteristischen Werte (Z'*, Z') ein Zugausgleichssignal (ZA) ermittelt, das einen Integralanteil (IA) umfasst,
- wobei anhand des Integralanteils (IA) ein erster Geschwindigkeitszusatzsollwert ($\delta$v1*) für mindestens eines der zwei Walzgerüste (1', 1") ermittelt wird,
- wobei der Integralanteil (IA) zeitlich verzögert wird,
- wobei anhand der Differenz von Zugausgleichssignal (ZA) und verzögertem Integralanteil (IA') ein erster Sollverstellgeschwindigkeitsanteil ($\omega$1*) für den Schlingenheber (3) ermittelt wird,
- wobei die Sollstellung ($\varphi$*) und die Iststellung ($\varphi$) einem Schlingenregler (16) zugeführt werden, der anhand der Sollstellung ($\varphi$*) und der Iststellung ($\varphi$) ein Schlingenausgleichssignal (SA) ermittelt,
- wobei durch Verzögern des Schlingenausgleichssignals (SA) ein zweiter Sollverstellgeschwindigkeitsanteil ($\omega$2*) für den Schlingenheber (3) ermittelt wird,
- wobei anhand des Schlingenausgleichssignals (SA) ein zweiter Geschwindigkeitszusatzsollwert ($\delta$v2*) für das mindestens eine der zwei Walzgerüste (1', 1") ermittelt wird,
- wobei die Summe ($\delta$v*) von erstem und zweitem Geschwindigkeitszusatzsollwert ($\delta$v1*, $\delta$2v*) an eine Drehzahlregelung (12) für das mindestens eine der zwei Walzgerüste (1', 1") ausgegeben wird,
- wobei an eine Verstelleinheit (14), mittels derer die Stellung des Schlingenhebers (3) eingestellt wird, eine resultierende Sollverstellgeschwindigkeit ($\omega$*) ausgegeben wird, in die als Summanden der erste und der zweite Sollverstellgeschwindigkeitsanteil ($\omega$1*, $\omega$2*) eingehen.

**2.** Regelverfahren nach Anspruch 1,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** bei der Ermittlung der Geschwindigkeitszusatzsollwerte ($\delta$v1*, $\delta$v2*) relativ zu den Sollverstellgeschwindigkeitsanteilen ($\omega$1*, $\omega$2*) die Ableitung der Länge des zwischen den zwei Walzgerüsten (1', 1") eingespannten Bandes (2) nach der Stellung ($\varphi$) des Schlingenhebers (3) berücksichtigt wird.

**3.** Regelverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** im Rahmen des Ermittelns der resultierenden Sollverstellgeschwindigkeit ($\omega$*) der unverzögerte Integralanteil (IA) von einem modifizierten Schlingenausgleichssignal (SA") subtrahiert wird, die sich ergebende Differenz verzögert wird und die verzögerte Differenz zum Zugausgleichssignal (ZA) addiert wird, wobei das modifizierte Schlingenausgleichssignal (SA") durch Skalieren des Schlingenausgleichssignals (SA) mit einem die Ableitung berücksichtigenden Wert (kL) ermittelt wird.

**4.** Regelverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** der für den Istzug (Z) charakteristische Wert (Z') indirekt anhand gemessener Größen (MV) mittels eines Bandzugbeobachters (25) ermittelt wird.

**5.** Regelverfahren nach Anspruch 4,
**dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** anhand von für die Stabilität des Zugreglers (15) charakteristischen Größen dynamisch eine Ersatzzeitkonstante (T) für den Bandzugbeobachter (25) ermittelt wird und der Bandzugbeobachter (25) den für den Istzug (Z) charakteristischen Wert (Z') unter Berücksichtigung der Ersatzzeitkonstante (T) ermittelt und/oder
- **dass** anhand der für die Stabilität des Zugreglers (15) charakteristischen Größen dynamisch eine Regelverstärkung (k) für den Zugregler (15) ermittelt wird und der Zugregler (15) das Zugausgleichssignal (ZA) unter Berücksichtigung der Regelverstärkung (k) ermittelt.

**6.** Regelverfahren nach Anspruch 4 oder 5,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** dem Bandzugbeobachter (25) eine Vorsteuerung (30) parallel geschaltet ist.

**7.** Regelverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
**dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** einem Momentregler (26) der für den Sollzug (Z*) charakteristische Wert (Z'*), ein durch den Schlingenheber (3) bewirktes Eigenmoment (ME) und ein von einer Verstelleinrichtung (14) für den Schlingenheber (3) bewirktes Verstellmoment (MV) zugeführt werden und
- **dass** der Momentregler (26) einen Zusatzsollverstellgeschwindigkeitsanteil ($\omega$3*) ermittelt, der ebenfalls als Summand in die resultierende Sollverstellgeschwindigkeit ($\omega$*) eingeht.

**8.** Regelverfahren nach Anspruch 7,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** der Momentregler (26) als P-Regler oder als PD-Regler ausgebildet ist.

**9.** Computerprogramm, das Maschinencode (10) aufweist, der von einer Regeleinrichtung (8) unmittelbar abarbeitbar ist und dessen Abarbeitung durch die Regeleinrichtung (8) bewirkt, dass die Regeleinrichtung (8) ein Regelverfahren mit allen Schritten eines Regelverfahrens nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

**10.** Computerprogramm nach Anspruch 9,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** es auf einem Datenträger (11) in maschinenlesbarer Form gespeichert ist.

**11.** Regeleinrichtung,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** sie derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein Regelverfahren mit allen Schritten eines Regelverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausführt.

## Claims

**1.** Control method for adjusting an actual tension (Z) prevailing in a strip (2) clamped between two roll stands (1', 1") to a setpoint tension (Z*) and an actual position (φ) of a looper (3) disposed between the two roll stands (1', 1") and placed against the strip (2) to a setpoint position (φ*),

- wherein characteristic values (Z'*, Z') for the setpoint tension (Z*) and for the actual tension (Z) are supplied to a tension controller (15),
- wherein on the basis of the characteristic values (Z'*, Z') supplied to it the tension controller (15) determines a tension compensation signal (ZA) which includes an integral component (IA),
- wherein a first additional speed setpoint value (δv1*) for at least one of the two roll stands (1', 1") is determined on the basis of the integral component (IA),
- the integral component (IA) is subjected to a time delay,
- wherein a first setpoint adjustment speed component (ω1*) for the looper (3) is determined on the basis of the difference of tension output signal (ZA) and delayed integral component (IA'),
- wherein the setpoint position (φ*) and the actual position (φ) are supplied to a loop controller (16) which determines a loop compensation signal (SA) on the basis of the setpoint position (φ*) and the actual position (φ),
- wherein a second setpoint adjustment speed component (ω2*) for the looper (3) is determined by delaying the loop compensation signal (SA),
- wherein a second additional speed setpoint value (δv2*) for at least one of the two roll stands (1', 1") is determined on the basis of the loop compensation signal (SA),
- wherein the sum (δv*) of first and second additional speed setpoint value (δv1*, δ2v*) is output to a speed controller (12) for at least one of the two roll stands (1', 1"), and
- wherein a resulting setpoint adjustment speed (ω*) in which the first and the second setpoint adjustment speed component (ω1*, ω2*) are included as summands is output to an adjustment unit (14) by means of which the position of the looper (3) is set.

**2.** Control method according to claim 1,
**characterised in that**
at the time of determining the additional speed setpoint values (δv1*, δv2*) relative to the setpoint adjustment speed components (ω1*, ω2*) the derivation of the length of the strip (2) clamped between the two roll stands (1', 1") is taken into account after the position (φ) of the looper (3).

**3.** Control method according to claim 1 or 2,
**characterised in that**
in the course of determining the resulting setpoint adjustment speed (ω*) the undelayed integral component (IA) is subtracted from a modified loop compensation signal (SA"), the resulting difference is delayed and the delayed difference added to the tension output signal (ZA), the modified loop compensation signal (SA") being determined by scaling the loop compensation signal (SA) with a value (kL) taking the derivation into account.

**4.** Control method according to claim 1, 2 or 3,
**characterised in that**
the characteristic value (Z') for the actual tension (Z) is determined indirectly on the basis of measured quantities (MV) by means of a strip tension monitor (25).

**5.** Control method according to claim 4, **characterised in that**

- an equivalent time constant (T) is determined dynamically for the strip tension monitor (25) on the basis of quantities characteristic of the stability of the tension controller (15) and the strip tension monitor (25) determines the characteristic value (Z') for the actual tension (Z) taking the equivalent time constant (T) into account, and/or
- a control gain (k) for the tension controller (15) is determined dynamically on the basis of the characteristic quantities for the stability of the tension controller (15) and the tension controller (15) determines the tension compensation signal (ZA) taking the control gain (k) into account.

**6.** Control method according to claim 4 or 5,
**characterised in that**
a feedforward control (30) is connected in parallel with the strip tension monitor (25).

**7.** Control method according to one of the above claims,
**characterised in that**

- a torque controller (26) is supplied with the characteristic value (Z'*) for the setpoint tension (Z*), a tare-weight torque (ME) effected by the looper (3) and an adjustment torque (MV) effected for the looper (3) by an adjustment device (14) and
- the torque controller (26) determines an additional adjustment speed setpoint value component (ω3*) which is also included as a summand in the resulting setpoint adjustment speed (ω*).

**8.** Control method according to claim 7, **characterised in that** the torque controller (26) is embodied as a P controller or as a PD controller.

**9.** Computer program having machine code (10) which can be processed directly by a control device (8) and the processing of which by the control device (8) causes the control device (8) to perform a control method comprising all the steps of a control method according to one of the above claims.

**10.** Computer program according to claim 9, **characterised in that** it is stored in machine-readable form on a data medium (11).

**11.** Control device, **characterised in that** it is embodied in such a way that during operation it performs a control method comprising all the steps of a control method according to one of the claims 1 to 8.

**Revendications**

**1.** Procédé de réglage d'une traction ( Z ) réelle, qui règne dans une bande ( 2 ) tendue entre deux cages ( 1', 1" ) de laminoir, à une traction ( Z* ) de consigne et d'une position ( φ ) réelle d'un releveur ( 3 ) de boucle, mis sur la bande ( 2 ) et disposé entre les deux cages ( 1', 1" ) de laminoir, à une position ( φ* ) de consigne,

- dans lequel on envoie à un régleur ( 15 ) de traction des valeurs ( Z'*, Z' ) caractéristiques pour la traction ( Z* ) de consigne et pour la traction ( Z ) réelle,
- dans lequel le régleur ( 15 ) de traction détermine, au moyen des valeurs ( Z'*, Z' ) caractéristiques qui lui sont envoyées, un signal ( ZA ) de compensation de traction, qui comprend une partie ( IA ) intégrale,
- dans lequel, au moyen de la partie ( IA ) intégrale, on détermine une première valeur ( δv1* ) de consigne supplémentaire de vitesse pour au moins l'une des deux cages ( 1', 1" ) de laminoir,
- dans lequel on retarde dans le temps la partie ( IA ) intégrale,
- dans lequel, au moyen de la différence entre le signal ( ZA ) de compensation de traction et la partie ( IA' ) intégrale retardée, on détermine une première partie ( ω1* ) de vitesse de réglage de consigne pour le releveur ( 3 ) de boucle,
- dans lequel on envoie la position ( φ* ) de consigne et la position ( φ ) réelle à un régleur ( 16 ) de boucle, qui, au moyen de la position ( φ* ) de consigne et de la position ( φ ) réelle, détermine un signal ( SA ) de compensation de boucle,
- dans lequel, en retardant le signal ( SA ) de compensation de boucle, on détermine une deuxième partie ( ω2* ) de vitesse de réglage de consigne pour le releveur ( 3 ) de boucle,
- dans lequel, au moyen du signal ( SA ) de compensation de boucle, on détermine une deuxième valeur ( δv2* ) de consigne supplémentaire de vitesse pour la au moins une des deux cages ( 1', 1" ) de laminoir,
- dans lequel on envoie la somme ( δv* ) de la première et de la deuxième valeurs ( δv1*, δv2* ) de consigne supplémentaire de vitesse à une régulation ( 12 ) de vitesse de rotation pour la au moins une des deux cages ( 1', 1" ) de laminoir,
- dans lequel on envoie à une unité ( 14 ) de réglage, au moyen de laquelle la position du releveur ( 3 ) de boucle est réglée, une vitesse ( ω* ) de réglage de consigne résultante, dans laquelle entre, comme termes de la somme, la première et la deuxième parties ( ω1*, ω2* ) de vitesse de réglage de consigne.

**2.** Procédé de réglage suivant la revendication 1, **caractérisé** **en ce que**, lors de la détermination des valeurs ( δv1*, δv2* ) de consigne supplémentaire de vitesse par rapport aux parties ( ω1*, ω2* ) de vitesse de réglage de consigne, on tient compte de la dérivée de la longueur de la bande ( 2 ) tendue entre les deux cages ( 1', 1" ) de laminoir après la position ( φ ) du releveur ( 3 ) de boucle.

**3.** Procédé de réglage suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé** **en ce que**, dans la cadre de la détermination de la vitesse ( ω* ) de réglage de consigne résultante, on soustrait la partie ( IA ) intégrale non retardée d'un signal ( SA " ) de compensation de boucle modifié, on retarde la différence obtenue et on additionne la différence retardée au signal ( ZA ) de compensation de traction, le signal ( SA" ) de compensation de boucle modifié étant déterminé en mettant à l'échelle le signal ( SA ) de compensation de boucle par une valeur ( kL ) prenant en compte la dérivée.

**4.** Procédé de réglage suivant la revendication 1, 2 ou 3,
**caractérisé**
**en ce que** l'on détermine la valeur ( Z' ) caractéristique pour la traction ( Z ) réelle, indirectement, à l'aide de grandeurs ( MV ) mesurées, au moyen d'un observateur ( 25 ) de la traction de la bande.

**5.** Procédé de réglage suivant la revendication 4,
**caractérisé**

- **en ce qu'**à l'aide de grandeurs caractéristiques pour la stabilité du régleur ( 15 ) de traction, on détermine dynamiquement une constante ( T ) de temps de remplacement pour l'observateur ( 25 ) de la traction de la bande et l'observateur ( 25 ) de la traction de la bande détermine la valeur ( Z' ) caractéristique pour la traction ( Z ) réelle, en tenant compte de la constante ( T ) de temps de remplacement et/ou
- **en ce qu'**à l'aide de grandeurs caractéristiques pour la stabilité du régleur ( 15 ) de traction, on détermine dynamiquement une amplification ( k ) de réglage pour le régleur ( 15 ) de traction et le régleur ( 15 ) de traction détermine le signal ( ZA ) de compensation de traction, en tenant compte de l'amplification ( k ) de réglage.

**6.** Procédé de réglage suivant la revendication 4 ou 5,
**caractérisé**
**en ce qu'**un pilotage ( 30 ) est monté en parallèle à l'observateur ( 25 ) de traction de la bande.

**7.** Procédé de réglage suivant l'une des revendications précédentes,
**caractérisé**

- **en ce que** l'on envoie, à un régleur ( 26 ) de couple, la valeur ( Z'* ) caractéristique pour la traction ( Z* ) de consigne, un moment ( ME ) propre provoqué par le releveur ( 3 ) de boucle et un couple ( MV ) de réglage provoqué par un dispositif ( 14 ) de réglage pour le releveur ( 3 ) de boucle et
- **en ce que** le régleur ( 26 ) de couple détermine une partie
( $\omega$3* ) de vitesse de réglage de consigne supplémentaire, qui entre également comme terme de somme dans la vitesse ( $\omega$* ) de vitesse de réglage de consigne résultante.

**8.** Procédé de réglage suivant la revendication 7,
**caractérisé**
**en ce que** le régleur ( 26 ) de couple est constitué sous la forme d'un régleur P ou d'un régleur PD.

**9.** Programme d'ordinateur qui a un code machine ( 10 ) qu'un dispositif ( 8 ) de réglage peut faire se dérouler directement et dont le déroulement, provoqué par le dispositif ( 8 ) de réglage, fait que le dispositif ( 8 ) de réglage exécute un procédé de réglage ayant tous les stades d'un procédé de réglage suivant l'une des revendications précédentes.

**10.** Programme d'ordinateur suivant la revendication 9,
**caractérisé**
**en ce qu'**il est mémorisé sous une forme exploitable par un ordinateur sur un support ( 11 ) de données.

**11.** Dispositif de réglage
**caractérisé**
**en ce qu'**il est constitué de manière à exécuter, en fonctionnement, un procédé de réglage ayant tous les stades d'un procédé de réglage suivant l'une des revendications 1 à 8.

FIG 1

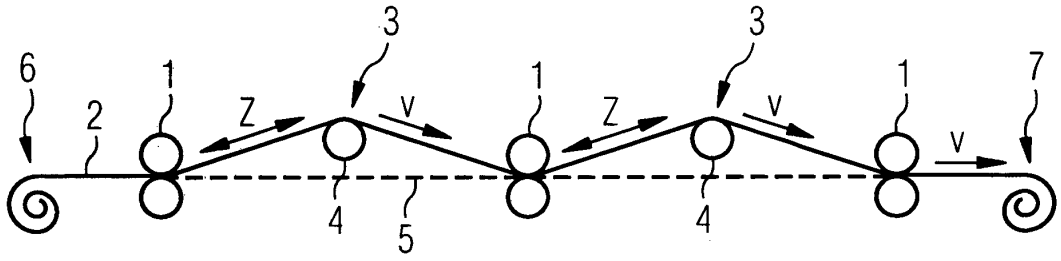



FIG 2

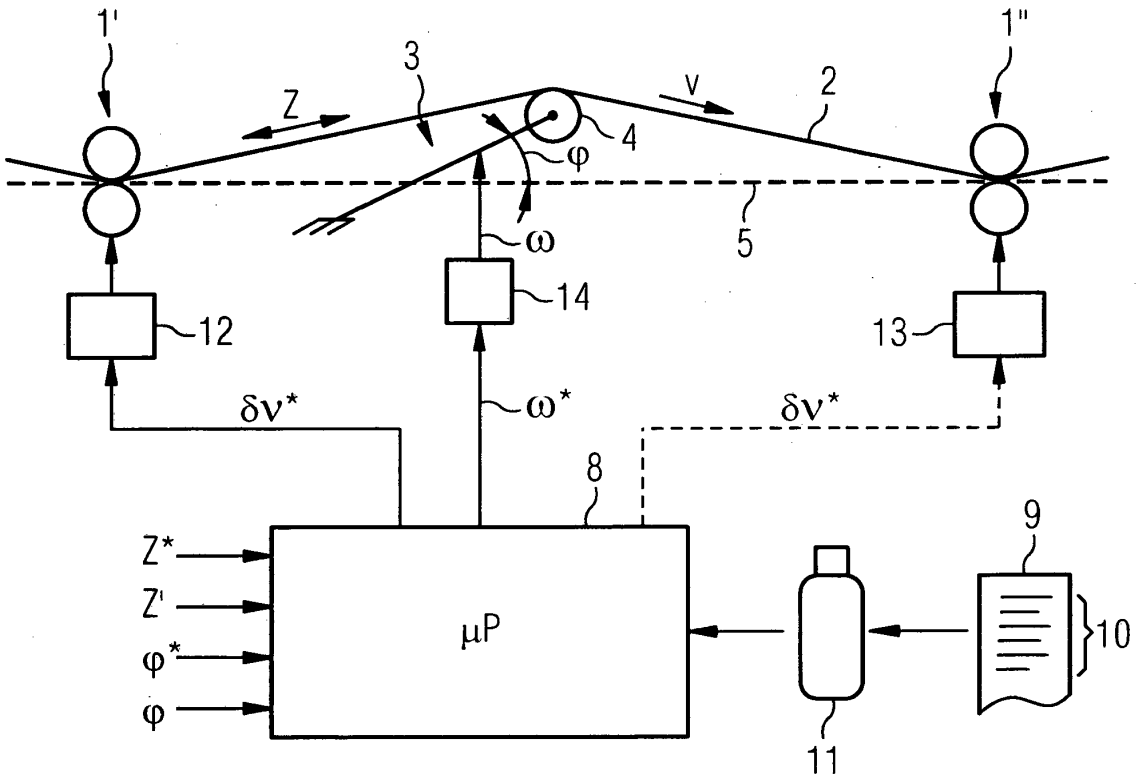


FIG 3

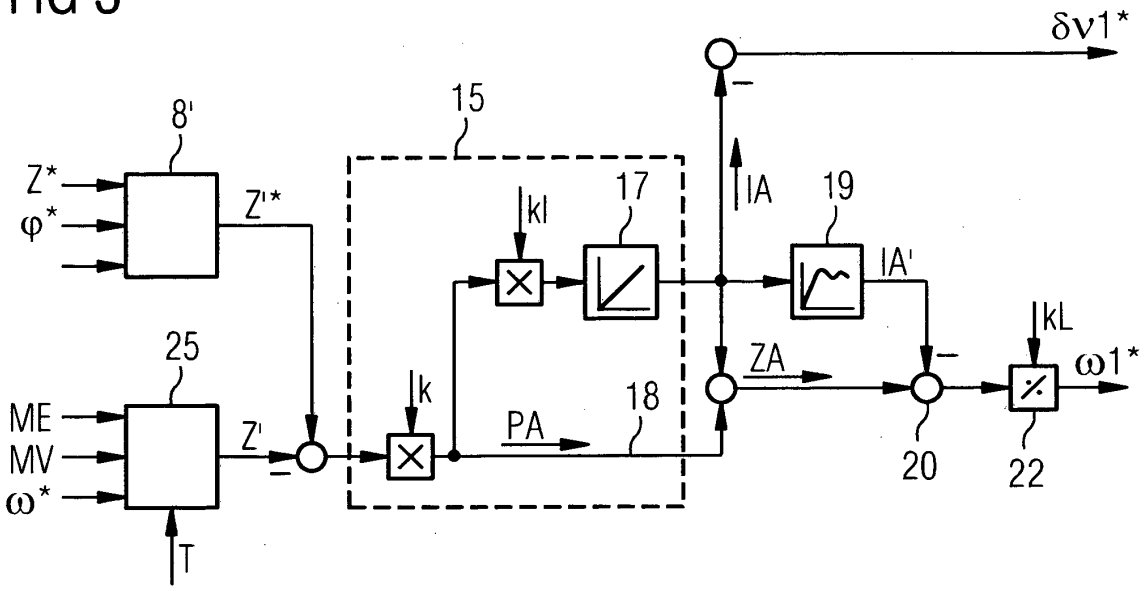

δν1*
15
8'
Z*
φ*
Z'*
kI
17
IA
19
IA'
25
ME
MV
ω*
Z'
k
PA
18
ZA
kL
ω1*
20
22
T

FIG 4

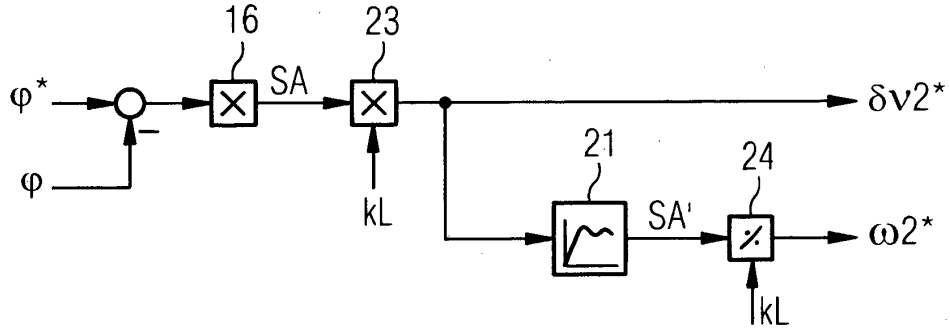

16
23
φ*
SA
δν2*
φ
kL
21
24
SA'
ω2*
kL

FIG 5

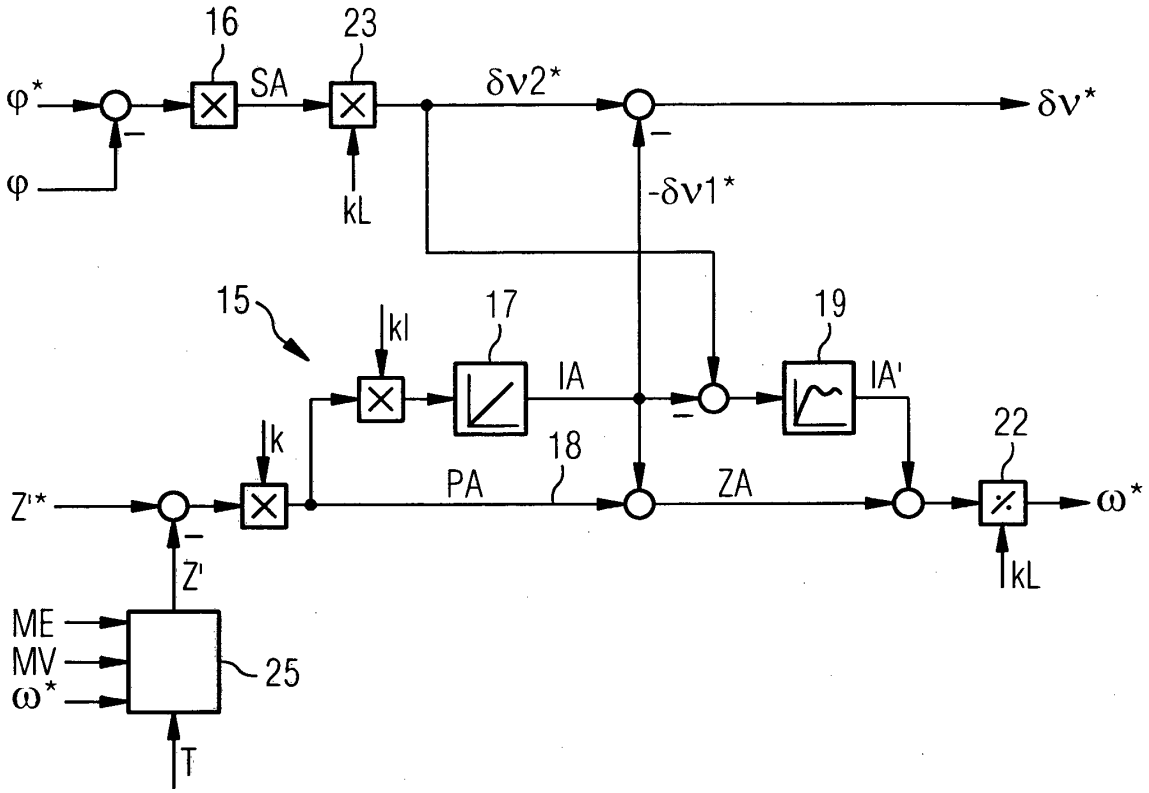

16
23
SA
φ*
φ
kL
δν2*
δν*
-δν1*
15
kI
17
IA
19
IA'
k
18
22
Z'*
PA
ZA
ω*
Z'
kL
ME
MV
ω*
25
T

FIG 6

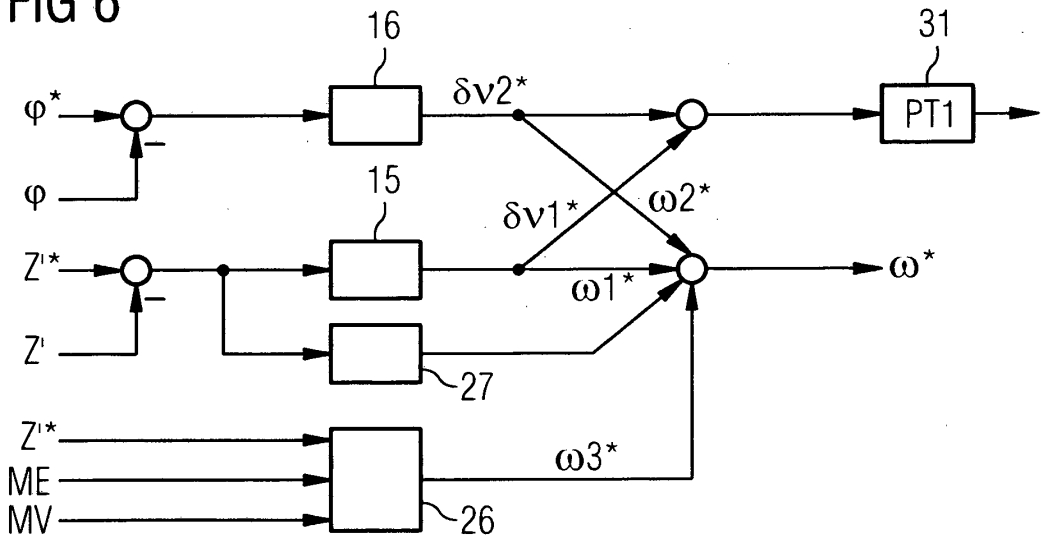

16
31
φ*
δν2*
PT1
φ
15
δν1*
ω2*
Z'*
ω*
ω1*
Z'
27
Z'*
ME
MV
ω3*
26

FIG 7

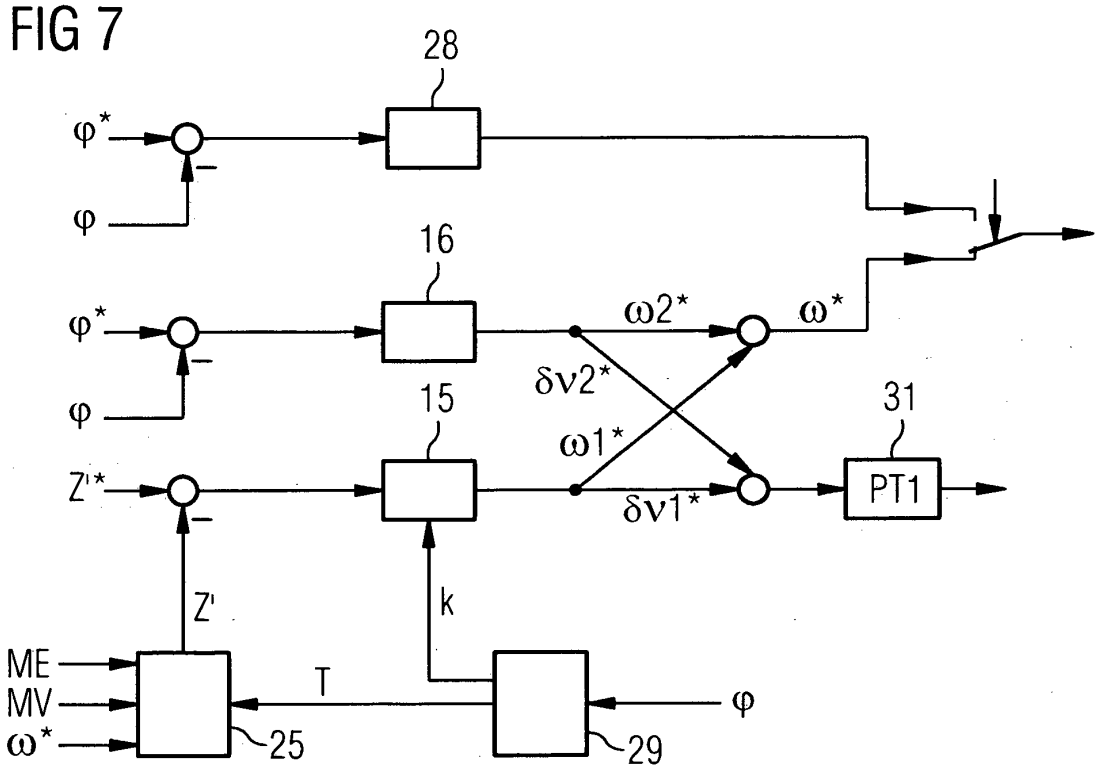
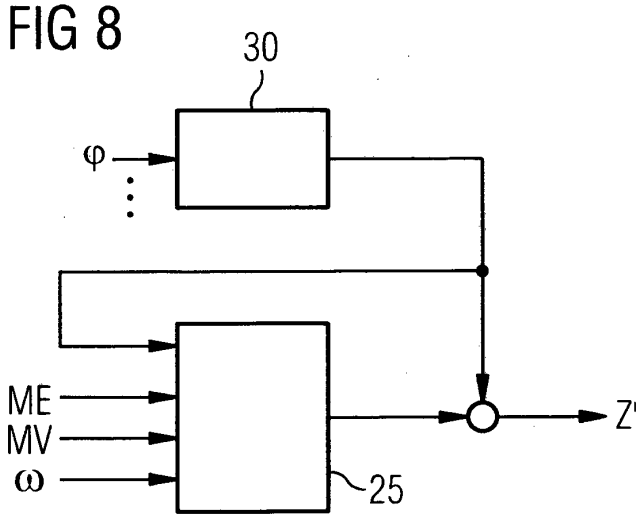

28
φ*
φ
16
φ*
φ
ω2*
ω*
δν2*
15
ω1*
31
Z'*
δν1*
PT1
Z'
k
ME
MV
ω*
T
φ
25
29

FIG 8


30
φ
ME
MV
ω
Z'
25

## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente


- EP 0710513 A1 **[0011]**


### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur


- **C. J. PARK et al.** Development of Looper Tension Control System for Hot Strip Mill. *Proceedings of the IASTED International Conference, Applied Simulation and Modelling,* 24. Juli 2000, 423-427 **[0008]**
- **H. IMANARI et al.** Application of ILQ control theory to steel rolling processes. *Proceedings of The 7th International Conference on Steel Rolling,* 1998, 36-41 **[0009]**