



EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.02.1996 Patentblatt 1996/09

(51) Int. Cl.⁶: B21B 37/66

(21) Anmeldenummer: 95111203.6

(22) Anmeldetag: 17.07.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE GB IT

(30) Priorität: 28.07.1994 DE 4426637

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESellschaft
D-80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• Berghs, Andre, Dipl.-Ing.
D-91077 Neunkirchen (DE)

- Jungkunz, Clemens, Dipl.-Ing.
D-91056 Erlangen (DE)
- Steidl, Siegbert, Dipl.-Ing.
D-91074 Herzogenaurach (DE)
- Wohld, Dietrich, Dipl.-Ing.
D-91091 Grossenseebach (DE)
- Tröndle, Hans-Peter, Dr.
D-91301 Forchheim (DE)

(54) Verfahren zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten

(57) Es ist bekannt, zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten auf die Auslaufdicke des Walzgutes in einem Walzgerüst die Exzentrizitäten durch das Ausgangssignal eines Oszillators nachzubilden und dieses einer Positions- oder Dickenregelung für das Walzgerüst aufzuschalten, wobei die Frequenz des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der Walzendrehzahl eingestellt wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Einstellung der Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals ($\Delta R'$) in der Weise, daß die Auslaufdicke (h_a) des Walzgutes mit einer Meßverzögerung gegenüber der Dickenreduktion im Walzspalt gemessen wird,

daß ein Walzanstellungssignal (s^*) gebildet und um den Betrag der Meßverzögerung verzögert wird, daß ein Differenzsignal (u) aus dem verzögerten Walzanstellungssignal (s^*) und dem mit der Summe aus Eins und dem Quotienten aus den Steifigkeiten (c_M' , c_G') des Walzgutes und des Walzgerüsts multiplizierten Dickenmeßsignal (h_a) gebildet wird, daß das Ausgangssignal ($\Delta R'$) des Oszillators (24) in Abhängigkeit von der Abweichung (e) zwischen dem Ausgangssignal ($\Delta R'$) und dem Differenzsignal (u) nachgeführt wird und daß das Ausgangssignal ($\Delta R'$) um den Betrag der Meßverzögerung im Sinne einer Voreilung phasenverschoben wird.

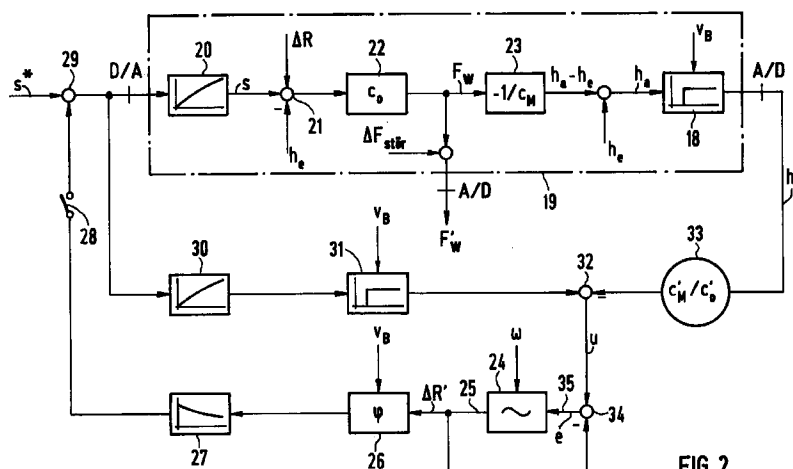


FIG 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten auf die Auslaufdicke des Walzgutes in einem Walzgerüst.

In Walzgerüsten finden sich häufig durch ungenau gearbeitete Stützwalzen oder nicht exakte Lagerung der Stützwalzen Exzentrizitäten, die die Qualität des zu walzenden Bandes beeinträchtigen, wobei sich je nach Steifigkeit des Walzgerüsts und des Walzgutes die Exzentrizitäten mit der Drehzahl der exzentrizitätsbehafteten Walzen, in der Regel der Stützwalzen, in dem Band abbilden. Das Frequenzspektrum der Exzentrizitäten und der von ihnen hervorgerufenen Störungen in dem Band beinhaltet im wesentlichen die Grundfrequenzen der oberen und unteren Stützwalze; es sind aber auch höhere harmonische Oberschwingungen vorhanden, die allerdings häufig nur mit verminderten Amplituden in Erscheinung treten. Aufgrund geringfügig unterschiedlicher Durchmesser und Drehzahlen der oberen und unteren Stützwalze können die den Stützwalzen zugeordneten Frequenzen voneinander abweichen.

Bei einem aus der EP-B-0 170 016 bekannten Verfahren werden zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten auf die Auslaufdicke des Walzgutes in einem Walzgerüst die Walzenexzentrizitäten der oberen und unteren Stützwalze durch die Summe der Ausgangssignale zweier rückgekoppelter Oszillatoren nachgebildet und einer Positions- oder Dickenregelung für das Walzgerüst aufgeschaltet. Die Oszillatoren arbeiten dabei nach dem Beobachterprinzip, wobei die Frequenzen ihrer Ausgangssignale in Abhängigkeit von den gemessenen Drehzahlen der Walzen eingestellt werden; die Amplituden- und Phasenlage der Ausgangssignale wird in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen dem Summenausgangssignal der beiden Oszillatoren und einem weiteren Summensignal nachgeführt, das sich aus der mit der Summe der Kehrwerte der Steifigkeiten des Walzgerüsts und des Walzgutes multiplizierten gemessenen Walzkraft und dem gemessenen Istwert der Walzenanstellung zusammensetzt. Die Oszillatoren können als Digitalfilter realisiert werden, wobei sie über Analog-/Digital-Umsetzer und Digital-/Analog-Umsetzer an die übrige analoge Positions- oder Dickenregelung des Walzgerüsts angekoppelt sind.

Unter der Voraussetzung, daß die Dynamik der Positionsregelung, d. h. die Dynamik der zur Regelung der Anstellung der Walzen dienenden Regelkreise und Stellglieder, vernachlässigbar ist, liefert das bekannte Verfahren eine gute Kompensation der Walzenexzentrizität. Durch Reibung in dem Walzgerüst kann jedoch die Messung der Walzkraft und damit die Kompensation der Walzenexzentrizität beeinträchtigt werden.

Bei einem aus der US-A-4 648 257 bekannten Verfahren zur Kompensation von Walzenexzentrizitäten wird die Dicke des Walzgutes nach seinem Austritt aus dem Walzgerüst gemessen und zusammen mit dem ebenfalls gemessenen momentanen Drehwinkel wenigstens einer der Walzen zur laufenden Berechnung von Schätzwerten für die Dickenänderungen des Walzgutes herangezogen. Diese Schätzwerte werden in Abhängigkeit von der in entsprechende Drehwinkel der Walze umgerechneten Meßverzögerung korrigiert, die aus dem Abstand der Meßstelle für die Dickenmessung von dem Walzspalt, also dem Ort der Dickenänderung des Walzgutes, resultiert. Die drehwinkelbezogenen korrigierten Schätzwerte werden dann der Positions- oder Dickenregelung zur Kompensation von Exzentrizitäten aufgeschaltet. Die genaue Erfassung des momentanen Drehwinkels an den Walzen ist jedoch insbesondere im Hinblick auf die rauen Bedingungen in der Umgebung des Walzgerüsts als relativ aufwendig anzusehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kompensation von Walzenexzentrizitäten anzugeben, ohne daß hierzu eine Messung der Walzkraft oder des momentanen Drehwinkels von Walzen erforderlich ist.

Gemäß der Erfindung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten auf die Auslaufdicke des Walzgutes in einem Walzgerüst die Walzenexzentrizitäten durch das Ausgangssignal eines rückgekoppelten Oszillators nachgebildet werden, welches einer Positions- oder Dickenregelung für das Walzgerüst aufgeschaltet wird, wobei die Frequenz des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der gemessenen Drehzahl der Walzen eingestellt wird und wobei die Einstellung der Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals in der Weise erfolgt, daß die Dicke des Walzgutes nach seinem Austritt aus dem Walzgerüst mit einer Meßverzögerung gegenüber der im Walzgerüst erfolgenden Dickenreduktion gemessen wird, daß ein der Walzenanstellung entsprechendes Signal gebildet und zumindest annähernd um den Betrag der Meßverzögerung verzögert wird, daß ein Differenzsignal aus dem verzögerten Walzenanstellungssignal und dem mit der Summe aus Eins und dem Quotienten aus der Steifigkeit des Walzgutes und der Steifigkeit des Walzgerüsts multiplizierten Dickenmeßsignal gebildet wird, daß die Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals des Oszillators in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen dem Ausgangssignal und dem Differenzsignal im Sinne einer Minimierung dieser Abweichung nachgeführt wird und daß das Ausgangssignal um einen der Meßverzögerung entsprechenden Betrag im Sinne einer Voreilung phasenverschoben wird.

Im Unterschied zu dem aus der EP-B-0 170 016 bekannten Verfahren wird also anstelle der Walzkraft die Dicke des Walzgutes nach seinem Austritt aus dem Walzgerüst gemessen und unter Verwendung der Gaugemeter-Gleichungen in einen Schätzverlauf der Walzenexzentrizitäten umgerechnet. Die Grundschiwingung der geschätzten Walzenexzentrizitäten wird von dem Oszillator nachgebildet und der Positions- oder Dickenregelung aufgeschaltet. Die beim Messen der Dicke des Walzgutes auftretende Meßverzögerung gegenüber dem Walzspalt, in dem die Dickenreduktion erfolgt und die Exzentrizitäten in bezug auf die Dicke des Walzgutes wirksam werden, wird bei der Exzentrizitätskompensation durch die voreilende Phasenverschiebung des sinusförmigen Ausgangssignals des Oszillators rückgängig gemacht. Bei einem Oszillator, der entsprechend FIG 3 der EP-B-0 170 016 aus zwei Integratoren besteht und ein

sinusförmiges und cosinusförmiges Signal liefert, läßt sich diese Phasenverschiebung sehr einfach entsprechend $\sin(\omega t + \phi) = \cos \phi \cdot \sin \omega t + \sin \phi \cdot \cos \omega t$ realisieren.

Als Walzenanstellungssignal wird anstelle des Istwertes vorzugsweise der Sollwert der Walzenanstellung herangezogen. Hierdurch wird erreicht, daß Walzenexzentrizitäten auch bei langsamer und/oder nicht exakt bekannter Dynamik der Positionsregelung genau, d. h. vollständig, kompensiert werden. Dabei wird mit zunehmend langsamerer Dynamik der Positionsregelung lediglich die Ausregelzeit für die Kompensation der Walzenexzentrizitäten verlängert.

Die Unempfindlichkeit der Exzentrizitätskompensation gegenüber der Dynamik der Positionsregelung gilt jedoch nicht mehr bei hohen Drehzahlen der Walzen, da bei hohen Drehzahlen und gleichzeitig langsamer Dynamik der Positionsregelung der gesamte Regelkreis instabil werden kann. Zur Vermeidung dieses Effekts ist es denkbar, den von dem Oszillator gebildeten Störbeobachter um die Dynamik der Positionsregelung zu erweitern. Einfacher ist jedoch eine dynamische Korrektur der Verzögerung der Positionsregelung mittels eines Proportional-Differential-Gliedes (PD-Glied), über das das zur Bildung des Differenzsignals herangezogene Dickenmeßsignal geführt wird. Alternativ dazu kann das phasenverschobene Ausgangssignal des Oszillators der Positions- oder Dickenregelung über ein Proportional-Differential-Glied (PD-Glied) zugeführt werden, wobei außerdem das zur Bildung des Differenzsignals herangezogene Walzenanstellungssignal über ein Proportional-Verzögerungs-Glied (PT1-Glied) geführt wird.

Vorzugsweise ist eine direkte digitale Realisierung der Positions- oder Dickenregelung und des Oszillators vorgesehen, wobei das Walzenanstellungssignal, das Dickenmeßsignal und die gemessene Drehzahl der Walzen Digitalwerte sind bzw. in Digitalwerte umgesetzt werden. Im Unterschied zu einer quasikontinuierlichen Realisierung, wie sie in der bereits erwähnten EP-B-0 170 016 für die dortigen Oszillatoren vorgeschlagen wird, wirkt bei der direkten digitalen Regelung (Direct Digital Control, DDC) ein Prozeßrechnersystem unmittelbar auf die Stellglieder der Regelstrecke. Zur Realisierung des Störbeobachters (Oszillators) ist daher keine zusätzliche Hardware erforderlich, wobei außerdem der zur Nachführung des Oszillators vorzugsweise verwendete Sollwert der Walzenanstellung im Unterschied zu dem bei dem bekannten Verfahren gemäß der EP-B-0 170 016 verwendeten Istwert als Digitalwert zur Verfügung steht, so daß eine Analog-/Digital-Umsetzung nicht erforderlich ist und die damit verbundenen, insbesondere dynamischen, Fehler nicht auftreten können. Im Unterschied zu einer quasikontinuierlichen Realisierung erfolgt bei der direkten digitalen Regelung auch bei relativ zur Walzendrehzahl nicht deutlich hoher liegender Abtastfrequenz des Störbeobachters (Oszillators), also beispielsweise bei einer nur 5- bis 10-fach höheren Abtastfrequenz, eine amplituden- und phasenrichtige Nachbildung der Walzenexzentrizitäten.

Unter der vereinfachenden Annahme, daß die obere und untere Walze des Walzgerüsts gleiche Drehzahlen aufweisen, ist die Verwendung eines einzigen Oszillators zur Exzentrizitätsnachbildung möglich. Da jedoch die Drehzahlen der oberen und unteren Walze in der Praxis - wenn auch nur geringfügig - unterschiedlich sind, wird vorzugsweise ein weiterer rückgekoppelter Oszillator verwendet, wobei die Frequenz des Ausgangssignals eines der beiden Oszillatoren in Abhängigkeit von der Drehzahl der oberen Walze und die Frequenz des Ausgangssignals des unteren Oszillators in Abhängigkeit von der Drehzahl der unteren Walze des Walzgerüsts eingestellt wird und wobei die Ausgangssignale beider Oszillatoren additiv miteinander verknüpft werden. Ebenso ist eine Reihenschaltung beider Oszillatoren möglich.

Zur Unterdrückung von Oberschwingungen der Walzenexzentrizitäten können darüber hinaus weitere rückgekoppelte Oszillatoren verwendet werden, die ebenfalls in Reihe geschaltet werden oder deren Ausgangssignale additiv miteinander verknüpft werden.

Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dieses mit dem aus der EP-B-0 170 016 bekannten Verfahren kombiniert, indem die Walzenexzentrizitäten zusätzlich durch das Ausgangssignal mindestens eines zusätzlichen Oszillators nachgebildet werden, welches der Positions- oder Dickenregelung aufschaltbar ist, wobei die Frequenz des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der gemessenen Drehzahl der Walzen eingestellt wird und die Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen dem Ausgangssignal des Oszillators und dem Summensignal aus der mit der Summe der Kehrwerte der Steifigkeiten des Walzgerüsts und des Walzgutes multiplizierten gemessenen Walzkraft und der Walzenanstellung im Sinne einer Minimierung dieser Abweichung nachgeführt werden. Auch hier wird zur Ermittlung der Abweichung vorzugsweise der Sollwert der Walzenanstellung herangezogen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird im folgenden auf die Figuren der Zeichnung Bezug genommen. Im einzelnen zeigen

- FIG 1 ein Beispiel für die Positionsregelung für ein Walzgerüst,
- FIG 2 ein Blockschaltbild der von der Positionsregelung und dem Walzgerüst nach FIG 1 gebildeten Regelstrecke mit einem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Störbeobachter,
- FIG 3 eine erweiterte Ausführung des in FIG 2 gezeigten Blockschaltbildes,
- FIG 4 ein Beispiel für die Ausführung des Störbeobachters mit einem rückgekoppelten Oszillator und
- FIG 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel des Störbeobachters mit mehreren rückgekoppelten Oszillatoren.

FIG 1 zeigt ein Beispiel für die Positionsregelung eines Walzgerüsts 1 mit einer oberen und unteren Stützwalze 2 bzw. 3, zwei Arbeitswalzen 4 und 5, einer über ein Steuerventil 6 betätigbaren hydraulischen Anstellvorrichtung 7 zur

Einstellung der Walzenanstellung s und einer die Elastizität des Walzgerüsts 1 symbolisierenden Feder c_G . Das Walzgut 8, dem im Walzspalt eine äquivalente Materialfeder c_M zugeordnet werden kann, wird durch die beiden Arbeitswalzen 4 und 5 von einer Einlaufdicke h_e auf eine Auslaufdicke h_a heruntergewalzt. Die Walzenexzentrizitäten können durch eine effektive Änderung des Walzenradius ΔR beschrieben werden.

Die Walzenanstellung s wird mit einem Positionsaufnehmer 9 an der Anstellvorrichtung 7 gemessen und als Istwert an einem Summierpunkt 10 mit einem Sollwert s^* der Walzenanstellung verglichen, wobei das Vergleichsergebnis über einen Positionsregler 11 und einen nachgeordneten Stellantrieb 12 zur Betätigung des Stellventils 6 und damit zur Einstellung der Walzenanstellung s herangezogen wird.

Wie untenstehend noch erläutert wird, ist für die Kompensation der Walzenexzentrizitäten ΔR die Messung der Auslaufdicke h_a und der Walzendrehzahl n sowie im Falle des in FIG 3 gezeigten Ausführungsbeispiels die Messung der Walzkraft F_W erforderlich. Die Walzkraft F_W wird dabei mittels eines Druckfühlers 13 an dem Walzgerüst 1 gemessen.

Die Messung der Walzendrehzahl n dient zur Ermittlung der Grundschiwingung der Walzenexzentrizitäten. Unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß sich die Ober- und Unterwalzen des Walzgerüsts 1 gleich schnell drehen, genügt es, die Drehzahl lediglich einer angetriebenen Walze, z. B. der Arbeitswalze 5, mittels eines Drehzahlmessers 14 zu erfassen.

Sind dabei, wie in den meisten Fällen, die Stützwalzen 2 und 3 die exzentrizitätsbehafteten Walzen, so wird in einer Einheit 15 die gemessene Drehzahl der Arbeitswalze 5 über das Verhältnis des Durchmessers der Arbeitswalze 5 zu dem der Stützwalze 3 in die Drehzahl n_U der unteren Stützwalze 3 umgerechnet. Da in der Regel die Drehzahlen der Ober- und Unterwalzen aufgrund geringfügig verschiedener Durchmesser unterschiedlich sind, ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ein weiterer Drehzahlmesser 16 mit nachgeordneter Umrechnungseinheit 17 zur Erfassung der Drehzahl n_O der oberen Stützwalze 2 vorhanden.

Die Messung der Auslaufdicke h_a des Walzgutes 8 erfolgt mittels eines Dickenmeßgerätes 18, welches mit einem Abstand l hinter dem Walzspalt angeordnet ist.

In FIG 2 ist mit dem Bezugszeichen 19 das vereinfachte Blockschaltbild der von der in FIG 1 gezeigten Positionsregelung und dem Walzgerüst gebildeten Regelstrecke bezeichnet. Dabei beinhaltet die Positionsregelung 20 unter anderem den Positionsregler 11 mit dem Summierpunkt 10, den Stellantrieb 12, das Ventil 6 und die hydraulische Anstellvorrichtung 7 mit der von ihr bewegten Walzenmasse. Als Ausgangsgröße liefert die Positionsregelung 20 den Istwert s der Walzenanstellung. Aus FIG 1 lassen sich für die Walzkraft F_W folgende Beziehungen ableiten:

$$F_W = c_G(h_a + \Delta R - s) \text{ und}$$

$$F_W = c_M(h_e - h_a).$$

Damit ergeben sich die Beziehungen

$$F_W = c_0(h_e + \Delta R - s) \text{ mit } c_0 = c_M c_G / (c_M + c_G) \text{ und}$$

$$h_a - h_e = -F_W / c_M,$$

die in dem in FIG 2 gezeigten Blockschaltbild der Regelstrecke 19 durch den Summierpunkt 21 mit den Eingangsgrößen h_e , ΔR und $-s$, den nachgeordneten Funktionsblock 22 mit der Gesamtsteifigkeit c_0 der in Reihe liegenden Gerüstfeder c_G und Materialfeder c_M sowie den nachfolgenden Funktionsblock 23 mit dem negativen Kehrwert der Materialfeder c_M wiedergegeben ist. Am Ausgang des Funktionsblockes 22 erscheint die Walzkraft F_W , deren Meßwert F_W' durch Störungen $\Delta F_{\text{Stör}}$, wie z. B. die Reibung im Walzgerüst, beeinflusst ist. Aufgrund der am Ausgang des Funktionsblockes 23 erscheinenden Dickenreduktion $h_a - h_e$ ergibt sich die Austrittsdicke h_a des Walzgutes 8, die mit Hilfe des Dickenmeßgerätes 18 mit einer von der Austrittsgeschwindigkeit v_B des Walzgutes 8 und dem Abstand l zwischen dem Walzspalt und dem Dickenmeßgerät 18 abhängigen Meßverzögerung gemessen wird.

Zur Kompensation der Walzenexzentrizitäten ΔR , von denen hier angenommen wird, daß sie nur eine Grundschiwingung $\omega = 2\pi n$, mit $n = n_O = n_U$, aufweisen, dient ein Störbeobachter in Form eines gegengekoppelten Oszillators 24, der an seinem Ausgang 25 im eingeschwungenen Zustand die Grundschiwingung der Störung, d. h. der Walzenexzentrizitäten ΔR nachbildet. Dabei wird die Frequenz ω des Oszillators 24 in Abhängigkeit von der gemessenen Walzendrehzahl n mit $\omega = 2\pi n$ eingestellt. Die von dem Oszillator 24 nachgebildete Störung $\Delta R'$ wird über einen die Meßverzögerung zwischen dem Walzspalt und dem Dickenmeßgerät 18 kompensierenden Phasendreher 26, ein Proportional-Differential-Glied (PD-Glied) 27 und einen Schalter 28 einem Summierglied 29 zugeführt und dort dem Sollwert s^* der Walzenanstellung am Eingang der Regelstrecke 19 aufgeschaltet.

Der mit der nachgebildeten Störung überlagerte Sollwert der Walzenanstellung $s^* + \Delta R'$ wird über ein zu dem PD-Glied 27 komplementäres Proportional-Verzögerungs-Glied (PT1-Glied) 30 und ein Verzögerungsglied 31 mit einer der Meßverzögerung in dem Dickenmeßgerät 18 zumindest annähernd entsprechenden Verzögerung einem Summierpunkt 32 zugeführt. Das von dem Dickenmeßgerät 18 gelieferte Dickenmeßsignal h_a' wird in einem Multiplizierglied 33 mit der

Summe aus Eins und dem Quotienten aus den Steifigkeiten c_M' und c_G' des Walzgutes 8 und des Walzgerüsts 1, d. h. mit $1+c_M'/c_G' = c_M'/c_0'$ multipliziert und mit negativem Vorzeichen ebenfalls dem Summierpunkt 32 zugeführt. Das in dem Summierpunkt 32 erzeugte Differenzsignal u und das Ausgangssignal $\Delta R'$ des Oszillators 24 werden an einem weiteren Summierpunkt 34 miteinander verglichen, wobei ein Korrektursignal $e = u - \Delta R'$ gebildet wird, über das der Oszillator 24 an seinem Eingang 35 in Amplitude und Phase so lange nachgeführt wird, bis die nachgebildete Störung $\Delta R'$ und das Differenzsignal u übereinstimmen und der Fehler somit zu Null wird.

Dadurch, daß dem Summierpunkt 32 der mit der Störnachbildung $\Delta R'$ überlagerte Sollwert s' der Walzenanstellung zugeführt wird, ist die jeweilige Dynamik der Positionsregelung 20 ohne jeden Einfluß auf die Kompensation der Walzenexzentrizitäten ΔR , so daß diese asymptotisch vollständig in ihrer Auswirkung auf die Austrittsdicke h_a des Walzgutes 8 eliminiert werden. Dies gilt jedoch nicht mehr bei sehr hohen Drehzahlen der Walzen, da bei solchen hohen Drehzahlen und gleichzeitig langsamer Dynamik der Positionsregelung 20 der gesamte Regelkreis instabil werden kann. Zur Vermeidung derartiger Instabilitäten erfolgt daher eine dynamische Korrektur der Verzögerung der Positionsregelung 20 mittels des bereits erwähnten PD-Gliedes 27. Damit die Störgrößenkompensation weiterhin vollständig erfolgt ($e = 0$) ist das PT1-Glied 30 vorgesehen. Anstelle des PD-Gliedes 27 und des PT1-Gliedes 30 kann auch ein einziges PD-Glied im Bereich der Verarbeitung des Dickenmeßsignals h_a' zwischen dem Dickenmeßgerät 18 und dem Summierpunkt 32 vorgesehen werden.

FIG 3 zeigt eine erweiterte Ausbildung des Blockschaltbildes nach FIG 2, wobei mit 19 wieder die Regelstrecke bezeichnet ist, der eingangs über einen Digital-/Analog-Umsetzer der Sollwert s^* für die Walzenanstellung zugeführt wird. Die Regelstrecke 19 liefert als Ausgangssignale das Walzkraftmeßsignal F_W' und das Dickenmeßsignal h_a' , die beide jeweils über einen Analog-/Digital-Umsetzer in Digitalwerte umgesetzt werden. Sowohl die Walzkraft F_W als auch die Ausgangsdicke h_a des Walzgutes 8 werden in der Regelstrecke 19 durch die Walzenexzentrizitäten beeinflusst, die für die oberen und unteren Walzen des Walzgerüsts 1 aufgrund von Durchmesserdivergenzen geringfügig unterschiedlich sind und hier mit ΔR_o bzw. ΔR_u bezeichnet sind. Zur Kompensation der Walzenexzentrizitäten ΔR_o und ΔR_u auf der Grundlage des Dickenmeßsignals h_a' sind zwei rückgekoppelte Oszillatoren 36 und 37 vorgesehen, von denen der mit 36 bezeichnete Oszillator die von den oberen Walzen herrührenden Störungen ΔR_o nachbildet und der mit 37 bezeichnete Oszillator die von den unteren Walzen herrührenden Störungen ΔR_u nachbildet. Dazu wird die Frequenz des Oszillators 36 in Abhängigkeit von der gemessenen Drehzahl n_o der Oberwalzen mit $\omega_o = 2\pi n_o$ und der Oszillator 37 in Abhängigkeit von der Drehzahl n_u der Unterwalzen mit $\omega_u = 2\pi n_u$ eingestellt. Die von den beiden Oszillatoren 36 und 37 nachgebildeten Störgrößen $\Delta R_o'$ und $\Delta R_u'$ werden in einem Summierglied 38 aufsummiert und über den Phasendreher 26, das PD-Glied 27 und den Schalter 28 in dem Summierpunkt 29 dem Sollwert s^* der Walzenanstellung aufgeschaltet sowie zur Rückkopplung der beiden Oszillatoren 36 und 37 mit negativem Vorzeichen dem Summierpunkt 34 zugeführt. Im übrigen werden, ebenso wie bei dem in FIG 2 gezeigten Ausführungsbeispiel, der störgrößenbehaftete Sollwert der Walzenanstellung $s^* + \Delta R_o' + \Delta R_u'$ über das PT1-Glied 30 und das Verzögerungsglied 31 sowie das Dickenmeßsignal h_a' über das Multiplizierglied 33 dem Summierpunkt 32 zur Bildung des Differenzsignals u zugeführt.

Zusätzlich ist eine Kompensation der Walzenexzentrizitäten $\Delta R_o + \Delta R_u$ auf der Grundlage des Walzkraftmeßsignals F_W' vorgesehen. Dazu bildet ein mit ω_o frequenzgesteuerter rückgekoppelter Oszillator 39 die von den oberen Walzen herrührenden Störungen ΔR_o nach, während ein weiterer Oszillator 40 mit ω_u frequenzgesteuert wird und die von den unteren Walzen herrührenden Störungen ΔR_u nachbildet. Die von den beiden Oszillatoren 39 und 40 nachgebildeten Störgrößen werden in einem Summierglied 41 aufsummiert und über ein PD-Glied 42 und einen Schalter 43 in einem Summierpunkt 44 dem Sollwert s^* der Walzenanstellung aufgeschaltet. Der mit den nachgebildeten Störungen überlagerte Sollwert der Walzenanstellung $s^* + \Delta R_o' + \Delta R_u'$ wird über ein PT1-Glied 45 einem Summierpunkt 46 zugeführt und dort mit dem in einem Multiplizierglied 47 mit dem berechneten Kehrwert $1/c_0'$ der Gesamtsteifigkeit der Gerüst- und Materialfeder multiplizierten Walzkraftmeßsignals F_W' zu einem Summensignal u verknüpft. Dieses Summensignal u und das Ausgangssummensignal $\Delta R_o' + \Delta R_u'$ der beiden Oszillatoren 39 und 40 werden an einem weiteren Summierpunkt 48 miteinander verglichen, wobei mit dem so erhaltenen Korrektursignal e die beiden Oszillatoren 39 und 40 in Amplitude und Phase so lange nachgeführt werden, bis die Summe der nachgebildeten Störungen $\Delta R_o' + \Delta R_u'$ und das Summensignal u übereinstimmen.

FIG 4 zeigt eine direkte digitale Realisierung des in FIG 2 gezeigten Oszillators 24 mit dem nachgeordneten Phasendreher 26. Die Übertragungsfunktion des gezeigten digitalen rückgekoppelten Oszillators 24 lautet

$$\Delta R'/u = (a+b)/(z^2 + z(a-2\cos\omega T_{ab}) + b+1),$$

wobei T_{ab} die Abtastperiode bezeichnet. Ebenso wie bei einer analogen Realisierung des Oszillators bestimmen die Nachführkoeffizienten a und b die Einschwingdynamik des rückgekoppelten Oszillators 24, wobei die Nachführkoeffizienten a und b in Abhängigkeit von der Frequenz ω der Grundschwingung einstellbar sind.

Das am Ausgang 25 des Oszillators 24 erzeugte sinusförmige Ausgangssignal und ein an einem Schaltungspunkt 49 in dem Oszillator 24 erzeugtes entsprechendes cosinusförmiges Ausgangssignal werden entsprechend der Beziehung

$$\sin(\omega t + \phi) = \cos \phi \cdot \sin \omega t + \sin \phi \cdot \cos \omega t$$

in Multipliziergliedern 50 und 51 mit den Faktoren $\cos \phi$ bzw. $\sin \phi$ multipliziert und anschließend in einem Summierglied 52 aufsummiert. Unter der Annahme konstanter Geschwindigkeiten gilt für die Phasenverschiebung

$$\phi = \omega \cdot T_{\text{tot}} = (v_W/R) \cdot (l/v_B) = l/((1+k_V)R),$$

wobei T_{tot} die Meßverzögerung und l den Abstand zwischen dem Walzspalt und dem Dickenmeßgerät 18, v_W die Walzenumlaufgeschwindigkeit, v_B die Austrittsgeschwindigkeit des Walzgutes 8 aus dem Walzspalt, R den Radius der Arbeitswalzen 4 bzw. 5 und k_V die Voreilung mit $v_B/v_W = 1+k_V$ bezeichnen.

FIG 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für den zur Kompensation der Walzenexzentrizitäten auf der Grundlage des Dickenmeßsignals h_a' verwendeten Störbeobachters. Dieser enthält vier Oszillatoren 53, 54, 55 und 56, von denen der Oszillator 53 die Grundschiwingung ω_o und der Oszillator 55 die Oberschiwingung $2\omega_o$ der von den oberen Walzen herrührenden Störungen und der Oszillator 54 die Grundschiwingung ω_u und der Oszillator 56 die Oberschiwingung $2\omega_u$ der von den unteren Walzen ausgehenden Störungen nachbildet. Der Aufbau der einzelnen Oszillatoren 53 bis 56 entspricht dem des Oszillators 24 in FIG 4. Daher sind hier lediglich die Einstellglieder 57 für die unterschiedlichen Nachführkoeffizienten a_1, b_1 bis a_4, b_4 dargestellt, die eingangsseitig ebenso, wie bei dem Oszillator 24 in FIG 4, mit der Abweichung e zwischen dem Differenzsignal u und der nachgebildeten Störung $\Delta R'$ beaufschlagt sind. Die nachgebildete Störung $\Delta R'$ wird in einem Summierpunkt 58 aus der Summe der Ausgangssignale der Oszillatoren 53 bis 56 gebildet, wobei diese Ausgangssignale, wie ein Vergleich der Figuren 4 und 5 zeigt, nicht notwendigerweise den an den

Schaltungspunkten 25 oder 49 anliegenden Signalen entsprechen müssen.

Zur Kompensation der Meßverzögerung zwischen dem Walzspalt und dem Dickenmeßgerät 18 ist bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel jedem Oszillator 53 bis 56 jeweils ein Phasendreher 59, 60, 61 und 62 nachgeordnet. Die Phasendreher 59 und 60, die den zur Nachbildung der Grundschiwingung ω_o bzw. ω_u dienenden Oszillatoren 53 und 54 nachgeordnet sind, enthalten jeweils zwei Multiplizierglieder 63 und 64, in denen das sinusförmige Signal an dem Schaltungspunkt 25 mit $\cos \phi$ und das cosinusförmige Signal an dem Schaltungspunkt 49 mit $\sin \phi$ multipliziert werden; anschließend werden beide Signale in dem Addierglied 65 aufsummiert. Die beiden Phasendreher 61 und 62, die den zur Nachbildung der Oberschiwingungen $2\omega_o$ bzw. $2\omega_u$ dienenden Oszillatoren 55 und 56 nachgeordnet sind, enthalten ebenfalls jeweils zwei Multiplizierglieder 66 und 67, in denen jeweils das sinusförmige Signal an dem Schaltungspunkt 25 mit $\cos 2\phi$ und das cosinusförmige Signal an dem Schaltungspunkt 49 mit $\sin 2\phi$ multipliziert wird; anschließend werden beide Signale in einem Summierglied 68 aufsummiert. Die Ausgangssignale der Phasendreher 59 und 60 werden in einem Summierpunkt 69 aufaddiert und der Positions- oder Dickenregelung entsprechend den Darstellungen in FIG 2 oder 3 aufgeschaltet. Die Ausgangssignale der Phasendreher 61 und 62 werden ebenfalls in einem Summierpunkt 70 aufaddiert und bei Bedarf über einen Schalter 71 und einen weiteren Summierpunkt 72 ebenfalls der Positions- oder Dickenregelung aufgeschaltet.

Patentansprüche

- Verfahren zur Unterdrückung des Einflusses von Walzenexzentrizitäten (ΔR) auf die Auslaufdicke des Walzgutes (8) in einem Walzgerüst (1), indem die Walzenexzentrizitäten (ΔR) durch das Ausgangssignal ($\Delta R'$) eines rückgekoppelten Oszillators (24) nachgebildet werden, welches einer Positions- oder Dickenregelung für das Walzgerüst (1) aufgeschaltet wird, wobei die Frequenz (ω) des Ausgangssignals ($\Delta R'$) in Abhängigkeit von der gemessenen Drehzahl (n) der Walzen (2 bis 5) eingestellt wird und wobei die Einstellung der Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals ($\Delta R'$) in der Weise erfolgt, daß die Dicke (h_a) des Walzgutes (8) nach seinem Austritt aus dem Walzgerüst (1) mit einer Meßverzögerung gegenüber der im Walzgerüst (1) erfolgenden Dickenreduktion gemessen wird, daß ein der Walzenanstellung (s) entsprechendes Signal gebildet und zumindest annähernd um den Betrag der Meßverzögerung verzögert wird, daß ein Differenzsignal (u) aus dem verzögerten Walzenanstellungssignal und dem mit der Summe aus Eins und dem Quotienten aus der Steifigkeit (c_M') des Walzgutes (8) und der Steifigkeit (c_G) des Walzgerüsts (1) multiplizierten Dickenmeßsignal (h_a') gebildet wird, daß die Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals ($\Delta R'$) des Oszillators (24) in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen dem Ausgangssignal ($\Delta R'$) und dem Differenzsignal (u) im Sinne einer Minimierung dieser Abweichung (e) nachgeführt wird und daß das Ausgangssignal ($\Delta R'$) um einen der Meßverzögerung entsprechenden Betrag im Sinne einer Voreilung phasenverschoben wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Walzenanstellungssignal der Sollwert (s^*) der Walzenanstellung herangezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß das zur Bildung des Differenzsignals (u) herangezogene Dickenmeßsignal (h_a') über ein Proportional-Differential-Glied (PD-Glied) geführt wird.

5

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß das phasenverschobene Ausgangssignal ($\Delta R'$) des Oszillators (24) der Positions- oder Dickenregelung über ein Proportional-Differential-Glied (PD-Glied) (27) zugeführt wird und daß das zur Bildung des Differenzsignals (u) herangezogene Walzenanstellungssignal (s^*) über ein Proportional-Verzögerungs-Glied (PT1-Glied) (30) geführt wird.

10

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch eine direkte digitale Realisierung der Positions- oder Dickenregelung und des Oszillators (24), wobei das Walzenanstellungssignal (s^*), das Dickenmeßsignal (h_a') und die gemessene Drehzahl (n_o , n_u) der Walzen (2 bis 5) Digitalwerte sind bzw. in Digitalwerte umgesetzt werden.

15

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein weiterer rückgekoppelter Oszillator (37) verwendet wird, daß die Frequenz des Ausgangssignals ($\Delta R_o'$) eines der beiden Oszillatoren (36) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n_o) der oberen Walze (2) und die Frequenz des Ausgangssignals ($\Delta R_u'$) des anderen Oszillators (37) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n_u) der unteren Walze (3) des Walzgerüsts (1) eingestellt wird und daß die Ausgangssignale ($\Delta R_o'$, $\Delta R_u'$) beider Oszillatoren (36, 37) additiv miteinander verknüpft werden oder beide Oszillatoren in Reihe geschaltet werden.

20

25

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Unterdrückung von Oberschwingungen der Walzenexzentrizitäten weitere rückgekoppelte Oszillatoren (55, 56) verwendet werden, die in Reihe geschaltet werden oder deren Ausgangssignale additiv miteinander verknüpft werden.

30

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Walzenexzentrizitäten zusätzlich durch das Ausgangssignal mindestens eines zusätzlichen Oszillators (39, 40) nachgebildet werden, welches der Positions- oder Dickenregelung aufschaltbar ist, wobei die Frequenz des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der gemessenen Drehzahl der Walzen (2 bis 5) eingestellt wird und die Amplitude und Phasenlage des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen dem Ausgangssignal des Oszillators (39, 40) und dem Summensignal aus der mit der Summe der Kehrwerte der Steifigkeiten (c_G' , c_M') des Walzgerüsts (1) und des Walzgutes (8) multiplizierten gemessenen Walzkraft (F_W') und der Walzenanstellung (s^*) im Sinne einer Minimierung dieser Abweichung nachgeführt werden.

35

40

45

50

55

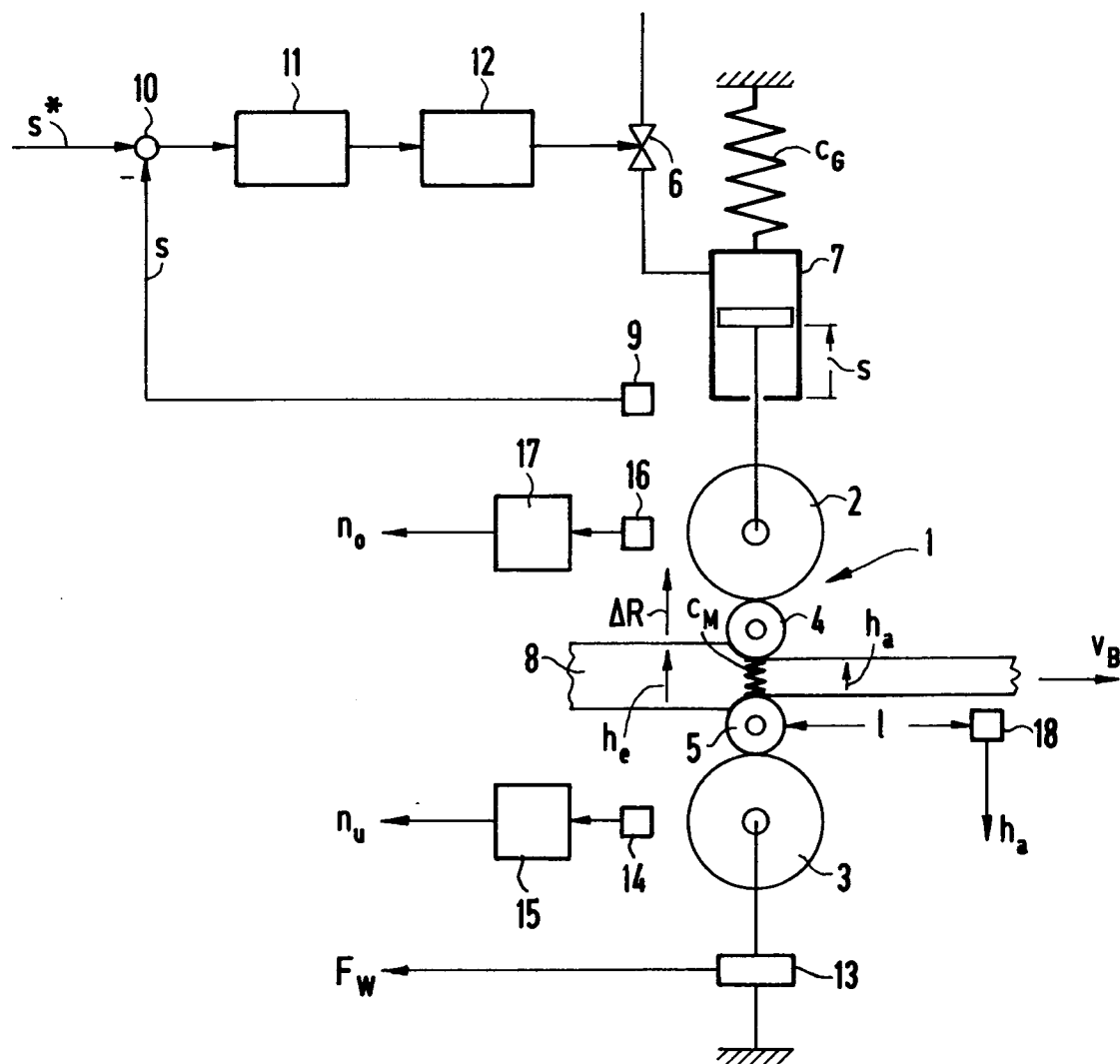


FIG 1

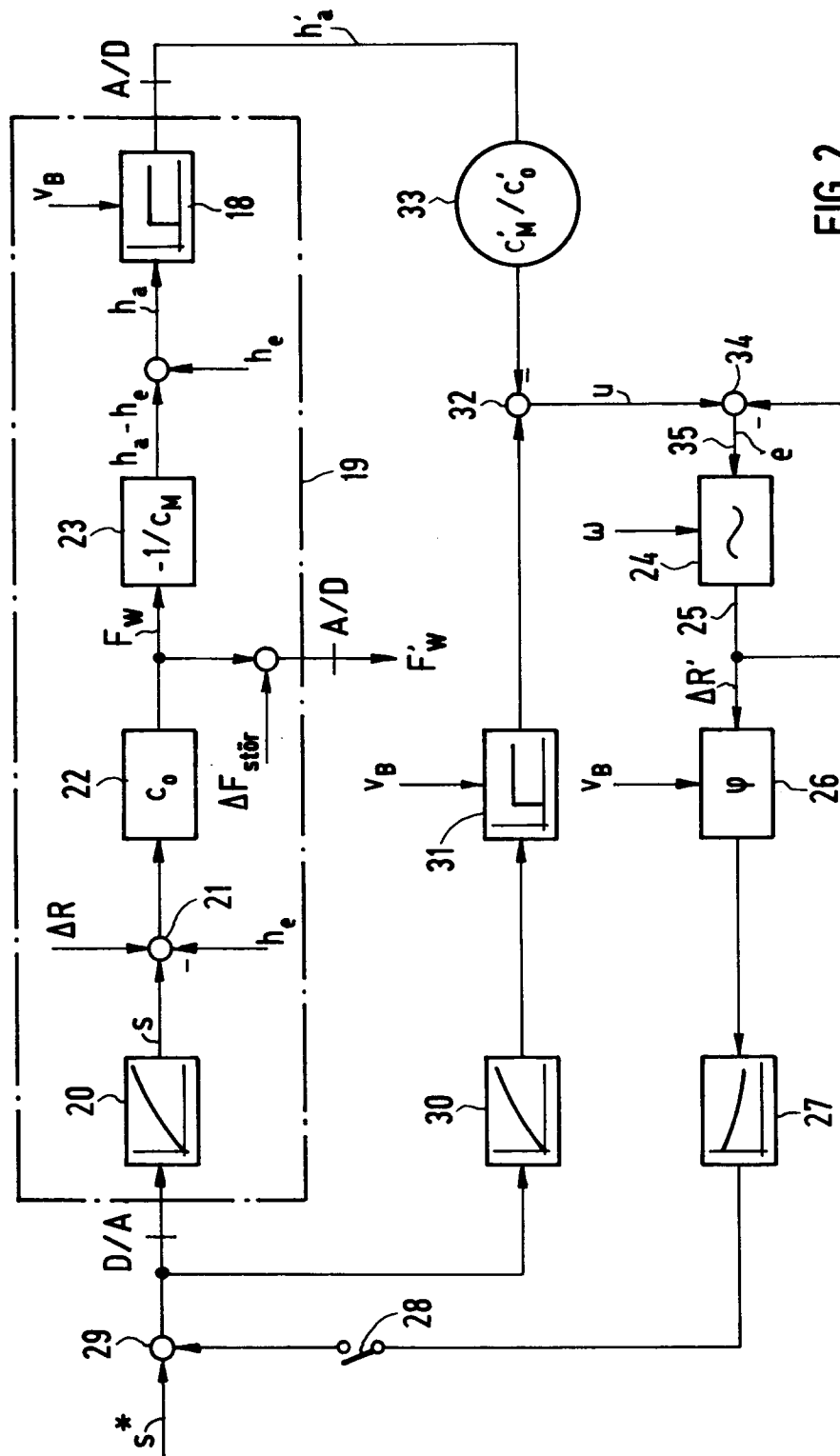


FIG 2

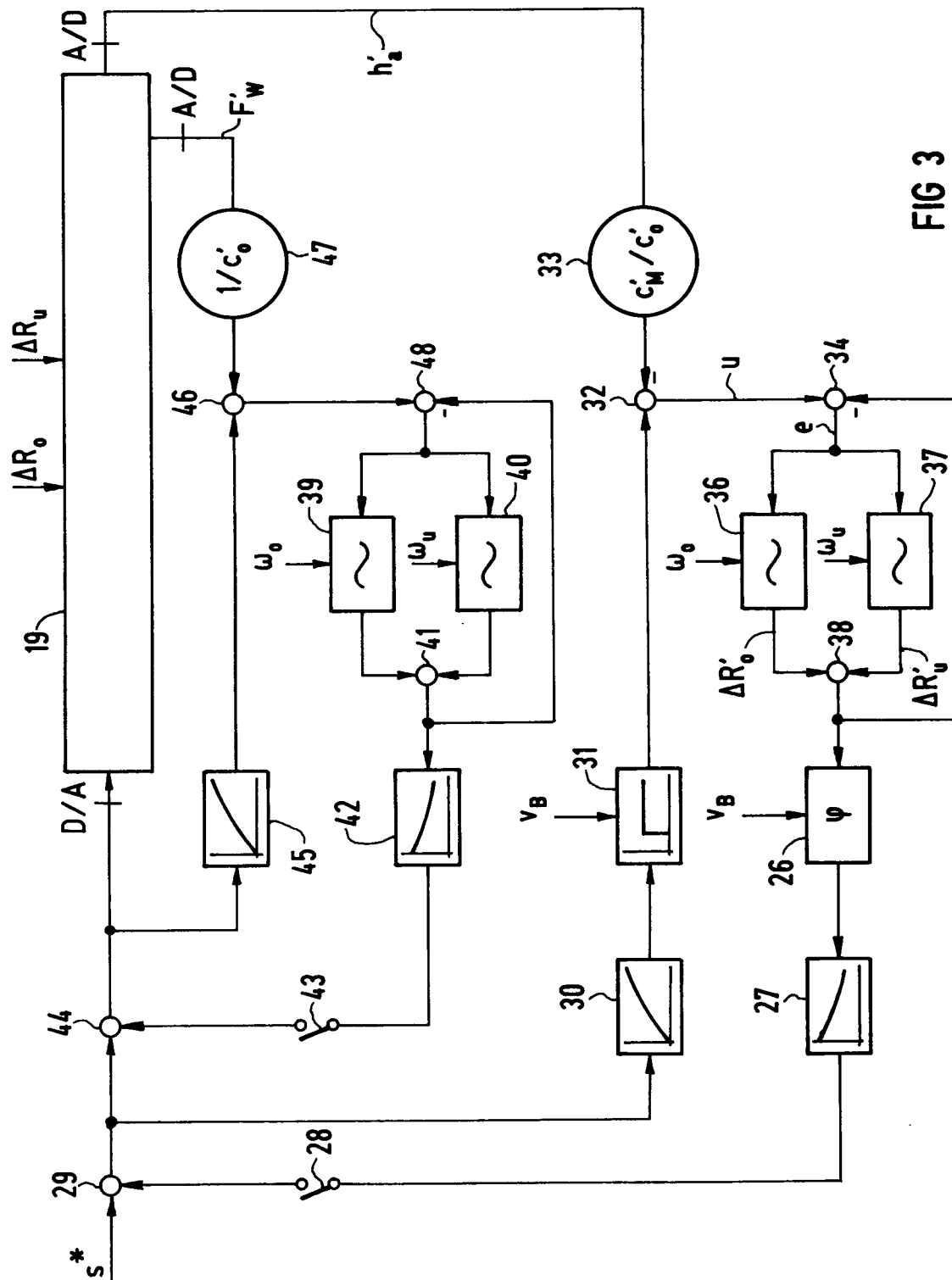


FIG 3

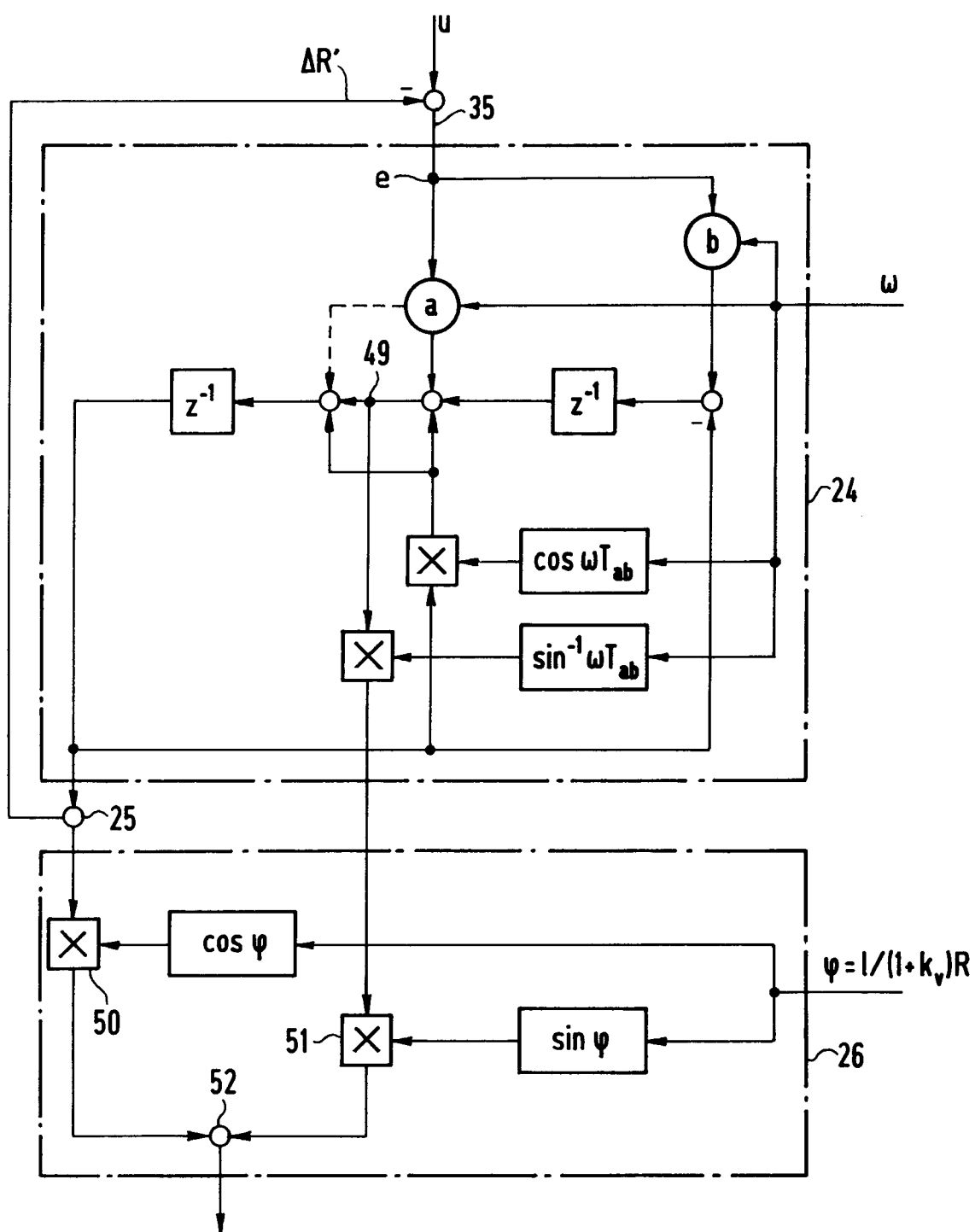


FIG 4

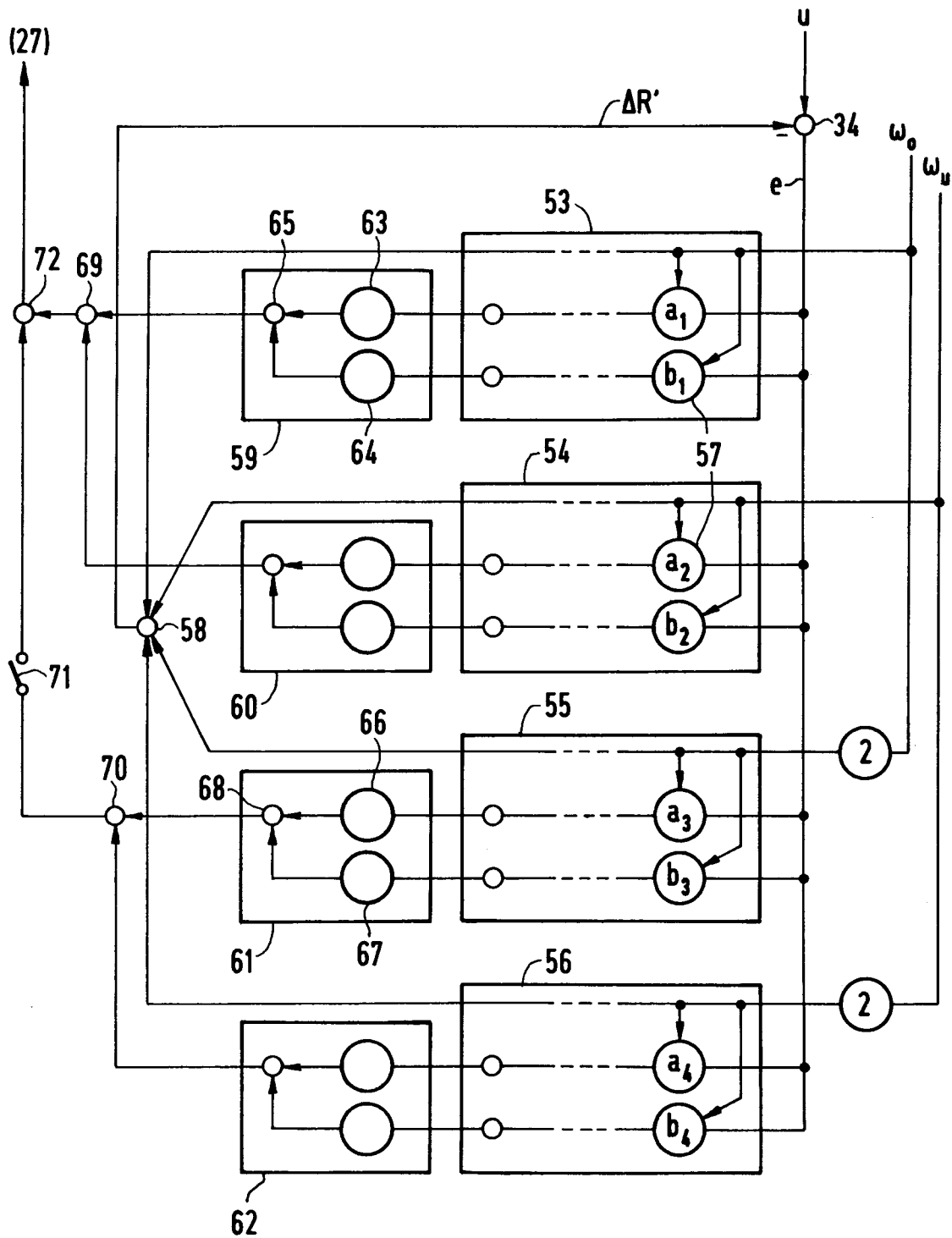


FIG 5



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 11 1203

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D,A	EP-A-0 170 016 (SIEMENS AG) * Ansprüche; Abbildungen *	1	B21B37/66
D,A	US-A-4 648 257 (OLIVER ET AL) * Zusammenfassung; Abbildung *	1	
A	US-A-4 222 254 (KING, JR. ET AL) * Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen *	1	
A	US-A-4 691 547 (TEOH ET AL) * Ansprüche; Abbildungen *	1	
A	DE-A-26 43 686 (SIEMENS AG) * Ansprüche; Abbildungen *	1	
A	WO-A-94 06578 (SIEMENS AG) * Ansprüche; Abbildungen *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			B21B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
DEN HAAG		16.November 1995	
		Prüfer	
		Plastiras, D	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)