

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1322/2012
(22) Anmeldetag: 20.12.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2013

(51) Int. Cl. : **B65H 23/00** (2006.01)

(30) Priorität:
29.12.2011 DE 102011122514 beansprucht.
10.02.2012 DE 102012002724 beansprucht.

(73) Patentanmelder:
ROBERT BOSCH GMBH
70442 STUTTGART (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

(72) Erfinder:
Schnabel Holger
Würzburg (DE)
Schultze Stephan
Lohr-Wombach (DE)
Goeb Mario
Würzburg (DE)

(54) **Verfahren zur Regelung einer Bahnzugkraft in einer Bearbeitungsmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Bahnzugkraft in einer Bearbeitungsmaschine (10) zur Bearbeitung einer Warenbahn (101), insbesondere einer wellenlosen Druckmaschine, wobei ein erster Warenbahnabschnitt (34) von einem zweiten Warenbahnabschnitt (45) durch einen Verzögerungsabschnitt (6) getrennt ist, wobei die Bahnzugkraft (F_{34}) in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) von einem ersten Stellglied (3, 4') beeinflusst wird und die Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von einem zweiten Stellglied (4', 5) beeinflusst wird, wobei zur Regelung der Bahnzugkraft in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) ein Regelungs-Ausgabewert (Δv) bestimmt wird, aus dem der Stellbefehl (v_3 ; v_4) für das erste Stellglied (3, 4') abgeleitet wird, und zur Entkopplung der Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von der Regelung der Bahnzugkraft in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) der Stellbefehl (v_4 ; v_5) für das zweite Stellglied (4', 5) aus dem Regelungs-Ausgabewert (Δv) und einem Verzögerungsglied (G4, G5) bestimmt wird, wobei das Verzögerungsglied die Wirkung des Regelungs-Ausgabewert (Δv) auf den Stellbefehl (v_4 ; v_5) für das zweite Stellglied (4', 5) um eine Verzögerungszeit verzögert, die die Warenbahn zum Durchlaufen des Verzögerungsabschnitts (6) benötigt.

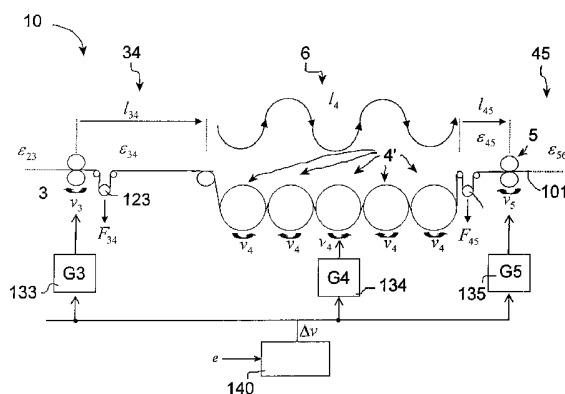


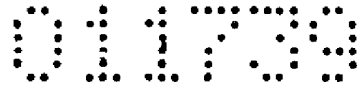
Fig. 3

011739

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Bahnzugkraft in einer
Bearbeitungsmaschine (10) zur Bearbeitung einer Warenbahn (101), insbesondere einer
5 wellenlosen Druckmaschine, wobei ein erster Warenbahnabschnitt (34) von einem zweiten
Warenbahnabschnitt (45) durch einen Verzögerungsabschnitt (6) getrennt ist, wobei die
Bahnzugkraft (F_{34}) in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) von einem ersten Stellglied (3,
4') beeinflusst wird und die Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von
10 einem zweiten Stellglied (4', 5) beeinflusst wird, wobei zur Regelung der Bahnzugkraft in
dem ersten Warenbahnabschnitt (34) ein Regelungs-Ausgabewert (Δv) bestimmt wird, aus
dem der Stellbefehl ($v_3; v_4$) für das erste Stellglied (3, 4') abgeleitet wird, und zur
Entkopplung der Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von der
Regelung der Bahnzugkraft in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) der Stellbefehl ($v_4; v_5$)
für das zweite Stellglied (4', 5) aus dem Regelungs-Ausgabewert (Δv) und einem
15 Verzögerungsglied (G4, G5) bestimmt wird, wobei das Verzögerungsglied die Wirkung des
Regelungs-Ausgabewert (Δv) auf den Stellbefehl ($v_4; v_5$) für das zweite Stellglied (4', 5) um
eine Verzögerungszeit verzögert, die die Warenbahn zum Durchlaufen des
Verzögerungsabschnitts (6) benötigt.

20 (Figur 3)



Robert Bosch GmbH – Kauth

5

Verfahren zur Regelung einer Bahzugkraft in einer Bearbeitungsmaschine

Beschreibung

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Bahzugkraft in einer Bearbeitungsmaschine.

15

Obwohl die Erfindung nachfolgend im Wesentlichen unter Bezugnahme auf Druckmaschinen beschrieben wird, ist sie nicht auf eine derartige Anwendung beschränkt, sondern vielmehr bei allen Arten von Bearbeitungsmaschinen verwendbar, bei denen eine Zugkraft einer Warenbahn bzw. Materialbahn vorgegeben werden soll. Die Warenbahn kann aus Papier, Stoff, Pappe, Kunststoff, Metall, Gummi, in Folienform usw. ausgebildet sein.

20

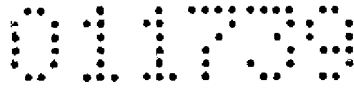
Stand der Technik

25

Bei Bearbeitungsmaschinen, insbesondere Druckmaschinen, wird eine Warenbahn entlang von angetriebenen Achsen (Bahntransportachsen), wie z.B. Zugwalzen oder Vorschubwalzen, und nicht angetriebenen Achsen, wie z.B. Umlenk-, Leit-, Trocknungs- oder Kühlwalzen, bewegt. Die Warenbahn wird gleichzeitig mittels meist ebenfalls angetriebener Bearbeitungsachsen bearbeitet, bspw. bedruckt, gestanzt, geschnitten, gefalzt usw.

30

Die Zugkraft bzw. Bahnspannung (solange keine Querschnittsänderung auftritt, sind Zugkraft und Spannung proportional; gemessen wird jedoch üblicherweise die Zugkraft) der Warenbahn wird bspw. über sog. Klemmstellen beeinflusst, die die Warenbahn form- oder kraftschlüssig einklemmen. Es handelt sich dabei regelmäßig um angetriebene Transport- oder Bearbeitungswerke. Bei einer Tiefdruckmaschine wird eine Klemmstelle üblicherweise



durch ein Druckwerk, bei dem eine reibschlüssige Einheit zwischen dem angetriebenen Druckzylinder, dem Presseur und der Materialbahn besteht, gebildet. Die Warenbahn ist in Warenbahnabschnitte unterteilt, wobei ein Warenbahnabschnitt von zwei Klemmstellen begrenzt wird. Innerhalb eines Warenbahnabschnitts können weitere angetriebene und/oder nicht angetriebene Achsen angeordnet sein. Oftmals ist die gesamte Warenbahn in mehrere Warenbahnabschnitte, mitunter auch mit unterschiedlichen Zugkraftsollwerten, unterteilt. Zur Aufrechterhaltung der Sollwerte wird üblicherweise eine sog. Bahnspannungsregelung (Bahnzugkraftregelung) eingesetzt. Die Regelung der Bahnzugkraft erfolgt meist über eine Dehnung als Stellgröße, indem die Drehgeschwindigkeit der Klemmstellen beeinflusst wird.

10

Die Regelung der Bahnzugkraft eines Warenbahnabschnitts kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. Downstream bedeutet, dass die den Warenbahnabschnitt stromabwärts begrenzende Klemmstelle verstellt wird, Upstream bedeutet, dass die den Warenbahnabschnitt stromaufwärts begrenzende Klemmstelle verstellt wird. Bei dieser einfachen Ausgestaltung ist jedoch die Bahnzugkraft in vorausgehenden und/oder nachfolgenden Warenbahnabschnitten nicht von der Stellbewegung entkoppelt. Vielmehr wird die Änderung der Bahnzugkraft dem Warenbahnverlauf folgend durch die Maschine transportiert und ist in allen nachfolgenden Abschnitten auszuregeln. Zusätzlich zu dieser indirekten Störung aufgrund des Transports der Materialbahn ist in dem Warenbahnabschnitt, der an die verstellte Klemmstelle angrenzt, eine direkte Störung aufgrund der Stellbewegung vorzufinden.

20

Es ist möglich, bei einer Downstream-Regelung mittels einer (dynamischen) Downstream-Vorsteuerung alle nachfolgenden Klemmstellen so vorzusteuern, dass diese direkt die Auswirkungen der führenden Klemmstelle kompensieren, also die Bahnzugkraft sich dort nicht verändert. Infolgedessen ist gewährleistet, dass alle nachfolgenden Bahnzugkraftregler nicht die Störungen der Stellbewegung sowie der Kopplung durch die Materialbahn ausregeln müssen. Dies wird bspw. in der Veröffentlichung "Simulation und Optimierung des Bahnspannungsverhaltens", 9. Bahnlaufseminar der Technischen Universität Chemnitz, Chemnitz, 2007, Schnabel, H., Dörsam, E., Schultze, S., beschrieben. Die Bahnzugkraft in den nachfolgenden Warenbahnabschnitten ist hier von der Regelung der Bahnspannung in dem führenden Warenbahnabschnitt entkoppelt.

25

30



In der DE 10 2008 056 132 A1 wird eine Entkopplung für eine Upstream-Regelung vorgeschlagen, wobei zusätzlich zu einer (konstanten) Upstream-Vorsteuerung auch eine (dynamische) Downstream-Vorsteuerung mittels PT1-Glied durchgeführt wird.

- 5 In der DE 10 2009 016 206 A1 wird ein Verfahren mit einer ausschließlich in Upstream-Richtung umgesetzten Entkopplung offenbart. Dabei wird eine Kombination aus einer in Upstream-Richtung durch ein DT_1 -Glied gewichteten Vorsteuerung und einer durch ein negatives PT_1 -Glied gewichteten Vorsteuerung ausschließlich der hinteren begrenzenden Klemmstelle offenbart. Die Angaben "vor" und "hinter" einer Klemmstelle bzw. einem
- 10 Warenbahnabschnitt beziehen sich auf die Transportrichtung der Warenbahn, d.h. den Warenbahnverlauf.

Es sind nun jedoch auch Maschinenkonfigurationen möglich, in denen sich eine Bahnspannungsänderung aus einem Warenbahnabschnitt erst zeitverzögert in einem

15 anderen Warenbahnabschnitt niederschlägt, wobei der Bereich zwischen den beiden Abschnitten unregelt ist und im Folgenden als Verzögerungsabschnitt bezeichnet wird. Die Zeitverzögerung wird auch als Totzeit bezeichnet.

Ein Verzögerungsabschnitt wird bspw. ausgebildet, wenn die Warenbahn eine oder mehrere

20 Walzen, wie z.B. Kühl- oder Trocknungswalzen umschlingt, wobei sich die Bahnzugkraft durch die Anschmiegung der Bahn an die Walze während des Walzenkontaktes näherungsweise nicht ändert. Für solche Fälle ist im Stand der Technik keine konkrete Lösung angegeben.

25 Offenbarung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung einer Bahnzugkraft mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der

Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

30

Vorteile der Erfindung

011739

Die Erfindung schafft eine Möglichkeit, die Zugkraft in einem zweiten Warenbahnabschnitt von einer Zugkraftregelung in einem ersten Warenbahnabschnitt zu entkoppeln, auch wenn der erste und der zweite Warenbahnabschnitt durch einen Verzögerungsabschnitt getrennt sind. Innerhalb des Verzögerungsabschnitts wird die Bahnzugkraft nicht verändert, d.h. ein

5 Warenbahnquerschnitt verlässt den Verzögerungsabschnitt mit im Wesentlichen derselben Bahnzugkraft, mit der er in den Verzögerungsabschnitt eingelaufen ist. Es sei betont, dass dennoch entlang des Verzögerungsabschnitts unterschiedliche Bahnzugkraftwerte vorliegen können, indem die Bahnzugkraft an der Einlaufstelle variiert. Ein Verzögerungsabschnitt wird

10 bspw. ausgebildet, wenn die Warenbahn eine oder mehrere Walzen, wie z.B. Kühl- oder Trocknungswalzen oder Gegendruckzylinder, umschlingt. Umschlungene Walzen sind üblicherweise auch relativ groß, so dass bereits ab einer Umschlingung von ca. 5% die Effekte auf das Bahnspannungsverhalten so groß sind, dass die Erfindung zu merklichen Vorteilen führt. Je größer der Umschlingungsgrad, desto deutlicher wird der Unterschied einer erfindungsgemäßen Entkopplung zu einer Entkopplung aus dem Stand der Technik.

15 Ab einer Umschlingung von 25% ist mit herkömmlichen Mitteln üblicherweise keine Entkopplung mehr zu bewerkstelligen. Hier ist die Erfindung dann besonders vorteilhaft.

Die Erfindung gibt eine Lösung an, um Transportverzögerungen (Totzeiten) bei der Regelung bzw. bei einer Entkopplung (Vorsteuerung) zu berücksichtigen. Im Rahmen der

20 Erfindung werden dabei den Verzögerungszeiten proportionale Zeitverzögerungsglieder in der Vorsteuerung von Stellgliedern verwendet. Im Rahmen der Erfindung wird der Stellbefehl für ein Stellglied eines ersten Warenbahnabschnitts im Rahmen einer Zugkraftregelung aus einem Regelungs-Ausgangswert bestimmt, bspw. durch einen PI-Regler. Dieser Regelungs-

25 Ausgangswert wird zur Entkopplung an Stellglieder anderer Warenbahnabschnitte über entsprechende Regelglieder, wie z.B. P-Glieder oder PT1-Glieder, vorgesteuert, wie aus dem einleitend zitierten Stand der Technik bekannt. Um nun zusätzlich eine wirksame Entkopplung auch über einen Verzögerungsabschnitt hinweg sicherzustellen, werden Anteile von Stellbefehlen für ausgewählte Stellglieder von Warenbahnabschnitten, die durch einen

30 Verzögerungsabschnitt getrennt sind, zeitlich entsprechend verzögert, wobei die Zeitverzögerung der Verzögerungszeit des Verzögerungsabschnitts proportional ist.

Die Verzögerungszeit kann als Quotient der Bahnlänge (d.h. die Länge der Warenbahn) des Verzögerungsabschnitts (beispielsweise handelt es sich hier um die Länge einer



Umschlingung einer Walze oder eines CI-Druckzylinders (common impression) und der Bahngeschwindigkeit bestimmt werden. Dies ermöglicht vorteilhaft eine Anpassung des Zeitverzögerungsgliedes an veränderte Bahngeschwindigkeiten online während des Betriebs. Ein Verzögerungsabschnitt kann insbesondere auch durch mehrere Walzen
5 hintereinander gebildet werden, beispielsweise zur Trocknung von Papier in Papiermaschinen. Diese Walzen werden oft gleich angetrieben und bilden zusammen einen Verzögerungsabschnitt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird bei der Ermittlung der Bahnlänge eines von
10 einer oder mehreren umschlungenen Walzen gebildeten Verzögerungsabschnitts berücksichtigt, wie sich die Bahnzugkräfte in den dem Verzögerungsabschnitt benachbarten Warenbahnabschnitten verhalten. Wenn nämlich bei einer umschlungenen Walze die Bahnzugkräfte auf beiden Seiten der Walze unterschiedlich sind, ist ein Teil der Umschlingung schlupfbehaftet (Euler-Eytelwein'sche Seilreibungsgleichung). Aufgrund von
15 Reibungseffekten über einer bahntransportierenden umschlungenen Walze kann es vorkommen, dass nicht der gesamte Umschlingungswinkel als Totzeit bzw. Transportzeit der Bahndehnung angenommen wird, sondern nur ein geringerer Winkel der Umschlingung, da bei unterschiedlichen Bahnzugkräften vor und hinter der Umschlingung ein Teil der Umschlingung schlupfbehaftet transportiert wird und somit nicht als Totzeit in den Transport
20 der gedehnten Bahn eingeht, sondern eher als virtuelle Verlängerung des entsprechenden zugehörigen Bahnabschnittes angesehen werden kann. Je größer die Kraftdifferenz wird, umso größer wird der schlupfende Bereich. Die Länge des nicht-schlupfenden Bereichs definiert die Länge des Verzögerungsabschnitts und kann gemäß der genannten Euler-Eytelwein'sche Seilreibungsgleichung berechnet werden. Der schlupfende Bereich ist in
25 erster Näherung dem angrenzenden Warenbahnabschnitt zuzurechnen. Wird beispielsweise vor der Umschlingung eine etwas niedrigere Bahnzugkraft als hinter der Umschlingung angenommen, so wird ein Teil der Umschlingung am Umschlingungsbeginn (in Bahnlaufrichtung gesehen) die Warenbahn nicht schlupffrei transportieren und somit auch keine Totzeit im Sinne des Dehnungstransports darstellen. Diese Teilumschlingung kann
30 dann näherungsweise der Bahnlänge des vorangehenden Bahnabschnitts hinzugerechnet werden (Addition).

Die Erfindung basiert auf der Maßnahme, die Ansteuerung eines zweiten, von einem ersten Warenbahnabschnitt durch einen Verzögerungsabschnitt getrennten Warenbahnabschnitts mit einem zweiten Stellbefehl (insbesondere im Rahmen einer Vorsteuerung) vorzunehmen, der sich aus einem Regelungs-Ausgangswert für die Regelung der Zugkraft in dem ersten
5 Warenbahnabschnitt und zusätzlich unter Verwendung eines Zeitverzögerungsglieds, insbesondere eines Totzeitglieds, einer Näherung eines Totzeitglieds, oder eines PT_1 -, ..., PT_n -Glieds, ergibt. Die Ansteuerung eines Warenbahnabschnitts soll als Ansteuerung eines Stellglieds zur Steuerung/Regelung der Bahnspannung in dem betreffenden Warenbahnabschnitt verstanden werden. Vorzugsweise beeinflusst der Stellbefehl die
10 Drehgeschwindigkeit einer den Warenbahnabschnitt begrenzenden Klemmstelle als Stellglied, es sind jedoch auch andere Stellglieder, wie druckbelastete Walzen bekannt. In die Vorsteuerung in Upstream-Richtung können ebenfalls Einzugswerk und Abwickler einbezogen werden, in die Vorsteuerung in Downstream- Richtung können ebenfalls Auszugswerk und Aufwickler einbezogen werden.

15 Ausgehend von einer vorhandenen Regelungsstruktur kann eine erfindungsgemäße Regelungsstruktur durch Einfügen eines Zeitverzögerungsglieds in die Erzeugung des Stellbefehls für das Stellglied, welches die Bahnzugkraft in dem zweiten Warenbahnabschnitt beeinflusst, erhalten werden. Die Erfindung kann in der Praxis
20 besonders einfach umgesetzt werden. Insbesondere kann sie auf Regelungsstrukturen, wie sie im Stand der Technik bekannt sind und einleitend beschrieben wurden, aufsetzen. Im Rahmen dieser Erfindung wird dabei ausdrücklich auf die Regelungsstrukturen gemäß der DE 10 2008 056 132 A1 und der DE 10 2009 016 206 A1 Bezug genommen. Die Kombination der vorliegenden Erfindung mit diesen Regelungsstrukturen wird ausdrücklich
25 als besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung benannt. Dadurch kann zusätzlich zur Entkopplung des zweiten Warenbahnabschnitts eine Entkopplung weiterer Abschnitte erfolgen. Auch eine Kombination mit einer Regelungsstruktur gemäß der nachveröffentlichten DE 10 2011 014 074 ist besonders bevorzugt. Auf diese Weise kann eine Stelle mit unveränderter Warenbahngeschwindigkeit vorgegeben werden, was
30 insbesondere für Digitaldruckwerke vorteilhaft ist.

Es ist ebenso vorteilhaft, die Zeitverzögerung bei der Auslegung der Regelung durch Vorgabe der Reglerparameter (wie Proportionalverstärkung K_P , Nachstellzeit T_N usw.) zu

011739

berücksichtigen. Typischerweise sinkt beispielsweise die erreichbare P-Verstärkung mit steigender Zeitverzögerung. Alternativ kann im Regler eine Kompensation (z.B. mittels Smith-Prädiktor) der erwarteten Zeitverzögerung durchgeführt werden.

- 5 Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer Bahnbearbeitungsmaschine, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

Auch die Implementierung der Erfindung in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten ermöglicht, insbesondere wenn eine ausführende Recheneinheit noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere Disketten, Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, CD-ROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

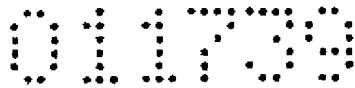
15 Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

30 Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine generalisierte Regelungsstruktur zur entkoppelten Regelung der Bahnzugkraft für einen Warenbahnabschnitt anhand einer Druckmaschine ohne Verzögerungsabschnitt.



Figur 2 zeigt eine Alternative zu Figur 1 mit einem Verzögerungsabschnitt, der von einer umschlungenen Walze gebildet wird.

5 Figur 3 zeigt eine Alternative zu Figur 1 mit einem Verzögerungsabschnitt, der von mehreren umschlungenen Walzen gebildet wird.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

- 10 In Figur 1 wird eine generalisierte Regel- und Steuerstruktur zur Regelung bzw. Steuerung der Bahnzugkraft für Warenbahnabschnitte in einer Druckmaschine beschrieben. Es ist ein schematischer Ausschnitt einer Druckmaschine 10 dargestellt, in der eine Materialbahn 101 durch fünf hier als Druckwerke 1 bis 5 ausgebildete Klemmstellen transportiert und bearbeitet wird. Zwischen jeweils zwei benachbarten Klemmstellen ist ein
- 15 Warenbahnabschnitt ausgebildet. Beispielsweise ist ein Warenbahnabschnitt 12 durch die Druckwerke 1 und 2 begrenzt, ein Warenbahnabschnitt 23 durch die Druckwerke 2 und 3, ein Warenbahnabschnitt 34 durch die Druckwerke 3 und 4 und ein Warenbahnabschnitt 45 durch die Druckwerke 4 und 5. Die Druckmaschine weist weiterhin hier als Kraftmessdosens 121 bis 124 ausgebildete Bahnzugkraftsensoren zur Ermittlung der Zugkraft (welche, wie
- 20 erwähnt, proportional zur der Bahnspannung ist) in den jeweiligen Warenbahnabschnitten auf. Die Ermittlung der jeweiligen Bahnzugkräfte kann auch über andere Methoden als durch Messung erfolgen, beispielsweise ist in der DE 10 2005 058 810 A1 eine alternative Methode veröffentlicht. In der gezeigten Darstellung wird die Bahnzugkraft durch
- 25 Veränderung der Umfangsgeschwindigkeiten v_1 bis v_5 der Druckwerke 1 bis 5 beeinflusst. Prinzipiell kann die Bahnzugkraft mittels Winkelverstellung, Geschwindigkeitsaufschaltung und/oder Begrenzung des Antriebsmomentes wenigstens einer diesen Warenbahnabschnitt begrenzenden Klemmstelle eingestellt werden.

Die physikalischen Parameter, nämlich die Länge l , die Dehnung ε und die Bahnspannung

30 bzw. Zugkraft F der einzelnen Warenbahnabschnitte sind in der Figur ebenfalls mit entsprechenden Indizes angegeben. Als Länge eines Bahnabschnittes ist hierbei die Länge der Warenbahn anzusehen, welche in dem betrachteten Bahnabschnitt eingespannt ist.

Zur Regelung der Bahnzugkraft wird eine Regelabweichung e einem Regelglied 140, bspw. einem PI-Regler, zugeführt, der daraus einen Regelungs-Ausgangswert Δv (z.B. eine Drehzahlveränderung) berechnet. Dieser Regelungs-Ausgangswert kann über einzelne Glieder 131 bis 135 mit zugehörigen Übertragungsfunktionen G_1 bis G_5 auf die

- 5 Umfangsgeschwindigkeiten v_1 bis v_5 einwirken. Bei den Gliedern 131 bis 135 kann es sich um Nullglieder (d.h. $G = 0$), aber auch um P -, I -, D -, PT_1 -, PT_2 -, PT_n -, DT -, DT_2 -, DT_n -Glieder usw. oder beliebigen Kombinationen davon mit den bekannten zugehörigen Übertragungsfunktionen handeln. Die Glieder 131 bis 135 und 140 sind zweckmäßigerweise in einer Recheneinheit implementiert.

10

Nachfolgend sollen grundlegende Beispiele für eine Regelung der Bahnzugkraft in dem Abschnitt 34 beschrieben werden.

Für den Abschnitt 34 bewirkt eine Erhöhung der Geschwindigkeit v_3 der vorderen

- 15 Klemmstelle 3 eine Verringerung der Bahnzugkraft und entgegengesetzt bewirkt eine Erhöhung der Geschwindigkeit v_4 der hinteren Klemmstelle 4 einen Anstieg der Bahnzugkraft. Nachfolgende Regelungs- und Entkopplungsstrategien sind bekannt, wobei sich die Stellgröße als $G_i \cdot \Delta v$ ergibt:

20 (1) Upstream-Regelung: $G_1 = 0$, $G_2 = 0$, $G_3 = -1$, $G_4 = 0$, $G_5 = 0$

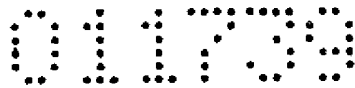
(2) Downstream-Regelung: $G_1 = 0$, $G_2 = 0$, $G_3 = 0$, $G_4 = 1$, $G_5 = 0$

(3) Upstream-Regelung mit Upstream-Entkopplung: $G_1 = -1$, $G_2 = -1$, $G_3 = -1$, $G_4 = 0$, $G_5 = 0$

25 (4) Upstream-Regelung mit Upstream- und Downstream-Entkopplung: $G_1 = -1$, $G_2 = -1$, $G_3 = -1$, $G_4 = 0$, $G_5 = -PT_1$

(5) Downstream-Regelung mit Downstream-Entkopplung: $G_1 = 0$, $G_2 = 0$, $G_3 = 0$, $G_4 = 1$, $G_5 = DT_1$

- 30 Bei diesen Regelstrategien ist eine Berücksichtigung eines Verzögerungsabschnitts nicht vorgesehen. Ein Verzögerungsabschnitt 6 kann bspw. entstehen, wenn eine Klemmstelle als Walze 4' mit Umschlingung der Warenbahn, bspw. als Trocknungswalze, gemäß Figur 2



oder als eine Reihe von umschlungenen Walzen 4' gemäß Figur 3 ausgebildet ist. Jede Walze 4' wird in der Figur zu ca. 50% umschlungen.

5 Der Verzögerungsabschnitt 6 führt nun zu einer Zeitverzögerung ΔT bei der Vermittlung einer Bahnspannungsänderung, welche der Laufzeit der Warenbahn entlang der umschlungenen Länge der Walze(n) 4' entspricht. Die Länge kann mit l_4 angegeben werden, so dass $\Delta T = l_4 / v_4$.

10 Die oben erläuterten Entkopplungsschemata werden daher im Rahmen der Erfindung so verändert, dass trotz der Zeitverzögerung ΔT die Bahnspannung in den durch den Verzögerungsabschnitt 6 abgetrennten Warenbahnabschnitten (hier der Abschnitt 45) von einer Verstellung der Bahnzugkraft im Abschnitt 34 entkoppelt bleibt. Ohne Berücksichtigung der Zeitverzögerung würde bspw. die Anwendung des Schemas (4) im Fall der Figuren 2 oder 3 zu einer Veränderung der Bahnzugkraft F_{45} im Warenbahnabschnitt 45 führen.

15

Vorteilhaft weitergebildete Schemata ergeben sich zu:

(6) Upstream-Regelung mit Upstream- und Downstream-Entkopplung über einen Verzögerungsabschnitt:

20 $G_1 = -1, G_2 = -1, G_3 = -1, G_4 = 0, G_5 = -PT_1 \cdot \Delta T$

Das Verzögerungsglied kann als Totzeitglied, als PT_n -Glied ($n=1, 2, 3, \dots$) oder Padé-approximiert werden.

25 Wie in der nachveröffentlichten DE 10 2011 014 074 beschrieben, kann ein Regelschema durch einfache Addition oder Subtraktion von Regelgliedern in gleichwertige andere Regelschemata überführt werden. Beispielsweise ergibt sich (5) aus (4) durch Addition von $G=1$, wobei $1-PT_1$ als DT_1 angenähert wird.

30 Aus (6) ergibt sich so bspw. durch Addition von $G=1$

(7) Downstream-Regelung mit Downstream-Entkopplung:

$G_1 = 0, G_2 = 0, G_3 = 0, G_4 = 1, G_5 = 1 - PT_1 \cdot \Delta T$



Die Erfindung deckt alle durch Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division ableitbaren Entkopplungsstrategien aus (6) ab.

5 Im obigen Beispiel (6) bliebe(n) die Walze(n) 4' unverstellt, was meist erwünscht ist. Ist jedoch bspw. erwünscht, dass die Klemmstelle 5 unverstellt bleibt, könnte dies durch Addition von $PT1 \cdot \Delta T$ erreicht werden, woraus sich folgendes gleichwertiges Regelschema ergäbe:

$$(6') G1 = -1 + PT1 \cdot \Delta T, G2 = -1 + PT1 \cdot \Delta T, G3 = -1 + PT1 \cdot \Delta T, G4 = PT1 \cdot \Delta T, G5 = 0$$

10 In diesem Fall würden zunächst alle Klemmstellen vor dem Verzögerungsabschnitt gleichsinnig verstellt ($G = \underline{-1} + PT1 \cdot \Delta T$), um den Reglereingriff zu entkoppeln. Der Reglereingriff wird dann zeitlich verzögert in den Abschnitt 45 übertragen. Für die Entkopplung des Abschnitts 45 wird dann die Klemmstelle 4' erst nach der Verzögerungszeit gemäß einem $PT1$ -Verhalten verstellt ($G4 = \underline{PT1 \cdot \Delta T}$). Um die vorangehenden
15 Warenbahnabschnitte 34, 23 und 12 von dieser neuerlichen Stellbewegung zu entkoppeln, werden die zugehörigen Klemmstellen 1-3 ebenfalls nach der Verzögerungszeit gemäß einem $PT1$ -Verhalten verstellt ($G = -1 + \underline{PT1 \cdot \Delta T}$).

Die in der Erfindung dargestellten Entkopplungsstrategien gelten für die Regelung der
20 Zugkraft, Bahnspannung und Dehnung. Somit können als Eingangsgrößen für die Regelung ebenfalls die Istkraft, Istbahnspannung und/oder Istdehnung verwendet werden. Des Weiteren wäre eine Regelung und/oder Vorsteuerung durch mittels Beobachter rekonstruierte Größen denkbar.

25 Weiterhin können die Steuergrößen der Glieder 131 bis 135, die auf die Geschwindigkeiten v_1 bis v_5 wirken, mit Steuergrößen von Bahnzugkraftregelungen weiterer Warenbahnabschnitte kombiniert werden. In der oben ausgeführten Beschreibung wurde eine Regelung mit Messung im Warenbahnabschnitt 34 beschrieben. Sind daneben noch weitere Bahnzugkraftregelungen vorhanden, z.B. mit Messung in den
30 Warenbahnabschnitten 12, 23 und 45, so werden deren Steuergrößen auf die Geschwindigkeiten v_1 bis v_5 aufaddiert.

011739

Patent-
Ansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Bahnzugkraft in einer Bearbeitungsmaschine (10) zur
Bearbeitung einer Warenbahn (101), insbesondere einer wellenlosen Druckmaschine, wobei
5 ein erster Warenbahnabschnitt (34) von einem zweiten Warenbahnabschnitt (45) durch
einen Verzögerungsabschnitt (6) getrennt ist, wobei die Bahnzugkraft (F_{34}) in dem ersten
Warenbahnabschnitt (34) von einem ersten Stellglied (3, 4') beeinflusst wird und die
Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von einem zweiten Stellglied
(4', 5) beeinflusst wird, wobei zur Regelung der Bahnzugkraft in dem ersten
10 Warenbahnabschnitt (34) ein Regelungs-Ausgabewert (Δv) bestimmt wird, aus dem der
Stellbefehl ($v_3; v_4$) für das erste Stellglied (3, 4') abgeleitet wird, und zur Entkopplung der
Bahnzugkraft (F_{45}) in dem zweiten Warenbahnabschnitt (45) von der Regelung der
Bahnzugkraft in dem ersten Warenbahnabschnitt (34) der Stellbefehl ($v_4; v_5$) für das zweite
Stellglied (4', 5) aus dem Regelungs-Ausgabewert (Δv) und einem Verzögerungsglied
15 bestimmt wird, wobei das Verzögerungsglied die Wirkung des Regelungs-Ausgabewert (Δv)
auf den Stellbefehl ($v_4; v_5$) für das zweite Stellglied (4', 5) um eine Verzögerungszeit
verzögert, die die Warenbahn zum Durchlaufen des Verzögerungsabschnitts (6) benötigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verzögerungsglied ein Totzeitglied oder ein
20 proportionales Glied mit Zeitverzögerung oder ein Glied gemäß einer Padé-Approximation
ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Verzögerungszeit als Quotient aus der
Länge (l_4) des Verzögerungsabschnitts (6) und der Geschwindigkeit (v_4) der Warenbahn in
25 dem Verzögerungsabschnitt bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der
Verzögerungsabschnitt (6) wenigstens eine Walze (4') enthält, die von der Warenbahn zu
mindestens 5% umschlungen wird.
30

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der
Verzögerungsabschnitt (6) mehrere Walzen (4') enthält, die jeweils von der Warenbahn zu
mindestens 5% umschlungen werden.

011739

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei bei der Ermittlung der Länge (l_4) des von einer oder mehreren umschlungenen Walzen gebildeten Verzögerungsabschnitts (6) berücksichtigt wird, wie sich die Bahnzugkräfte in den dem Verzögerungsabschnitt (6) benachbarten Warenbahnabschnitten (34, 45) verhalten.

5

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Reglerparameter für die Bestimmung des Regelungs-Ausgabewerts (Δv) in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit vorgegeben werden.

10

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Reglerparameter für die Bestimmung des Regelungs-Ausgabewerts (Δv) in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit vorgegeben werden, wenn die Ermittlung einer Rückführgröße für die Regelung an einer Position stattfindet, die von dem ersten Stellglied (3, 4') durch den Verzögerungsabschnitt (6) getrennt ist.

15

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Rückführgröße für die Regelung berechnet oder geschätzt wird.

20

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei statt der Bahnzugkraft eine Bahnspannung oder eine Bahndehnung geregelt wird.

11. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

25

20. Dez. 2012

PATENTANWÄLTE
PUCHBERGER, BERGER & PARTNER
A-1010 Wien, Rindlerstraße 13
Telefon 513 23 92 Telefax 513 37 09

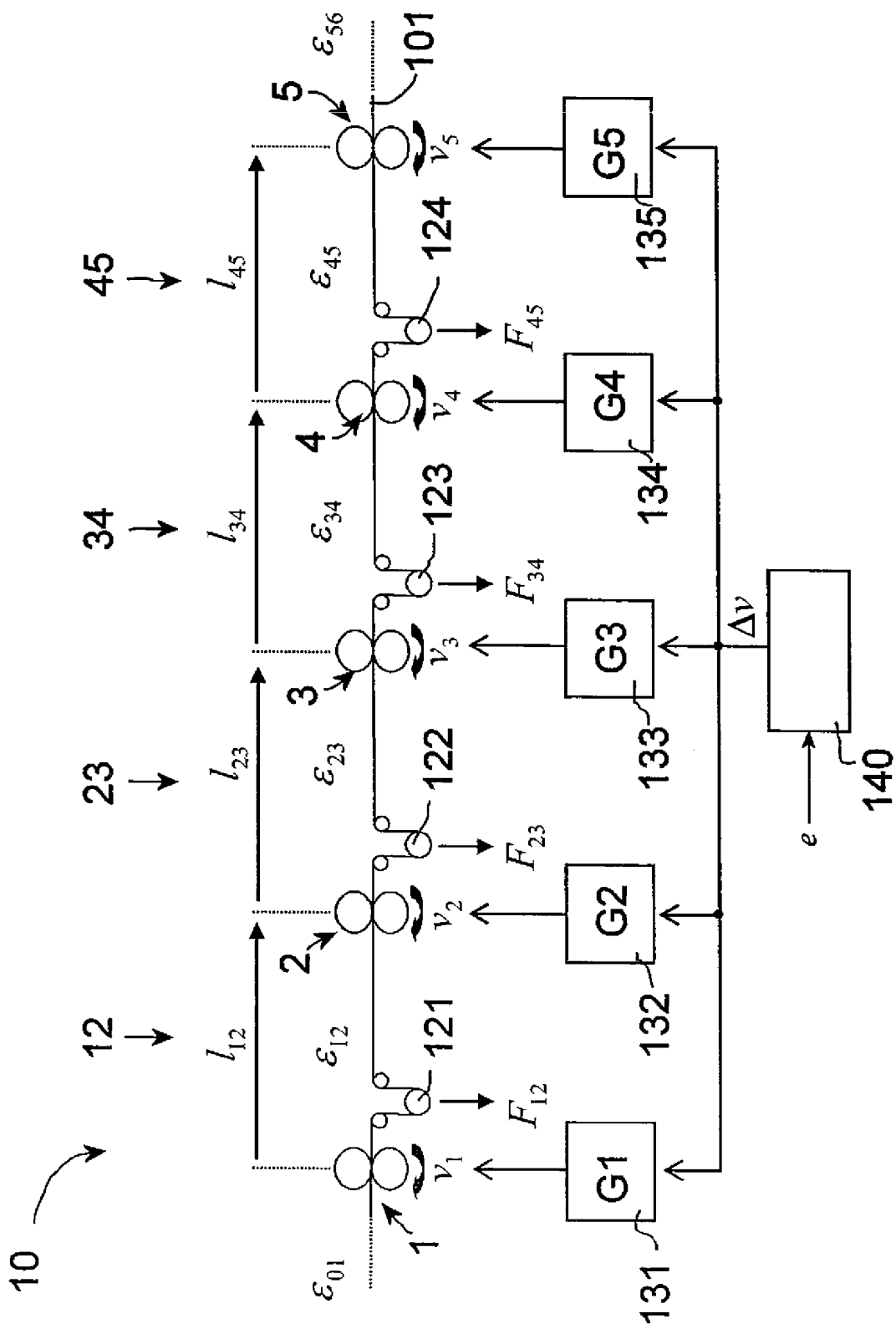


Fig. 1

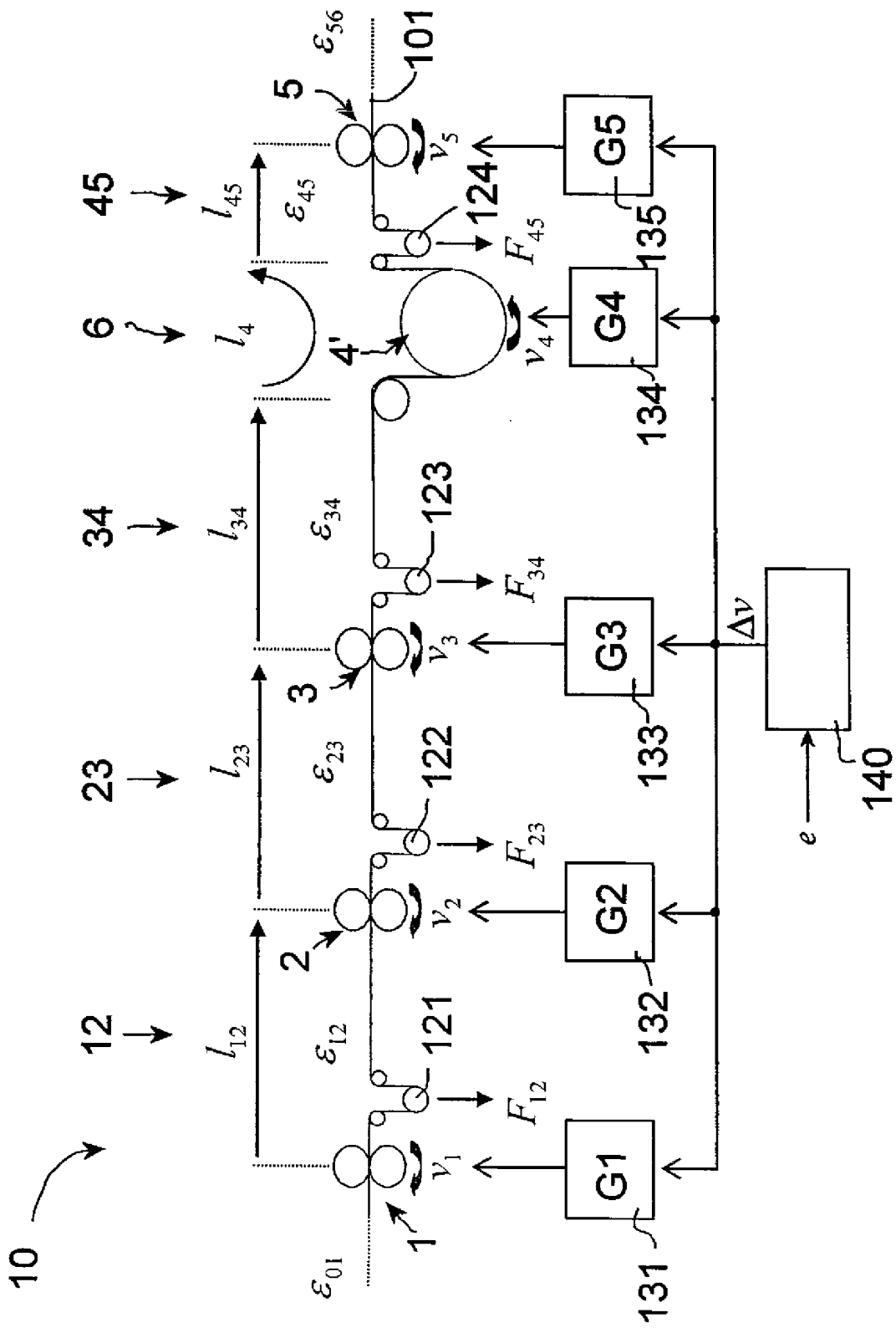


Fig. 2

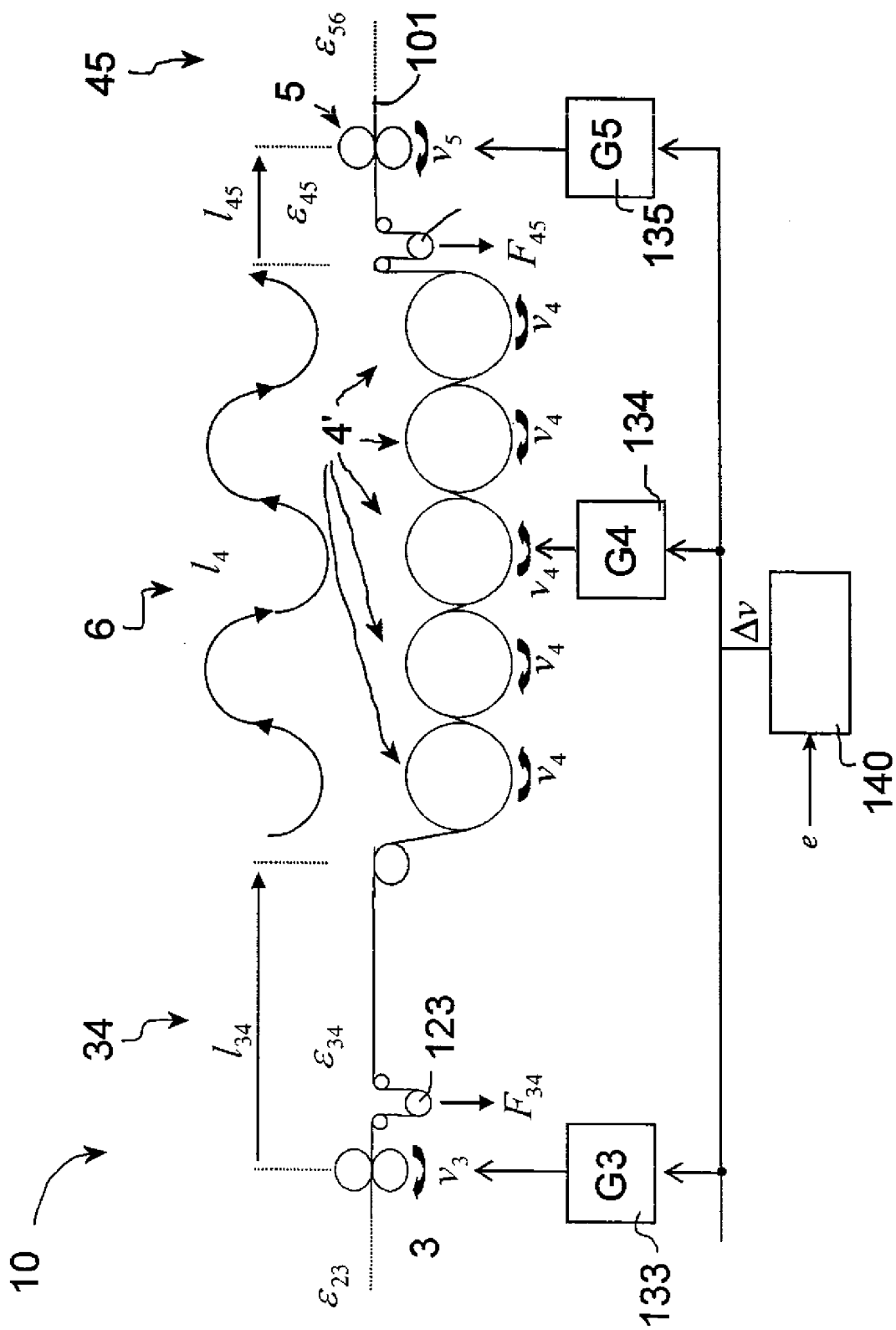


Fig. 3