

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 808/2014  
(22) Anmeldetag: 03.11.2014  
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2018

(51) Int. Cl.: **B65H 23/188** (2006.01)  
**B41F 13/04** (2006.01)

(30) Priorität:  
08.11.2013 DE 102013222692.6 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 0415881 A2  
DE 10335887 A1  
DE 102011014074 A1

(73) Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH  
70442 Stuttgart (DE)

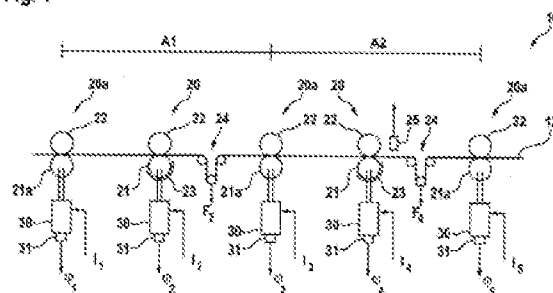
(72) Erfinder:  
Goeb Mario  
97080 Würzburg (DE)  
Schultze Stephan  
97816 Lohr-Wombach (DE)  
Schnabel Holger  
97076 Würzburg (DE)

(74) Vertreter:  
Puchberger & Partner Patentanwälte  
1010 Wien (AT)

(54) **Bahnzugkraftregelung bei Pilgerschrittverfahren**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Steuergerät zur Bahnzugkraftregelung bei einer Bahnbearbeitungsmaschine zur Bearbeitung einer Warenbahn (12), wobei die Warenbahn (12) mittels wenigstens eines Bearbeitungswerks (20) bearbeitet wird, wobei die Warenbahn (12) mittels Transportwerken (20a) in einer ersten Betriebsphase eines Pilgerschrittverfahrens in eine erste Richtung und in einer zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens in eine zweite, entgegengesetzte Richtung bewegt wird, wobei eine Bahnzugkraft ( $F_2$ ,  $F_4$ ) in einem von einem ersten und einem zweiten Transportwerk der Transportwerke (20a) begrenzten ersten Warenbahnabschnitt (A1, A2) ermittelt und durch eine Bahnzugkraftregelung (50) auf einen Bahnzugkraftsollwert ( $F_{wk}$ ) geregelt wird, indem eine Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{w3}$ ) des zweiten Transportwerks (20a) durch eine Reglerstellgröße ( $u_k$ ) beeinflusst wird, wobei die Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{w3}$ ) des zweiten Transportwerks (20a) in der ersten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem positiven Regelsinn und in der zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem negativen Regelsinn, welcher eine zum positiven Regelsinn gegenläufige Bewegungsrichtung des zweiten Transportwerkes aufweist, beeinflusst wird.

Fig. 1



## Beschreibung

### BAHNZUGKRAFTREGELUNG BEI PILGERSCHRITTVERFAHREN

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bahnzugkraftregelung bei einer Bahnbearbeitungsmaschine zur Bearbeitung einer Warenbahn.

**[0002]** 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 Bahnbearbeitungsmaschinen 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.

### STAND DER TECHNIK

**[0003]** Bei Bahnbearbeitungsmaschinen, insbesondere Druckmaschinen, wird eine Warenbahn entlang von angetriebenen Walzen (Bahntransportwalzen), wie z.B. Zugwalzen oder Vorschubwalzen, und nicht angetriebenen Walzen, wie z.B. Umlenk-, Leit-, Trocknungs- oder Kühlwalzen, bewegt. Die Warenbahn wird gleichzeitig mittels meist ebenfalls angetriebener Bearbeitungswerke bearbeitet, bspw. bedruckt, gestanzt, geschnitten, gefalzt usw.

**[0004]** Die Zugkraft bzw. Bahnspannung (solange keine Querschnittsänderung auftritt, sind Zugkraft und Spannung proportional; gemessen wird jedoch üblicherweise die Zugkraft) der Warenbahn wird im Wesentlichen mittels sog. Klemmstellen beeinflusst, die die Warenbahn form- oder kraftschlüssig einklemmen. Es handelt sich dabei regelmäßig um angetriebene Transport- oder Bearbeitungswerke. Bei einer Druckmaschine wird eine Klemmstelle üblicherweise durch ein Transport- bzw. Zugwerk, bei dem ein Kraftschluss zwischen einer angetriebenen Zugwalze, einem Presseur bzw. Gegendruckzylinder 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 Walzen 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 Verstellung bzw. Regelung der Bahnzugkraft erfolgt meist über eine Dehnung als Stellgröße, indem die Drehgeschwindigkeit der Walzen der Klemmstellen beeinflusst wird. Dies wird im Folgenden auch mit "Verstellen der Klemmstelle" bezeichnet.

**[0005]** Die Verstellung bzw. Regelung der Bahnzugkraft eines Warenbahnabschnitts kann durch unterschiedliche Verfahren erfolgen. Downstream bedeutet, dass die den Warenbahnabschnitt stromabwärts begrenzende Klemmstelle verstellt wird, um die Bahnzugkraft im Warenbahnabschnitt zu beeinflussen, Upstream bedeutet, dass die den Warenbahnabschnitt stromaufwärts begrenzende Klemmstelle verstellt wird, um die Bahnzugkraft im Warenbahnabschnitt zu beeinflussen. Bei dieser einfachen Ausgestaltung ist jedoch die Bahnzugkraft in führenden 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 Warenbahn tritt in dem Warenbahnabschnitt, der an die verstellte Klemmstelle angrenzt, eine direkte Störung aufgrund des Stelleingriffs auf. Es ist jedoch möglich, mittels unterschiedlich ausgestalteter Vorsteuerungen die übrigen Warenbahnabschnitte zu entkoppeln, d.h. die dort herrschende Bahnspannung von dem Stelleingriff unbeeinflusst zu lassen. Eine Übersicht über zahlreiche Verfahren zur Bahnzugkrafteinstellung mit und ohne Entkopplung findet sich in der in der DE 10 2011 014 074 A1. Möglichkeiten zur gestellten Veränderung der Bahnspannung in einem der übrigen Warenbahnabschnitte werden in der DE 10 2011 105 448 A1 beschrieben.

**[0006]** All diese vorbekannten Lösungen basieren auf der Voraussetzung, dass die Warenbahn

nur in Vorwärtsrichtung bewegt wird. Daneben existieren jedoch auch sog. Pilgerschrittverfahren, bei denen während des Betriebs auch Bewegungen in Rückwärtsrichtung auftreten. Die Vorwärtsrichtung und die Rückwärtsrichtung werden hier als unterschiedliche Betriebsphasen bezeichnet.

**[0007]** Beispielsweise sei hier auf die DE 34 30 333 C2 verwiesen, in der ein Pilgerschrittverfahren eingesetzt wird, um eine Druckformatlänge unabhängig von einem Druckzylinderumfang vorgeben zu können. In druckfreien Bereichen, d.h. wenn die Druckplatte das Papier nicht berührt, wird dabei die Warenbahn zurückbewegt, um eine möglichst große Materialausnutzung zu erzielen.

**[0008]** Bei den heutzutage verbreiteten einzeln angetriebenen Druckzylindern wird ein Pilgerschrittverfahren üblicherweise durch elektronische Kurvenscheiben erzeugt. Dabei gibt eine meist virtuelle (d.h. rechnerisch erzeugte) Leitachse (meist Winkelstellung in Abhängigkeit von der Zeit) eine mittlere Vorschubgeschwindigkeit der Warenbahn vor, welcher die Druckwerke folgen, wobei die Bewegung der Bahntransportwerke mittels der Kurvenscheibenfunktion von der Leitachse abgeleitet wird. Die Kurvenscheibenfunktion beschreibt einen im Wesentlichen frei vorgebbaren Zusammenhang (z.B. in einer Tabelle) zwischen der Leitachseposition (Leitachswinkelstellung) als Eingangsgröße bzw. x-Wert und einer Folgeachsposition (Folgeachswinkelstellung) als Ausgangsgröße bzw. y-Wert.

**[0009]** Abgesehen von der Tatsache, dass die bisher beschriebenen Verfahren zur BahnzugkraftEinstellung auf eine Rückwärtsbewegung nicht anwendbar sind, existieren bei den durch Kurvenscheiben erzeugten Pilgerschrittverfahren auch gar keine passenden Eingriffsmöglichkeiten, um die geschwindigkeitsbeeinflussenden Stellgrößen dieser Verfahren entgegenzunehmen. Wie erläutert, sind die Kurvenscheiben nämlich positionsbasiert.

**[0010]** Davon ausgehend ist es wünschenswert, die etablierten Verfahren zur BahnzugkraftEinstellung auch bei Pilgerschrittverfahren einsetzen zu können.

#### OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

**[0011]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Bahnzugkraftregelung bei einer Bahnbearbeitungsmaschine zur Bearbeitung einer Warenbahn mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

#### VORTEILE DER ERFINDUNG

**[0012]** Ein Aspekt der Erfindung ist, dass die momentane Bewegungsrichtung der Warenbahn (also die Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens) bei der Bahnzugkraftregelung berücksichtigt wird. Insbesondere hängen von der momentanen Bewegungsrichtung der Regelsinn (d.h. führt eine Erhöhung der Reglerstellgröße zu einer Erhöhung (Regelsinn positiv) oder Reduzierung (Regelsinn negativ) der Bahnzugkraft) und auch die Entkoppelvorschrift ab. Die Warenbahn wird dabei mittels Transportwerken in einer ersten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens in eine erste Richtung und in einer zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens in eine zweite, entgegengesetzte Richtung bewegt. Die Warenbahn wird dabei von wenigstens einem Bearbeitungswerk bearbeitet. Eine Bahnzugkraft in einem von einem ersten und einem zweiten Transportwerk begrenzten ersten Warenbahnabschnitt wird ermittelt, insbesondere gemessen, und durch eine Bahnzugkraftregelung auf einen Bahnzugkraftsollwert geregelt, indem eine Drehgeschwindigkeit des zweiten Transportwerks durch eine Reglerstellgröße beeinflusst wird. Dabei wird die Drehgeschwindigkeit des zweiten Transportwerks in der ersten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem positiven Regelsinn und in der zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem negativen Regelsinn beeinflusst. Dies kann z.B. einfach dadurch umgesetzt werden, dass in der zweiten Betriebsphase die negative Reglerstellgröße verwendet wird.

**[0013]** Würde die momentane Bewegungsrichtung nicht bei der Einstellung des Regelsinns berücksichtigt werden, so würde der Regelkreis bei der Rückwärtsbewegung instabil werden, da

bei der Rückwärtsbewegung eine Drehzahlerhöhung einer bestimmten Klemmstelle die genau andere Auswirkung auf die Bahnzugkraft hat wie bei der Vorwärtsbewegung.

**[0014]** Um einen zweiten Warenbahnabschnitt von einer Stellbewegung in dem ersten Warenbahnabschnitt zu entkoppeln, wird aus der Reglerstellgröße nach Maßgabe einer Entkoppelvorschrift eine Vorsteuergröße  $v$  berechnet und zur Ansteuerung des zweiten Warenbahnabschnitts herangezogen. Die momentane Bewegungsrichtung entscheidet im Wesentlichen darüber, welcher der Warenbahnabschnitte der zweite Warenbahnabschnitt ist.

**[0015]** Eine besonders bevorzugte Entkoppelvorschrift umfasst einen Differenzialanteil und vorzugsweise auch einen Verzögerungsanteil (in einfacher Ausführung also ein DT1-Glied). Die Übertragungsfunktion eines DT1-Glieds lautet:

$$\mathbf{[0016]} \quad G(s) = \frac{K_D \cdot s}{1 + T_1 s}$$

**[0017]**  $K_D$ : Differenzierbeiwert (=Differenzierzeit  $T_D$ )

**[0018]**  $T_1$ : Verzögerungszeit

**[0019]** Diese Reglerparameter können auf einfache Weise, wie in den einleitend genannten und in diesen wiederum referenzierten Veröffentlichungen ausführlich beschrieben, aus der Warenbahnabschnittslänge und der Warenbahngeschwindigkeit (m/s) berechnet werden.

**[0020]** Würde die momentane Bewegungsrichtung nicht bei der Bestimmung der Entkoppelvorschrift berücksichtigt werden, so würde bei der Rückwärtsbewegung keine Entkopplung realisiert sein.

**[0021]** Gemäß einer ersten Ausführungsform ist jedem Transportwerk eine eigene Kurvenscheibenfunktion zugeordnet, die die Bewegungssollwerte für das Transportwerk von der Leitachse ableitet. Die Kurvenscheibenfunktion wird in diesem Fall üblicherweise direkt im Antriebsregler gerechnet.

**[0022]** Gemäß einer zweiten Ausführungsform ist mehreren Transportwerken eine gemeinsame Kurvenscheibenfunktion zugeordnet, die die Bewegungssollwerte für die mehreren Transportwerke von der Leitachse ableitet. Mit anderen Worten ist eine Soll-Drehwinkelstellung für ein zweites Transportwerk gleichzeitig eine Soll-Drehwinkelstellung für ein erstes und/oder mindestens ein weiteres Transportwerk. Diese gemeinsame Kurvenscheibenfunktion wird zweckmäßigerweise in einer übergeordneten Steuerung gerechnet und von dort den einzelnen Transportwerken zugeführt. In diesem Fall wird zweckmäßigerweise der Kurvenscheibenausgang auch differenziert als Geschwindigkeitssollwert, auf welchen die jeweilige Reglerstellgröße wirkt, verwendet. Die Differenzierung kann insbesondere im Antriebsregler stattfinden. Es muss nun lediglich eine einzige Kurvenscheibe gerechnet werden, welche die kontinuierliche Bewegung der virtuellen Leitachse in einen Pilgerschritt der virtuellen Folgeachse transformiert. Werden nun sämtliche realen Folgeachsen synchron mit dieser einen zusätzlichen virtuellen Folgeachse betrieben, so ist es mittels Standard-Bahnzugkraftregler möglich, einen multiplikativen Geschwindigkeitsoffset als Reglerstellgröße vorzugeben, da diese Struktur der virtuellen Folgeachse eine Eingriffsmöglichkeit für einen multiplikativen Geschwindigkeitsoffset beinhaltet.

**[0023]** Hingegen werden die Bewegungssollwerte des wenigstens einen Bearbeitungswerks ohne die Kurvenscheibenfunktion von der Leitachse abgeleitet. Das wenigstens eine Bearbeitungswerk folgt der Leitachse, gegebenenfalls unter Beeinflussung durch eine sog. Registerregelung, welche beispielsweise eine Winkelstellungsdifferenz zwischen Soll-Drehwinkelstellung für das wenigstens eine Bearbeitungswerk und Soll-Drehwinkelstellung der Leitachse bereitstellt.

**[0024]** Warenbahn wird Soll-Drehwinkelstellung für die Transportwerke werden vorzugsweise mittels einer Kurvenscheibenfunktion aus einer Soll-Drehwinkelstellung einer Leitachse berechnet wird.

**[0025]** Transportwerke folgen vorzugsweise dabei einer Kurvenscheibenfunktion Bearbei-

tungswerke hingegen werden ohne Kurvenscheibenfunktion.

**[0026]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist die Schaffung einer Eingriffsmöglichkeit für eine Bahnzugkraftregelung bei positionsabhängigen Kurvenscheibenfunktionen. Eine bevorzugte Möglichkeit dazu ist das Beaufschlagen des  $y$ -Werts (Positions- bzw. Drehwinkelsollwert) einer Kurvenscheibenfunktion mit der Reglerstellgröße der Bahnzugkraftregelung, insbesondere ein multiplikatives Verrechnen. Zweckmäßigerweise stellt die Reglerstellgröße dabei einen prozentualen Wert dar. Dadurch kann sichergestellt werden, dass trotz eines separat beeinflussbaren Vorschubs ( $x$ -Wert) die Folgeachse mit der Leitachse synchron betrieben werden kann. Würde man hingegen stattdessen über einen multiplikativen prozentualen Geschwindigkeitsoffset die  $x$ -Achse der Kurvenscheiben strecken oder stauchen, würden die Folgeachse und die Leitachse aufgrund eines Reglerstelleingriffs einen asynchronen Pilgerschritt ausführen.

**[0027]** Gemäß einer anderen Ausführungsform wird der  $y$ -Wert der Kurvenscheibenfunktion zunächst differenziert, um einen Geschwindigkeitssollwert zu erhalten, und der erhaltene Geschwindigkeitssollwert wird dann mit der Reglerstellgröße verrechnet. Bevorzugte Möglichkeiten sind hier die Verrechnung als sog. Getriebefeinabgleich, als multiplikativer Geschwindigkeitsoffset oder als additiver Geschwindigkeitsoffset. Diese Ausgestaltung ermöglicht den Einsatz herkömmlicher Bahnzugkraftregler, bei denen die Reglerstellgröße entsprechend ausgelegt ist.

**[0028]** Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer Bahnbearbeitungsmaschine, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

**[0029]** 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.

**[0030]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

**[0031]** 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.

**[0032]** Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

#### FIGURENBESCHREIBUNG

**[0033]** Figur 1 zeigt schematisch einen mechanischen Teil einer als Druckmaschine ausgebildeten Bahnbearbeitungsmaschine.

**[0034]** Figur 2 zeigt schematisch einen Antriebsregler zur Regelung der Drehung einer Druckwalze eines Druckwerkes.

**[0035]** Figur 2a zeigt schematisch einen (einfacheren) Antriebsregler zur Regelung der Drehung einer Zugwalze eines Transportwerkes.

**[0036]** Figur 3 zeigt schematisch eine der Bearbeitungsmaschine zugrunde liegende Reglerstruktur.

**[0037]** Figur 4a zeigt eine beispielhafte Kurvenscheibenfunktion als Zusammenhang zwischen einem  $x$ -Wert als Eingangsgröße und einem  $y$ -Wert als Ausgangsgröße.

**[0038]** Figur 4b zeigt einen zeitlichen Verlauf des  $y$ -Werts einer Kurvenscheibenfunktion gemäß Figur 4a.

- [0039] Figur 5 zeigt einen beispielhaften Bahnzugkraftregelkreis.
- [0040] Figur 6a zeigt eine Regel- und Entkopplungsstruktur einer Bahnbearbeitungsmaschine für Bewegung der Materialbahn nach rechts.
- [0041] Figur 6b zeigt die Regel- und Entkopplungsstruktur der Bahnbearbeitungsmaschine für Bewegung der Materialbahn nach links.
- [0042] Figur 7 zeigt schematisch die Entkopplungsstruktur mit den zugehörigen Eingangs- und Ausgangsgrößen.
- [0043] Figur 8 zeigt schematisch einen elektrischen Teil der Bahnbearbeitungsmaschine.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0044] In Figur 1 ist schematisch ein mechanischer Teil 10 einer als Druckmaschine ausgebildeten Bahnbearbeitungsmaschine dargestellt, bei der eine Warenbahn 12, beispielsweise Papier, durch die Maschine transportiert und bearbeitet wird. Die in Figur 1 dargestellte Maschine 10 weist dazu drei Transportwerke 20a (Index = 1; 3; 5) und zwei Druckwerke 20 (Index = 2; 4) auf. Jedes der Werke 20a, 20 verfügt über eine separat angetriebene Walze 21a, 21 (z.B. Zugwalze oder Druckwalze) sowie eine jeweils zugehörige Andruckwalze 22. Für eine Registerregelung der Druckwerke 20 ist ein Registermarkensensor 25 vorhanden, der hinter dem letzten Druckwerk angeordnet ist und alle Registermarken erfasst. Die Registerregelung soll hier jedoch nicht vertieft werden. Im Wesentlichen stellt die Registerregelung eine Winkelstellungsdifferenz als Korrekturwert (in Figur 3 für Index  $n$  als  $\Delta\varphi_n$  dargestellt) zwischen der Soll-Drehwinkelstellung für das wenigstens eine Bearbeitungswerk und der Soll-Drehwinkelstellung der Leitachse bereit.

[0045] Die Transportwerke 20a stellen Klemmstellen dar, wobei die Warenbahn 12 zwischen angetriebener Walze 21a und Andruckwalze 22 eingeklemmt wird, so dass von der Bewegung der angetriebenen Walze 21a eine Bewegung der Warenbahn 12 hervorgerufen wird. Die Druckwalzen 21 der Druckwerke 20 weisen Druckplatten 23 auf. Eine Druckplatte 23 erstreckt sich je nach Länge eines einzelnen Druckbildes nur über einen Teil des Umfangs der angetriebenen Druckwalze 21. Dadurch klemmt ein Druckwerk 20 die Warenbahn 12 auch nur dann ein, wenn die Druckplatte 23 die Warenbahn 12 berührt. Im druckfreien Umfangsbereich ist keine Klemmung vorhanden. Deshalb kann die Warenbahn 12 im Pilgerschritt zu diesem Zeitpunkt entgegen der normalen Transportrichtung bewegt werden. Die Druckwerke drehen sich währenddessen unverändert weiter. Wegen der Unterbrechung der Klemmung können die Druckwerke 20 auch im Rahmen der Bahnzugkraftregelung unberücksichtigt bleiben. Die Warenbahn 12 ist daher in Warenbahnabschnitte A1 - A2 unterteilt, wobei ein Warenbahnabschnitt von zwei benachbarten Transportwerken 20a begrenzt wird. Zwischen den die jeweiligen Warenbahnabschnitte A1, A2 begrenzenden Transportwerken 20a durchläuft die Warenbahn 12 Messeinrichtungen 24 zur Messung der jeweiligen Zugkraft  $F_2, F_4$  in dem jeweiligen Warenbahnabschnitten A1, A2.

[0046] Das erste der Transportwerke 20a (Index  $n = 1$ ) ist eine Referenzklemmstelle, deren angetriebene Walze 21a sich nach Maßgabe einer Kurvenscheibenfunktion 64 (Figur 3) dreht, die eine Kurvenscheiben-Drehwinkelstellung als Ausgangswert ( $\varphi_y$  in Figur 3) aus einer virtuellen Leitachse ( $\varphi_x$  in Figur 3) bestimmt. Die Walze 21a wird von einem elektrischen Antrieb 30 (z.B. Synchronmotor) angetrieben, dessen Bewegung wiederum von einem Antriebsregler 32a (siehe Figur 2a) kontrolliert wird, der insbesondere die Ist-Drehzahl  $\omega_n$  auf eine Soll-Drehzahl  $\omega_{wn}$  regelt. Der elektrische Antrieb 30 weist dazu einen Drehgeber 31 auf, der eine Drehwinkelstellung  $\varphi_n$  misst und an den Antriebsregler 32a übermittelt. Der elektrische Antrieb 30 erhält vom Antriebsregler 32a eine Stellgröße  $I_n$ , welche im vorliegenden Beispiel ein Motorstrom oder Motordrehmoment vorgibt.

[0047] In einem Antriebsregler 32 (siehe Figur 2) für die Druckwerke 20 ist im vorliegenden Beispiel eine Drehzahlregelung einer Lageregelung unterlagert. Die Drehwinkelstellung  $\varphi_n$  wird einerseits einem Differenzglied 40 zur Ermittlung der Drehgeschwindigkeit bzw. Drehzahl  $\omega_n$

und andererseits einer Vergleichsstelle 44 zum Vergleich mit einer Soll-Drehwinkelstellung  $\varphi_{wn}$  zugeführt. Von der Vergleichsstelle 44 wird eine Regelabweichung der Lageregelung bestimmt und dem Lageregler 42 zugeführt. Dieser ist insbesondere als linearer, stetiger Regler, vorzugsweise als PI-Regler, ausgebildet. Die Lagereglerstellgröße ist die Soll-Drehzahl  $\omega_{wn}$ . Diese wird an einer Vergleichsstelle 43 mit der Drehzahl  $\omega_n$  verglichen. Von der Vergleichsstelle 43 wird eine Regelabweichung der Drehzahl bestimmt und einem Drehzahlregler bzw. Geschwindigkeitsregler 41 zugeführt. Dieser ist insbesondere ebenfalls als linearer, stetiger Regler, vorzugsweise als PI-Regler, ausgebildet. Die Drehzahlreglerstellgröße ist  $I_n$ .

**[0048]** In einem Antriebsregler 32a für die Transportwerke 20a kann im vorliegenden Beispiel auf die Lageregelung verzichtet werden (siehe Figur 2a), da es auf eine genaue Relativstellung zwischen Druckwerken und Transportwerken nicht ankommt.

**[0049]** In Figur 8 ist schematisch ein elektrischer Teil 11 der Druckmaschine dargestellt. Dieser umfasst neben den elektrischen Antrieben 30, Drehgebern 31 und Antriebsreglern 32, 32a auch eine als Datenbus 34 (z.B. ethernetbasierter Echtzeitfeldbus wie Sercos III) ausgebildete Kommunikationsverbindung und eine Steuereinrichtung 33 (z.B. SPS), in der zahlreiche der hier beschriebenen Steuer- und Regelschritte ablaufen.

**[0050]** Wie erwähnt, ist das erste der Transportwerke 20a (Index  $n = 1$ ) eine Referenzklemmstelle. Die nachfolgenden Transportwerke 20a (Index  $n = 3; 5; \dots$ ) werden zur Bahnzugkraftregelung in Bezug zum ersten Transportwerk verstellt, d.h. deren Soll-Drehzahlen  $\omega_{wn}$  werden angepasst. Hier sei darauf hingewiesen, dass auch eine andere Klemmstelle als das erste Transportwerk als Referenzklemmstellen gewählt werden kann. Somit ist die Darstellung in Figur 1 nur ein Ausführungsbeispiel.

**[0051]** Ein beispielhafter Bahnzugkraftregelkreis ist in Figur 5 schematisch dargestellt. Die gemessenen Bahnzugkraftistwerte  $F_k$  (Index  $k=2, 4$ ) und die jeweils zugehörigen Bahnzugkraftsollwerte  $F_{wk}$  werden jeweils einem Vergleichsglied 51 zugeführt, woraus eine jeweilige Regelabweichung berechnet und einem Bahnzugkraftregler 50 zugeführt wird, welcher aus der Regelabweichung nach Maßgabe einer Regelvorschrift (z.B. PI) die Reglerstellgröße  $u_{k+1}$  berechnet. Dieser ist insbesondere ebenfalls als linearer, stetiger Regler, vorzugsweise als PI-Regler mit einem Proportionalbeiwert  $K_P$  und einer Nachstellzeit  $T_N$ , ausgebildet. Es werden die Reglerstellgröße  $u_{k+1}$  und eine Vorsteuergröße  $v_{k+1}$  berechnet.

**[0052]** Die Vorsteuergröße  $v_{k+1}$  wird dabei aus der Regelstellgröße  $u_{k+1}$  nach Maßgabe einer Entkoppelvorschrift 52 berechnet, welche in Figur 5 beispielsweise als DT1-Glied mit einem Differenzierbeiwert  $K_D$  und einer Verzögerungszeit  $T_1$  ausgebildet ist.

**[0053]** Für jedes der nachfolgenden Transportwerke 20a (Index  $n = 3; 5; \dots$ ) ist ein Bahnzugkraftregelkreis gemäß Figur 5 vorhanden, so dass zwei Reglerstellgrößen  $u_k$  und zwei Vorsteuergrößen  $v_k$  (Index  $k = 3; 5; \dots$ ) ermittelt werden. Diese werden einem Kombinationsglied 63 (Figur 7) zugeführt, welches daraus nach Maßgabe einer Kombinationsvorschrift modifizierte Reglerstellgrößen  $u_k$  (Index  $k = 3; 5; \dots$ ) berechnet. Die Kombinationsvorschrift ist eine Matrixrechnung  $u' = u + Mv$ .

**[0054]** Die konkrete Form der Kombinationsmatrix  $M$  hängt bei einer vorgegebenen Anzahl an Eingängen für Reglerstellgrößen (und ggf. Vorsteuergrößen) nur von der momentanen Bewegungsrichtung der Konfiguration der Bahnbearbeitungsmaschine ab, d.h. speziell von der Position  $N$  (hier  $N=1$ ) der Referenzklemmstelle. Die momentane Bewegungsrichtung kann einfach aus dem Vorzeichen der Kurvenscheiben-Drehzahl  $\omega_y$  abgeleitet werden, welche demnach ebenfalls dem Kombinationsglied 63 zugeführt wird.

**[0055]** Das Kombinationsglied 63 kann programmtechnisch mit einer Anzahl von Entkoppelmatrizen ausgerüstet sein, die insbesondere beide Bewegungsrichtungen abdeckt. Für die Auswahl der zu verwendenden Kombinationsmatrix wird somit lediglich die Information über die Bewegungsrichtung benötigt.

**[0056]** Mittels eines Umrechnungsgliedes 61 wird aus einer modifizierten Reglerstellgröße  $u_k'$

und aus dem differenzierten Kurvenscheibenausgang  $\omega_y$  (siehe Figur 3) die jeweilige Soll-Drehgeschwindigkeit  $\omega_{wn}$  gebildet, welche wiederum einem Antriebsregler 32 gemäß Figur 2a zugeführt wird. Beispielsweise erfolgt die Umrechnung der modifizierten Reglerstellgröße  $u'_n$  auf eine Soll-Drehgeschwindigkeit  $\omega'_{wn}$  nach einer der folgenden Formeln:

**[0057]**  $\omega'_{wn} = \omega_y \times (1 + u'_n)$  - sog. Getriebefeinverstellung (bevorzugt)

**[0058]**  $\omega'_{wn} = \omega_y \times u'_n$  - multiplikativer Geschwindigkeitsoffset

**[0059]**  $\omega'_{wn} = \omega_y + u'_n$  - additiver Geschwindigkeitsoffset

**[0060]** In Figur 3 ist die zugrunde liegende Reglerstruktur schematisch dargestellt. Die virtuelle Leitachse wird als rotierende Winkelstellung  $\phi_x$  über die Zeit vorgegeben, insbesondere von der Steuerungseinrichtung 33. Diese überträgt die rotierende Winkelstellung  $\phi_x$  über den Datenbus 34 in einem festen Zeitraster. Beispielsweise wird zu jedem Übertragungszeitpunkt eine dann aktuelle Winkelstellung  $\phi_x$  übertragen.

**[0061]** Die Druckwerke (Index  $n=2; 4$ ) werden nach Maßgabe dieser Winkelstellung  $\phi_x$  betrieben, wobei eine nötige Registerregelung die Winkelstellung  $\phi_x$  um einen Korrekturwert (in Figur 3 für Index  $n$  als  $\Delta\phi_n$  dargestellt) korrigiert wird. Parallel dazu wird aus der Winkelstellung  $\phi_x$  nach Maßgabe der Kurvenscheibenfunktion 64 die Kurvenscheiben-Winkelstellung  $\phi_y$  berechnet. Bei dem hier gezeigten Beispiel ist eine Ausführungsform gezeigt, bei der nur eine gemeinsame Kurvenscheibenfunktion für alle Transportwerke 20a berechnet wird, woraus eine virtuelle Folgeachse  $\phi_y$  als Soll-Drehwinkelstellung für alle Transportwerke 20a erzeugt wird.

**[0062]** Eine beispielhafte Kurvenscheibenfunktion ist in Figur 4a dargestellt. Ohne Berücksichtigung irgendwelcher Korrekturen entspricht die Winkelstellung  $\phi_x$  der Winkelstellung einer Druckwalze eines Druckwerks, die Kurvenscheiben-Winkelstellung  $\phi_y$  der Winkelstellung einer Zugwalze eines Transportwerks. Als Funktion derzeit (d.h. mehrere Umdrehungen) ergibt sich daraus eine Bewegung der Zugwalze, wie in Figur 4b gezeigt.

**[0063]** Unter erneuter Bezugnahme auf Figur 3 wird die Kurvenscheiben-Winkelstellung  $\phi_y$  mittels eines Differenzierglieds 60 differenziert, um eine Kurvenscheiben-Drehzahl  $\omega_y$  zu bilden und damit einen Eingriffspunkt für die Zugkraftregelung zu erzeugen. Da, wie erwähnt, das erste der Transportwerke die Referenzklemmstelle darstellt, wird die zugehörige Soll-Drehzahl  $\omega_{n1}$  unkorrigiert erzeugt. Die weiteren Soll-Drehzahlen  $\omega_{n3}$  und Soll-Drehzahl  $\omega_{n5}$  werden gemäß Figur 7 erzeugt.

**[0064]** Die Elemente 40 bis 44 werden zweckmäßigerweise in den Antriebsreglern 32 berechnet, wohingegen die Elemente 50 bis 64 in der Steuerungseinheit 33 berechnet werden. Dementsprechend müssen die über den Datenbus 34 übertragenen Daten  $\phi_{wn}$  bzw.  $\omega_{wn}$  nicht innerhalb des oben angesprochenen Zeitrasters interpoliert werden.

**[0065]** In den Figuren 6a und 6b sind bevorzugte Entkoppelmatrizen graphisch veranschaulicht. Dabei sind vier Transportwerke (Index  $n=1; 3; 5; 7$ ) dargestellt. Zwischen den Transportwerken sind Warenbahnabschnitte mit entsprechenden Zugkräften  $F_k$  (Index  $k=2; 4; 6$ ) gebildet. Jedem Warenbahnabschnitt ist ein Bahnzugkraftregler 50 zugeordnet, der gemäß Figur 5 eine Reglerstellgröße  $u_n$  (Index  $n=3; 5; 7$ ) berechnet. Wie erwähnt, ist das erste Transportwerk die Referenzklemmstelle. Daher ist  $\omega_{w1}$  unkorrigiert.

**[0066]** Figur 6a zeigt den Fall, dass sich die Warenbahn 12 nach rechts bewegt (durch den Pfeil oberhalb angedeutet). Dargestellt ist hier eine Downstream-Regelung mit Downstream-Entkopplung. Zur Erhöhung der Zugkraft  $F_2$  ist  $\omega_{w3}$  zu erhöhen und zur Verringerung der Zugkraft  $F_2$  ist  $\omega_{w3}$  zu verringern. Der Regelsinn ist daher positiv.  $\omega_{w3}$  wird mit dem positiven  $u_3$  beaufschlagt. Über ein DT1-Glied 52, welches in der Figur durch die äquivalente Darstellung "1-PT1" gezeigt ist, wird die Vorsteuergröße  $v_3$  aus  $u_3$  berechnet. Die Vorsteuergröße wird, wie oben erläutert, zur Entkopplung der nachfolgenden Transportwerke verwendet.

**[0067]** Das eben gesagte gilt mutatis mutandis für die Zugkräfte  $F_4, F_6$  und die zugehörigen Reglerstellgrößen  $u_5, u_7$  und Vorsteuergröße  $v_5$ . Eine stromaufwärtige Entkopplung ist nicht notwendig. Entsprechende Verbindungsglieder 53 sind daher "0".

**[0068]** Ändert sich nun beim Pilgerschrittverfahren die Bewegungsrichtung nach links, muss das Regel- und Entkoppelschema dementsprechend verändert werden, damit die Funktionalität erhalten bleibt. Figur 6b zeigt den Fall, dass sich die Warenbahn 12 nach links bewegt.

**[0069]** Insbesondere wird im Rahmen der Erfindung die Bewegungsrichtung beim Regelsinn berücksichtigt. Bei einer Bewegung nach links ist nämlich zur Erhöhung der Zugkraft  $F_2$   $\omega_{w3}$  zu reduzieren und zur Verringerung der Zugkraft  $F_2$   $\omega_{w3}$  zu erhöhen. Der Regelsinn ist daher negativ.  $\omega_{w3}$  wird mit dem bzgl. Addition invertierten (also dem negativen)  $u_3$ , d.h.  $-u_3$ , beaufschlagt. Es sei darauf hingewiesen, dass in den Figuren 6a und 6b nur die entsprechenden Entkopplungen dargestellt sind, die zusätzlich bei einer Richtungsumkehr nötige Invertierung des Regelsinns jedoch nicht dargestellt ist. Die Invertierung des Regelsinns erfolgt nämlich hier beispielsweise bei der Berechnung von  $\omega'_{wn}$  im Umrechnungsglied 61 gemäß:

**[0070]**  $\omega'_{wn} = \omega_y \times (1 - u'_n)$

**[0071]**  $\omega'_{wn} = \omega_y \times -u'_n$

**[0072]**  $\omega'_{wn} = \omega_y - u'_n$

**[0073]** Alternativ kann die Invertierung des Regelsinns auch bereits in dem Kombinationsglied 63 erfolgen. Dieses kann programmtechnisch dazu eingerichtet sein, entsprechend der gewählten Konfiguration (Referenzklemmstelle N) die Invertierung aller nötigen Stell- und Vorsteuer-signale vorzunehmen.

**[0074]** Weiter wird im Rahmen der Erfindung die Bewegungsrichtung bei der Entkopplung berücksichtigt. Aus der ursprünglichen Downstream-Regelung mit Downstream-Entkopplung wird nun eine Upstream-Regelung mit Upstream-Entkopplung. Dies kann durch eine Addition bzw. Subtraktion von PT 1 an den einzelnen Gliedern durchgeführt werden. Eine Anpassung der Entkopplung an die Bahnaufrichtung ist möglich, indem sämtliche Vorsteuerglieder der verschiedenen Regler durch Addition bzw. Subtraktion genau so modifiziert werden, dass die gewünschte ungerungelte Achse (hier ganz links) von keinem Regler angesteuert wird. Zu beachten ist, dass die ungerungelte Achse im konkreten Beispiel entsprechend der Bahnaufrichtung in der ersten Betriebsphase die einlaufende Klemmstelle und in der zweiten Betriebsphase die auslaufende Klemmstelle ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bahnzugkraftregelung bei einer Bahnbearbeitungsmaschine zur Bearbeitung einer Warenbahn (12), wobei die Warenbahn (12) mittels wenigstens eines Bearbeitungswerks (20) bearbeitet wird, wobei die Warenbahn (12) mittels Transportwerken (20a) in einer ersten Betriebsphase eines Pilgerschrittverfahrens in eine erste Richtung und in einer zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens in eine zweite, entgegengesetzte Richtung bewegt wird, wobei eine Bahnzugkraft ( $F_2, F_4$ ) in einem von einem ersten und einem zweiten Transportwerk der Transportwerke (20a) begrenzten ersten Warenbahnabschnitt (A1, A2) ermittelt und durch eine Bahnzugkraftregelung (50) auf einen Bahnzugkraftsollwert ( $F_{wk}$ ) geregelt wird, indem eine Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{w3}$ ) des zweiten Transportwerks (20a) durch eine Reglerstellgröße ( $u_k$ ) beeinflusst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{w3}$ ) des zweiten Transportwerks (20a) in der ersten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem positiven Regelsinn und in der zweiten Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens mit einem negativen Regelsinn, welcher eine zum positiven Regelsinn gegenläufige Bewegungsrichtung des zweiten Transportwerkes aufweist, beeinflusst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_{w2}, \varphi_{w4}$ ) für das wenigstens eine Bearbeitungswerk (20) aus einer Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_x$ ) einer, insbesondere virtuellen, Leitachse berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_{w2}, \varphi_{w4}$ ) für das wenigstens eine Bearbeitungswerk (20) von einer Registerregelung beeinflusst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_{w2}, \varphi_{w4}$ ) für das wenigstens eine Bearbeitungswerk (20) nicht von der Bahnzugkraftregelung (50) beeinflusst wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_{w2}, \varphi_{w4}$ ) für das wenigstens eine Bearbeitungswerk (20) aus der Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_x$ ) der Leitachse und einem Korrekturwert ( $\Delta\varphi_n$ ) berechnet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei eine Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_y, \varphi_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) mittels einer Kurvenscheibenfunktion (64) aus der Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_x$ ) der Leitachse berechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_{w2}, \varphi_{w4}$ ) für das wenigstens eine Bearbeitungswerk (20) ohne die Kurvenscheibenfunktion (64) aus der Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_x$ ) der Leitachse berechnet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_y, \varphi_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) gleichzeitig eine Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_y, \varphi_{wn}$ ) für das erste und/oder mindestens ein weiteres Transportwerk der Transportwerke (20a) ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_y, \varphi_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) multiplikativ mit der Reglerstellgröße ( $u_k$ ) beaufschlagt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die Soll-Drehwinkelstellung ( $\varphi_y, \varphi_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) differenziert wird, um eine Soll-Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) zu erhalten.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Soll-Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) multiplikativ und/oder additiv mit der Reglerstellgröße ( $u_k$ ) beaufschlagt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Soll-Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{wn}$ ) für das zweite Transportwerk der Transportwerke (20a) multiplikativ mit einer Summe aus einer Zahl und der Reglerstellgröße ( $u_k$ ) beaufschlagt wird.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die ermittelte Bahnzugkraft ( $F_2$ ,  $F_4$ ) in dem ersten Warenbahnabschnitt (A1, A2) mit einem Sollwert ( $F_{wk}$ ) verglichen wird, um eine Regelabweichung zu berechnen, wobei die Reglerstellgröße ( $u_k$ ) aus der Regelabweichung nach Maßgabe einer Regelvorschrift berechnet wird.
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei aus der Reglerstellgröße ( $u_k$ ) nach Maßgabe einer Entkoppelvorschrift eine Vorsteuergröße ( $v_k$ ) berechnet wird, wobei die Drehgeschwindigkeit ( $\omega_{ws}$ ) eines dritten Transportwerks (20a), welches einen zweiten Warenbahnabschnitt begrenzt, durch die Vorsteuergröße ( $v_k$ ) beeinflusst wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Entkoppelvorschrift in Abhängigkeit von der Betriebsphase des Pilgerschrittverfahrens vorgegeben wird.

**Hierzu 8 Blatt Zeichnungen**

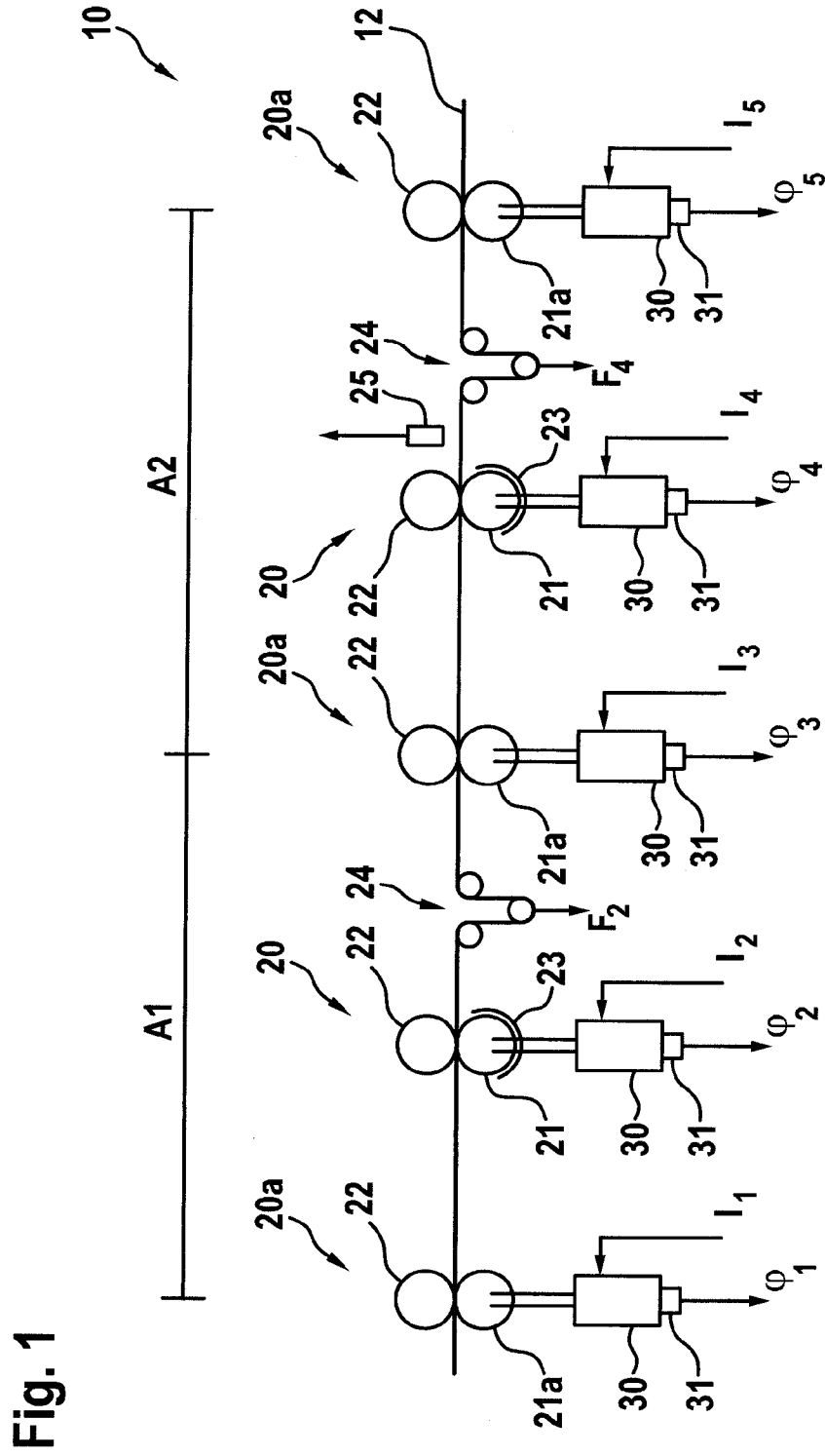


Fig. 2

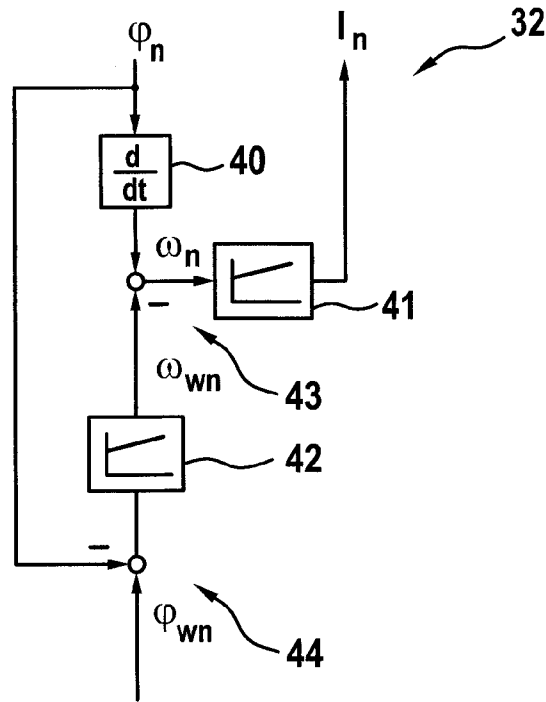


Fig. 2a

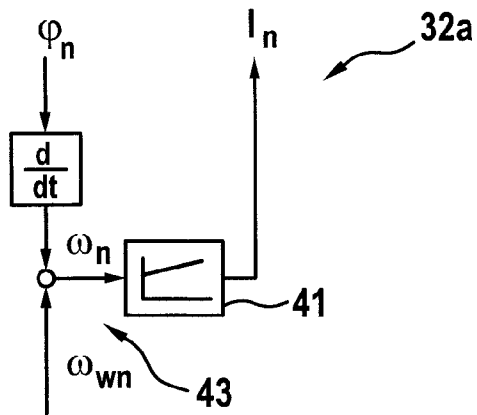
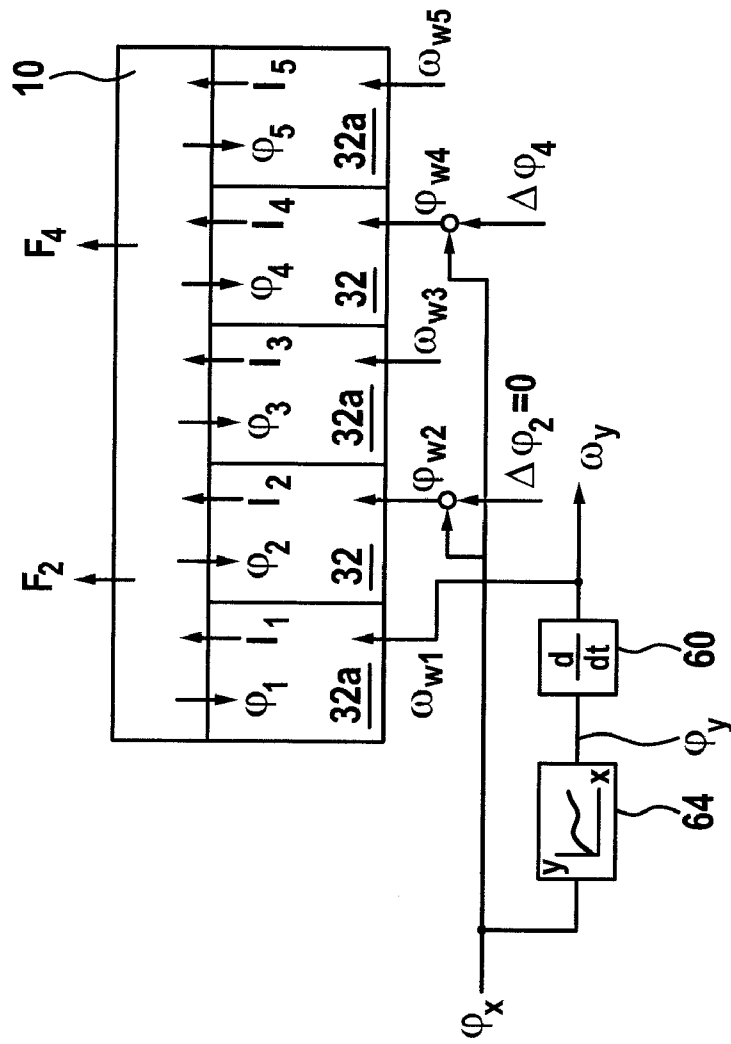
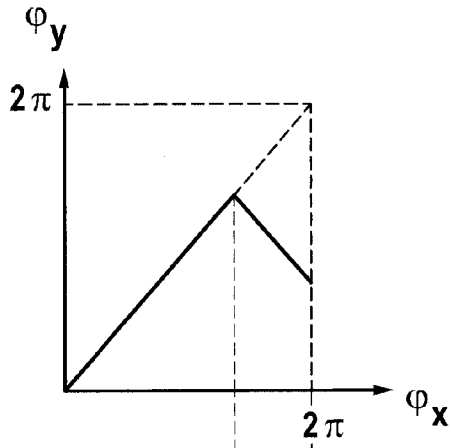


Fig. 3



**Fig. 4a**



**Fig. 4b**

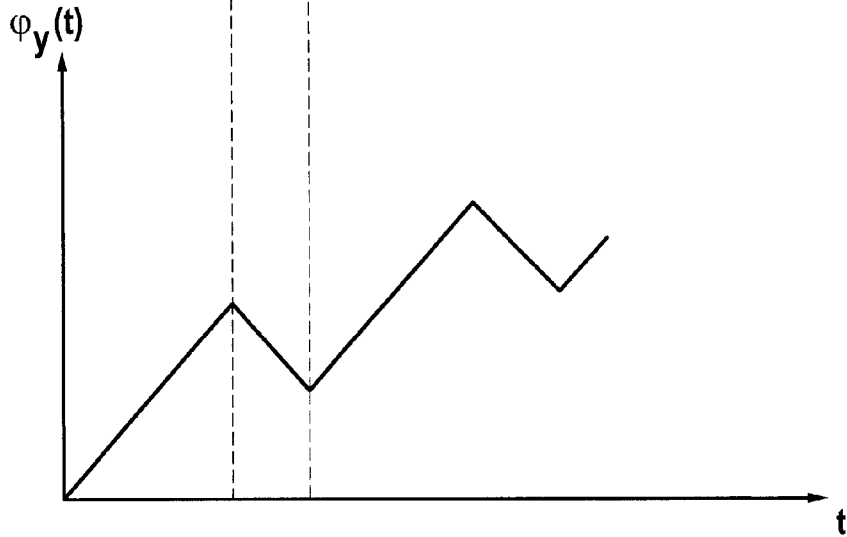


Fig. 5

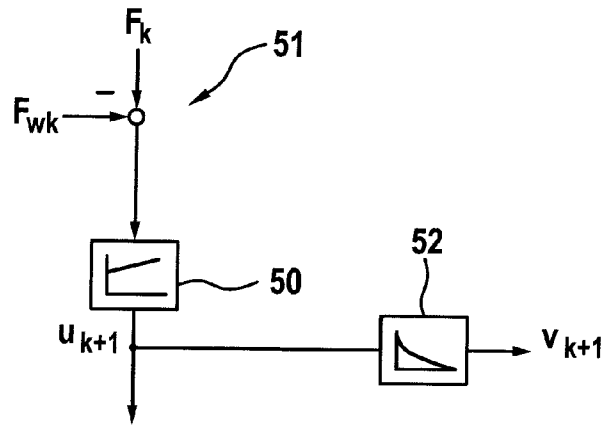




Fig. 6b

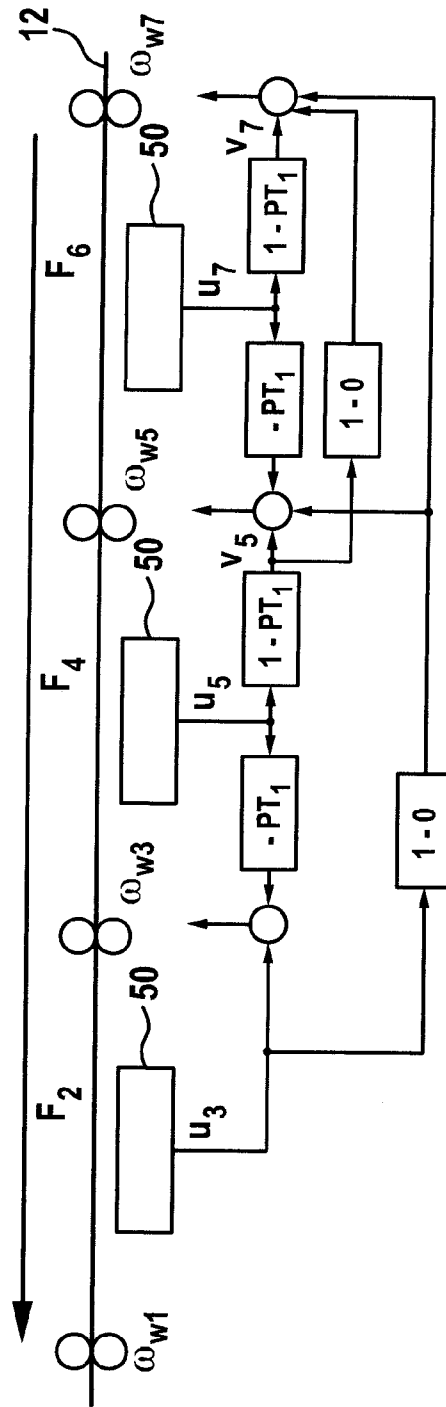


Fig. 7

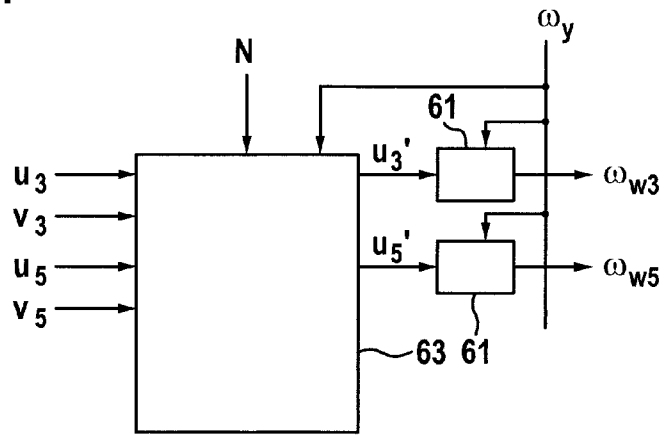


Fig. 8

