

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Januar 2022 (13.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/008133 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B21B 37/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/064020

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2021 (26.05.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
20184420.6 07. Juli 2020 (07.07.2020) EP

(71) Anmelder: **PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMA-
NY GMBH** [DE/DE]; Bunsenstraße 43, 91058 Erlangen
(DE).

(72) Erfinder: **DRESSLER, Matthias**; Danziger Straße 8,
91052 Erlangen (DE). **KOTZIAN, Daniel**; Hopfengar-

ten 1, 91301 Forchheim (DE). **SCHÖNHERR, Martin**;
Schwalbweiher 11a, 91301 Forchheim (DE). **SEKULIC,**
Srdan; Buckenhofer Weg 68, 91058 Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **ZUSAMMENSCHLUSS METALS@LINZ**; c/
o Primetals Technologies Austria GmbH, Turmstrasse 44,
4031 Linz (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: ROLLING TAKING FREQUENCY BEHAVIOUR INTO ACCOUNT

(54) Bezeichnung: WALZEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON FREQUENZVERHALTEN

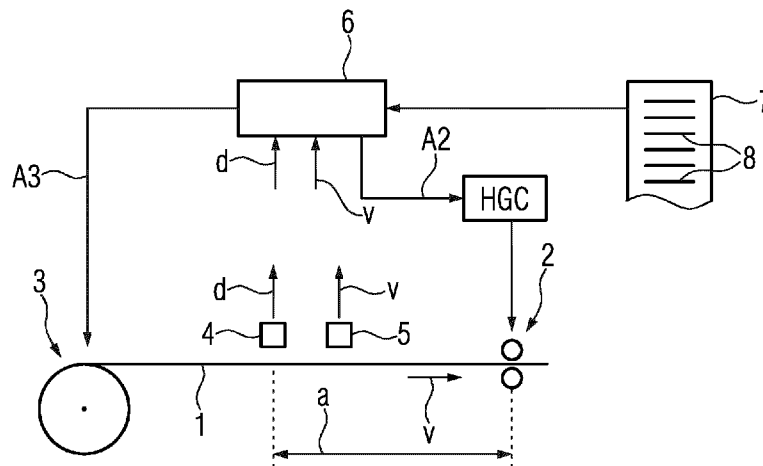


FIG 1

(57) **Abstract:** A roll stand (2) of a rolling mill is supplied with a metal strip (1) by an upstream supply device (3) at an in-feed speed (v), with said metal strip being rolled in the roll stand (2). A measuring device (4) between the supply device (3) and the roll stand (2) detects a respective thickness value (d) of the metal strip (1) for consecutive sections (9) of the metal strip (1) and supplies said value to a control device (6) of the rolling mill. The control device (6) determines a respective preliminary thickness deviation based on the deviation of the respective thickness value (d) from a target thickness for the respective section (9) of the metal strip (1), and final thickness deviations based on the preliminary thickness deviations. The control device (6) determines a respective control value (A2, A3) for the roll stand (2) and/or the supply device (3) for the sections (9) of the metal strip (1) based on the final thickness deviation of the respective section (9) of the metal strip (1) and the final thickness deviations of multiple preceding and/or subsequent sections (9) of the metal strip (1), taking a description of the inverse frequency behaviour of the roll stand (2) and/or the supply device (3) and/or the measuring device (4) into account. It then outputs the respective control value (A2, A3) to the roll stand (2) and/or the supply



WO 2022/008133 A1

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

device (3) at the correct time.

(57) **Zusammenfassung:** Walzen unter Berücksichtigung von Frequenzverhalten Einem Walzgerüst (2) einer Walzanlage wird von einer vorgeordneten Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) ein Metallband (1) zugeführt, das in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird. Eine Messeinrichtung (4) zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) erfasst für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils einen Dickenwert (d) des Metallbandes (1) und führt ihn einer Steuereinrichtung (6) der Walzanlage zu. Die Steuereinrichtung (6) ermittelt anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes (d) von einer Solldicke für den jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) eine jeweilige vorläufige Dickenabweichung und anhand der vorläufigen Dickenabweichungen endgültige Dickenabweichungen. Die Steuereinrichtung (6) ermittelt für die Abschnitte (9) des Metallbandes (1) anhand der endgültigen Dickenabweichung des jeweiligen Abschnitts (9) des Metallbandes (1) sowie der endgültigen Dickenabweichungen von mehreren vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) jeweils einen Ansteuerwert (A2, A3) für das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3). Sie gibt den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) zeitrichtig an das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) aus.

Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung

5 Walzen unter Berücksichtigung von Frequenzverhalten

Gebiet der Technik

- Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Walzanlage,
- 10 - wobei einem Walzgerüst der Walzanlage von einer dem Walzgerüst vorgeordneten Zuführeinrichtung mit einer Einlaufgeschwindigkeit ein Metallband zugeführt wird,
- wobei das Metallband in dem Walzgerüst gewalzt wird,
- 15 - wobei mittels einer zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst angeordneten Messeinrichtung für aufeinanderfolgende Abschnitte des Metallbandes jeweils ein Dickenwert für die Dicke des Metallbandes erfasst wird,
- wobei die erfassten Dickenwerte einer Steuereinrichtung der
- 20 Walzanlage zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes von einer Solldicke für den jeweiligen Abschnitt des Metallbandes eine jeweilige vorläufige Dickenabweichung ermittelt,
- 25 - wobei die Steuereinrichtung anhand der vorläufigen Dickenabweichungen endgültige Dickenabweichungen ermittelt,
- wobei die Steuereinrichtung für die Abschnitte des Metallbandes jeweils einen Ansteuerwert für das Walzgerüst und/oder die Zuführeinrichtung ermittelt und den jeweiligen
- 30 Ansteuerwert zeitrichtig an das Walzgerüst und/oder die Zuführeinrichtung ausgibt.

Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Steuerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Walzanlage abarbeitbar ist, wobei die

35 Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Steuerprogramm programmiert ist, so
5 dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes,
10 - wobei die Walzanlage zumindest ein Walzgerüst, eine dem Walzgerüst vorgeordnete Zuführeinrichtung, eine zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst angeordnete Messeinrichtung und eine Steuereinrichtung aufweist,
- wobei das Metallband dem Walzgerüst von der Zuführeinrichtung mit einer Einlaufgeschwindigkeit zugeführt wird,
15 - wobei das Metallband in dem Walzgerüst gewalzt wird,
- wobei von der Messeinrichtung für aufeinanderfolgende Abschnitte des Metallbandes jeweils ein Dickenwert für die Dicke des Metallbandes erfasst wird,
20 - wobei die erfassten Dickenwerte der Steuereinrichtung zugeführt werden,
- wobei die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

25 Beim Herstellen von Metallband wird nach dem Gießen einer Bramme die Bramme zunächst warmgewalzt, so dass ein Warmband entsteht. Die Dicke des Warmbandes liegt meist im Bereich von wenigen Millimetern, je nach Herstellungsverfahren manchmal auch etwas darüber oder darunter, beispielsweise zwischen 1,0
30 mm und 20 mm bei einer normalen Warmwalzanlage und zwischen 0,6 mm und 6 mm bei einer sogenannten ESP-Anlage. In manchen Fällen wird das Warmband ohne weitere Dickenreduzierung weiter verarbeitet. In anderen Fällen wird die Banddicke nach dem Warmwalzen in einem Kaltwalzwerk noch weiter reduziert.
35 Ziel des Kaltwalzens ist die Herstellung eines kaltgewalzten Metallbandes, dessen finale Dicke so gut wie möglich und mit möglichst geringer Abweichung mit einer Zieldicke übereinstimmt.

In der Regel weist das fertige Warmband - also nach dem Warmwalzen, aber vor dem Walzen in dem Kaltwalzwerk - Dickenabweichungen auf. Die Dickenabweichungen weisen oftmals sowohl periodische Anteile als auch stochastische Anteile auf. Werden diese Abweichungen nicht kompensiert, weist das Metallband auch nach dem Kaltwalzen derartige Abweichungen auf. Das absolute Ausmaß der Abweichungen ist zwar geringer als beim Warmband, die relative Abweichung bleibt jedoch erhalten.

Wenn also - beispielsweise - das Metallband vor dem Kaltwalzen eine Dicke von 3,0 mm und Dickenabweichungen im Bereich von 30 µm aufweist und weiterhin das Metallband nach dem Kaltwalzen eine Dicke von 1,0 mm aufweist, so weist das Metallband ohne Kompensation der Dickenabweichungen nach dem Kaltwalzen Dickenabweichungen im Bereich von 10 µm auf.

Stand der Technik

Zum Kompensieren derartiger Abweichungen sind im Stand der Technik verschiedene Vorgehensweisen bekannt.

So ist beispielsweise aus der EP 0 435 595 A2 bekannt, auslaufseitig eines Walzgerüsts die Dicke des gewalzten Metallbandes zu erfassen und eine Dickenregelung des Walzgerüsts vorzunehmen. Weiterhin werden Zugschwankungen kompensiert, da auch diese die Dicke des gewalzten Metallbandes beeinflussen. Um eine relativ hochdynamische Regelung des Zuges zu erreichen, sind zwischen der Zuführeinrichtung und dem Walzgerüst einerseits sowie zwischen dem Walzgerüst und einer dem Walzgerüst nachgeordneten Aufnahmeeinrichtung andererseits Rollen oder ähnliche Elemente vorhanden, mittels derer das Metallband vor und/oder nach dem Walzen in dem Walzgerüst ausgelenkt werden kann. Die Vorgehensweise der EP 0 435 595 A2 basiert auf dem Gedanken, dass die Regelung durch die Zuführeinrichtung selbst und die Aufnahmeeinrichtung selbst sehr träge ist und durch die zusätzlichen Rollen die Dynamik der Regelung erhöht werden kann. In der EP 0 435 595 A2 wird auch eine Vorgehensweise beschrieben, bei welcher einlaufsei-

tig des Walzgerüsts die Dicke und die Geschwindigkeit des Metallbandes erfasst und im Rahmen der Ermittlung der Anstellung des Walzgerüsts verwertet werden.

5 Aus der EP 3 332 883 A1 ist ebenfalls bekannt, auslaufseitig eines Walzgerüsts die Dicke des gewalzten Metallbandes zu erfassen und eine Dickenregelung des Walzgerüsts vorzunehmen. Periodische Abweichungen werden von stochastischen Abweichungen separiert. Periodische Abweichungen werden als durch Ex-
10 zentrizitäten der Walzen des Walzgerüsts verursacht angesehen. Entsprechend erfolgt die Korrektur der Anstellung des Walzgerüsts.

Bei der JP 58 068 414 A wird einlaufseitig des Walzgerüsts
15 die Dicke des noch ungewalzten Metallbandes erfasst und über gewisse Längeneinheiten gemittelt. Der Mittelwert wird für die Ansteuerung der Anstellung des Walzgerüsts verwertet.

Zusammenfassung der Erfindung

20 Mittels der Vorgehensweisen des Standes der Technik lassen sich Abweichungen der Eingangsdicke bereits in gewissem Umfang kompensieren. Die Vorgehensweisen des Standes der Technik sind aber noch verbesserungsfähig.

25 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer eine exzellente Kompensation von einlaufseitigen Dickenabweichungen des Metallbandes erreicht werden kann.

30 Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren für eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 8.

35 Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert anhand der endgültigen Dickenab-

weichung des jeweiligen Abschnitts des Metallbandes sowie der endgültigen Dickenabweichungen einer Mehrzahl von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung ermittelt.

Von den Erfindern wurde erkannt, dass das Ausmaß, in dem eine bestimmte Dickenabweichung korrigiert wird, nicht nur von der Dickenabweichung selbst abhängt, sondern auch von dem Spektrum der Dickenabweichungen. Insbesondere werden in der Regel höherfrequente Dickenabweichungen nur in geringerem Umfang und mit einem größeren Phasenverzug kompensiert als Dickenabweichungen mit einer niedrigeren Frequenz. Um auch höherfrequente Dickenabweichungen in vollem Umfang und ohne Phasenverzug kompensieren zu können, muss daher das Frequenzverhalten der geregelten Einrichtung – in der Regel sind dies die Anstellung des Walzgerüsts für die Größe des Walzspaltes und die Zuführeinrichtung für die Einlaufgeschwindigkeit und/oder die Größe des einlaufseitigen Zuges – berücksichtigt werden. Gegebenenfalls weist auch die Messwerterfassung ein Frequenzverhalten auf, das in diesem Fall ebenfalls mit berücksichtigt werden kann. Die Berücksichtigung erfolgt anhand einer Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung.

Für die Art und Weise der Berücksichtigung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Der derzeit bevorzugte Weg besteht darin,

- dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung durch ein inverses Modell vorgegeben ist,
- dass dem inversen Modell jeweils die endgültige Dickenabweichung eines Abschnitts des Metallbandes zugeführt wird und
- dass die Steuereinrichtung unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung mittels des inversen Modells

zum einen einen internen Zustand des inversen Modells nachführt und zum anderen den jeweiligen Ansteuerwert ermittelt.

- 5 Diese Vorgehensweise ist mit dem geringsten Rechenaufwand verbunden.

Alternativ ist es möglich, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung als Frequenzgang vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert durch eine Transformation des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen in den Frequenzbereich, eine nachfolgende Multiplikation des transformierten Verlaufs der endgültigen Dickenabweichung mit dem Frequenzgang und eine nachfolgende Rücktransformation in den Zeitbereich ermittelt. Diese Vorgehensweise führt zu besonders hochwertigen Ergebnissen.

20 Es ist allgemein bekannt, dass eine Multiplikation im Frequenzbereich einer Faltung im Zeitbereich entspricht. Es ist daher alternativ möglich und völlig gleichwertig, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung und/oder der Messeinrichtung der Steuereinrichtung als Faltungskern vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Ansteuerwert durch eine Faltung des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen mit dem Faltungskern ermittelt.

30 Die Erfassung des Frequenzgangs und hierauf aufbauend die Ermittlung bzw. Parametrierung des inversen Modells oder die Ermittlung der Verstärkungen für die einzelnen Frequenzbereiche oder die Ermittlung des Faltungskerns können automatisiert erfolgen. Insbesondere können im laufenden Betrieb der Walzanlage dem Walzspaltsollwert des Walzgerüsts definierte kleine Störungen eingeprägt werden. Diese Störungen spiegeln sich auslaufseitig des Walzgerüsts in korrespondierenden Schwankungen der auslaufseitigen Dicke des Metallbandes wi-

der. Sofern dem Walzgerüst eine Messeinrichtung nachgeordnet ist, mittels derer diese auslaufseitige Dicke erfasst wird, kann durch eine kombinierte Auswertung der eingepprägten Störungen einerseits und der Schwankungen der auslaufseitigen
5 Dicke andererseits in automatisierter Weise der Frequenzgang ermittelt werden. Dies ist Fachleuten prinzipiell bekannt.

Vorzugsweise verwertet die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes sowohl endgültige Dickenabweichungen von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden Abschnitten des Metallbandes als auch endgültige Dickenabweichungen von dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes. Dadurch ist die Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes besonders zuverlässig. Dies gilt ganz besonders dann, wenn die Anzahl an dem
15 jeweiligen Abschnitt des Metallbandes vorhergehenden Abschnitten des Metallbandes, deren endgültige Dickenabweichungen die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt des Metallbandes nachfolgenden Abschnitten des Metallbandes ist, deren endgültige Dickenabweichungen die Steuereinrichtung zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes verwertet.

25 Im einfachsten Fall übernimmt die Steuereinrichtung die vorläufigen Dickenabweichungen 1:1 als endgültige Dickenabweichungen. Vorzugsweise jedoch ermittelt die Steuereinrichtung die endgültigen Dickenabweichungen aus den vorläufigen Dickenabweichungen mittels einer Nullphasenfilterung. Diese Vorgehensweise führt zu einem stabileren und robusteren Betrieb des Walzgerüsts und/oder der Zuführeinrichtung. Dies gilt ganz besonders dann, wenn mittels derer Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen durchgeführt wird.

35

Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Steuerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms, dass die Steuereinrichtung

die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit
5 den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß ist
die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

10

Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Walzanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Erfindungsgemäß betreibt die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren.

15

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht
20 werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- 25 FIG 1 eine Walzanlage,
- FIG 2 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 3 ein Metallband,
- FIG 4 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 5 einen strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,
- 30 FIG 6 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,
- FIG 7 einen Frequenzgang,
- FIG 8 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung,
- 35 FIG 9 einen Faltungskern und
- FIG 10 einen weiteren strukturellen Aufbau einer Steuereinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsformen

Gemäß FIG 1 weist eine Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes 1 ein Walzgerüst 2 auf. In dem Walzgerüst 2 wird das Metallband 1 gewalzt. Das Walzgerüst 2 kann insbesondere ein Kaltwalzgerüst sein, in dem folglich ein Kaltwalzen des Metallbandes 1 erfolgt. Von dem Walzgerüst 2 sind in FIG 1 nur die Arbeitswalzen dargestellt. In der Regel umfasst das Walzgerüst 2 zusätzlich zumindest zwei Stützwalzen (Quartogerüst), in manchen Fällen auch noch mehr Walzen. Beispielsweise kann das Walzgerüst 2 als Sextogerüst (zwei Arbeitswalzen, zwei Zwischenwalzen, zwei Stützwalzen) oder als 12-Rollen-Walzgerüst oder als 20-Rollen-Walzgerüst ausgebildet sein. Das Metallband 1 kann aus Stahl, aus Aluminium oder aus einem anderen Metall bestehen, beispielsweise aus Kupfer oder aus Messing.

Die Walzanlage weist weiterhin eine Zuführeinrichtung 3 auf. Die Zuführeinrichtung 3 ist dem Walzgerüst 2 vorgeordnet. Von der Zuführeinrichtung 3 wird das Metallband 1 dem Walzgerüst 2 mit einer Einlaufgeschwindigkeit v zugeführt. Die Zuführeinrichtung 3 ist gemäß FIG 1 als Haspel ausgebildet. Sie könnte aber auch anders ausgebildet sein, beispielsweise als Treiber oder als weiteres, vom Walzgerüst 2 verschiedenes Walzgerüst. Die Zuführeinrichtung 3 kann auch als sogenannte S-Rolle ausgebildet sein, also mehrere Rollen, über welche das Metallband 1 im Ergebnis S-förmig geführt wird.

Genau genommen müssten die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 in das Walzgerüst 2 einläuft, und die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird (beispielsweise abgehaspelt wird) voneinander unterschieden werden. Die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 in das Walzgerüst 2 einläuft, ist durch die Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 2 und die Nacheilung im Walzgerüst 2 bestimmt. Die Geschwindigkeit, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird, ist beispielsweise im Falle eines Haspels durch die

Drehzahl, mit welcher der Haspel das Coil rotiert, und den aktuellen, sich zeitlich ändernden Durchmesser des Coils bestimmt. Kurzzeitig können geringfügige Unterschiede zwischen diesen beiden Geschwindigkeiten bestehen. Sofern derartige
5 kurzzeitige Unterschiede bestehen, ändert sich der Zug, der im Metallband 1 zwischen der Zuführeinrichtung 3 und dem Walzgerüst 2 herrscht. Nachfolgend wird jedoch nur von der Einlaufgeschwindigkeit v gesprochen. Sofern nicht explizit erwähnt, ist nachstehend im Zweifelsfall die Geschwindigkeit
10 gemeint, mit der das Metallband 1 von der Zuführeinrichtung 3 ausgegeben wird.

Zwischen der Zuführeinrichtung 3 und dem Walzgerüst 2 ist eine Messeinrichtung 4 angeordnet. Mittels der Messeinrichtung
15 4 wird iterativ immer wieder ein Dickenwert d für die Dicke des Metallbandes 1 erfasst. Weiterhin kann zusätzlich eine weitere Messeinrichtung 5 vorhanden sein, mittels derer immer wieder ein Messwert für die Einlaufgeschwindigkeit v erfasst wird.

20 Der jeweils erfasste Dickenwert d und gegebenenfalls auch der jeweils erfasste Wert für die Einlaufgeschwindigkeit v werden einer Steuereinrichtung 6 zugeführt, die ebenfalls Bestandteil der Walzanlage ist. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt
25 immer wieder einen Ansteuerwert A_2 , A_3 für das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3. In der Regel ermittelt die Steuereinrichtung 6 beide Ansteuerwerte A_2 , A_3 .

Der Ansteuerwert A_2 für das Walzgerüst 2 wirkt in aller Regel
30 zumindest auf die Anstellung des Walzgerüsts 2, also die Einstellung des Walzspalts. Beispielsweise kann der jeweilige Ansteuerwert A_2 an eine sogenannte HGC (= hydraulic gap control) ausgegeben werden. Alternativ kann der Ansteuerwert A_2 auf den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 wirken, also das Walz-
35 moment oder die Walzgeschwindigkeit ändern. Oftmals wirkt der Ansteuerwert A_2 sowohl auf die Anstellung des Walzgerüsts 2 als auch auf dessen Hauptantrieb. In diesem Fall kann der Ansteuerwert A_2 für das Walzgerüst 2 als Vektorgröße angesehen

werden, der jeweils eine Komponente für die Anstellung des Walzgerüsts 2 und für den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 aufweist.

5 Der Ansteuerwert A3 wird einer Drehzahl- oder Drehmomentregelung für die Zuführeinrichtung 3 zugeführt und wirkt auf die Einlaufgeschwindigkeit v und/oder auf den Zug, der einlaufseitig des Walzgerüsts 2 im Metallband 1 herrscht. Soweit erforderlich, müssen im Rahmen der Ansteuerung der Zuführeinrichtung 3 auch weitere, der Zuführeinrichtung 3 vorgeordnete Einrichtungen mit angesteuert werden. Die Berücksichtigung derartiger weiterer Einrichtungen macht die Berechnung des Ansteuerwertes A3 zwar komplexer, ändert aber nichts am Prinzip der vorliegenden Erfindung.

15 Die Steuereinrichtung 6 ist mit einem Steuerprogramm 7 programmiert. Das Steuerprogramm 7 umfasst Maschinencode 8, der von der Steuereinrichtung 6 abarbeitbar ist. Die Programmierung der Steuereinrichtung 6 mit dem Steuerprogramm 7 bzw. die Abarbeitung des Maschinencodes 8 durch die Steuereinrichtung 6 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 6 die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird. Hierbei wird zunächst auf FIG 2 und sodann auf die FIG 3 und 4 Bezug genommen.

25 Gemäß FIG 2 nimmt die Steuereinrichtung 6 in einem Schritt S1 den jeweils erfassten Dickenwert d und gegebenenfalls auch den jeweils erfassten Wert für die Einlaufgeschwindigkeit v entgegen. In einem Schritt S2 ermittelt die Steuereinrichtung 6 die Abweichung δd des erfassten Dickenwertes d von einer Solldicke d^* , nachfolgend kurz als Dickenabweichung δd bezeichnet.

35 Die im Schritt S2 ermittelte Dickenabweichung δd ist nur eine vorläufige Dickenabweichung δd . In einem Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 6 anhand der vorläufigen Dickenabweichung δd eine jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$. Im einfachsten Fall ist der Schritt S3 trivialer Natur. In die-

sem Fall übernimmt die Steuereinrichtung 6 die vorläufigen Dickenabweichungen δd 1:1 als endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$.

- 5 Vorzugsweise erfolgt jedoch eine echte Ermittlung, so dass die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ aus den vorläufigen Dickenabweichungen δd mittels einer nicht trivialen Ermittlungsvorschrift ermittelt werden. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ im Schritt S3 eine Nullphasenfilterung durch-
- 10 führen. Mittels einer Nullphasenfilterung wird aus einem ursprünglichen Verlauf von Werten (hier dem zeitlichen Verlauf der vorläufigen Dickenabweichungen δd) ein gefilterter Verlauf von Werten (hier der zeitliche Verlauf der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$) ermittelt, wobei zwischen dem ur-
- 15 sprünglichen Verlauf und dem gefilterten Verlauf kein systematischer Phasenversatz auftritt. In der Regel und auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist die Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung, so dass also hochfrequente Schwankungen ausgefiltert werden. Insbesondere die Tiefpassfilterung verbessert deutlich die Stabilität der inversen Modellierung des Walzgerüsts 2, der Zuführeinrichtung 3 und/oder der Mess-
- 20 einrichtung 4.
- 25 Für eine Nullphasenfilterung müssen auch die vorläufigen Dickenabweichungen δd von Abschnitten 9 bekannt sein, die demjenigen Abschnitt 9, dessen endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ ermittelt werden soll, nachfolgen. Im Falle einer Nullphasenfilterung wird der Schritt S3 daher für einen anderen Ab-
- 30 schnitt 9 ausgeführt, dessen vorläufige Dickenabweichung δd bereits erfasst ist.

- Nullphasenfilterungen sind Fachleuten allgemein bekannt. Rein beispielhaft kann die sogenannte IIR (= infinite impulse
- 35 response) genannt werden. Eine andere Möglichkeit zur Implementierung einer Nullphasenfilterung ist eine Faltung der vorläufigen Dickenabweichungen δd mit einer symmetrischen Impulsantwort eines FIR-Filters (FIR = finite impulse response).

In einem Schritt S4 ermittelt die Steuereinrichtung 6 unter Verwertung der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ die Ansteuerwerte A2, A3. In einem Schritt S5 gibt die Steuereinrichtung 6 die Ansteuerwerte A2, A3 an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 aus. Danach geht die Steuereinrichtung 6 zum Schritt S1 zurück.

Die obenstehend in Verbindung mit FIG 2 erläuterten Vorgehensweise wird also zyklisch immer wieder ausgeführt. Meist wird sie sogar streng getaktet ausgeführt, also mit einer festen Zykluszeit T von beispielsweise 8 ms.

Nachstehend wird die erfindungsgemäße Vorgehensweise in Verbindung mit den FIG 3 und 4 nochmals detaillierter erläutert.

FIG 3 zeigt das Metallband 1 von oben. Das Metallband 1 ist virtuell in Abschnitte 9 unterteilt. Manche der Abschnitte 9 sind in FIG 3 zusätzlich zum Bezugszeichen 9 mit einem kleinen Buchstaben (beispielsweise a, b usw.) ergänzt, um individuell auf sie referenzieren zu können.

Bei jedem Zyklus, also bei jeder Abarbeitung des Schrittes S1, wird für einen bestimmten Abschnitt 9 - beispielsweise den Abschnitt 9a - dessen Dickenwert d erfasst und der Steuereinrichtung 6 zugeführt. Der erfasste Dickenwert d, die zugehörige vorläufige Dickenabweichung δd und die zugehörige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ sind also auf diesen Abschnitt 9a bezogen.

Während desselben Zyklus wird ein anderer Abschnitt 9 - beispielsweise der Abschnitt 9b - in dem Walzgerüst 2 gewalzt. Der geometrische Abstand der Abschnitte 9a und 9b auf dem Metallband 1 entspricht dem geometrischen Abstand a der Messeinrichtung 4 vom Walzgerüst 2.

Zum Fördern des Abschnitts 9a von der Messeinrichtung 4 zum Walzgerüst 2 wird eine bestimmte Zeitspanne T' benötigt. Die-

se Zeitspanne T' wird meist als Transportzeit bezeichnet. Sie ist durch die Einlaufgeschwindigkeit v des Metallbandes 1 und den Abstand a der Messeinrichtung 4 vom Walzgerüst 2 bestimmt. Bei konstanter Einlaufgeschwindigkeit v gilt die Beziehung $T' = a/v$.

Die Zeitspanne T' ist in aller Regel erheblich größer als die Zykluszeit T . Zwischen den Abschnitten 9a und 9b befindet sich daher eine Anzahl weiterer Abschnitte 9, beispielsweise der Abschnitt 9c. Für diese Abschnitte 9 wurde der jeweilige Dickenwert d bereits vor dem Walzen des Abschnitts 9b erfasst. Weiterhin weist das Metallband 1 Abschnitte 9 auf, die bereits in dem Walzgerüst 2 gewalzt wurden, beispielsweise den Abschnitt 9d.

Aufgrund des Umstands, dass zum Fördern eines jeweiligen Abschnitts 9 von der Messeinrichtung 4 zum Walzgerüst 2 die Zeitspanne T' benötigt wird, ist es möglich, in einem bestimmten Zyklus im Schritt S1 zwar den Dickenwert d für den Abschnitt 9a zu erfassen und für diesen Abschnitt 9a die vorläufige Dickenabweichung δd ermitteln, im Schritt S4 jedoch die Ansteuerwerte $A2$, $A3$ für beispielsweise den Abschnitt 9c zu ermitteln und weiterhin im Schritt S5 die im Schritt S4 ermittelten Ansteuerwerte $A2$, $A3$ an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 auszugeben. Gegebenenfalls können auch Ansteuerwerte $A2$, $A3$ an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 ausgegeben werden, die bereits zuvor für einen Abschnitt 9 zwischen dem Abschnitt 9c und dem Abschnitt 9b ermittelt wurden. Im letztgenannten Fall ist lediglich erforderlich, die im jeweiligen Zyklus erfassten Dickenwerte d , die im jeweiligen Zyklus ermittelten Dickenabweichungen δd , $\delta d'$ und die im jeweiligen Zyklus ermittelten Ansteuerwerte $A2$, $A3$ dem jeweiligen Abschnitt 9 zuzuordnen und eine Wegverfolgung der Abschnitte 9 durchzuführen. Die entsprechende Vorgehensweise ist in FIG 4 dadurch angedeutet, dass in den Schritten S1 bis S5 der jeweilige Abschnitt 9a, 9b, 9c mit angegeben ist, für den der jeweilige Schritt S1 bis S5 ausgeführt wird. Der Grund dafür, dass die von der Steuereinrich-

tung 6 ausgegebenen Ansteuerwerte A2, A3 nicht auf den Abschnitt 9b, sondern auf den Abschnitt 9c oder einen Abschnitt 9 zwischen dem Abschnitt 9b und dem Abschnitt 9c bezogen sind, besteht darin, dass gewisse Totzeiten des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 berücksichtigt werden müssen.

Die Implementierung einer Wegverfolgung ist Fachleuten allgemein bekannt. Dadurch ist es somit möglich, die Ansteuerwerte A2, A3 zeitrichtig an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 auszugeben. Zeitrichtig bedeutet im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dass an das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 ausgegebene Ansteuerwerte A2, A3 zu einem Zeitpunkt auf das Metallband 1 wirken, zu dem der jeweilige Abschnitt 9 des Metallbandes 1 in dem Walzgerüst 2 gewalzt wird. Hierbei können nach Bedarf die Zeitspanne T' und gegebenenfalls auch Reaktionszeiten (Totzeiten) des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 berücksichtigt werden. Die Reaktionszeiten sind Zeiten, die das Walzgerüst 2 und/oder die Zuführeinrichtung 3 zum Reagieren auf einen neu zugeführten Ansteuerwert A2, A3 benötigen. Weiterhin können auch Totzeiten berücksichtigt werden, die in der Kommunikation verschiedener Einrichtungen miteinander oder in der Automatisierung auftreten. Die Ermittlung der Ansteuerwerte A2, A3 muss selbstverständlich vor dem Ausgeben abgeschlossen sein.

Aufgrund des Umstands, dass für die Abschnitte 9 zwischen dem Abschnitt 9a und dem Abschnitt 9c bereits der jeweilige Dickenwert d erfasst ist und demzufolge auch die jeweilige vorläufige Dickenabweichung δd bekannt ist und weiterhin zumindest für die an den Abschnitt 9c in Richtung auf den Abschnitt 9a angrenzenden Abschnitte 9 auch die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bekannt sind, ist es möglich, beispielsweise für die Ermittlung der Ansteuerwerte A2, A3 für den Abschnitt 9c nicht nur die endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c zu berücksichtigen, sondern zusätzlich auch beliebige der anderen endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$, so-

fern sie nur bereits ermittelt sind. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 zusätzlich zur Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ von mehreren benachbarten Abschnitten 9 zum Abschnitt 9a hin berücksichtigen. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinrichtung 6 zusätzlich zur Dickenabweichung $\delta d'$ des Abschnitts 9c die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ von mehreren benachbarten Abschnitten 9 zum Abschnitt 9b hin und gegebenenfalls auch über den Abschnitt 9b hinaus berücksichtigen.

Im Rahmen der Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2, A3 berücksichtigt die Steuereinrichtung 6 weiterhin eine Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2 und/oder der Zuführeinrichtung 3 und/oder der Messeinrichtung 4. Der Steuereinrichtung 6 ist also eine Beschreibung vorgegeben, die das entsprechende Frequenzverhalten als solches direkt charakterisiert. Anders ausgedrückt: Anhand der genannten Beschreibung kann das Frequenzverhalten ermittelt werden. Möglichkeiten für die Vorgabe der Beschreibung des Frequenzverhaltens werden nachstehend näher erläutert. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt also nicht nur den jeweiligen Ansteuerwert A2, A3 auf eine Art und Weise, mittels derer das entsprechende inverse Frequenzverhalten berücksichtigt wird. Vielmehr kennt die Steuereinrichtung 6 explizit das entsprechende inverse Frequenzverhalten als solches. Der Steuereinrichtung 6 sind also Kenngrößen bekannt, die das inverse Frequenzverhalten definieren. Dies wird nachstehend in Verbindung mit dem Walzgerüst 2 näher erläutert. Für die Zuführeinrichtung 3 und gegebenenfalls auch die Messeinrichtung 4 gelten jeweils analoge Ausführungen.

Das Walzgerüst 2 kann auf verschiedene Art und Weise modelliert werden. Im einfachsten Fall wird das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert. Alternativ kommt eine Modellierung höherer Ordnung in Frage. Die Modellierung beschreibt das Walzgerüst 2 als solches, gegebenenfalls einschließlich seiner Steuerung. Die Transportzeit, also die Zeitspanne T' , ist hingegen nicht Bestandteil der Modellierung.

Das Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2 kann beispielsweise durch eine Übertragungsfunktion beschrieben werden. Wenn – wie allgemein üblich – mit G die Übertragungsfunktion als
 5 solche und mit Buchstabe s der Laplace-Operator bezeichnet wird, lässt sich die Übertragungsfunktion $G(s)$ schreiben als

$$G(s) = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0}{c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0} \quad (1)$$

10 Hierbei sind b_i (mit $i = 1, 2, \dots, m$) und c_j (mit $j = 1, 2, \dots, n$) konstante Koeffizienten. Der Grad m des Zählerpolynoms ist maximal so groß wie der Grad n des Nennerpolynoms. Wenn das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die Übertragungsfunktion $G(s)$ beispielsweise als

$$15 \quad G(s) = \frac{1}{T2 \cdot s + 1} \quad (2)$$

wobei $T2$ eine charakteristische Zeitkonstante des Walzgerüsts 2 ist.

20 Für die zugehörige inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ gilt im allgemeinen Fall

$$G^{-1}(s) = \frac{1}{G(s)} = \frac{c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0}{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0} \quad (3)$$

25 Das inverse Übertragungsverhalten $G^{-1}(s)$ ist somit eindeutig definiert. Wenn das Walzgerüst 2 als PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die zugehörige inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ exakt zu

$$30 \quad G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{1} \quad (4)$$

Wenn die inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ exakt modelliert wird, wird das modellierte Verhalten des Walzgerüsts 2 jedoch

oftmals instabil. In manchen Fällen kann sogar das Verhalten des realen Walzgerüsts 2 instabil werden. Beispielsweise ergibt die Inverse eines PT1-Gliedes ein PD-Glied. Ein PD-Glied verstärkt hohe Frequenzen extrem. Auch kann das theoretisch ermittelbare Ausgangssignal eines PD-Gliedes in der Realität nicht umgesetzt werden. Die Ursache hierfür sind Stellbegrenzungen der Stellglieder, hier des Walzgerüsts 2. Zur Gewährleistung der Stabilität und Realisierbarkeit erweitert man das Nennerpolynom der inversen Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ um einen Anteil, der proportional der höchsten Potenz von s im Zähler der inversen Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ ist. Dies ist Fachleuten vom Ansatz her bekannt. Es kann diesbezüglich auf das Fachbuch „Stabile Neuronale Online Identifikation und Kompensation statischer Nichtlinearitäten“ von Thomas Frenz verwiesen werden. Die tatsächlich verwendete inverse Modellierung des Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2 wird somit durch eine modifizierte inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ beschrieben, welche die Form

$$G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (5)$$

aufweist. TC ist eine kleine Zeit, also eine Zeit, die erheblich kleiner als die charakteristische Zeitkonstante T2 des Walzgerüsts 2 ist. Je kleiner die Zeit TC gewählt werden kann, desto besser ist die Modellierung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2. In der Praxis wird die Zeit TC gleich der Zykluszeit T oder in etwa gleich der Zykluszeit T gewählt werden.

Analoge Ausführungen gelten, wie bereits erwähnt, für die Zuführeinrichtung 3. Wenn, analog zum Walzgerüst 2, die Zuführeinrichtung 3 durch ein PT1-Glied modelliert wird, ergibt sich die inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ für die Zuführeinrichtung 3 durch eine modifizierte inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ beschrieben, welche die Form

$$G^{-1}(s) = \frac{T3 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (6)$$

wobei T3 eine charakteristische Zeitkonstante der Zuführeinrichtung 3 ist.

5

Aufgrund obiger Sachverhalte ist es möglich, der Steuereinrichtung 6 entsprechend der Darstellung in FIG 5 ein entsprechendes inverses Modell 10 des Walzgerüsts 2 vorzugeben. Das inverse Modell 10 beschreibt, wie zuvor erläutert, das inverse Frequenzverhalten des Walzgerüsts 2, gegebenenfalls einschließlich des inversen Frequenzverhaltens der Messeinrichtung 4. Konstante Totzeiten und dergleichen können nach Bedarf innerhalb des inversen Modells 10 oder außerhalb des inversen Modells 10 im Rahmen der Vorhaltezeit T2' berücksichtigt werden. Das inverse Modell 10 kann beispielsweise entsprechend der Darstellung in FIG 5 eine inverse Übertragungsfunktion $G^{-1}(s)$ der Form

10

15

$$G^{-1}(s) = \frac{T2 \cdot s + 1}{TC \cdot s + 1} \quad (5)$$

20

implementieren.

Dem inversen Modell 10 wird - getaktet mit der Zykluszeit T - jeweils die endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ eines Abschnitts 9 des Metallbandes 1 zugeführt. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt mittels des inversen Modells 10 unter zusätzlicher Berücksichtigung eines internen Zustands Z2 des inversen Modells 10 den jeweiligen Ansteuerwert A2 für das Walzgerüst 2 und gibt den Ansteuerwert A2 an das Walzgerüst 2 aus. Weiterhin führt die Steuereinrichtung 6 den internen Zustand Z2 unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung $\delta d'$ und des vorherigen internen Zustands Z2 des inversen Modells 10 nach. Die Berücksichtigung des internen Zustands Z2 und das Nachführen des internen Zustands Z2 sind erforderlich, da anderenfalls das inverse Modell 10 des Walzgerüsts 2 keine Kenntnis des bisherigen Verlaufs der endgültigen Di-

25

30

35

ckenabweichung $\delta d'$ speichern könnte und somit kein Frequenzverhalten modellieren könnte, sondern lediglich eine rein proportionales Verhalten.

5 Dem inversen Modell 10 ist ein Transportmodell 11 vorgeordnet. Dem Transportmodell 11 werden – getaktet mit der Zykluszeit T – die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ und die Einlaufgeschwindigkeit v zugeführt. Das Transportmodell 11 modelliert die Wegverfolgung des jeweiligen Abschnitts 9,
10 dem die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ zugeordnet ist. Weiterhin wird dem Transportmodell 11 eine Vorhaltezeit $T2'$ zugeführt. Das Transportmodell 11 gibt die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ gegenüber dem Zeitpunkt, zu dem die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ dem Transportmodell 11 zugeführt wurde, zeitverzögert aus. Die Zeitverzögerung ist, wie bereits erwähnt, derart gewählt, dass der für einen bestimmten Abschnitt 9 ausgegebene Ansteuerwert $A2$ zu dem Zeitpunkt Wirkung entfaltet, zu dem der entsprechende Abschnitt 9 des Metallbandes 1 in dem Walzgerüst 2 gewalzt
15 wird.
20

Die Modellierung und Implementierung einer Wegverfolgung ist Fachleuten allgemein bekannt. Sie muss daher nicht im Detail erläutert werden.

25 In der Regel wird weiterhin die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ von dem Transportmodell 11 nicht direkt dem inversen Modell 10 des Walzgerüsts 2 zugeführt, sondern zuvor noch in einem Multiplizierer 12 mit einem statischen Verstärkungsfaktor $V2$ multipliziert. Mittels des Multiplizierers 12
30 wird die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ in einen Zusatzsollwert beispielsweise für den Walzspalt des Walzgerüsts 2 oder den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 umgerechnet. Prinzipiell ist es aber auch möglich, den Verstärkungsfaktor $V2$ mit in das inverse Modell 10 des Walzgerüsts 2 zu integrieren.
35

In völlig analoger Weise kann, wie bereits erwähnt, auch die Modellierung des inversen Frequenzverhaltens der Zuführeinrichtung 3 erfolgen, gegebenenfalls einschließlich des inversen Frequenzverhaltens der Messeinrichtung 4. Es ergibt sich
5 entsprechend der Darstellung in FIG 5 ein völlig analoger Aufbau mit einem inversen Modell 13, einem Transportmodell 14 und einem Multiplizierer 15. $T3'$ ist eine Vorhaltezeit für die Zuführeinrichtung, $V3$ ein Verstärkungsfaktor. Mittels des Multiplizierers 15 wird die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ in einen Zusatzsollwert für die Einlaufgeschwindigkeit v des Metallbandes 1 umgerechnet. Falls die Zuführeinrichtung 3 nicht die Einlaufgeschwindigkeit v , sondern den einlaufseitig des Walzgerüsts 2 im Metallband 1 herrschenden Zug regelt, muss gegebenenfalls zusätzlich das Trägheitsmoment der Zuführeinrichtung 3 mit berücksichtigt werden.
15

Sofern der Ansteuerwert $A2$ eine Vektorgröße ist, die jeweils eine Komponente für die Anstellung des Walzgerüsts 2 und für den Hauptantrieb des Walzgerüsts 2 aufweist, müssen die obenstehend erläuterten Modellierungen für das Walzgerüst 2 separat für jede Komponente der Vektorgröße ausgeführt werden. Gegebenenfalls sind also für das Walzgerüst 2 mehrere inverse Teilmodelle vorhanden. Dies ändert aber nichts am Prinzip.
20

Mittels der Ansteuerwerte $A2$ erfolgt die entsprechende Ansteuerung des Walzgerüsts 2, so dass auslaufseitig des Walzgerüsts 2 nur noch möglichst geringe Schwankungen der Dicke des Metallbandes 2 vorliegen. Mittels der Ansteuerwerte $A3$ erfolgt die entsprechende Ansteuerung der Zuführeinrichtung
30 3, so dass die Einlaufgeschwindigkeit v und/oder der einlaufseitige Zug im Metallband 1 möglichst konstant gehalten wird. Insbesondere hat der Zug Einfluss auf die Stichabnahme im Walzgerüst 2. Damit Änderungen im Zug, der im Metallband 1 herrscht, keinen unerwünschten Einfluss auf die Stichabnahme
35 hat, muss die Einlaufgeschwindigkeit v synchron zu den Änderungen der Anstellung des Walzgerüsts 2 und der Änderungen der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 2 angepasst werden.

Wie bereits erwähnt, werden die endgültigen Dickenabweichungen δd mittels einer Nullphasenfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen δd ermittelt. Den Transportmodellen 11, 14
5 kann daher ein jeweiliges Nullphasenfilter 16, 17 vorgeordnet oder nachgeordnet sein. Es ist auch möglich, die Nullphasenfilterung in das jeweilige Transportmodell 11, 14 zu integrieren.

10 Die Transportmodelle 11, 14 sind im wesentlichen gleichartig ausgebildet. Die Struktur der Steuereinrichtung 6 von FIG 5 kann daher gemäß der Struktur von FIG 6 modifiziert werden. Im Ergebnis kann in der Ausgestaltung gemäß FIG 6 eines der Transportmodelle 11, 14 entfallen. Stattdessen ist ein Verzö-
15 gerungsglied 18 vorhanden, mittels dessen die Differenz zwischen den Vorhaltezeiten $T2'$ und $T3'$ ausgeglichen wird. Meist wird die Vorhaltezeit $T3'$ größer als die Vorhaltezeit $T2'$ sein. In diesem Fall, der in FIG 6 dargestellt ist, entfällt das Transportmodell 14 und ist weiterhin das Verzögerungs-
20 glied 18 in dem Pfad für den Ansteuerwert $A2$ angeordnet.

Die obenstehend in Verbindung mit den FIG 5 und 6 erläuterten Strukturen der Steuereinrichtung 6 sind in der Steuereinrichtung 6 als Softwareblöcke ausgebildet. Sie werden also auf-
25 grund der Programmierung mit dem Steuerprogramm 7 und die Abarbeitung des Maschinencodes 8 gebildet.

Eine alternative Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts 2 – gegebenenfalls als kombinierte
30 Beschreibung auch des inversen Frequenzgangs der Messeinrichtung 4 – als Frequenzgang FG vorgegeben ist. Der Frequenzgang FG gibt entsprechend der Darstellung in FIG 7 für verschiedene Frequenzbereiche FB_k (mit $k = 1, 2, \dots$) die jeweilige komplexe Verstärkung V an, mit welcher eine zeitvariable Dicken-
35 abweichung, die eine Frequenz im jeweiligen im jeweiligen Frequenzbereich FB aufweist, verstärkt werden muss, um vollständig kompensiert zu werden.

Der Frequenzgang FG beruht auf folgender Überlegung: Wird dem Walzgerüst 2 ein Metallband 1 konstanter Dicke zugeführt und wird weiterhin der dem Walzgerüst 2 zugeführte Ansteuerwert

5 A2 mit einer bestimmten Amplitude und einer bestimmten Frequenz variiert, so zeigt sich, dass bei gleicher Amplitude des Ansteuerwertes A2 (= Eingangsgröße) sich das Ausmaß, in welchem dem Metallband 1 durch das Walzgerüst 2 auslaufseitig eine Dickenänderung eingeprägt wird, (= Ausgangsgröße) von

10 der Frequenz abhängt. Konkret ändern sich sowohl die Amplitude als auch die Phasenlage der auslaufseitigen Dickenänderung. Insbesondere zeigt sich in der Praxis, dass mit steigender Frequenz die Amplitude der auslaufseitigen Dickenabweichung abnimmt und die Phasenverzögerung zunimmt. Je nach

15 Frequenz der einlaufseitigen endgültigen Dickenabweichung $\delta d'$ muss die Korrekturgröße „Positionsänderung des Walzgerüsts 2“ und/oder „Änderung des Drehmoments der Arbeitswalzen“ bzw. „Änderung der Drehzahl der Arbeitswalzen“ daher in Amplitude und Phasenlage dynamisch angepasst werden, um ein optimales

20 Korrektursignal zu generieren. Um eine einlaufseitig des Walzgerüsts 2 mit einer höheren Frequenz auftretende endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ zu kompensieren, muss das Walzgerüst 2 somit stärker angesteuert werden.

25 Amplitude und Phasenlage der Reaktion des Walzgerüsts 2 auf den jeweiligen Ansteuerwert A2 können für die jeweilige Frequenz zu einem komplexen Faktor zusammengefasst werden. Das Inverse des jeweiligen komplexen Faktors entspricht für die jeweilige Frequenz einem – komplexen – Verstärkungsfaktor V, mit dem eine Dickenabweichung der jeweiligen Frequenz skaliert werden muss, damit sie ausgangsseitig des Walzgerüsts 2 vollständig kompensiert wird. Die Gesamtheit dieser Verstärkungsfaktoren V, also die Verstärkungsfaktoren V für verschiedene Frequenzen bzw. Frequenzbereiche FB, bilden den

35 Frequenzgang FG, welcher der Steuereinrichtung 6 vorgegeben wird.

Sofern die Beschreibung des Frequenzverhaltens der Steuereinrichtung 6 als derartiger Frequenzgang FG vorgegeben ist, kann für die Ermittlung eines jeweiligen Ansteuerwertes A2 entsprechend der Darstellung in FIG 8 vorgegangen werden. Die Vorgehensweise von FIG 8 muss gegebenenfalls separat für jede Komponente des jeweiligen Ansteuerwertes A2 durchgeführt werden.

Der Steuereinrichtung 8 wird gemäß FIG 8 für den jeweiligen Abschnitt 9 und eine Mehrzahl von weiteren Abschnitten 9 die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ vorgegeben. Die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bilden einen zeitlichen Verlauf. Die Steuereinrichtung 6 transformiert den zeitlichen Verlauf in einem Transformationsblock 19 in den Frequenzbereich. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 6 in dem Transformationsblock 19 eine Fouriertransformation (FT) durchführen, insbesondere eine STFT (= short time Fourier transformation = Kurzzeit-Fouriertransformation). Die Fouriertransformation kann nach Bedarf kontinuierlich oder diskret sein. Ebenso kann sie nach Bedarf analog oder digital sein. Weiterhin kommen alternativ zu einer Fouriertransformation auch andere Transformationen in Frage, beispielsweise eine diskrete Kosinustransformation.

Unabhängig von der konkreten Vorgehensweise ermittelt die Steuereinrichtung 6 mittels des Transformationsblocks 19 die Frequenzanteile FA des genannten Verlaufs. In einem nachfolgenden Ermittlungsblock 20 erfolgt - separat für die einzelnen Frequenzbereiche FB - eine Multiplikation des jeweiligen Frequenzanteils FA mit dem Verstärkungsfaktor V für den jeweiligen Frequenzbereich FB. Der transformierte Verlauf wird also mit dem Frequenzgang FG multipliziert. Aufgrund der Multiplikation im komplexen Frequenzbereich werden im Ergebnis sowohl Amplituden skaliert als auch Phasen verschoben. Durch diese Multiplikation wird im Frequenzraum ein korrigiertes Spektrum der endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ erzeugt, welches das frequenzabhängige Übertragungsverhalten des Walzgerüsts 2 optimal kompensiert.

In einem weiteren Transformationsblock 21 transformiert die Steuereinrichtung 6 das Ausgangssignal des Ermittlungsblocks 20 – also den frequenzweise skalierten Frequenzverlauf – zurück in den Zeitbereich. Die Transformation des Transformationsblocks 21 ist invers zur Transformation des Transformationsblocks 19. Von den Ausgangssignalen des Transformationsblocks 21 greift die Steuereinrichtung 6 schließlich denjenigen heraus, der für den jeweiligen Abschnitt 9 ermittelt wurde.

Die Anzahl an endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$, die im Rahmen der Vorgehensweise gemäß FIG 8 verwertet wird, kann nach Bedarf bestimmt sein. Es bietet sich besonders an, die Anzahl derart zu wählen, dass sie gleich einer Zweierpotenz ist. Denn dann kann die Fouriertransformation als schnelle Fouriertransformation implementiert werden.

Fachleuten ist allgemein bekannt, dass eine Multiplikation im Frequenzbereich mit einer Faltung im Zeitbereich korrespondiert. Alternativ zur Vorgabe eines Frequenzgangs FG ist es daher möglich, der Steuereinrichtung 6 entsprechend der Darstellung in FIG 9 einen Faltungskern FK vorzugeben. Der Faltungskern FK kann beispielsweise durch eine isolierte Transformation des Frequenzgangs FG der FIG 7 und 8 in den Zeitbereich ermittelt werden.

Sofern die Beschreibung des Frequenzverhaltens der Steuereinrichtung 6 als derartiger Faltungskern FK vorgegeben ist, kann für die Ermittlung eines jeweiligen Ansteuerwertes A2 entsprechend der Darstellung in FIG 10 wie folgt vorgegangen werden:

Der Steuereinrichtung 8 wird – wie bei FIG 8 auch – für den jeweiligen Abschnitt 9 und eine Mehrzahl von weiteren Abschnitten 9 die jeweilige endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ vorgegeben. Die endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ bilden – wie bei FIG 8 auch – einen zeitlichen Verlauf. In einem Er-

mittlungsblock 22 führt die Steuereinrichtung 6 eine Faltung dieses Verlaufs mit dem Faltungskern FK durch. Von den Ausgangssignalen des Ermittlungsblocks 22 greift die Steuereinrichtung 6 als Ansteuerwert A2 denjenigen heraus, der für den
5 jeweiligen Abschnitt 9 ermittelt wurde.

Auch im Rahmen der Vorgehensweisen gemäß den FIG 8 und 10 wird der Steuereinrichtung 6 jeweils nur eine einzelne endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ explizit neu zugeführt. Die anderen benötigten endgültigen Dickenabweichungen $\delta d'$ sind der
10 Steuereinrichtung 6 bereits im Rahmen der Ausführung vorheriger Zyklen zugeführt worden. Sie müssen dort also nur zwischengespeichert und erneut abgerufen und verwendet werden.

15 Die Vorgehensweisen der FIG 8 und 10 wurden obenstehend in Verbindung mit der Ermittlung des Ansteuerwertes A2 für das Walzgerüst 2 erläutert. Für die Ermittlung des Ansteuerwertes A3 für die Zuführeinrichtung 3 sind völlig analoge Vorgehensweisen möglich. In beiden Fällen kann nach Bedarf zusätzlich
20 zum Frequenzverhalten der jeweiligen Einrichtung 2, 3 auch das Frequenzverhalten der Messeinrichtung 4 mit berücksichtigt werden.

Die obenstehend in Verbindung mit den FIG 8 und 10 erläuterten Strukturen der Steuereinrichtung 6 sind - ebenso wie die
25 Strukturen der Steuereinrichtung 6 gemäß den FIG 5 und 6 - in der Steuereinrichtung 6 als Softwareblöcke ausgebildet. Sie werden also aufgrund der Programmierung mit dem Steuerprogramm 7 und die Abarbeitung des Maschinencodes 8 gebildet.

30 In jeder der Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass die weiteren Abschnitte 9, deren endgültige Dickenabweichung $\delta d'$ im Rahmen der Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A2, A3 berücksichtigt wird, ausschließlich Abschnitte 9 sind, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen. Ebenso ist es in den Ausgestaltungen der FIG 8 und 10 möglich, dass die weiteren Abschnitte 9 ausschließlich Abschnitte 9 sind, die dem jeweiligen Abschnitt 9

des Metallbandes 1 nachfolgen. In der Regel führt es im Falle der Ausgestaltungen der FIG 8 und 10 jedoch zu besseren Ergebnissen, wenn eine gemischte Vorgehensweise ergriffen wird, wenn also ein Teil der weiteren Abschnitte 9 dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen und ein weiterer Teil der weiteren Abschnitte 9 dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgen. Beispielsweise können stets diejenigen Abschnitte 9 verwertet werden, die sich - bezogen auf denjenigen Abschnitt 9, dessen Dicke d im jeweiligen Zyklus erfasst wird - in dem in FIG 3 mit 23 bezeichneten Bereich befinden.

FIG 3 zeigt zugleich auch noch eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung. Denn wenn jeweils die Ansteuerwerte A_2 , A_3 für den Abschnitt 9c ermittelt werden, ist entsprechend der Darstellung in FIG 3 die Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehenden Abschnitten 9 des Metallbandes 1, deren endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$ die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A_2 verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgenden Abschnitten 9 des Metallbandes 1, deren endgültige Dickenabweichungen $\delta d'$ die Steuereinrichtung 6 zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes A_2 , A_3 verwertet. Eine geringfügige Abweichung (beispielsweise bis zu zwei Abschnitten 9 mehr oder weniger) ist in der Regel jedoch unproblematisch. Es bietet sich weiterhin oftmals an, insgesamt 2^n Abschnitte zu verwerten. In diesem Fall ist die Anzahl an Abschnitten 9, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 vorhergehen, vorzugsweise um exakt 1 größer oder um 1 kleiner als die Anzahl an Abschnitten 9 des Metallbandes 1, die dem jeweiligen Abschnitt 9 des Metallbandes 1 nachfolgen.

Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ergibt sich auf einfache Weise eine nahezu vollständige Korrektur von einlaufseitigen Dickenabweichungen δd . Dies gilt ganz besonders, wenn sowohl der Ansteuerwert A_2 als auch der Ansteuerwert A_3 auf die erfindungsgemäße Art und Weise

ermittelt werden. Es ist weiterhin ohne weiteres möglich, bestehende Walzanlagen erfindungsgemäß nachzurüsten. Denn die Hardware als solche, d.h. das Walzgerüst 2, die Zuführeinrichtung 3, die Messeinrichtungen 4, 5 und die Steuereinrichtung 6 müssen nicht verändert werden. Lediglich das Steuerprogramm 7 für die Steuereinrichtung 6 muss geändert werden.

Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1	Metallband
2	Walzgerüst
3	Zuführeinrichtung
4, 5	Messeinrichtungen
6	Steuereinrichtung
7	Steuerprogramm
8	Maschinencode
9	Abschnitte
10, 13	inverse Modelle
11, 14	Transportmodelle
12, 15	Multiplizierer
16, 17	Nullphasenfilter
18	Verzögerungsglied
19, 21	Transformationsblöcke
20, 22	Ermittlungsblöcke
23	Bereich
a	Abstand
A2, A3	Ansteuerwerte
d	Dickenwert
d*	Solldicke
FA	Frequenzanteile
FB	Frequenzbereiche
FG	Frequenzgang
FK	Faltungskern
G	Übertragungsfunktion
s	Laplace-Operator
S1 bis S5	Schritte
T	Zykluszeit
T2, T3	charakteristische Zeitkonstanten
T2', T3'	Vorhaltezeiten
v	Einlaufgeschwindigkeit
V, V2, V3	Verstärkungsfaktoren
Z2, Z3	interne Zustände
δd , $\delta d'$	Dickenabweichungen

Ansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Walzanlage,
- wobei einem Walzgerüst (2) der Walzanlage von einer dem
 - 5 Walzgerüst (2) vorgeordneten Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) ein Metallband (1) zugeführt wird,
 - wobei das Metallband (1) in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird,
 - 10 - wobei mittels einer zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) angeordneten Messeinrichtung (4) für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils ein Dickenwert (d) für die Dicke des Metallbandes (1) erfasst wird,
 - 15 - wobei die erfassten Dickenwerte (d) einer Steuereinrichtung (6) der Walzanlage zugeführt werden,
 - wobei die Steuereinrichtung (6) anhand der Abweichung des jeweiligen Dickenwertes (d) von einer Solldicke (d^*) für den jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) eine je-
 - 20 weilige vorläufige Dickenabweichung (δd) ermittelt,
 - wobei die Steuereinrichtung (6) anhand der vorläufigen Dickenabweichungen (δd) endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) ermittelt,
 - wobei die Steuereinrichtung (6) für die Abschnitte (9) des
 - 25 Metallbandes (1) jeweils einen Ansteuerwert (A_2 , A_3) für das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) ermittelt und den jeweiligen Ansteuerwert (A_2 , A_3) zeitrichtig an das Walzgerüst (2) und/oder die Zuführeinrichtung (3) ausgibt,
 - 30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 - dass die Steuereinrichtung (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A_2 , A_3) anhand der endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) des jeweiligen Abschnitts (9) des Metallbandes (1) sowie der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) einer Mehrzahl von dem je-
 - 35 weiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden und/oder nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) unter Berücksichtigung einer Beschreibung des inversen Fre-

quenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) ermittelt.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

- 5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) durch ein inverses Modell (10, 13) vorgegeben ist,
 - 10 - dass dem inversen Modell (10, 13) jeweils die endgültige Dickenabweichung ($\delta d'$) eines Abschnitts des Metallbandes (1) zugeführt wird und
 - dass die Steuereinrichtung (6) unter Verwertung der jeweiligen endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) mittels des inversen Modells (10, 13) zum einen einen internen Zustand (Z2, Z3) des inversen Modells (10, 13) nachführt und zum anderen den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) ermittelt.
 - 15

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

- 20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) als Frequenzgang (FG) vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung
- 25 (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) durch eine Transformation des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) in den Frequenzbereich, eine nachfolgende Multiplikation des transformierten Verlaufs der endgültigen Dickenabweichung ($\delta d'$) mit dem Frequenzgang (FG) und eine nachfolgende Rück-
- 30 transformation in den Zeitbereich ermittelt.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass die Beschreibung des inversen Frequenzverhaltens des Walzgerüsts (2) und/oder der Zuführeinrichtung (3) und/oder der Messeinrichtung (4) der Steuereinrichtung (6) als Faltungskern (FK) vorgegeben ist und dass die Steuereinrichtung
- 35 (6) den jeweiligen Ansteuerwert (A2, A3) durch eine Faltung

des Verlaufs der endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) mit dem Faltungskern (FK) ermittelt.

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 3 oder 4,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes (A2, A3) sowohl endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) von dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) als auch
10 endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) von dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) verwertet.

6. Betriebsverfahren nach Anspruch 5,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) vorhergehenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1), deren endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes
20 (A2, A3) verwertet, im wesentlichen gleich der Anzahl an dem jeweiligen Abschnitt (9) des Metallbandes (1) nachfolgenden Abschnitten (9) des Metallbandes (1) ist, deren endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$) die Steuereinrichtung (6) zur Ermittlung des jeweiligen Ansteuerwertes (A2, A3) verwertet.

25 7. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Steuereinrichtung (6) die vorläufigen Dickenabweichungen (δd) 1:1 als endgültige Dickenabweichungen ($\delta d'$)
30 übernimmt oder dass die Steuereinrichtung (6) die endgültigen Dickenabweichungen ($\delta d'$) aus den vorläufigen Dickenabweichungen (δd) mittels einer Nullphasenfilterung ermittelt.

8. Betriebsverfahren nach Anspruch 7,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass mittels der Nullphasenfilterung eine Tiefpassfilterung der vorläufigen Dickenabweichungen (δd) durchgeführt wird.

9. Steuerprogramm, das Maschinencode (8) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (6) für eine Walzanlage abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (8) durch die Steuereinrichtung (6) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (6) die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

10. Steuereinrichtung für eine Walzanlage, wobei die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm (7) nach Anspruch 9 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.

11. Walzanlage zum Walzen eines Metallbandes (1),

15 - wobei die Walzanlage zumindest ein Walzgerüst (2), eine dem Walzgerüst (2) vorgeordnete Zuführeinrichtung (3), eine zwischen der Zuführeinrichtung (3) und dem Walzgerüst (2) angeordnete Messeinrichtung (4) und eine Steuereinrichtung (6) aufweist,

20 - wobei das Metallband (1) dem Walzgerüst (2) von der Zuführeinrichtung (3) mit einer Einlaufgeschwindigkeit (v) zugeführt wird,

- wobei das Metallband (1) in dem Walzgerüst (2) gewalzt wird,

25 - wobei von der Messeinrichtung (4) für aufeinanderfolgende Abschnitte (9) des Metallbandes (1) jeweils ein Dickenwert (d) für die Dicke des Metallbandes (1) erfasst wird,

- wobei die erfassten Dickenwerte (d) der Steuereinrichtung (6) zugeführt werden,

30 - wobei die Steuereinrichtung (6) die Walzanlage gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.

1/5

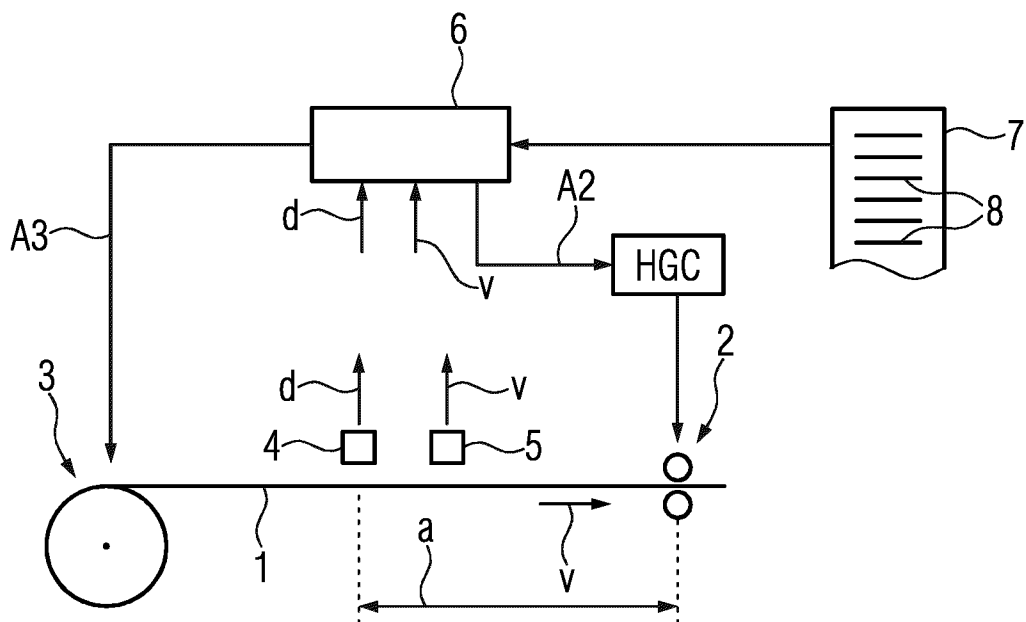


FIG 1

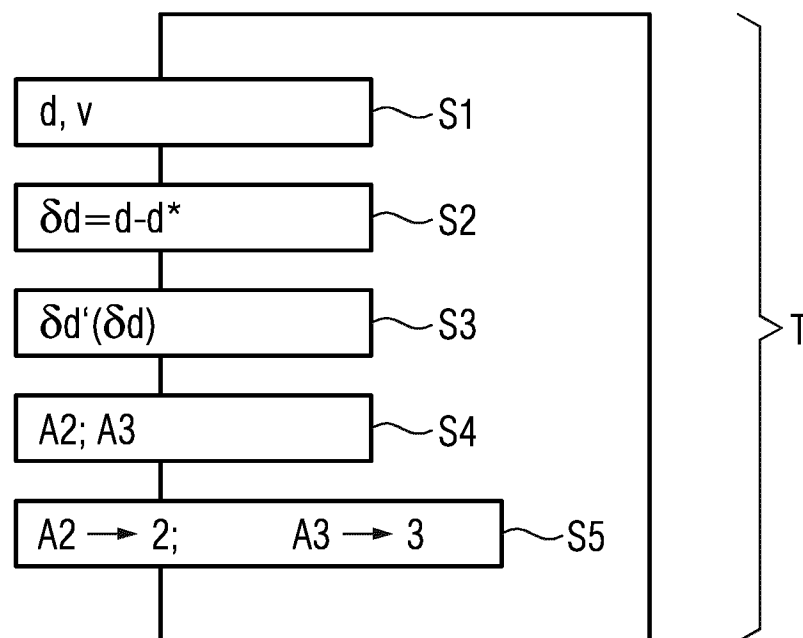


FIG 2

2/5

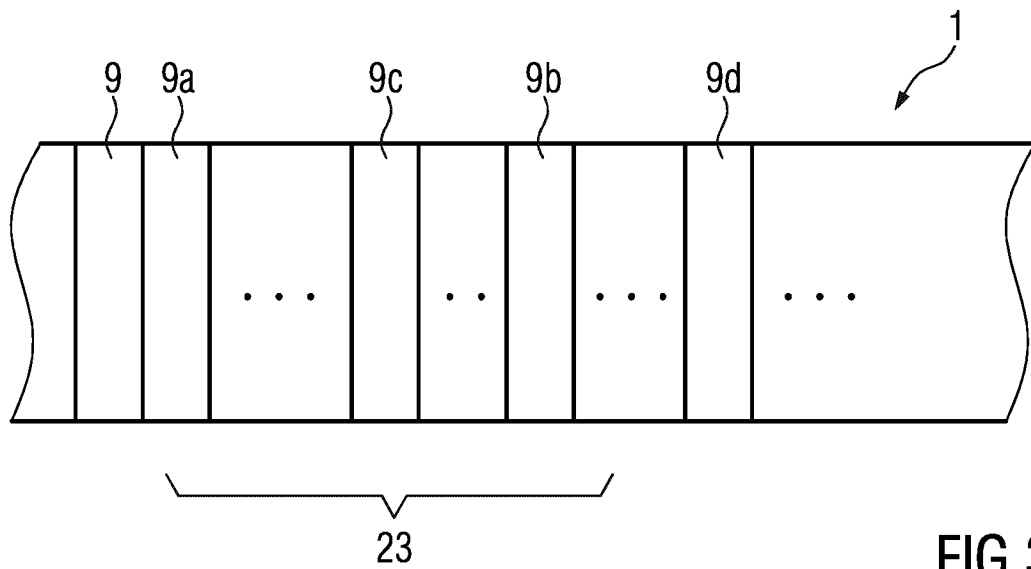


FIG 3

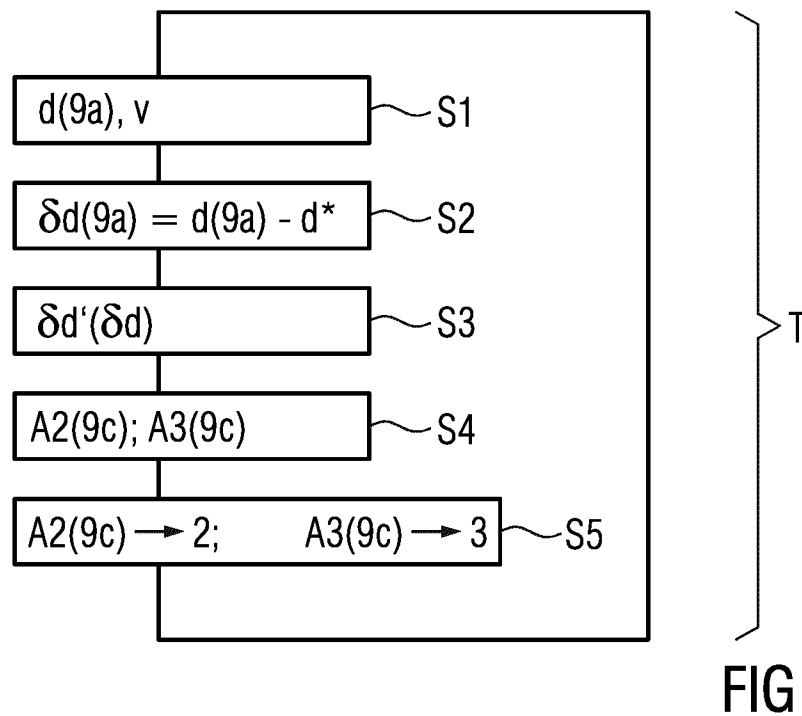


FIG 4

3/5

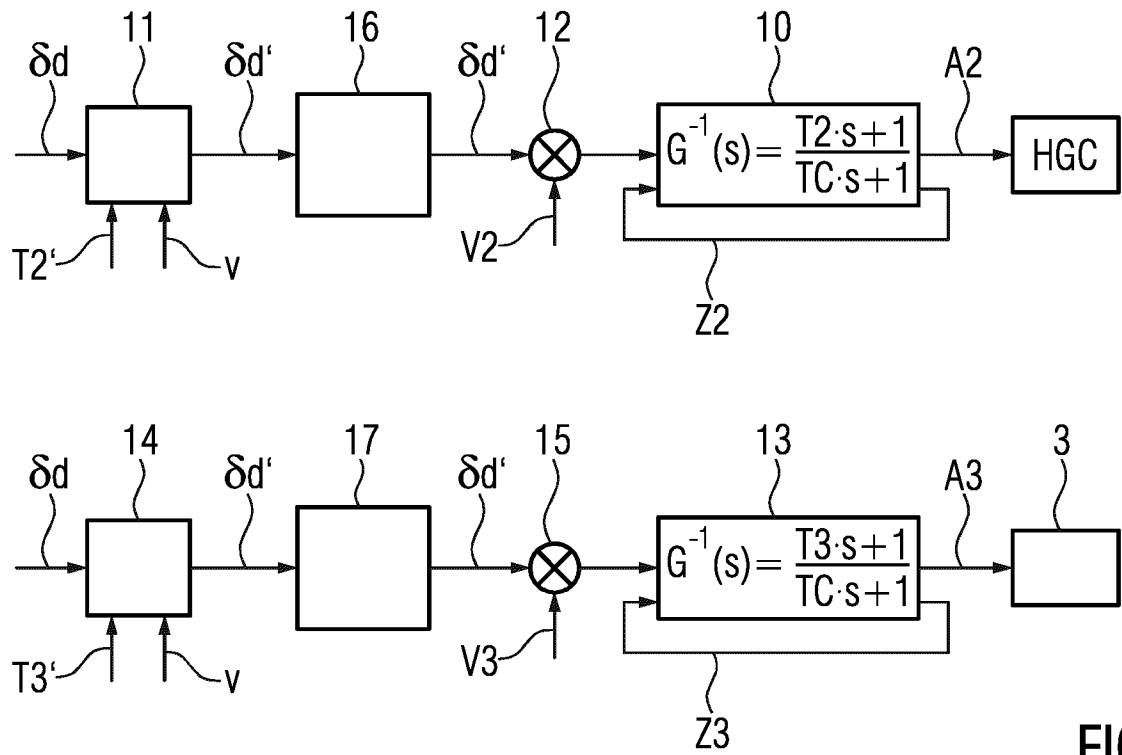


FIG 5

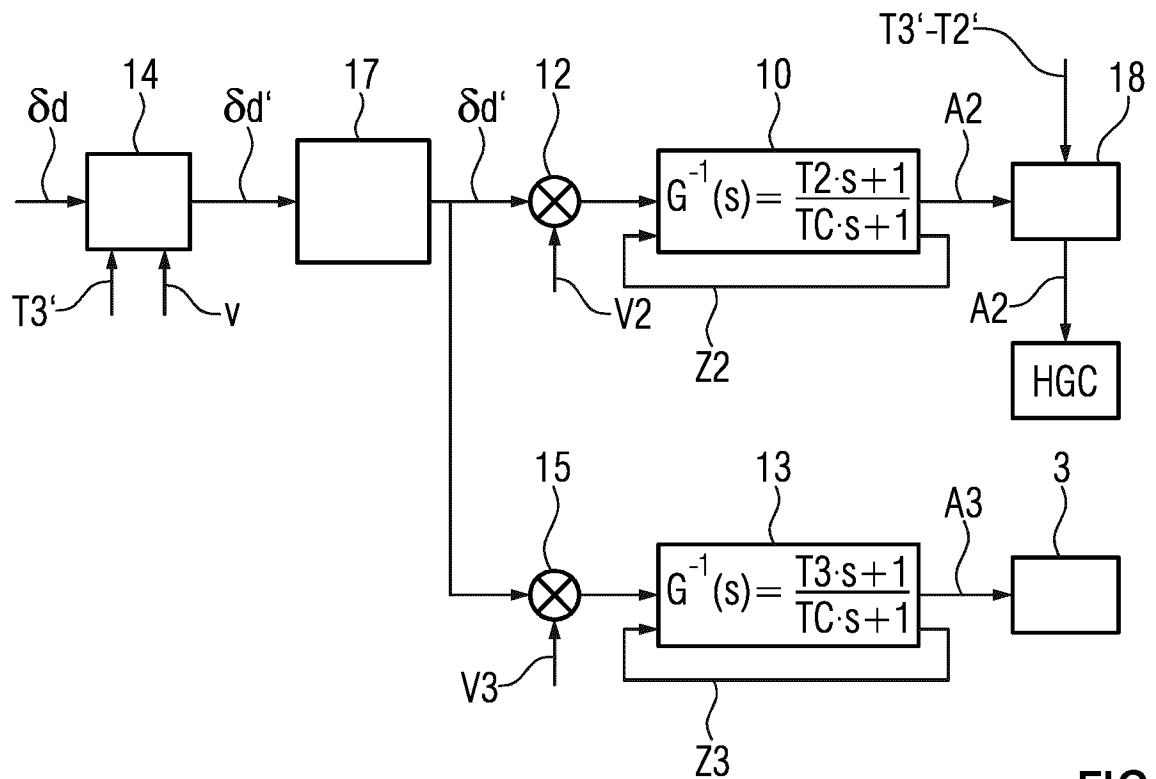


FIG 6

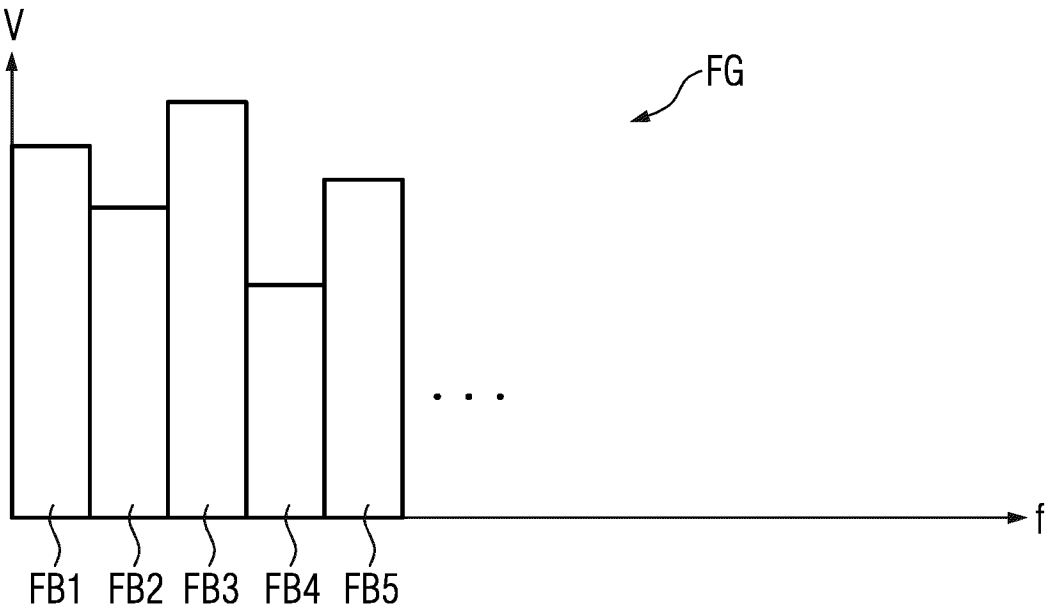


FIG 7

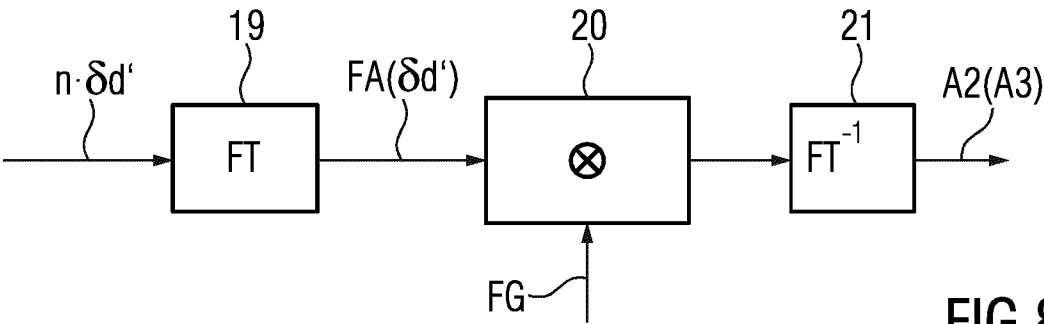


FIG 8

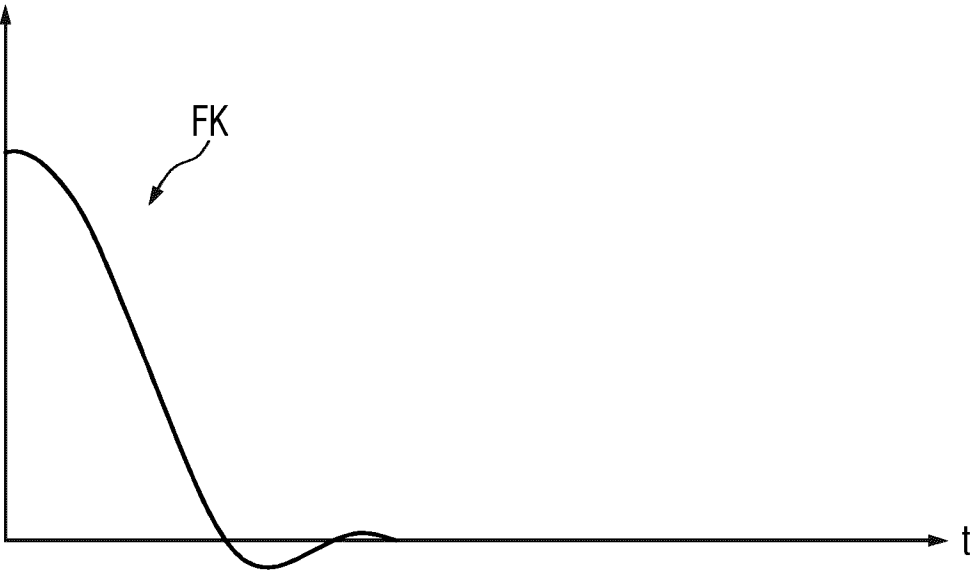


FIG 9

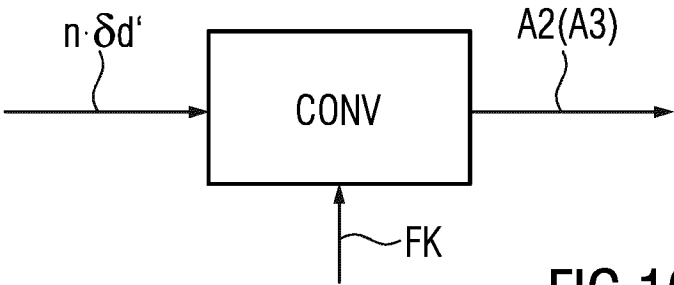


FIG 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/064020

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B21B 37/16**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP S5868414 A (SUMITOMO METAL IND) 23 April 1983 (1983-04-23) cited in the application abstract; figures 1-2	1-11
A	WO 2016151855 A1 (TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC IND SYSTEMS CORP [JP]) 29 September 2016 (2016-09-29) abstract; figure 1	1-11
A	EP 1488863 A2 (ABB PATENT GMBH [DE]) 22 December 2004 (2004-12-22) paragraph [0039] - paragraph [0046]; figures 1-4	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 August 2021

Date of mailing of the international search report

08 September 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Forciniti, Marco

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/064020

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	S5868414	A	23 April 1983	JP	S631125	B2	11 January 1988
				JP	S5868414	A	23 April 1983
WO	2016151855	A1	29 September 2016	CN	107073536	A	18 August 2017
				JP	6380650	B2	29 August 2018
				JP	WO2016151855	A1	29 June 2017
				KR	20170073642	A	28 June 2017
				TW	201634140	A	01 October 2016
				WO	2016151855	A1	29 September 2016
EP	1488863	A2	22 December 2004	AT	441489	T	15 September 2009
				DE	10327663	A1	05 January 2005
				EP	1488863	A2	22 December 2004

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B21B37/16
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B21B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP S58 68414 A (SUMITOMO METAL IND) 23. April 1983 (1983-04-23) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 -----	1-11
A	WO 2016/151855 A1 (TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC IND SYSTEMS CORP [JP]) 29. September 2016 (2016-09-29) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-11
A	EP 1 488 863 A2 (ABB PATENT GMBH [DE]) 22. Dezember 2004 (2004-12-22) Absatz [0039] - Absatz [0046]; Abbildungen 1-4 -----	1-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. August 2021

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/09/2021

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Forciniti, Marco

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/064020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
JP S5868414	A	23-04-1983	JP	S631125	B2	11-01-1988		
JP S5868414	A	23-04-1983	JP	S5868414	A	23-04-1983		
WO 2016151855	A1	29-09-2016	CN	107073536	A	18-08-2017		
JP W02016151855	A1	29-09-2016	JP	6380650	B2	29-08-2018		
KR 20170073642	A	28-06-2017	KR	20170073642	A	28-06-2017		
TW 201634140	A	01-10-2016	TW	201634140	A	01-10-2016		
WO 2016151855	A1	29-09-2016	WO	2016151855	A1	29-09-2016		
EP 1488863	A2	22-12-2004	AT	441489	T	15-09-2009		
DE 10327663	A1	05-01-2005	DE	10327663	A1	05-01-2005		
EP 1488863	A2	22-12-2004	EP	1488863	A2	22-12-2004		