

(19)



(11)

EP 2 445 667 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
20.02.2019 Patentblatt 2019/08

(51) Int Cl.:
B22D 11/16 ^(2006.01) **B22D 11/18** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10717648.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/056151

(22) Anmeldetag: **06.05.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/149419 (29.12.2010 Gazette 2010/52)

(54) REGELVERFAHREN FÜR DEN GIESSSPIEGEL EINER STRANGGIESSKOKILLE

Regulation method for the casting mirror of a continuous casting mould

Procédé de réglage pour la surface de bain d'une coquille de coulée par faisceau

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

(30) Priorität: **24.06.2009 EP 09163538**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.05.2012 Patentblatt 2012/18

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91052 Erlangen (DE)

(72) Erfinder:
• **WEISSHAAR, Bernhard**
91074 Herzogenaurach (DE)
• **NIEMANN, Martin**
91054 Erlangen (DE)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 19 640 806

EP 2 445 667 B1

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Regelverfahren für den Gießspiegel einer Stranggießkokille,

- wobei der Zufluss flüssigen Metalls in die Stranggießkokille mittels einer Verschlusseinrichtung eingestellt und der teilerstarnte Metallstrang mittels einer Abzugseinrichtung aus der Stranggießkokille abgezogen wird,
- wobei ein gemessener Istwert des Gießspiegels einem Gießspiegelregler zugeführt wird, der anhand des Istwerts und eines korrespondierenden Sollwerts eine Sollstellung für die Verschlusseinrichtung ermittelt,
- wobei der gemessene Istwert des Gießspiegels einem Störgrößenkompensator zugeführt wird,
- wobei dem Störgrößenkompensator weiterhin die Sollstellung für die Verschlusseinrichtung, eine um einen Störgrößenkompensationswert korrigierte Sollstellung für die Verschlusseinrichtung, eine Iststellung der Verschlusseinrichtung oder eine um den Störgrößenkompensationswert korrigierte Iststellung der Verschlusseinrichtung zugeführt wird,
- wobei der Störgrößenkompensator anhand der ihm zugeführten Werte den Störgrößenkompensationswert ermittelt,
- wobei der Verschlusseinrichtung die um den Störgrößenkompensationswert korrigierte Sollstellung zugeführt wird,
- wobei der Störgrößenkompensator ein Modell der Stranggießkokille umfasst, mittels dessen der Störgrößenkompensator anhand eines Modelleingangswertes einen Erwartungswert für den Gießspiegel ermittelt,
- wobei der Störgrößenkompensator eine Anzahl von Schwingungskompensatoren umfasst, mittels derer der Störgrößenkompensator anhand der Differenz von Istwert und Erwartungswert jeweils einen auf eine jeweilige Störfrequenz bezogenen Frequenzstöranteil ermittelt,
- wobei die Summe der Frequenzstöranteile dem Störgrößenkompensationswert entspricht.

[0002] Ein derartiges Regelverfahren ist beispielsweise aus der US 5,921,313 A bekannt. Bei dem bekannten Regelverfahren ist nur ein einziger Schwingungskompensator vorhanden. In diesem Fall ist die Summe der Frequenzstöranteile mit dem einzigen ermittelten Frequenzstöranteil identisch.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Stranggießanlage unmittelbar ausführbar ist und dessen Ausführung durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung den Gießspiegel einer Stranggießkokille der Stranggießanlage gemäß einem derartigen Regelverfahren regelt.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Steuereinrichtung für eine Stranggießanlage, die derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein derartiges Regelverfahren ausführt.

5 **[0005]** Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung eine Stranggießanlage, die von einer derartigen Steuereinrichtung gesteuert wird.

[0006] Beim Stranggießen wird der gegossene Strang aus der Stranggießkokille abgezogen, während der Kern des Strangs noch flüssig ist. Nach dem Austreten des Strangs aus der Stranggießkokille wird der Strang zur Abstützung der Strangschale gegen den metallostatischen Druck des Kerns über Rollenpaare geführt und abgestützt. Die Abstützung verhindert unter anderem ein Ausbauchen des gegossenen Stranges auf der Breitseite des Stranges. Der Abstand der Rollen, die den Strang an der gleichen Stelle beidseits abstützen, muss der gewünschten Strangdicke entsprechen.

[0007] Der gegossene Strang wird nach dem Austreten aus der Stranggießkokille aktiv und/oder passiv gekühlt. Auf Grund der Kühlung schrumpft die Strangdicke. Aus diesem Grund müssen die Abstände der Rollen, die den gegossenen Strang an der gleichen Stelle beidseits abstützen, den korrekten Abstand voneinander aufweisen. Bis zum Durcherstarrungspunkt, auch Sumpfspitze genannt, ist der gegossene Strang nicht vollständig durcherstarrt. Es ist also ein flüssiger Kern enthalten. Ungleichmäßiges Einwirken auf den Strang beim Durchlaufen der Rollenpaare wirkt sich daher auf den Gießspiegel aus. Gießspiegelschwankungen sind aber aus verschiedenen Gründen, beispielsweise wegen der Gefahr des Gießpulvereinzugs in die Strangoberfläche, nach Möglichkeit zu vermeiden.

[0008] Durch in der Stranggießkokille entstandene Schwankungen der Schalendicke kann beim Passieren der Rollenpaare ein sogenanntes "instationäres bulging" auftreten. Die Ursache des "bulging" besteht darin, dass eine Stelle mit gestörter Schalendicke nacheinander verschiedene Rollenpaare passiert und sich daher zyklisch der Gießspiegel ändert. Da die Rollenpaare in Transportrichtung des Stranges gesehen in der Regel einen konstanten Abstand voneinander aufweisen und die Abzugsgeschwindigkeit, mit welcher der Strang aus der Stranggießkokille abgezogen wird, konstant ist, führt das "instationäre bulging" zu periodischen Gießspiegeländerungen. Es bilden sich also Schwingungen konstanter Frequenz im Gießspiegel aus.

[0009] Das aus der US 5,921,313 A bekannte Regelverfahren dient dem Zweck, derartige Gießspiegelschwankungen zu beseitigen. Das bekannte Regelverfahren arbeitet bereits recht gut. Insbesondere kann der Gießspiegel auf wenige Millimeter genau geregelt werden.

[0010] Aus dem Fachaufsatz "Suppression of Periodic Disturbances in Continuous Casting using an Internal Model Predictor" von C. Furtmueller und E. Gruenbacher, IEEE International Conference on Control Applications, Munich, Germany, Oct 4-6, 2006, pp. 1764 bis

1769, ist ein Regelverfahren für den Gießspiegel einer Stranggießkokille bekannt, bei welchem der Zufluss flüssigen Metalls in die Stranggießkokille mittels einer Verschlusseinrichtung eingestellt und der teilerstarre Metallstrang mittels einer Abzugseinrichtung aus der Stranggießkokille abgezogen wird. Ein gemessener Istwert des Gießspiegels wird einem Gießspiegelregler zugeführt, der anhand des Istwerts und eines korrespondierenden Sollwerts eine Sollstellung für die Verschlusseinrichtung ermittelt. Die Motorströme von Antrieben der Abzugseinrichtung werden einer Frequenzanalyse unterzogen. Anhand der Anteile einer Grundfrequenz und deren harmonischer Frequenzen wird ein Störgrößenkompensationswert ermittelt, der auf das Ausgangssignal des Gießspiegelreglers aufgeschaltet wird. Die Verschlusseinrichtung wird entsprechend dem so korrigierten Ausgangssignal des Gießspiegelreglers gesteuert.

[0011] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, eine noch genauere Regelung zu erreichen.

[0012] Die Aufgabe wird durch ein Regelverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Regelverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 9.

[0013] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, ein Regelverfahren der eingangs genannten Art dadurch auszugestalten,

- dass der Modelleingangswert durch die Beziehung

$$i = p' + z'$$

bestimmt ist, wobei p' die unkorrigierte Soll- oder Iststellung der Verschlusseinrichtung und z' ein Sprungkompensationswert sind, und

- dass der Störgrößenkompensator einen Sprungermittler umfasst, mittels dessen der Störgrößenkompensator durch Integrieren der Differenz von Istwert und Erwartungswert den Sprungkompensationswert ermittelt.

[0014] In einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen,

- dass das Modell der Stranggießkokille aus einer Reihenschaltung eines Modellintegrators mit einem Modellverzögerungsglied besteht, jeder Schwingungskompensator aus einer Reihenschaltung zweier Schwingungsintegratoren besteht und der Sprungermittler aus einem Sprungintegrator besteht,
- dass als jeweilige Eingangsgröße

- dem Modellintegrator ein Wert $m = Vi + h1e$,
- dem Modellverzögerungsglied ein Wert $m' = I$

+ $h2e$,

-- dem vorderen Schwingungsintegrator eines jeweiligen Schwingungskompensators ein Wert $s1 = h3e - S2$,

-- dem hinteren Schwingungsintegrator eines jeweiligen Schwingungskompensators ein Wert $s2 = h4e + S1$ und

-- dem Sprungintegrator ein Wert $s3 = h5e$ zugeführt werden, wobei

-- V ein Verstärkungsfaktor ist,

-- i der Modelleingangswert ist,

-- e die Differenz von Istwert und Erwartungswert ist,

-- I das Ausgangssignal des Modellintegrators ist,

-- $S1$ das Ausgangssignal des jeweiligen vorderen Schwingungsintegrators ist,

-- $S2$ das Ausgangssignal des jeweiligen hinteren Schwingungsintegrators ist,

-- $h1$ und $h2$ Modellanpassungsfaktoren sind,

-- $h3$ und $h4$ für den jeweiligen Schwingungskompensator spezifische Schwingungsanpassungsfaktoren sind und

-- $h5$ ein Sprunganpassungsfaktor ist.

[0015] Die verschiedenen Anpassungsfaktoren können nach Bedarf bestimmt werden. In Versuchen konnten gute Ergebnisse dadurch erreicht werden, dass die Anpassungsfaktoren derart bestimmt sind, dass die Pole der durch das Modell der Stranggießkokille bestimmten Übertragungsfunktion folgende Bedingungen erfüllen:

- Pro Störfrequenz ergibt sich je ein Paar konjugiert komplexer Pole, deren Realteile kleiner als Null sind und deren Imaginärteile gleich einer durch die jeweilige Störfrequenz definierten Kreisstörfrequenz sind,
- es ergeben sich drei reelle Pole, die alle kleiner als Null sind.

[0016] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist weiterhin vorgesehen, dass die Anpassungsfaktoren derart bestimmt sind, dass die Realteile der konjugiert komplexen Pole, bezogen auf die jeweilige Kreisstörfrequenz, zwischen -0,3 und -0,1 liegen. Insbesondere ein Wert von ca. -0,2 ist anzustreben. Mit derartigen Werten konnten in Versuchen gute Dämpfungseigenschaften erzielt werden.

[0017] Vorzugsweise sind die Anpassungsfaktoren derart bestimmt, dass die reellen Pole alle kleiner als -2,0 sind. In diesem Fall arbeitet das Regelverfahren sogar dann zuverlässig und stabil, wenn das Modell der Stranggießkokille die reelle Stranggießkokille nur recht ungenau modelliert.

[0018] Besonders gute Ergebnisse konnten weiterhin erzielt werden, wenn die Anpassungsfaktoren derart bestimmt sind, dass die reellen Pole paarweise voneinander verschieden sind.

[0019] Die beiden letztgenannten Maßnahmen (reelle Pole kleiner als -2,0 und paarweise verschieden voneinander) können selbstverständlich miteinander kombiniert werden. Optimale Ergebnisse wurden erreicht, wenn die reellen Pole bei -3,0, -4,0 und -5,0 liegen, jeweils $\pm 0,5$.

[0020] Vorzugsweise ist die Anzahl an Schwingungskompensatoren größer als Eins. Dadurch ist es möglich, mehr als eine "bulging-Schwingung" zu kompensieren.

[0021] Bevorzugt ist weiterhin, dass dem Störgrößenkompensator die Sollstellung für die Verschlusseinrichtung oder die um den Störgrößenkompensationswert korrigierte Sollstellung für die Verschlusseinrichtung, nicht aber die Iststellung der Verschlusseinrichtung oder die um den Störgrößenkompensationswert korrigierte Iststellung der Verschlusseinrichtung zugeführt wird. Dies führt zu besseren Ergebnissen.

[0022] Die vorliegende Erfindung wird weiterhin durch ein Computerprogramm der eingangs genannten Art gelöst, wobei die Ausführung des Computerprogramms bewirkt, dass die Steuereinrichtung den Gießspiegel der Stranggießkokille gemäß einem erfindungsgemäßen Regelverfahren regelt. Das Computerprogramm kann beispielsweise auf einem Datenträger in maschinenlesbarer Form gespeichert sein. Der Datenträger kann insbesondere Bestandteil der Steuereinrichtung sein.

[0023] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Stranggießanlage gelöst, die derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein erfindungsgemäßes Regelverfahren ausführt. Schließlich wird die Aufgabe durch eine Stranggießanlage gelöst, die von einer erfindungsgemäßen Steuereinrichtung gesteuert wird.

[0024] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

- FIG 1 schematisch eine Stranggießanlage,
- FIG 2 ein regelungstechnisches Blockschaltbild einer Regelanordnung,
- FIG 3 schematisch die interne Struktur eines Störgrößenkompensators,
- FIG 4 eine mögliche Ausgestaltung des Störgrößenkompensators von FIG 3,
- FIG 5 zeitliche Verläufe eines Gießspiegelistwerts und einer Verschlussstellung bei Anwendung eines erfindungsgemäßen Regelverfahrens und
- FIG 6 die korrespondierenden Größen bei Anwendung eines Regelverfahrens des Standes der Technik.

[0025] Gemäß FIG 1 weist eine Stranggießanlage eine Stranggießkokille 1 auf. In die Stranggießkokille 1 wird über ein Tauchrohr 2 flüssiges Metall 3 gegossen, beispielsweise Stahl oder Aluminium. Der Zufluss des flüssigen Metalls 3 in die Stranggießkokille 1 wird über eine Verschlusseinrichtung 4 eingestellt. Dargestellt ist in FIG

1 eine Ausbildung der Verschlusseinrichtung 4 als Verschlussstopfen. In diesem Fall entspricht eine Stellung der Verschlusseinrichtung 4 einer Hubposition des Verschlussstopfens. Alternativ kann die Verschlusseinrichtung 4 als Schieber ausgebildet sein. In diesem Fall entspricht die Verschlussstellung der Schieberposition.

[0026] Das in der Stranggießkokille 1 befindliche flüssige Metall 3 wird mittels Kühleinrichtungen gekühlt, so dass sich eine Strangschale 5 bildet. Der Kern 6 des Metallstrangs 7 ist jedoch noch flüssig. Er erstarrt erst später. Die Kühleinrichtungen sind in FIG 1 nicht mit dargestellt. Der teilerstarrte Metallstrang 7 (erstarrte Strangschale 5, flüssiger Kern 6) wird mittels einer Abzugseinrichtung 8 aus der Stranggießkokille 1 abgezogen.

[0027] Der Gießspiegel 9 des flüssigen Metalls 3 in der Stranggießkokille 1 soll möglichst konstant gehalten werden. Eine Abzugsgeschwindigkeit v , mit welcher der teilerstarrte Metallstrang 7 aus der Stranggießkokille 1 abgezogen wird, ist in der Regel konstant. Daher wird - sowohl im Stand der Technik als auch bei der vorliegenden Erfindung - die Stellung der Verschlusseinrichtung 4 nachgeführt, um den Zufluss des flüssigen Metalls 3 in die Stranggießkokille 1 so einzustellen, dass der Gießspiegel 9 möglichst konstant gehalten wird.

[0028] Mittels einer entsprechenden Messeinrichtung 10 (als solche bekannt) wird ein Istwert h_G des Gießspiegels 9 erfasst. Der Istwert h_G wird einer Steuereinrichtung 11 für die Stranggießanlage zugeführt. Die Steuereinrichtung 11 ermittelt gemäß einem Regelverfahren, das nachstehend näher erläutert wird, eine von der Verschlusseinrichtung 4 anzunehmende Sollstellung p^* . Die Verschlusseinrichtung 4 wird sodann von der Steuereinrichtung 11 entsprechend angesteuert. In der Regel gibt die Steuereinrichtung 11 ein entsprechendes Stellsignal an eine Verstelleinrichtung 12 für die Verschlusseinrichtung 4 aus. Bei der Verstelleinrichtung 12 kann es sich beispielsweise um eine Hydraulikzylindereinheit handeln.

[0029] In der Regel wird weiterhin mittels einer entsprechenden Messeinrichtung 13 (als solche bekannt) eine Iststellung p der Verschlusseinrichtung 4 erfasst und der Steuereinrichtung 11 zugeführt. Üblicherweise erfolgt daher ein Regeln (closed loop control) der Verschlussposition. Alternativ wäre auch eine reine Steuerung (open loop control) möglich.

[0030] Die Steuereinrichtung 11 ist derart ausgebildet, dass sie im Betrieb ein erfindungsgemäßes Regelverfahren ausführt. In der Regel wird die Wirkungsweise der Steuereinrichtung 11 durch ein Computerprogramm 14 bestimmt, mit dem die Steuereinrichtung 11 programmiert ist. Zu diesem Zweck ist das Computerprogramm 14 innerhalb der Steuereinrichtung 11 in einem Datenträger 15 gespeichert, beispielsweise einem Flash-EPROM. Die Speicherung erfolgt selbstverständlich in maschinenlesbarer Form.

[0031] Das Computerprogramm 14 kann der Steuereinrichtung 11 über einen mobilen Datenträger 16 zugeführt worden sein, beispielsweise einen USB-Memory-

stick (dargestellt) oder eine SD-Speicherkarte (nicht dargestellt). Auch auf dem mobilen Datenträger 16 ist das Computerprogramm 14 selbstverständlich in maschinenlesbarer Form gespeichert. Alternativ ist es möglich, das Computerprogramm 14 der Steuereinrichtung 11 über eine Rechnernetzansbindung oder ein Programmiergerät zuzuführen.

[0032] Das Computerprogramm 14 umfasst Maschinencode 17, der von der Steuereinrichtung 11 unmittelbar ausführbar ist. Das Ausführen des Maschinencodes 17 durch die Steuereinrichtung 11 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 11 den Gießspiegel 9 der Stranggießkokille 1 gemäß einem erfindungsgemäßen Regelverfahren regelt. Dieses Regelverfahren wird nachfolgend in Verbindung mit den FIG 2 und 3 näher erläutert.

[0033] FIG 2 zeigt eine von der Steuereinrichtung 11 implementierte Regelanordnung. Der Betrieb der Regelanordnung von FIG 2 ermöglicht ein erfindungsgemäßes Regelverfahren für den Gießspiegel 9 der Stranggießkokille 1.

[0034] Gemäß FIG 2 weist die Regelanordnung einen Gießspiegelregler 18 auf. Der Gießspiegelregler 18 ermittelt anhand eines Sollwertes hG^* für den Gießspiegel 9 und des mittels der Messeinrichtung 10 erfassten Istwertes hG für den Gießspiegel 9 gemäß einer Reglercharakteristik die Sollstellung p^* für die Verschlusseinrichtung 4. Die Reglercharakteristik des Gießspiegelreglers 18 ist gemäß der Darstellung von FIG 2 proportional-integral. Es sind jedoch alternativ andere Regelcharakteristiken möglich, beispielsweise PID, PT1, PT2 usw..

[0035] Die Sollstellung p^* für die Verschlusseinrichtung 4 wird der Verschlusseinrichtung 4 zugeführt. Zuvor wird die Sollstellung p^* jedoch um einen Störgrößenkompensationswert z korrigiert.

[0036] Wie bereits erwähnt, erfolgt das Einstellen der Verschlusseinrichtung 4 üblicherweise geregelt. In diesem Fall, der in FIG 2 dargestellt ist, wird die korrigierte Sollstellung, also der Wert

$$p^* - z$$

einem Positionsregler 19 zugeführt, dem weiterhin auch die Iststellung p der Verschlusseinrichtung 4 zugeführt wird. Der Positionsregler 19 kann beispielsweise als P-Regler ausgebildet sein.

[0037] Die Iststellung p der Verschlusseinrichtung 4 wirkt auf Grund des dadurch eingestellten Zuflusses an flüssigem Metall 3 auf den tatsächlichen Gießspiegel 9. Der Istwert hG des Gießspiegels 9 wird erfasst und, wie bereits erwähnt, dem Gießspiegelregler 18 zugeführt.

[0038] Auf die Stranggießkokille 1 können Störgrößen wirken, welche den Gießspiegel 9 beeinflussen. Zur Kompensation der Störgrößen ist ein Störgrößenkompensator 20 vorgesehen. Dem Störgrößenkompensator 20 werden der gemessene Istwert hG des Gießspiegels 9 sowie eine weitere Größe zugeführt.

[0039] Gemäß FIG 2 wird dem Störgrößenkompensator 20 als weitere Größe die um den Störgrößenkompensationswert z korrigierte Sollstellung p^* der Verschlusseinrichtung 4 zugeführt. Alternativ könnte dem Störgrößenkompensator 20 die unkorrigierte Sollstellung p^* zugeführt werden. Diese Alternative ist in FIG 2 gestrichelt angedeutet. Ihre Gleichwertigkeit zu der realisierten Lösung ist ohne weiteres ersichtlich. Denn der Störgrößenkompensationswert z wird gemäß FIG 2 vom Störgrößenkompensator 20 anhand der ihm zugeführten Werte ermittelt. Die korrigierte Sollstellung, also der Wert $p^* - z$, kann daher ohne weiteres auch innerhalb des Störgrößenkompensators 20 ermittelt werden.

[0040] Das Ermitteln des Störgrößenkompensationswerts z unter Verwendung (unter anderem) der korrigierten oder unkorrigierten Sollstellung $p^* - z$ bzw. p^* der Verschlusseinrichtung 4 ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung bevorzugt. Alternativ könnten dem Störgrößenkompensator 20 die Iststellung p oder die um den Störgrößenkompensationswert z korrigierte Iststellung $p - z$ der Verschlusseinrichtung 4 zugeführt werden. Auch diese Alternativen sind in FIG 2 gestrichelt eingezeichnet.

[0041] Der Aufbau und die Wirkungsweise des Störgrößenkompensators 20 werden nachfolgend in Verbindung mit FIG 3 näher erläutert.

[0042] Gemäß FIG 3 umfasst der Störgrößenkompensator 20 unter anderem ein Modell 21 der Stranggießkokille 1. Mittels des Modells 21 ermittelt der Störgrößenkompensator 20 einen Erwartungswert hE für den Gießspiegel 9. Dem Modell 21 wird zu diesem Zweck ein Modelleingangswert i zugeführt, der durch die Beziehung

$$i = p' + z'$$

bestimmt ist. p' ist in obiger Beziehung die unkorrigierte Sollstellung p^* der Verschlusseinrichtung 4, also das Ausgangssignal des Gießspiegelreglers 18. Falls dem Störgrößenkompensator 20 an Stelle der Sollstellung p^* die Iststellung p der Verschlusseinrichtung 4 zugeführt würde, müsste in obiger Beziehung an Stelle des Wertes p^* der Wert p verwendet werden. z' ist ein Sprungkompensationswert.

[0043] Der Sprungkompensationswert z' wird vom Störgrößenkompensator 20 mittels eines Sprungermittlers 22 ermittelt, der ebenfalls Bestandteil des Störgrößenkompensators 20 ist. Das Ermitteln des Sprungkompensationswertes z' erfolgt gemäß FIG 3 anhand der Differenz e von Istwert hG und Erwartungswert hE des Gießspiegels 9, in den nachfolgenden Ausführungen zu FIG 3 nur kurz als "Differenz e " bezeichnet.

[0044] Gemäß FIG 3 umfasst der Störgrößenkompensator 20 weiterhin eine Anzahl von Schwingungskompensatoren 23. Mittels der Schwingungskompensatoren 23 ermittelt der Störgrößenkompensator 20 jeweils einen auf eine jeweilige Störfrequenz fS bezogenen Störanteil

zS, nachfolgend Frequenzstöranteil zS genannt. Die Ermittlung erfolgt anhand der Differenz e.

[0045] Minimal beträgt die Anzahl an Schwingungskompensatoren 23 Eins. In diesem Fall wird nur ein einziger Störfrequenzanteil zS kompensiert. Alternativ kann die Anzahl an Schwingungskompensatoren 23 größer als Eins sein. In diesem Fall wird pro Schwingungskompensator 23 bei jeweils einer eigenen Störfrequenz fS der entsprechende Frequenzstöranteil zS ermittelt. Dargestellt sind in FIG 3 zwei derartige Schwingungskompensatoren 23. Es sind jedoch auch Ausgestaltungen mit drei, vier, fünf, ... Schwingungskompensatoren 23 denkbar.

[0046] Die Ausgangssignale zS der Schwingungskompensatoren 23 werden in einem Knotenpunkt 24 summiert, dessen Ergebnis dem Störgrößenkompensationswert z entspricht. Im Falle nur eines einzigen Schwingungskompensators 23 ist selbstverständlich keine Summation erforderlich, da in diesem Fall die Summe mit dem einzigen Summanden identisch ist.

[0047] In einer bevorzugten Ausgestaltung des Störgrößenkompensators 20 - siehe FIG 4 - besteht das Modell 21 der Stranggießkokille 1 aus einem Integrator 25 und einem Verzögerungsglied 26, die entsprechend der Darstellung von FIG 4 in Reihe geschaltet sind. Da der Integrator 25 und das Verzögerungsglied 26 Bestandteile des Modells 21 der Stranggießkokille 1 sind, werden sie nachfolgend durch den Zusatz "Modell" ergänzt. Sie werden also als Modellintegrator 25 und Modellverzögerungsglied 26 bezeichnet. Der Zusatz "Modell" dient jedoch nur dazu, diese Zugehörigkeit zu kennzeichnen. Eine weitergehende Bedeutung kommt dem Zusatz "Modell" nicht zu.

[0048] Der Modellintegrator 25 weist eine Integrationszeitkonstante T1 auf, das Modellverzögerungsglied 26 eine Verzögerungszeitkonstante T2. Die Zeitkonstanten T1, T2 sind derart bestimmt, dass sie die reale Stranggießkokille 1 möglichst realistisch beschreiben.

[0049] Dem Modellintegrator 25 wird als Eingangssignal m ein Wert

$$m = V \cdot i + h1 \cdot e$$

zugeführt. V ist ein Verstärkungsfaktor. i ist der bereits erwähnte Modelleingangswert. e ist die ebenfalls bereits erwähnte Differenz. h1 ist ein Anpassungsfaktor.

[0050] Der Modellintegrator 25 liefert ein Ausgangssignal l. Das Ausgangssignal l wird in einem Knotenpunkt 27 um einen Wert

$$h2 \cdot e$$

korrigiert und sodann dem Modellverzögerungsglied 27 als dessen Eingangssignal zugeführt. h2 ist ein weiterer Anpassungsfaktor.

[0051] Die dem Knotenpunkt 27 zugeführten Größen l, h2·e werden im Knotenpunkt 27 addiert. Dies ergibt sich daraus, dass die beiden Eingangssignale l, h2·e des Knotenpunkts 27 eingangsseitig des Knotenpunktes 27 nicht mit negativen Vorzeichen versehen sind.

[0052] Die Anpassungsfaktoren h1 und h2 sind auf das Modell 21 der Stranggießkokille 1 bezogen. Sie werden daher nachfolgend als Modellanpassungsfaktoren h1, h2 bezeichnet.

[0053] Die Schwingungskompensatoren 23 sind vom Ansatz her gleichartig aufgebaut. Nachfolgend wird daher nur einer der Schwingungskompensatoren 23 detailliert beschrieben, nämlich der in FIG 4 obere Schwingungskompensator 23. Die Ausführungen sind jedoch analog auch für die anderen Schwingungskompensatoren 23 gültig.

[0054] Gemäß FIG 4 besteht der in FIG 4 obere Schwingungskompensator 23 aus zwei Integratoren 28, 29 die in Reihe geschaltet sind. Die beiden Integratoren 28, 29 werden nachfolgend als Schwingungsintegratoren 28, 29 bezeichnet, da sie Bestandteile des entsprechenden Schwingungskompensators 23 sind. Der Zusatz "Schwingungs" dient lediglich dazu, die Zugehörigkeit dieser beiden Integratoren 28, 29 zum jeweiligen Schwingungskompensator 23 zum Ausdruck zu bringen. Eine weitergehende Bedeutung kommt dem Zusatz "Schwingungs" nicht zu.

[0055] Die Schwingungsintegratoren 28, 29 weisen eine Integrationszeitkonstante a auf. Die Integrationszeitkonstante a ergibt sich zu

$$a = \frac{1}{2\pi fS}$$

fS ist die jeweilige zu kompensierende Störfrequenz. Die Störfrequenz fS muss vorab bekannt sein.

[0056] Dem vorderen Schwingungsintegrator 28 wird gemäß FIG 4 als Eingangsgröße s1 der Wert

$$s1 = h3 \cdot e - S2$$

zugeführt. Dem hinteren Schwingungsintegrator 29 wird als Eingangsgröße s2 der Wert

$$s2 = h4 \cdot e + S1$$

zugeführt. S1 und S2 sind die Ausgangssignale des vorderen und des hinteren Schwingungsintegrators 28, 29. h3 und h4 sind Anpassungsfaktoren. Sie werden nachfolgend auf Grund ihrer Zugehörigkeit zum jeweiligen Schwingungskompensator 23 als Schwingungsanpassungsfaktoren h3, h4 bezeichnet.

[0057] Der Sprungermittler 22 besteht aus einem einzigen Integrator 30, nachfolgend auf Grund seiner Zuge-

hörigkeit zum Sprungermittler 22 als Sprungintegrator 30 bezeichnet. Ihm wird ein Wert

$$s3 = h5 \cdot e$$

zugeführt, wobei h5 ein Anpassungsfaktor ist, nachfolgend als Sprunganpassungsfaktor bezeichnet.

[0058] Wie bereits erwähnt, können mehrere Schwingungskompensatoren 23 vorhanden sein. In diesem Fall sind die Schwingungsanpassungsfaktoren h3, h4 der einzelnen Schwingungskompensatoren 23 unabhängig voneinander. Weiterhin sind die Integrationszeitkonstanten a aller Schwingungskompensatoren 23 verschieden voneinander.

[0059] Zum Ermitteln der Anpassungsfaktoren h1 bis h5, also der Modellanpassungsfaktoren h1, h2, des Sprunganpassungsfaktors h5 und pro Schwingungskompensator 23 der beiden jeweiligen Schwingungsanpassungsfaktoren h3, h4, wird vorzugsweise zunächst die Übertragungsfunktion des in FIG 4 dargestellten Systems ermittelt. Die Übertragungsfunktion ist eine gebrochene rationale Funktion des Laplace-Operators, das heißt eine Funktion, die als Quotient eines Zählers und eines Nenners darstellbar ist, wobei sowohl der Zähler als auch der Nenner Polynome des Laplace-Operators sind. Sowohl das Zählerpolynom als auch das Nennerpolynom beinhalten in ihren Koeffizienten die Anpassungsfaktoren h1 bis h5.

[0060] Nunmehr werden für das Nennerpolynom dessen gewünschte Nullstellen vorgegeben, also die gewünschten Pole der Übertragungsfunktion. Dies ergibt ein Gleichungssystem, in dem nur die Anpassungsfaktoren h1 bis h5 unbekannt sind. Die Gleichungen des Gleichungssystems sind unabhängig voneinander. Ihre Anzahl stimmt mit der Anzahl von Anpassungsfaktoren h1 bis h5 überein. Anhand des Gleichungssystems lassen sich daher die Anpassungsfaktoren h1 bis h5 eindeutig bestimmen.

[0061] Vorzugsweise werden die gewünschten Pole wie folgt vorgegeben:

Pro zu kompensierender Störfrequenz fS wird ein Paar konjugiert komplexer Pole vorgegeben. Die Imaginäranteile des jeweiligen Polpaares sind gleich $\pm 2\pi f_S$. fS ist, wie bereits erwähnt, die zu kompensierende Störfrequenz fS. Die Imaginärteile sind also (betragsmäßig) gleich der zu korrespondierenden Kreisstörfrequenz ω_S . Die Realteile des jeweiligen Polpaares sind kleiner als Null.

[0062] Die drei weiteren Pole sind vorzugsweise alle reell und kleiner als Null, also negativ.

[0063] Wenn die Modellzeitkonstanten T1, T2 die reale Stranggießkokille 1 gut modellieren, sind die Realteile der konjugiert komplexen Pole und die reellen Pole in weiten Grenzen variierbar, ohne dass die Qualität des Regelverfahrens darunter leidet. Oftmals können die korrekten Modellzeitkonstanten T1, T2 jedoch nur grob ge-

schätzt werden. Dennoch ergibt sich eine gute Regelqualität, wenn die Realteile der konjugiert komplexen Pole und die reellen Pole bestimmte Kriterien erfüllen.

[0064] Die Stabilität des Regelverfahrens kann beispielsweise dadurch erhöht werden, dass die Realteile der konjugiert komplexen Pole zwischen dem -0,1-fachen und dem -0,3-fachen der entsprechenden Kreisstörfrequenz ω_S liegen. Als besonders vorteilhaft hat sich in Versuchen erwiesen, wenn die Realteile in etwa gleich dem -0,2-fachen der entsprechenden Kreisstörfrequenz ω_S sind.

[0065] Weiterhin hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die reellen Pole alle kleiner als -2,0 sind oder paarweise voneinander verschieden sind. Noch besser ist es, wenn beide Kriterien erfüllt sind. Besonders gute Ergebnisse wurden erreicht, wenn je einer der reellen Pole bei -3,0, -4,0 und -5,0 liegt (jeweils $\pm 0,5$, vorzugsweise $\pm 0,2$).

[0066] FIG 5 zeigt einen Verlauf des gemessenen Istwerts hG des Gießspiegels 9 und einen korrespondierenden Verlauf der Iststellung p der Verschlußeinrichtung 4 einer realen Stranggießkokille 1 als Funktion der Zeit. Bei den Verläufen von FIG 5 wurde der Gießspiegel 9 auf erfindungsgemäße Weise geregelt, wobei zwei Störfrequenzen fS kompensiert wurden und die Anpassungsfaktoren h1 bis h5 auf die obenstehend erläuterten optimalen Werte eingestellt waren. Ersichtlich sind zwar erhebliche Variationen der Iststellung p der Verschlußeinrichtung 4 erforderlich. Es wird jedoch erreicht, dass der Gießspiegel 9 sehr stabil bleibt. Die Schwankung beträgt nur ca. $\pm$ drei Millimeter.

[0067] Dem gegenüber zeigt FIG 6 die korrespondierenden Verläufe einer Gießspiegelregelung des Standes der Technik. Ersichtlich schwankt der Gießspiegel 9 erheblich stärker. Kurzzeitig, nämlich an den Stellen 31 und 32, verlässt er sogar das eingezeichnete Toleranzband von $\pm$ zehn Millimeter.

[0068] Obenstehend wurde erwähnt, dass die zu kompensierenden Störfrequenzen fS vorab bekannt sein müssen. Die Ermittlung der Störfrequenzen fS kann beispielsweise durch Auswertung des zeitlichen Verlaufs des Istwerts p des Gießspiegels 9 von FIG 6 erfolgen. Sodann können die entsprechenden Störfrequenzen fS und damit auch die Integrationszeitkonstanten a bestimmt werden.

[0069] Die obige Beschreibung dient ausschließlich der Erläuterung der vorliegenden Erfindung. Der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung soll hingegen ausschließlich durch die beigefügten Ansprüche bestimmt sein.

Patentansprüche

1. Regelverfahren für den Gießspiegel (9) einer Stranggießkokille (1),

- wobei der Zufluss flüssigen Metalls (3) in die

Stranggießkokille (1) mittels einer Verschlusseinrichtung (4) eingestellt und der teilerstartete Metallstrang (7) mittels einer Abzugseinrichtung (8) aus der Stranggießkokille (1) abgezogen wird,

- wobei ein gemessener Istwert (hG) des Gießspiegels (9) einem Gießspiegelregler (18) zugeführt wird, der anhand des Istwerts (hG) und eines korrespondierenden Sollwerts (hG*) eine Sollstellung (p*) für die Verschlusseinrichtung (4) ermittelt,

- wobei der gemessene Istwert (hG) des Gießspiegels (9) einem Störgrößenkompensator (20) zugeführt wird,

- wobei dem Störgrößenkompensator (20) weiterhin die Sollstellung (p*) für die Verschlusseinrichtung (4), eine um einen Störgrößenkompensationswert (z) korrigierte Sollstellung für die Verschlusseinrichtung (4), eine Iststellung (p) der Verschlusseinrichtung (4) oder eine um den Störgrößenkompensationswert (z) korrigierte Iststellung der Verschlusseinrichtung (4) zugeführt wird,

- wobei der Störgrößenkompensator (20) anhand der ihm zugeführten Werte (hG, p*, p) den Störgrößenkompensationswert (z) ermittelt,

- wobei der Verschlusseinrichtung (4) die um den Störgrößenkompensationswert (z) korrigierte Sollstellung zugeführt wird,

- wobei der Störgrößenkompensator (20) ein Modell (21) der Stranggießkokille (1) umfasst, mittels dessen der Störgrößenkompensator (20) anhand eines Modelleingangswertes (i) einen Erwartungswert (hE) für den Gießspiegel (9) ermittelt,

- wobei der Störgrößenkompensator (20) eine Anzahl von Schwingungskompensatoren (23) umfasst, mittels derer der Störgrößenkompensator (20) anhand der Differenz (e) von Istwert (hG) und Erwartungswert (hE) jeweils einen auf eine jeweilige Störfrequenz (fS) bezogenen Frequenzstöranteil (zS) ermittelt,

- wobei die Summe der Frequenzstöranteile (zS) dem Störgrößenkompensationswert (z) entspricht,

- wobei der Modelleingangswert (i) durch die Beziehung

$$i = p' + z'$$

bestimmt ist, wobei p' die unkorrigierte Soll- oder Iststellung (p*, p) der Verschlusseinrichtung (4) und z' ein Sprungkompensationswert sind,

- wobei der Störgrößenkompensator (20) einen Sprungermittler (22) umfasst, mittels dessen der Störgrößenkompensator (20) durch Integrieren

der Differenz (e) von Istwert (hG) und Erwartungswert (hE) den Sprungkompensationswert (z') ermittelt.

5 2. Regelverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- **dass** das Modell (21) der Stranggießkokille (1) aus einer Reihenschaltung eines Modellintegrators (25) mit einem Modellverzögerungsglied (26) besteht, jeder Schwingungskompensator (23) aus einer Reihenschaltung zweier Schwingungsintegratoren (28, 29) besteht und der Sprungermittler (22) aus einem einzelnen Sprungintegrator (30) besteht,

- **dass** als jeweilige Eingangsgröße

-- dem Modellintegrator (25) ein Wert $m = Vi + h1e$,

-- dem Modellverzögerungsglied (26) ein Wert $m' = l + h2e$,

-- dem vorderen Schwingungsintegrator (28) eines jeweiligen Schwingungskompensators (23) ein Wert $s1 = h3e - S2$,

-- dem hinteren Schwingungsintegrator (29) eines jeweiligen Schwingungskompensators (23) ein Wert $s2 = h4e + S1$ und

-- dem Sprungintegrator (30) ein Wert $s3 = h5e$ zugeführt werden, wobei

-- V ein Verstärkungsfaktor ist,

-- i der Modelleingangswert ist,

-- e die Differenz von Istwert (hG) und Erwartungswert (hE) ist,

-- l das Ausgangssignal des Modellintegrators (25) ist,

-- S1 das Ausgangssignal des jeweiligen vorderen Schwingungsintegrators (28) ist,

-- S2 das Ausgangssignal des jeweiligen hinteren Schwingungsintegrators (29) ist,

-- h1 und h2 Modellanpassungsfaktoren sind,

-- h3 und h4 für den jeweiligen Schwingungskompensator (23) spezifische Schwingungsanpassungsfaktoren sind und

-- h5 ein Sprunganpassungsfaktor ist.

3. Regelverfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassungsfaktoren (h1 bis h5) derart bestimmt sind, dass die Pole der durch das Modell (21) der Stranggießkokille (1) bestimmten Übertragungsfunktion folgende Bedingungen erfüllen:

- Pro Störfrequenz (fS) ergibt sich je ein Paar konjugiert komplexer Pole, deren Realteile kleiner als Null sind und deren Imaginärteile gleich einer durch die jeweilige Störfrequenz (fS) definierten Kreisstörfrequenz (ωS) sind,

- es ergeben sich drei reelle Pole, die alle kleiner als Null sind.

4. Regelverfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassungsfaktoren (h1 bis h5) derart bestimmt sind, dass die Realteile der konjugiert komplexen Pole, bezogen auf die jeweilige Kreisstörfrequenz (ωS), zwischen -0,3 und -0,1 liegen.
5. Regelverfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassungsfaktoren (h1 bis h5) derart bestimmt sind, dass die reellen Pole alle kleiner als -2,0 sind.
6. Regelverfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassungsfaktoren (h1 bis h5) derart bestimmt sind, dass die reellen Pole paarweise voneinander verschieden sind.
7. Regelverfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassungsfaktoren (h1 bis h5) derart bestimmt sind, dass je einer der reellen Pole zwischen -2,5 und -3,5, zwischen -3,5 und -4,5 und zwischen -4,5 und -5,5 liegt.
8. Regelverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl an Schwingungskompensatoren (23) größer als eins ist.
9. Regelverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass dem Störgrößenkompensator (20) die Sollstellung (p^*) für die Verschlusseinrichtung (4) oder die um den Störgrößenkompensationswert (z) korrigierte Sollstellung für die Verschlusseinrichtung (4), nicht aber die Iststellung (p) der Verschlusseinrichtung (4) oder die um den Störgrößenkompensationswert (z) korrigierte Iststellung der Verschlusseinrichtung (4) zugeführt wird.
10. Computerprogramm, das Maschinencode (17) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (11) für eine Stranggießanlage unmittelbar ausführbar ist und dessen Ausführung durch die Steuereinrichtung (11) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (11) den Gießspiegel (9) einer Stranggießkokille (1) der Stranggießanlage gemäß einem Regelverfahren nach einem der obigen Ansprüche regelt.
11. Computerprogramm nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Datenträger (15, 16) in maschinenlesbarer Form gespeichert ist.
12. Computerprogramm nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet, dass der Datenträger (15) Bestandteil der Steuereinrichtung (11) ist.

13. Steuereinrichtung für eine Stranggießanlage,
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung derart ausgebildet ist, dass sie im Betrieb ein Regelverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausführt.
14. Stranggießanlage,
dadurch gekennzeichnet, dass sie von einer Steuereinrichtung (11) nach Anspruch 13 gesteuert wird.

15 Claims

1. Control method for the casting level (9) of a continuous casting mold (1),
 - wherein the inlet flow of liquid metal (3) into the continuous casting mold (1) is adjusted by means of a closure device (4), and the partially solidified metal strand (7) is withdrawn from the continuous casting mold (1) by means of a withdrawal device (8),
 - wherein a measured actual value (hG) of the casting level (9) is supplied to a casting level regulator (18), which uses the actual value (hG) and a corresponding nominal value (hG*) to determine a nominal position (p^*) of the closure device (4),
 - wherein the measured actual value (hG) of the casting level (9) is supplied to a disturbance variable compensator (20),
 - wherein the disturbance variable compensator (20) is also supplied with the nominal position (p^*) of the closure device (4), a nominal position for the closure device (4), corrected by a disturbance variable compensation value (z), an actual position (p) of the closure device (4) or an actual position of the closure device (4), corrected by the disturbance variable compensation value (z),
 - wherein the disturbance variable compensator (20) uses the values (hG, p^* , p) supplied to it to determine the disturbance variable compensation value (z),
 - wherein the closure device (4) is supplied with the nominal position corrected by the disturbance variable compensation value (z),
 - wherein the disturbance variable compensator (20) comprises a model (21) of the continuous casting mold (1), by means of which the disturbance variable compensator (20) determines an expected value (hE) for the casting level (9) on the basis of a model input value (i),
 - wherein the disturbance variable compensator (20) comprises a number of oscillation compen-

sators (23), by means of which the disturbance variable compensator (20) in each case determines a frequency disturbance component (zS), which is related to a respective disturbance frequency (fS) on the basis of the difference (e) between the actual value (hG) and expected value (hE),

- wherein the sum of the frequency disturbance components (zS) corresponds to the disturbance variable compensation value (z),
- wherein the model input value (i) is defined by the relationship

$$i = p' + z',$$

where p' is the uncorrected nominal or actual position (p*, p) of the closure device (4) and z' is a step-function compensation value,

- wherein the disturbance variable compensator (20) comprises a step-function determining means (22), by means of which the disturbance variable compensator (20) determines the step-function compensation value (z') by integration of the difference (e) between the actual value (hG) and the expected value (hE).

2. Control method according to Claim 1, characterized

- **in that** the model (21) of the continuous casting mold (1) consists of a model integrator (25) connected in series with a model delay element (26), each oscillation compensator (23) consists of two oscillation integrators (28, 29) connected in series, and the step-function determining means (22) consists of a single step-function integrator (30),

- **in that**, as respective input variables,

-- a value $m = Vi + h1e$ is supplied to the model integrator (25),

-- a value $m' = l + h2e$ is supplied to the model delay element (26),

-- a value $s1 = h3e - S2$ is supplied to the front oscillation integrator (28) of a respective oscillation compensator (23),

-- a value $s2 = h4e + S1$ is supplied to the rear oscillation integrator (29) of a respective oscillation compensator (23), and

-- a value $s3 = h5e$ is supplied to the step-function integrator (30),

wherein

-- V is a gain factor,

-- i is the model input value,

-- e is the difference between the actual value (hG) and the expected value (hE)

-- l is the output signal from the model integrator (25),

-- S1 is the output signal from the respective front oscillation integrator (28),

-- S2 is the output signal from the respective rear oscillation integrator (29),

-- h1 and h2 are model matching factors,

-- h3 and h4 are oscillation matching factors which are specific for the respective oscillation compensator (23), and

-- h5 is a step-function matching factor.

3. Control method according to Claim 2, characterized in that the matching factors (h1 to h5) are defined such that the poles of the transfer function which is defined by the model (21) of the continuous casting mold (1) satisfy the following conditions:

- there are in each case one pair of complex conjugate poles for each disturbance frequency (fS), the real parts of which poles are less than zero and the imaginary parts of which poles are equal to a circular disturbance frequency (ωS) which is defined by the respective disturbance frequency (fS),

- there are three real poles, which are all less than zero.

4. Control method according to Claim 3, characterized in that the matching factors (h1 to h5) are defined such that the real parts of the complex conjugate poles are between -0.3 and -0.1 with respect to the respective circular disturbance frequency (ωS).

5. Control method according to Claim 3 or 4, characterized in that the matching factors (h1 to h5) are defined such that the real poles are all less than -2.0.

6. Control method according to Claim 3, 4 or 5, characterized in that the matching factors (h1 to h5) are defined such that the real poles differ from one another in pairs.

7. Control method according to Claim 3 or 4, characterized in that the matching factors (h1 to h5) are defined such that in each case one of the real poles is between -2.5 and -3.5, between -3.5 and -4.5, and between -4.5 and -5.5.

8. Control method according to one of the above claims, characterized in that the number of oscillation compensators (23) is greater than one.

9. Control method according to one of the above claims, characterized in that the disturbance variable compensator (20) is supplied with the nominal position (p*) for the closure device (4) or with the nominal position for the closure device (4), corrected

by the disturbance variable compensation value (z), but not with the actual position (p) of the closure device (4) or with the actual position of the closure device (4), corrected by the disturbance variable compensation value (z).

10. Computer program which comprises machine code (17) which can be run directly by a control device (11) for a continuous casting installation, and the running thereof by the control device (11) results in the control device (11) controlling the casting level (9) of a continuous casting mold (9) in the continuous casting installation using a control method according to one of the above claims.
11. Computer program according to Claim 10, **characterized in that** the computer program is stored in machine-legible form on a data storage medium (15, 16).
12. Computer program according to Claim 11, **characterized in that** the data storage medium (15) is a component of the control device (11).
13. Control device for a continuous casting installation, **characterized in that** the control device is designed such that it carries out a control method according to one of Claims 1 to 9 during operation.
14. Continuous casting installation, **characterized in that** the continuous casting installation is controlled by a control device (11) according to Claim 13.

Revendications

1. Procédé de régulation pour la surface de coulée (9) d'une coquille de coulée continue (1),
 - dans lequel l'afflux de métal liquide (3) dans la coquille de coulée continue (1) est ajusté au moyen d'un dispositif de fermeture (4) et le cordon métallique (7) partiellement solidifié est extrait de la coquille de coulée continue (1) au moyen d'un dispositif d'extraction (8),
 - dans lequel une valeur réelle (hG) mesurée de la surface de coulée (9) est introduite dans un régulateur de surface de coulée (18) qui détermine, à l'aide de la valeur réelle (hG) et d'une valeur théorique (hG*) correspondante, une position théorique (p*) pour le dispositif de fermeture (4),
 - dans lequel la valeur réelle (hG) mesurée de la surface de coulée (9) est introduite dans un compensateur de grandeurs perturbatrices (20),
 - dans lequel est en outre introduite dans le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) la

position théorique (p*) pour le dispositif de fermeture (4), une position théorique corrigée par une valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z) pour le dispositif de fermeture (4), une position réelle (p) du dispositif de fermeture (4) ou une position réelle corrigée par la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z) du dispositif de fermeture (4),

- dans lequel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) détermine, à l'aide des valeurs (hG, p*, p) introduites dans celui-ci, la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z),
- dans lequel la position théorique corrigée par la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z) est introduite dans le dispositif de fermeture (4),
- dans lequel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) comporte un modèle (21) de la coquille de coulée continue (1), au moyen duquel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) détermine, à l'aide d'une valeur d'entrée de modèle (i), une valeur attendue (hE) pour la surface de coulée (9),
- dans lequel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) comporte une pluralité de compensateurs d'oscillations (23), au moyen desquels le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) détermine, à l'aide de la différence (e) entre la valeur réelle (hG) et la valeur attendue (hE), respectivement une composante perturbatrice de fréquence (zS) basée sur une fréquence perturbatrice (fS) respective,
- dans lequel la somme de la composante perturbatrice de fréquence (zS) correspond à la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z),
- dans lequel la valeur d'entrée de modèle (i) est déterminée par l'intermédiaire de la relation

$$i = p' + z',$$

dans laquelle p' est la position théorique ou réelle (p*, p) non corrigée du dispositif de fermeture (4) et z' est une valeur de compensation de saut,

- dans lequel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) comporte un dispositif de détermination de saut (22), au moyen duquel le compensateur de grandeurs perturbatrices (20) détermine, par intégration de la différence (e) entre la valeur réelle (hG) et la valeur attendue (hE), la valeur de compensation de saut (z').

2. Procédé de régulation selon la revendication 1, **caractérisé**

- en ce que le modèle (21) de la coquille de

coulée continue (1) est constitué d'un montage en série d'un intégrateur de modèle (25) avec un retardateur de modèle (26), chaque compensateur d'oscillations (23) est constitué d'un montage en série de deux intégrateurs d'oscillations (28, 29) et le dispositif de détermination de saut (22) est constitué d'un unique intégrateur de saut (30),

- **en ce que**, en tant que grandeurs d'entrée respectives,

-- une valeur $m = Vi + h1e$ est introduite dans l'intégrateur de modèle (25),

-- une valeur $m' = I + h2e$ est introduite dans le retardateur de modèle (26),

-- une valeur $s1 = h3e - S2$ est introduite dans l'intégrateur d'oscillations antérieur (28) d'un compensateur d'oscillations (23) respectif,

-- une valeur $s2 = h4e + S1$ est introduite dans l'intégrateur d'oscillations postérieur (29) d'un compensateur d'oscillations (23) respectif et

-- une valeur $s3 = h5e$ est introduite dans l'intégrateur de saut (30), dans lequel

-- V est un facteur d'amplification,

-- i est la valeur d'entrée de modèle,

-- e est la différence entre la valeur réelle (hG) et la valeur attendue (hE),

-- I est le signal de sortie de l'intégrateur de modèle (25),

-- S1 est le signal de sortie de l'intégrateur d'oscillations antérieur (28) respectif,

-- S2 est le signal de sortie de l'intégrateur d'oscillations postérieur (29) respectif,

-- h1 et h2 sont des facteurs d'ajustement de modèle,

-- h3 et h4 sont des facteurs d'ajustement d'oscillations spécifiques au compensateur d'oscillations (23) respectif et

-- h5 est un facteur d'ajustement de saut.

3. Procédé de régulation selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les facteurs d'ajustement (h1 à h5) sont déterminés de telle sorte que les pôles de la fonction de transfert déterminée par le modèle (21) de la coquille de coulée continue (1) satisfassent aux conditions suivantes :

- on obtient pour chaque fréquence perturbatrice (fS) une paire de pôles complexes conjugués dont les parties réelles sont inférieures à zéro et dont les parties imaginaires sont identiques à une fréquence perturbatrice de circuit (ωS) définie par la fréquence perturbatrice (fS) respective,

- on obtient trois pôles réels qui sont tous inférieurs à zéro.

4. Procédé de régulation selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les facteurs d'ajustement (h1 à h5) sont déterminés de telle sorte que les parties réelles des pôles complexes conjugués, rapportées à la fréquence perturbatrice de circuit (ωS) respective, se situent entre -0,3 et -0,1.

5. Procédé de régulation selon la revendication 3 ou la revendication 4,

caractérisé en ce que les facteurs d'ajustement (h1 à h5) sont déterminés de telle sorte que les pôles réels soient tous inférieurs à -2,0.

6. Procédé de régulation selon la revendication 3, la revendication 4 ou la revendication 5,

caractérisé en ce que les facteurs d'ajustement (h1 à h5) sont déterminés de telle sorte que les pôles réels soient différents les uns des autres par paire.

7. Procédé de régulation selon la revendication 3 ou la revendication 4,

caractérisé en ce que les facteurs d'ajustement (h1 à h5) sont déterminés de telle sorte que chacun des pôles réels se situe entre -2,5 et -3,5, entre -3,5 et -4,5 et entre -4,5 et -5,5.

8. Procédé de régulation selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que le nombre de compensateurs d'oscillations (23) est supérieur à un.

9. Procédé de régulation selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que la position théorique (p*) pour le dispositif de fermeture (4) ou la position théorique corrigée par la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z) pour le dispositif de fermeture (4), mais pas la position réelle (p) du dispositif de fermeture (4) ou la position réelle corrigée par la valeur de compensation de grandeurs perturbatrices (z) du dispositif de fermeture (4), est introduite dans le compensateur de grandeurs perturbatrices (20).

10. Programme informatique, qui comporte un code machine (17) qui est exécutable directement par un dispositif de commande (11) pour une installation de coulée continue et dont l'exécution par le dispositif de commande (11) a pour effet que le dispositif de commande (11) régule la surface de coulée (9) d'une coquille de coulée continue (1) de l'installation de coulée continue selon un procédé de régulation selon l'une des revendications précédentes.

11. Programme informatique selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'il** est stocké sur un support de données (15, 16) sous forme lisible par machine.

12. Programme informatique selon la revendication 11,

caractérisé en ce que le support de données (15) est un élément constitutif du dispositif de commande (11).

13. Dispositif de commande pour une installation de coulée continue, 5
caractérisé en ce que le dispositif de commande est conçu de telle sorte qu'il exécute en fonctionnement un procédé de régulation selon l'une des revendications 1 à 9. 10
14. Installation de coulée continue, 15
caractérisée en ce qu'elle est commandée par un dispositif de commande (11) selon la revendication 13. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

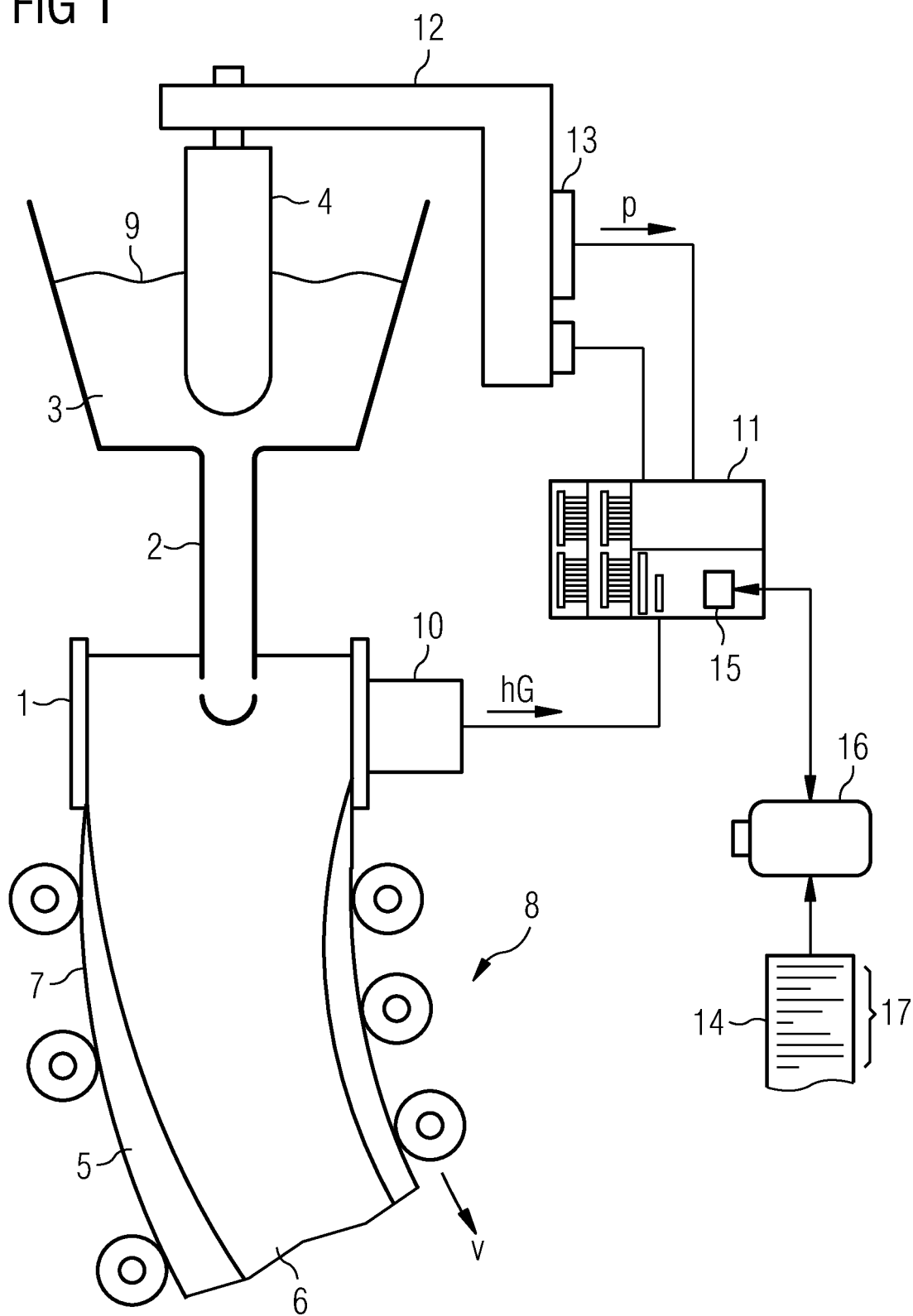


FIG 2

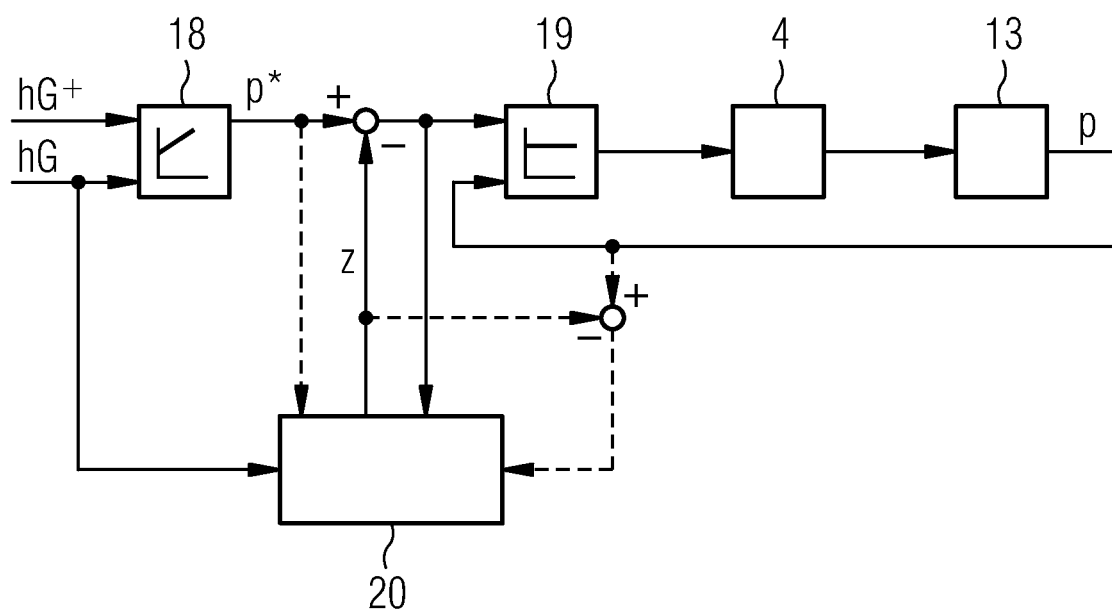
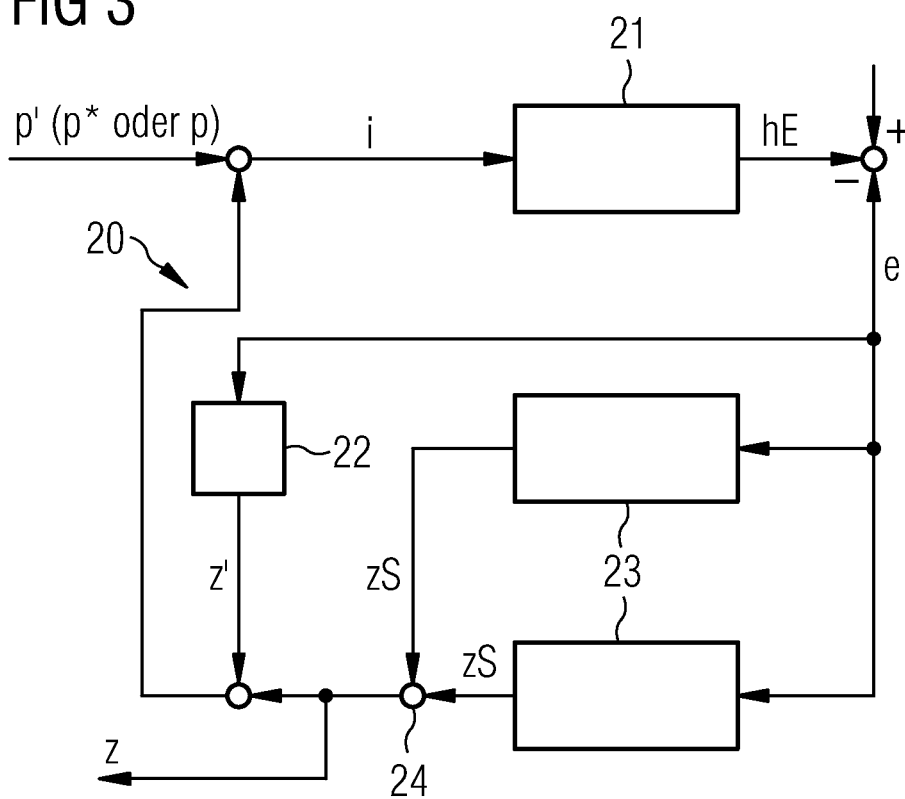


FIG 3



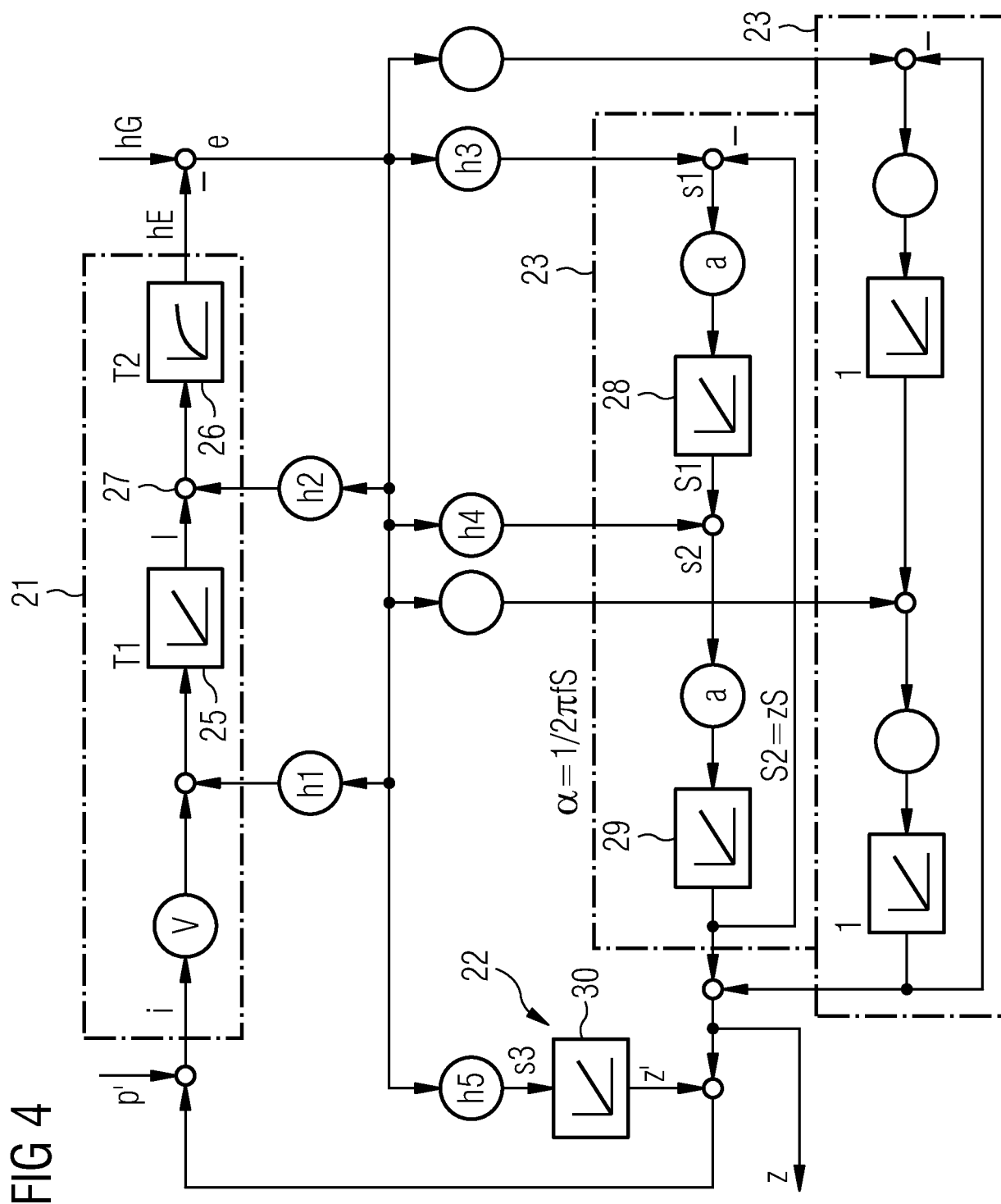


FIG 5

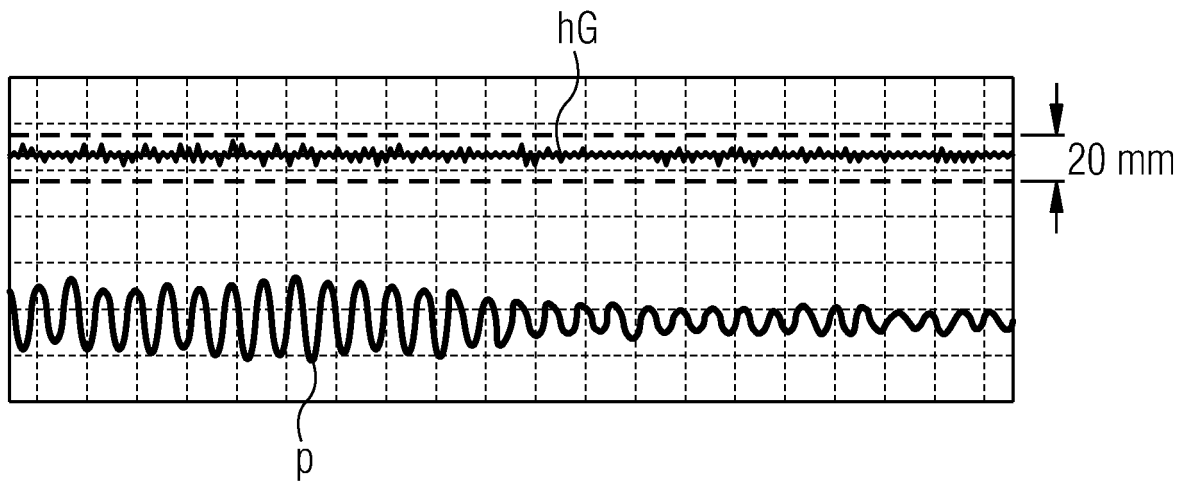
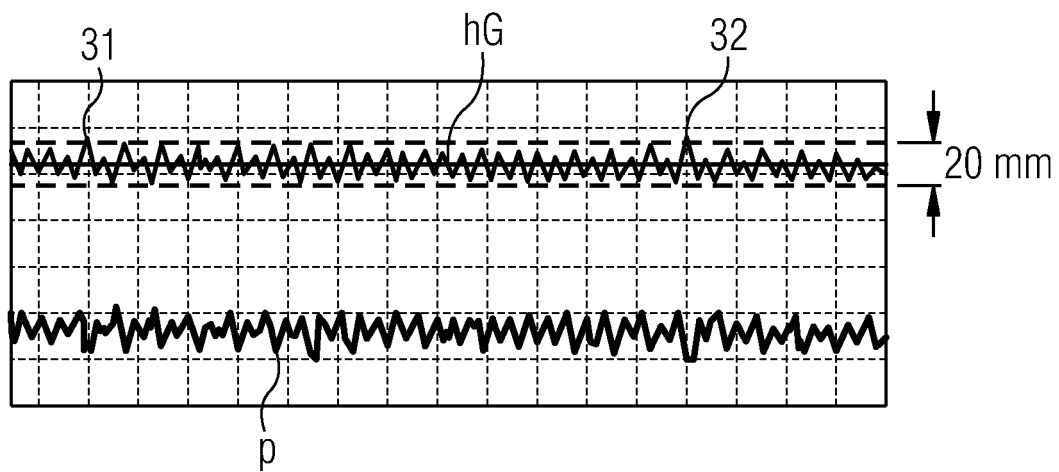


FIG 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5921313 A [0002] [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **C. FURTMUELLER ; E. GRUENBACHER.** Suppression of Periodic Disturbances in Continuous Casting using an Internal Model Predictor. *IEEE International Conference on Control Applications*, 04. Oktober 2006, 1764-1769 [0010]