(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 522 184 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **91111158.1**

(51) Int. Cl.5: **B21B 37/08**

(22) Anmeldetag: **04.07.91**

Ein Antrag gemäss Regel 88 EPÜ auf Berichtigung liegt vor. Über diesen Antrag wird im Laufe des Verfahrens vor der Prüfungsabteilung eine Entscheidung getroffen werden (Richtlinien für die Prüfung im EPA, A-V, 2.2).

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.01.93 Patentblatt 93/02

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE ES GB IT LI LU NL SE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
W-8000 München 2(DE)

(72) Erfinder: **Weber, Roland, Dipl.-Ing.**
Andreas-Paulus-Strasse 47
W-8521 Spardorf(DE)

(54) Verfahren zur Regelung eines Walzwerks mit betriebsmässig veränderlichem Walzspalt.

(57) Verfahren zur Regelung eines Walzwerks, insbesondere eines mehrgerüstigen Kalt- oder Warmwalzwerks, bei dem durch Elektromotoren angetriebene Walzen in Walzgerüsten durch einen Walzspalt, dessen Größe (Anstellung) betriebsmäßigen Schwankungen unterliegt, die beim Walzgutdurchlauf notwendigen Walzkräfte auf das Material ausüben, und bei dem ein Hebelarm (a), der sich aus dem Abstand des Schwerpunktes der vertikalen Projektion der Material/Walzenberührungsfläche von der Walzenmittenverbindungslinieergibt, berechnet wird, und bei dem während des Walzgutdurchlaufs das aufgebrachte Motormoment (M) und die aufgebrachte Walzkraft (F_W) gemessen werden, wobei die sich im Betrieb ergebenden Walzspaltveränderungen (A) kontinuierlich ermittelt werden und mit bei den Anstichen ermittelten und gespeicherten Konstanten eine kontinuierliche Berechnung des aktuellen Hebelarmes (a) erfolgt, der als Istwert für die Regelung verwendet wird.

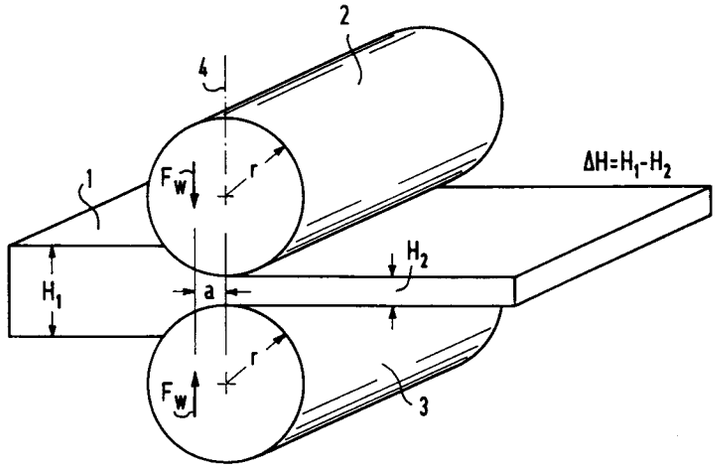

FIG 1

EP 0 522 184 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Walzwerks, insbesondere eines mehrgerüstigen Kalt- oder Warmwalzwerks, bei dem durch Elektromotoren angetriebene Walzen in Walzgerüsten durch einen Walzspalt, dessen Größe (Anstellung) betriebsmäßigen Schwankungen unterliegt, die beim Walzgutdurchlauf notwendigen Walzkräfte auf das Material ausüben, und bei dem ein Hebelarm, der sich aus dem Abstand des Schwerpunktes der vertikalen Projektion der Material/Walzenberührungsfläche von der Walzenmittenverbindungslinie ergibt, berechnet wird, und bei dem während des Walzgutdurchlaufs das aufgebrachte Motormoment und die aufgebrachte Walzkraft gemessen werden.

Aus der DE-PS 39 03 589 ist ein Verfahren zur Regelung einer im Walzgut übertragenen Zugkraft in einer m-gerüstigen kontinuierlichen Walzstraße bekannt, bei dem in jedem Gerüst ein Hebelarm aus Walzkraft, Walzmoment sowie eintrittsseitigem zugbedingtem Moment berechnet wird. Der Hebelarm wird gespeichert und weiterhin zur Berechnung des zugbedingten Moments verwendet, das als Istwert für eine Zugregelung dient.

Bei diesem Verfahren wird die betriebsmäßige Änderung des Walzspaltes nicht erfaßt, so daß die sich daraus ergebenen Schwankungen des Hebelarms unberücksichtigt bleiben und nicht in die Regelung eingehen. Diese Schwankungen sind jedoch die Hauptursache für die noch bestehenden Ungenauigkeiten der Regelung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung eines Walzwerks, bei dem der Walzspalt betriebsmäßig während des Walzgutdurchlaufs veränderlich ist, anzugeben, durch das die Genauigkeit der Zugregelung weiter verbessert wird, und die Erreichung besserer Endprodukte bei leichter und kostengünstiger Ausführung der Walzgerüste erfolgt.

Die Aufgabe wird im wesentlichen dadurch gelöst, daß sich im Betrieb ergebende Walzspaltveränderungen kontinuierlich ermittelt werden und mit bei den Anstichen ermittelten und gespeicherten Konstanten eine kontinuierliche Berechnung des aktuellen Hebelarms erfolgt, der als Istwert für die Regelung verwendet wird.

Eine besonders günstige Ausgestaltung des Verfahrens besteht darin, daß die sich im Betrieb ergebende Walzspaltveränderung aus der Walzkraft, einer Gerüst-Federkonstanten und, falls eine automatische oder manuelle Regelung des Walzspalts erfolgt, aus dem Verfahrweg der Anstellung kontinuierlich ermittelt wird. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, z.B. Einflüsse der Gerüstauffederung infolge sich ändernder Walzkräfte (z.B. durch Legierungseinflüsse, Temperatureinflüsse etc.), bewußtes Verfahren während des Walzprozesses oder Regeltotzeiten zu erfassen und deren negative Einflüsse zu kompensieren. Die Regelgenauigkeit wird erheblich erhöht.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, daß beim Walzen während der Anstichphase anstatt des Hebelarms eine betriebsabhängige Konstante aus Walzenradius, Motormoment, Walzkraft und Zugmomenten-Sollwert berechnet und abgespeichert wird. Da sich der Hebelarm nicht linear mit der Anstellung ändert, kommt als abzuspeichernde berechenbare Größe vorteilhaft ein ΔH-Wert (Walzguthöhenreduktion, siehe FIG 1) in Betracht, weil dieser sich bei Verfahren der Anstellung linear verändert. Zusammen mit der Anstellungsveränderung und dem Walzenradius wird damit der aktuelle Hebelarm berechnet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden beim Walzen von Profilmaterial über mindestens zwei Anstich-Messungen bei veränderter Anstellung Ersatzgrößen (Mittelwerte) für Walzenradius und Walzguthöhenreduktion vorteilhaft elektrisch ermittelt und als Konstanten abgespeichert, und zusammen mit der Anstellungsveränderung der aktuelle Hebelarm nach einer Näherungs-Gleichung berechnet. Durch die Einführung einer Näherungs-Gleichung für den Hebelarm a gelingt es, die schon bei einfachen Profilen, z.B. einem Stufenprofil, komplexen Gleichungen vorteilhaft so zu vereinfachen, daß die benötigten Größen elektrisch ermittelt werden können. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit auch beliebige Profile bei kontinuierlicher Minimalzugregelung und gleichzeitig variablem Walzspalt mit niedrigen Toleranzen zu walzen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung ist, daß bei gleichzeitigem Einsatz von automatischer Walzspaltregelung und kontinuierlicher Minimalzugregelung die Minimalzugregelung schon während des Einschwingens der Walzspaltregelung entsprechend korrigierte Werte für den Hebelarm erhält. Dadurch wird die Genauigkeit erhöht und die Anforderungen an die Gerüststeifigkeit gemindert.

Weiterhin ist vorgesehen, daß zur Endmaßkorrektur bei einer minimalzuggeregelten Straße der Walzspalt des letzten Gerüstes verstellt wird. Dadurch wird eine flexible Prodkuktion mit bisher unerreicht hoher Genauigkeit erreicht.

Die Ermittlung von für die Regelung wichtigen Konstanten aus Istwertgrößen, z.B. der Walzkraft, der zugbedingten Momente und Motormomente erfolgt vorteilhaft durche einfache Gleichungen, die aus den Unteransprüchen ersichtlich sind.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungs-

beispielen für flachwalzen und profilwalzen, anhand der Zeichnungen und in Verbindung mit den Unteransprüchen.

Es zeigen:

FIG 1 eine Prinzipdarstellung für Flachwalzung,

FIG 2 eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens bei Flachwalzung,

FIG 3 eine Prinzipdarstellung für Profilwalzung,

FIG 4 eine Darstellung der senkrechten Projektion der Walzflächen bei Profilwalzung,

FIG 5 den Verlauf eines Hebelarms in einem Diagramm über der Walzguthöhenreduktion bei Flachwalzung und

FIG 6 eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens bei Profilwalzung.

FIG 1 zeigt eine Prinzipdarstellung des Walzvorgangs bei Walzung von Flachmaterial mit Angabe der üblichen Rechengrößen. Ein Flachmaterial 1, mit der Dicke H_1, wird von zwei Walzen 2,3, mit dem Radius r, unter Einwirkung der Walzkräfte F_W auf die Dicke H_2 reduziert, woraus sich eine Walzguthöhenreduktion $\Delta H = H_1 - H_2$ ergibt. Die Walzkräfte F_W greifen unter einem Hebelarm a, der sich aus dem Abstand des Schwerpunktes der vertikalen Projektion der Material/ Walzenberührungsfläche von der Walzenmittenverbindungslinie 4 ergibt, an der Materialoberfläche an. Die Walzenmittenverbindungslinie 4 der Walzen 2,3 steht senkrecht zur Oberfläche des Flachmaterials 1.

In dieser Darstellung werden die benötigten Formeln für die Flachwalzung abgeleitet. Die Größen für die Materialdicken H_1 und H_2 sowie die Walzenradien r sind bekannt. Gesucht ist der Hebelarm a. Die Walzguthöhenreduktion ΔH ergibt sich nach den Gleichungen $H_1 - H_2 = \Delta H$ und $\Delta H = 2 \cdot (r - \sqrt{r^2 - 4a^2})$. Die Auflösung dieser Gleichung nach dem Hebelarm a ergibt $a = \frac{1}{4} \sqrt{\Delta H\,(4r - \Delta H)}$ (geometrische Ermittlung). Mit dieser Gleichung wird für eine Flachwalzung bei Kenntnis von r und H der Hebelarm a berechnet, wenn nicht eine elektrische Berechnung vorgezogen wird.

In FIG 2, die eine gegliederte Ausführungsform zeigt, ist ein Sollwert-Rechner 5, eine Istwert-Rechnungsanordnung 6, ein Vergleichsglied 7 und ein Korrekturglied 8 (Minimalzugregler) zur Durchführung des Verfahrens bei Flachwalzung dargestellt.

Der Sollwert für die Minimalzugregelung $M_{Z^*(n)}$ des betrachteten Gerüstes wird mittels des Sollwert-Rechners 5 aus einem eintrittsseitigen und einem austrittsseitigen Anteil ermittelt. Der eintrittsseitige wird durch Umrechnung der Momente im Verhältnis der Walzenradien aus dem Sollwert des vorhergehenden Gerüstes $M_{ZA^*(n-1)}$ ermittelt und nach Auslauf des Materials aus Gerüst n-1 abgeschaltet. Der austrittsseitige Anteil wird aus dem erlaubten spezifischen Zug σ_A^*, dem Austrittsquerschnitt A_A und dem Walzenradius r nach der Formel $M_{ZA}^* = \sigma_A^* \cdot A_A \cdot r$ berechnet. Sollwerte sind in der Beschreibung durchgehend mit einem Stern gekennzeichnet. Index A steht für austrittsseitig.

Die Istwert-Rechnungsanordnung 6 besteht aus den Istwert-Rechnern 9,10,11,12,13 und einem Speicher 14. Der Istwert-Rechner 9 berechnet aus den Istwerten Ankerstrom i_A, Erregerstrom i_E und Drehzahl n, die ständig gemessen werden, ein statisches Gesamtmoment M an den Walzzapfen. Bei direktumrichtergespeisten Antrieben ist das Gesamtmoment über die Transvektorregelung (Siemens AG) erhältlich. Während einer Anstichphase, d.h. solange der austrittsseitige Zug noch Null ist und der eintrittsseitige Zug durch die vorangegangene Minimalzugregelung geregelt wird, ermittelt ein Istwert-Rechner 10 aus dem austrittsseitigen Zugmomenten-Sollwert $M_{ZA^*(n-1)}$ des vorhergehenden Gerüstes, das zuvor im Verhältnis der Walzenradien auf das Gerüst n umgerechnet wurde, dem Walzenradius r, dem Motormoment M und der Walzkraft F_W die Walzguthöhenreduktion ΔH_O bei Anstich. Die Walzguthöhenreduktion ΔH_O wird elektrisch gemäß der Gleichung

$$H_O = 2 \cdot \left(r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{M - M^*_{ZE(n)}}{W^F}\right)^2}\right)$$

berechnet und in einem Speicher 14 abgespeichert. Bezüglich des Anstichs im ersten Gerüst ist

$$M^*_{ZE(n)} = 0$$

zu setzen. Index E steht für eintrittsseitig.

Der Istwert-Rechner 11 ermittelt fortlaufend aus der gemessenen Walzkraft F_W, einer Gerüst-Federkonstanten C_G und dem Istweg der Anstellung S die aktuelle Anstellungsveränderung A seit Berechnung des Wertes ΔH_O. Diese wird, zusammen mit der Walzguthöhenreduktion ΔH_O und dem Walzenradius r dem

Istwert-Rechner 12 zugeführt. Aus diesen zugeführten Werten errechnet der Istwert-Rechner 12 den aktuellen Hebelarm a des entsprechenden Gerüstes anhand der Gleichung $a = \frac{1}{4}\sqrt{(\Delta H_0 + \Delta A) \cdot (4r - \Delta H_0 - \Delta A)}$. Ein weiterer Istwert-Rechner 13 berechnet nun aus diesem aktuellen Hebelarm a, der gemessenen Walzkraft F_W und dem gemessenen Motormoment M den Zugmomenten-Istwert M_Z. Dieser Zugmomenten-Istwert M_Z wird anhand der Gleichung $M_Z = M - F_W \cdot 2a$ ermittelt und dem Vergleichsglied 7 zugeführt. Dort wird der Zugmomenten-Istwert M_Z mit dem Zugmomenten-Sollwert M_Z^* des entsprechenden Gerüstes verglichen, und ein Korrekturwert ΔM_Z gebildet, der als Eingangsgröße für ein Korrekturglied 8 (Minimalzugregler) verwendet wird. In Abhängigkeit von der Größe dieses Korrekturwertes M_Z wird die Drehzahlregelung durch die Stellgröße Δn^* beeinflußt.

Zur Ermittlung der mathematischen Zusammenhänge beim Profilwalzen ist in FIG 3 eine Prinzipdarstellung, insbesondere für ein Stufenprofil, gezeigt. FIG 4 zeigt eine Darstellung der senkrechten Projektion der Walzflächen. In den Schwerpunkten der Einzelflächen greifen vorstellungsmäßig die Walzkräfte F_{W1} und F_{W2} unter den Hebelarmen a_1 und a_2 an. Sind Gestalt und Abmessungen des einlaufenden Profils bekannt, so können die Hebelarme auf geometrischem Wege ermittelt werden. Unbekannt sind jedoch sowohl für eine kontinuierliche Zugregelung als auch für eine elektrische Ermittlung der Einzelhebelarme, die Einzelwalzkräfte F_{W1} und F_{W2}. Bekannt ist nur die Walzkraftsumme F_W. Es ergibt sich vorteilhaft die Möglichkeit mit dieser Summenwalzkraft und einem Ersatzhebelarm zu arbeiten. Bei der Ableitung des Ersatzhebelarms zeigt sich, daß dieser nur Abhängigkeiten von der Walzgeometrie zeigt, woraus sich ergibt, daß eine kontinuierliche Minimalzugregelung auch für ein beliebiges Profil, insbesondere ein Stufenprofil erlaubt ist, solange sich diese Walzgeometrie (Anstellung) nicht ändert.

Bei sich ändernder Anstellung, z.B. durch eine gewollte automatische Walzspaltregelung (AGC), unterliegt jeder Einzelhebelarm a_1, a_2 der für Flachwalzung abgeleiteten exakten Abhängigkeit $a = \frac{1}{4}\sqrt{\Delta H (4r - H)}$. Diese Beziehung könnte zur Berechnung des Zugmomenten-Istwertes M_Z herangezogen werden, wenn die Einzelwalzkräfte bekannt wären. Dies ist jedoch nicht der Fall. Deshalb muß mit einem Ersatzhebelarm gearbeitet werden. Dieser Ersatzhebelarm kann für einfache Stufenprofile aber nur auf geometrischem Wege exakt berechnet werden. Die Berechnungen wären schon bei einfachen Profilen kompliziert und sind für gängige Profile wie z.B. rund, sechskant, elliptisch, winkelig usw. so komplex, daß ein solches Vorgehen unpraktisch ist. Angestrebt wird deshalb eine elektrische Berechnung des unbekannten Ersatzhebelarms a.

Durch eine besonders vorteilhafte Näherungs-Gleichung zur Berechnung des Hebelarms a gelingt es nun, eine komplizierte Gleichungsstruktur zu umgehen.

In FIG 5 ist der Verlauf des Hebelarms a über der Walzguthöhenreduktion H nach der exakten Gleichung für Flachwalzung dargestellt. Die Gleichung lautet $a = \frac{1}{4}\sqrt{\Delta H \cdot (4r - \Delta H)}$, wobei in diesem Beispiel für den Walzenradius r = 500 mm angenommen wird. Der voraussichtliche Betriebsbereich wird von H = 0 bis 50 mm angenommen. Der Wert H = 100 mm dient zur Extrapolation. Es ergibt sich trotz der Differenz unter der Wurzel im Beispiel die für die Wurzelfunktionen typische liegende Parabel. Dies wird immer dann zutreffen, wenn der Klammerausdruck (4r - H) sich über den betrieblich genutzten Funktionsverlauf nur wenig ändert. Wegen 4r H ist dies bei realisitischer Walzengeometrie gegeben. Folgende Näherung ist also zulässig:

$$a \quad \frac{1}{4}\sqrt{H \cdot 4r} = \sqrt{\frac{r}{2}} \cdot \sqrt{\Delta H}$$

Hierin ist

$$\sqrt{\frac{r}{2}}$$

eine walzprogrammabhängige Konstante K und $\Delta H = \Delta H_0 + \Delta A$ wegen ΔA eine betriebsabhängige Größe. Soll die Näherungs-Gleichung für beliebige Profile angewendet werden, so stellt sowohl r als auch ΔH eine Ersatzgröße (Mittelwert) dar. Für die gewünschte, vorteilhaft elektrische Ermittlung dieser zwei Größen sind zwei Anstich-Messungen bei veränderter Anstellung erforderlich um zwei Bestimmungsgleichungen zu erhalten.

Die Durchführung des Verfahrens für eine beliebige Profilwalzung wird anhand der Schaltungsanordnung in FIG 6 erläutert. Die den Elementen bei Flachwalzung entsprechenden Elemente sind mit gleichen Bezugsziffern und Apostroph gekennzeichnet. Die FIG 6 zeigt einen Sollwert-Rechner 5', eine Istwert-

Rechnungsanordnung 6', ein Vergleichsglied 7' und ein Korrekturglied 8' (Minimalzugregler).

Die Funktion des Sollwert-Rechners 5' ist mit der des Sollwertrechners 5 bei Flachwalzung identisch. Die Istwert-Rechnungsanordung 6' besteht aus den Istwertrechnern 9', 11', 12', 13', 15, 16 und den Speichern 17, 18, 19. Der Istwert-Rechner 9' ist in seiner Funktion identisch mit dem oben beschriebenen Istwert-Rechner 9. Durch zwei Anstich-Messungen bei unterschiedlicher Anstellung ermittelt ein Istwert-Rechner 15 aus dem Zugmomenten-Sollwert $M_{ZA}{}^{*}{}_{(n-1)}$ des vorhergehenden Gerüstes, dem Motormoment M und der resultierenden Walzkraft F_W zwei Anstich-Hebelarme a_I und a_{II}. Diese werden in dem Speicher 19 zwischengespeichert.

Die gespeicherten Werte der Anstichhebelarme a_I und a_{II} sowie die von dem Istwert-Rechner 11' kontinuierlich ermittelte Anstellungsveränderung ΔA werden dem Istwert-Rechner 16 zugeführt. Dieser berechnet daraus die Ersatzgrößen (Mittelwerte) für Walzenradius und Walzguthöhenreduktion. Die gesamte Rechnung wird vereinfacht, wenn statt des Walzenradius r gleich die Walzprogrammabhängige Konstante

$$K = \frac{\sqrt{r}}{2}$$

weiterverwendet wird. Diese Ersatzgröße K für den Walzenradius unterliegt keinen Schwankungen des Eintrittsprofils und braucht deshalb nicht bei jedem Anstich erneut berechnet zu werden. Sie wird nur einmalig für ein neues Walzprogramm nach der Gleichung

$$K = \frac{a_I}{\sqrt{\dfrac{A}{\left(\dfrac{a_{II}}{a_I}\right)^2 - 1}}}$$

berechnet und in dem Speicher 17 abgespeichert. Sie wird auf Wunsch auch angezeigt und bei Wiederholung des gleichen Walzprogramms manuell in den Speicher 17 eingegeben. Die der ersten Messung zugeordnete Ersatzgröße H_{OI} für die Walzguthöhenreduktion wird nach der Gleichung

$$H_{OI} = \left(\frac{a_I}{K}\right)^2$$

berechnet. Sie unterliegt Schwankungen des Eintrittsprofils und wird aus Genauigkeitsgründen vorteilhaft bei jedem Folgeanstich nach der Beziehung

$$\Delta H_{OX} = \left(\frac{a_x}{K}\right)^2$$

neu berechnet, wobei der Index x den Folgeanstich bezeichnet. Die Ersatzgröße H wird nur für die Restlaufzeit des gleichen Stabes abgespeichert. Die Speicher für a_x und ΔH_{OX} werden jeweils überschrieben, während der Speicher für K bis zum Ende des Walzprogramms gesetzt bleibt.

Der Istwert-Rechner 12 berechnet aus den zugeführten Speicherwerten und dem aktuellen Wert der seit Messung bzw. x erfolgten Anstellungsänderung Δ A den aktuellen Hebelarm a anhand der Gleichung $a = k \cdot \sqrt{\Delta H_O} \mp \Delta A$. Ein weiterer Istwert-Rechner 13' berechnet nun aus diesem aktuellen Hebelarm a, der gemessenen Walzkraft F_W und dem Motormoment M den Zugmomenten-Istwert M_Z, wie schon bei der Flachwalzung beschrieben. Auch die Ermittung des Korrekturwertes ΔM_Z ist mit der bei Flachwalzung identisch.

Durch die zweimalige Benutzung der Näherungs-Gleichung

$$a = \frac{\sqrt{r}}{2} \cdot \sqrt{\Delta H}$$

ergibt sich der Vorteil, daß sich die aufgrund der Näherung gemachten Fehler bei der Berechnung der Speicherwerte und die Fehler bei der Berechnung des zugebedingten Momentes für die beiden gemessenen Betriebspunkte (Anstichmessungen I, II) exakt aufheben. Von näherungsbedingten Fehlern ist also nur der Kurvenverlauf abseits dieser beiden Betriebspunkte betroffen. Die Meßpunkte I, II sind daher günstig im Betriebsbereich zu verteilen.

Alle Berechnungen werden vorteilhaft mit gefilterten M- und F_W-Werten durchgeführt. Von allen Hebelarmen wird vor Zwischenspeicherung durch adaptive Filterung ein repräsentativer Mittelwert gebildet.

Die Istwert-Rechner und weitere Rechenelemente sind vorteilhaft in einer gemeinsamen Einheit zusammengefaßt und werden durch Software realisiert. Wichtige Werte werden auf einem Monitor dargestellt, z.B. Angaben über den Zustand des Hebelarmrechners bei automatischer Hebelarmberechnung.

Durch die Ermittlung der Walzspaltveränderung ΔA während des Walzgutdurchlaufs werden Störgrößen (z.B. Gerüstauffederung, etc.) gemessen und gehen über den Hebelarm a kontinuierlich in die Regelung ein. Dadurch besteht die Möglichkeit, die übliche kontinuierliche Minimalzugregelung auch einzusetzen, wenn die Walzspalte größeren betriebsmäßigen Veränderungen unterliegen. Die Genauigkeit der Regelung wird deutlich verbessert, es können kostengünstige, z.B. weiche Walzgerüste verwendet werden und die Inbetriebnahme von Walzstraßen wird vereinfacht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Walzwerks, insbesondere eines mehrgerüstigen Kalt- oder Warmwalzwerks, bei dem durch Elektromotoren angetriebene Walzen in Walzgerüsten durch einen Walzspalt, dessen Größe (Anstellung) betriebsmäßigen Schwankungen unterliegt, die beim Walzgutdurchlauf notwendigen Walzkräfte auf das Material ausüben, und bei dem ein Hebelarm (a), der sich aus dem Abstand des Schwerpunktes der vertikalen Projektion der Material/Walzenberührungsfläche von der Walzenmittenverbindungslinieergibt, berechnet wird, und bei dem während des Walzgutdurchlaufs das aufgebrachte Motormoment (M) und die aufgebrachte Walzkraft (F_W) gemessen werden, wobei die sich im Betrieb ergebenden Walzspaltveränderungen (ΔA) kontinuierlich ermittelt werden und mit bei den Anstichen ermittelten und gespeicherten Konstanten eine kontinuierliche Berechnung des aktuellen Hebelarmes (a) erfolgt, der als Istwert für die Regelung verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die sich im Betrieb ergebende Walzspaltänderung (ΔA) aus der Walzkraft (F_W), einer Gerüst-Federkonstanten (C_G) und, falls eine automatische oder manuelle Regelung des Walzspalts erfolgt, aus dem Verfahrweg der Anstellung (ΔS) kontinuierlich ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** daß beim Walzen während der Anstichphase anstatt des Hebelarms (9) die betriebsabhängige Walzguthöhenreduktion (ΔH_O) aus Walzenradius (r), Motormoment (M), Walzkraft (F_W) und Zugmomenten-Sollwert (M_Z^*) berechnet und als Stichkonstante abgespeichert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet,** daß sich der Zugmomenten-Sollwert (M_Z^*) aus einem eintrittsseitigen (M_{ZE}^*) und einem austrittsseitigen (M_{ZA}^*) Anteil zusammensetzt, wobei der eintrittsseitige Anteil aus dem Sollwert ($M_{ZA}^*{}_{(n-1)}$) des vorherigen Gerüstes und der austrittsseitige Anteil nach der Formel $M_{ZA}^* = \sigma_A^* \cdot A_A \cdot r$ ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Walzguthöhenreduktion (ΔH_O) nach der Gleichung

$$\Delta H_O = 2 \cdot \left(r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{M - M_{ZE}^*(n)}{F_W}\right)^2}\right)$$

berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß der aktuelle Hebelarm (a) nach der Gleichung

$$a = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{(\Delta H_0 + \Delta A) \cdot (4r - \Delta H_0 - \Delta A)}$$

berechnet wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß der aktuelle Hebelarm (a) nach der Näherungsgleichung $a \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\Delta H \cdot 4r}$ berechnet wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** daß beim Walzen von Profilmaterial, über mindestens zwei AnStich-Messungen bei veränderter Anstellung, Ersatzgrößen (Mittelwerte) für Walzenradius (r) und Walzgutreduktion (ΔH_0) elektrisch ermittelt und als Konstanten abgespeichert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Ersatzgröße für den Walzenradius (r) über Anstich-Hebelarme (a_I,a_{II}) und die Anstellungsveränderung (A) nach der Gleichung

$$K = \frac{a_I}{\sqrt{\frac{\Delta A}{\left(\frac{a_{II}}{a_I}\right)^2 - 1}}}$$

berechnet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Anstich-Hebelarme (a_I,a_{II}) aus Motormoment (M), Zugmomenten-Sollwert ($M_{ZE^*(n)}$) und Walzkraft (F_W) berechnet und abgespeichert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Ersatzgröße für die Walzgutreduktion (ΔH_0^*) nach der Gleichung

$$H_0 = \left(\frac{a_x}{K}\right)^2$$

berechnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 7, 8, 9, 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet,** daß der aktuelle Hebelarm (a) nach der Näherungs-Gleichung

$$a = K \cdot \sqrt{\Delta H_0 + \Delta A}$$

berechnet wird.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** daß bei gleichzeitigem Einsatz von automatischer Walzspaltregelung und kontinuierlicher Minimalzugregelung die Minimalzugregelung schon während des Einschwingens der Walzspaltregelung entsprechend

korrigierte Werte für den Hebelarm erhält.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** daß zur Endmaßkorrektur bei einer minimalzuggeregelten Straße der Walzspalt des letzten Gerüstes verstellt wird.

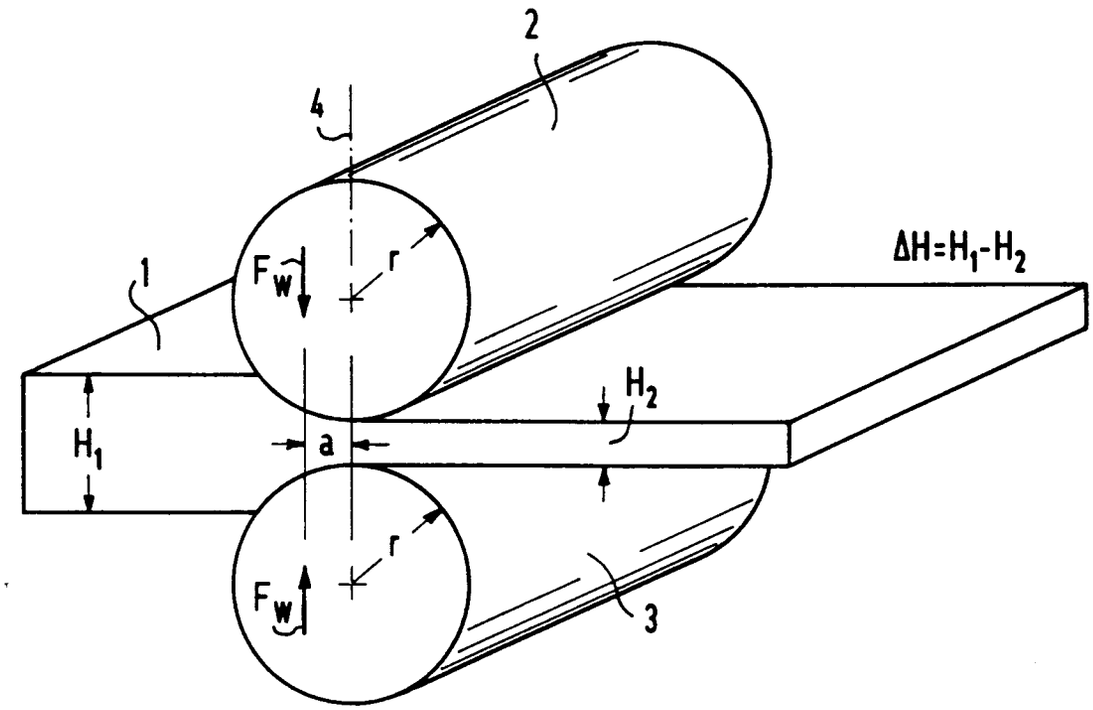

FIG 1

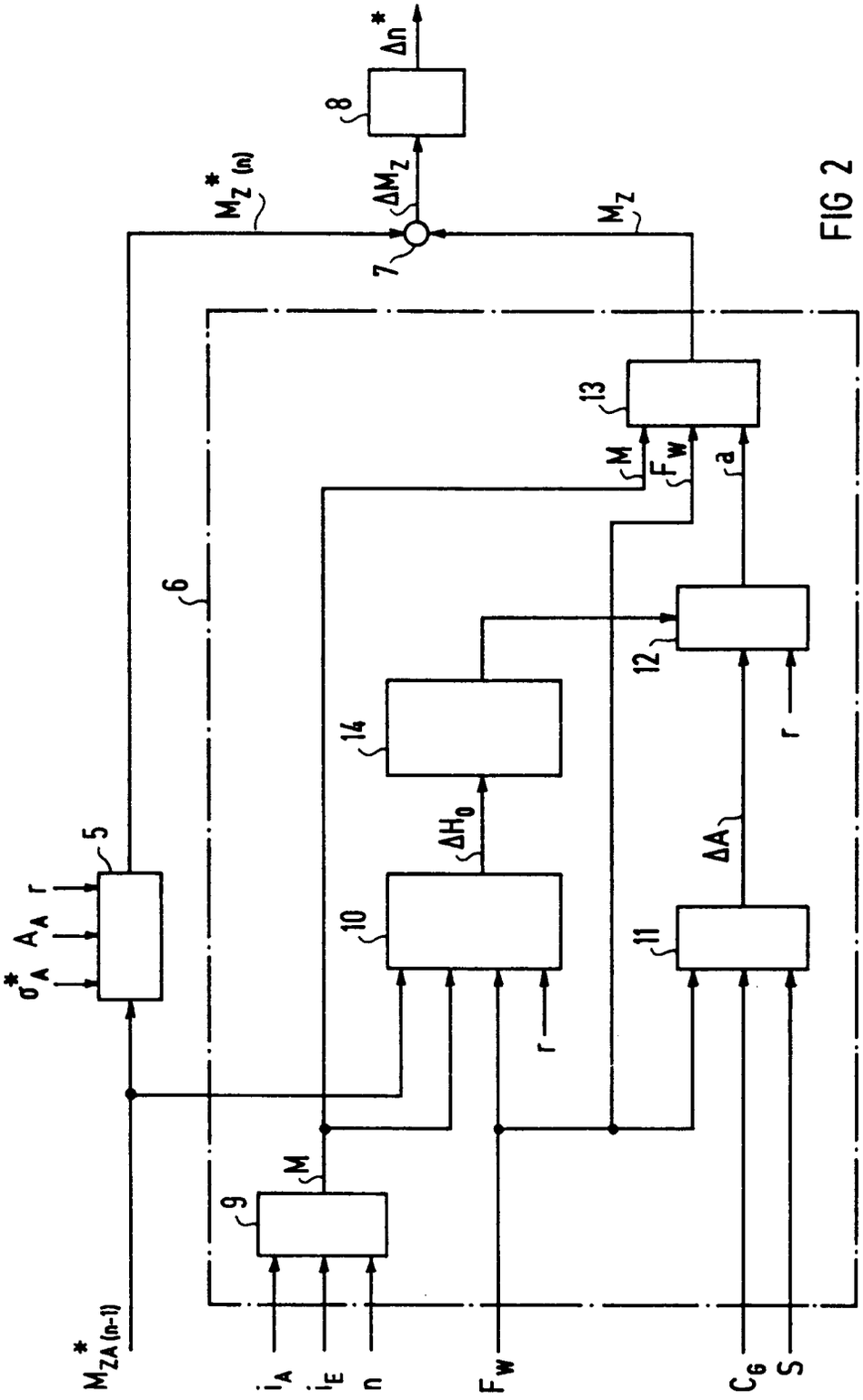
σ_A^*
A_A
r
5
6
$M_{ZA(n-1)}^*$
$M_{Z(n)}^*$
7
ΔM_Z
8
Δn^*
M_Z
9
M
i_A
i_E
n
10
ΔH_0
14
r
F_W
11
ΔA
12
r
13
M
F_W
a
C_G
S

FIG 2

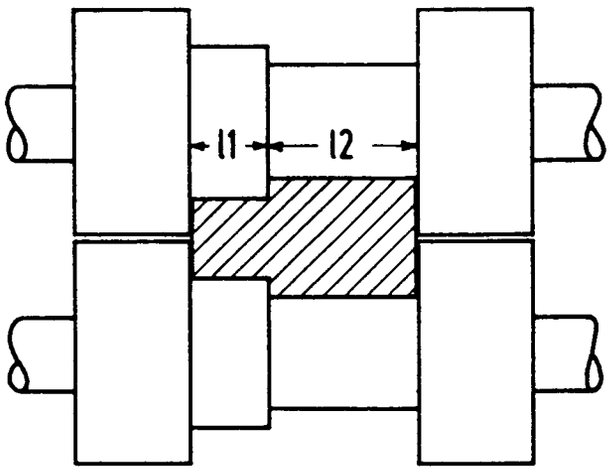

FIG 3

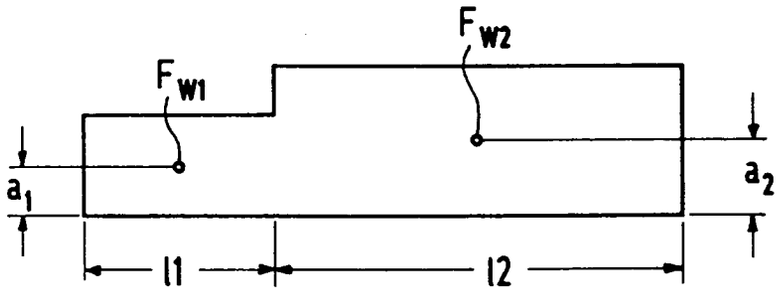

FIG 4

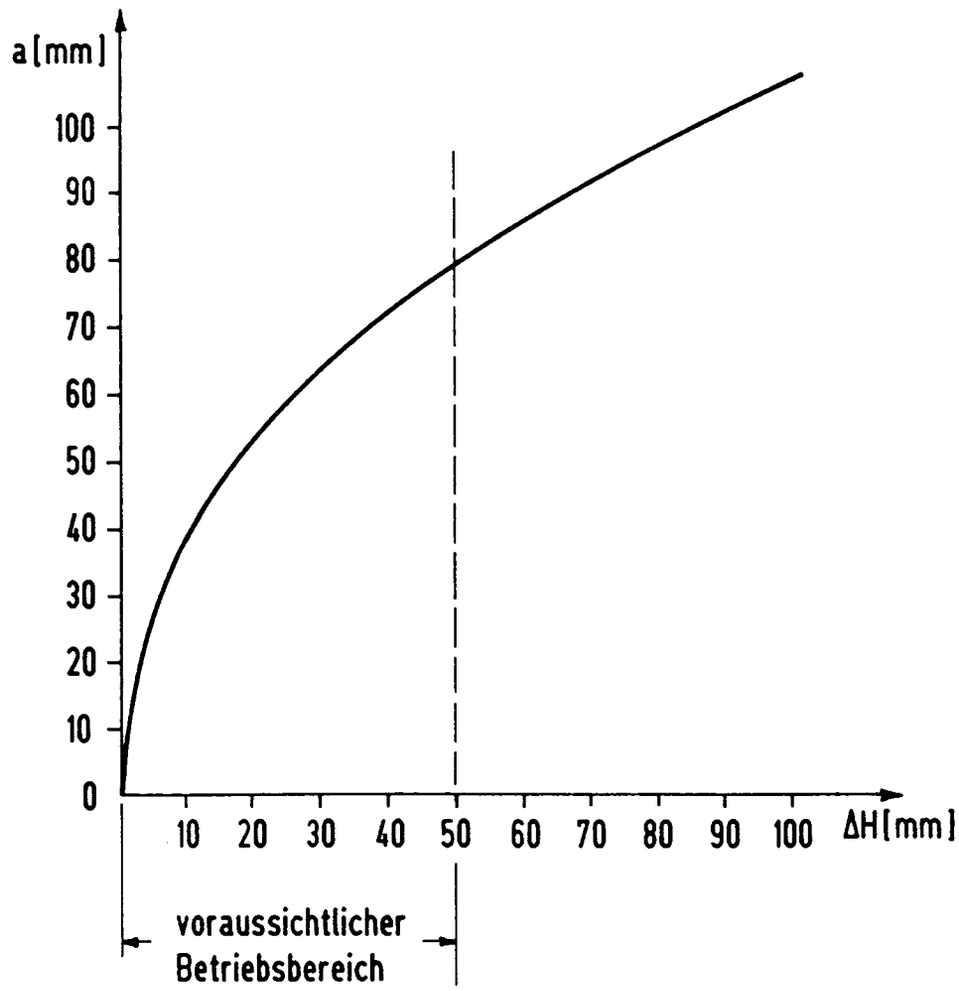
a [mm]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
ΔH [mm]
voraussichtlicher
Betriebsbereich

FIG 5

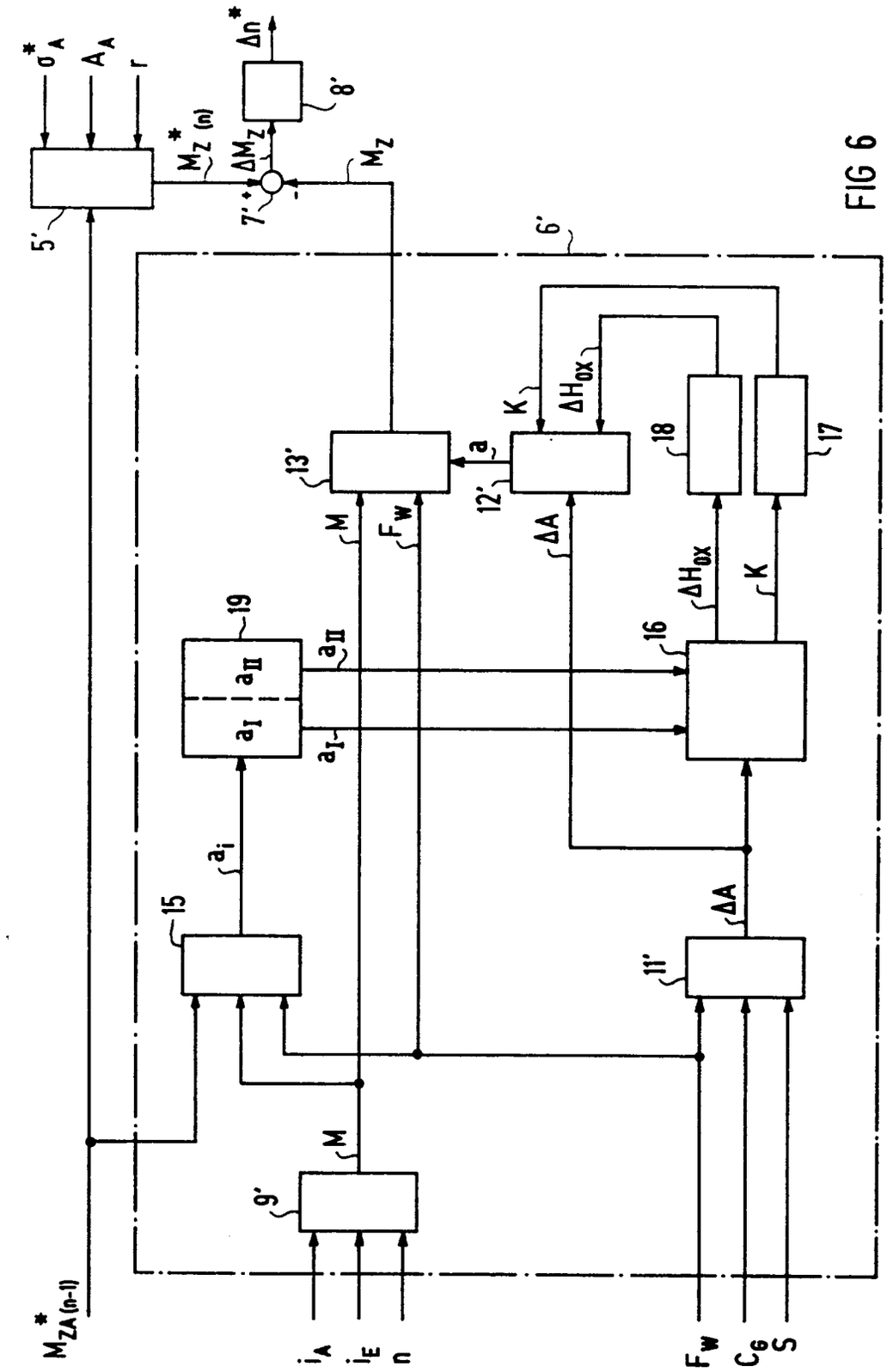
5'
6'
7'
8'
9'
11'
12'
13'
15
16
17
18
19
σ_A^*
A_A
r
$M_{Z(n)}^*$
ΔM_Z
M_Z
Δn^*
$M_{ZA(n-1)}^*$
i_A
i_E
n
M
F_W
a_i
a_I
a_{II}
a
K
ΔH_{ox}
ΔA
C_G
S

FIG 6

Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 11 1158

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
D,A	DE-C-3 903 589 (SIEMENS) * Ansprüche 1,2 * ---	1	B 21 B 37/08
A	DE-A-3 517 475 (MITSUBISHI) * Anspruch 1 * ---	1	
A	DE-A-3 931 242 (TOSHIBA) * Anspruch 1 * -----	1	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)

B 21 B

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
BERLIN	16-01-1992	SCHLAITZ J

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus andern Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument