

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

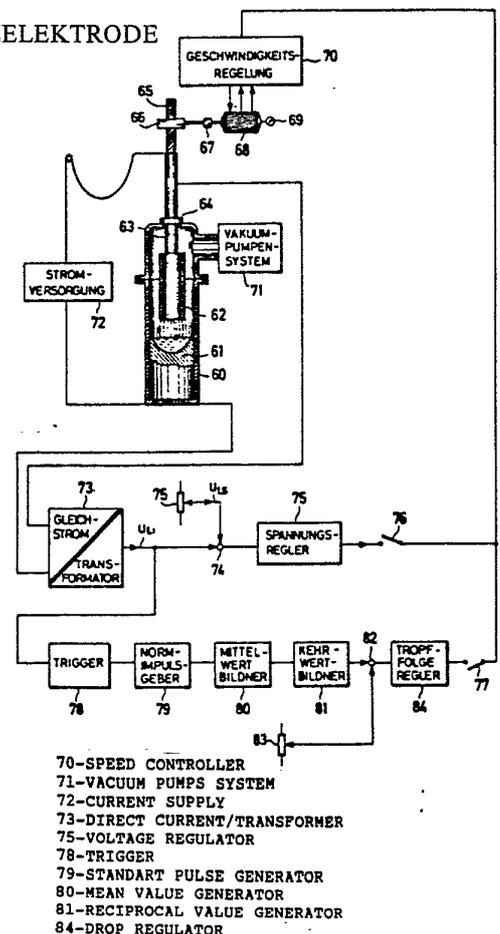
(51) Internationale Patentklassifikation⁴ : H05B 7/152	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 87/ 03772 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Juni 1987 (18.06.87)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE86/00487 (22) Internationales Anmeldedatum: 29. November 1986 (29.11.86) (31) Prioritätsaktenzeichen: P 35 44 005.8 (32) Prioritätsdatum: 13. Dezember 1985 (13.12.85) (33) Prioritätsland: DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): LEYBOLD-HERAEUS GMBH [DE/DE]; Bonner Strasse 498, D-5000 Köln 1 (DE). (72) Erfinder;und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : STENZEL, Otto [DE/DE]; Vönhäuserstrasse 50, D-6466 Gründau 4 (DE). THOMAS, Friedrich-Werner [DE/DE]; Schwarzwaldweg 2, D-6460 Gelnhausen 2 (DE).	(74) Anwalt: SCHICKEDANZ, Willi; Langener Strasse 70, D-6050 Offenbach am Main (DE). (81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US. Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: CONTROL DEVICE FOR A MELT ELECTRODE**(54) Bezeichnung:** EINRICHTUNG ZUM REGELN EINER SCHMELZELEKTRODE**(57) Abstract**

A device for controlling the gap between a melt electrode (62) and the surface of the molten mass (61) in a vacuum arc furnace. The device is based on the fact that the short-circuits generated between the melt electrode (62) and the surface of the molten mass (61) by the droplets of molten material give an indication about the electrode gap. The average drop frequency is approximately a linear function of the length of the arc, i.e. the drop rate is in hyperbolic relationship with the length of the arc. In order to obtain in these conditions a speedy control, a drop frequency controller (84) receives a signal which corresponds to the difference between the reciprocal value of a drop rate signal formed by a mean value generator (80) and a drop frequency set value.

(57) Zusammenfassung

Einrichtung zum Regeln des Abstands einer Schmelzelektrode (62) zur Oberfläche des Schmelzguts (61) in einem Vakuumlichtbogenofen. Hierbei wird von der Tatsache ausgegangen, dass die Kurzschlüsse zwischen Schmelzelektrode (62) und Oberfläche des Schmelzguts (61), die durch Schmelztropfen verursacht werden, einen Hinweis auf den Elektrodenabstand geben. Die mittlere Tropfenfrequenz ist in etwa eine lineare Funktion der Lichtbogenlänge, d.h. die Tropfenrate steht in einem hyperbolischen Zusammenhang mit der Lichtbogenlänge. Um unter diesen Voraussetzungen eine schnelle Regelung zu ermöglichen wird ein Tropfenfolgeregler (84) mit einem Signal beaufschlagt, das der Differenz zwischen dem Kehrwert eines von einem Mittelwertbildner (80) gebildeten Tropfenratensignals und einen Tropfenfolge-Sollwert entspricht.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT Österreich	FR Frankreich	MR Mauritien
AU Australien	GA Gabun	MW Malawi
BB Barbados	GB Vereinigtes Königreich	NL Niederlande
BE Belgien	HU Ungarn	NO Norwegen
BG Bulgarien	IT Italien	RO Rumänien
BJ Benin	JP Japan	SD Sudan
BR Brasilien	KP Demokratische Volksrepublik Korea	SE Schweden
CF Zentrale Afrikanische Republik	KR Republik Korea	SN Senegal
CG Kongo	LI Liechtenstein	SU Soviet Union
CH Schweiz	LK Sri Lanka	TD Tschad
CM Kamerun	LU Luxemburg	TG Togo
DE Deutschland, Bundesrepublik	MC Monaco	US Vereinigte Staaten von Amerika
DK Dänemark	MG Madagaskar	
FI Finnland	ML Mali	

Einrichtung zum Regeln einer Schmelzelektrode

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Regeln des Abstands einer Schmelzelektrode zur Oberfläche des Schmelzguts in einem Vakuumlichtbogenofen.

- 05 Für die Erzeugung hochwertiger Metalle und Metallegierungen, die möglichst wenig Fremdkörpereinschlüsse aufweisen und in ihrer Struktur homogen sind, sind verschiedene Verfahren bekannt. Eines der bekanntesten Verfahren ist das Lichtbogenschmelzen, bei dem sich eine Elektrode zu einem Tiegel erstreckt und durch Anlegen einer elektrischen Spannung
10 zwischen Elektrode und Tiegel die Elektrode an ihrer Spitze abschmilzt und als flüssiges Material in den Tiegel fällt. In der Regel wird die sogenannte Schmelzelektrode an den einen Pol einer Gleichspannung und der Tiegel an den anderen Pol dieser Gleichspannung gelegt. Es sind jedoch auch Überlagerungen mit Wechselfspannungen möglich, um bestimmte Ef-
15 fekte zu erzielen.

Ein Hauptproblem beim Betrieb von Lichtbogenschmelzöfen der vorstehend genannten Art besteht darin, die Lichtbogenlänge zu regeln, d. h. den Abstand zwischen dem unteren Ende der Elektrode und der Oberfläche des

bereits in dem Tiegel befindlichen Schmelzguts. Ist der Lichtbogen zu lang, so können die Elektrode und/oder das Schmelzgut falsch aufgeheizt werden, so daß die Qualität des Schmelzguts stark vermindert wird. Da sich einerseits der Pegel des Schmelzguts in dem Tiegel fortwährend erhöht und andererseits der Abstand zwischen dem Ende der Elektrode und der Oberfläche des Tiegels während des Betriebs nicht unmittelbar beobachtet werden kann, müssen besondere Maßnahmen getroffen werden, um diesen Abstand zu regeln.

10 Bei Lichtbogenschmelzöfen, die bei Atmosphärendruck oder nur geringfügig darunter arbeiten, wird die Lichtbogenlänge dadurch geregelt, daß man eine vorgegebene Lichtbogenspannung aufrechterhält. Bei Atmosphärendruck ist der Plasmabogen dadurch gekennzeichnet, daß er einen bestimmten Spannungsgradienten aufweist, z. B. 20 Volt pro 2,5 cm. Die
15 Spannungsabfälle an der Katode und an der Anodenoberfläche machen zusammen zusätzliche 20 Volt aus, so daß man dann, wenn man eine Lichtbogenlänge von z. B. 1,25 cm aufrechterhalten will, die Elektrode in eine solche Position bringt, daß die Bogenspannung bei 30 V liegt. Dies kann leicht mittels herkömmlicher Einrichtungen realisiert werden, welche die
20 Bogenspannung messen und regeln.

Bei Lichtbogenschmelzöfen, die im Vakuum arbeiten, kann das vorstehend beschriebene Verfahren indessen nicht immer angewendet werden. Derartige Lichtbogenschmelzöfen werden insbesondere zum Schmelzen der sogenannten refraktorischen aktiven Metalle wie Titan oder Zirkon sowie für die Herstellung rostfreier Stähle und Hochtemperaturlegierungen verwendet. Wenn der Gasdruck, der den Lichtbogen umgibt, abnimmt, nimmt auch der Spannungsgradient des Bogenplasmas ab, und bei sehr niedrigen Drücken kann der Spannungsgradient des Bogenplasmas beispielsweise nur
25 noch ein Volt pro 2,5 cm betragen. Da die Anoden- und Katodenspannungsabfälle z. B. bei Stahl bei ungefähr 20 Volt liegen, ist der Spannungsabfall am Lichtbogen, verglichen mit den übrigen Spannungsabfällen, sehr
30 klein. Änderungen im Gasgehalt und der Legierungszusammensetzung beeinflussen den Anoden- und Kathodenspannungsabfall in der Größenordnung des

Spannungsabfalls in der "Lichtbogensäule". Demzufolge ist das Verfahren, den Lichtbogen durch Konstanthalten der Lichtbogenspannung zu regeln, vor allem bei Stählen, mit großen Fehlern behaftet; d. h. die tatsächliche Länge des Lichtbogens wird in der Regel stark von der gewünschten Länge abweichen.

Es ist indessen bereits ein Lichtbogenschmelzofen bekannt, der zur Regelung des Abstands zwischen Elektrode und Schmelzgutoberfläche von der Erkenntnis Gebrauch macht, daß die Spannung sogar bei ordnungsgemäßigem Betrieb in bestimmten Zeitabständen kurzfristig zusammenbricht (US-PS 2 942 045). Dieser Effekt wird durch Kurzschlüsse verursacht, die durch flüssige Metalltropfen entstehen, die von der Elektrode in den Tiegel tropfen und kurzzeitig die Elektrode mit dem Schmelzgut im Tiegel elektrisch leitend verbinden. Solange die Dauer und die Frequenz dieser Kurzschlüsse nicht sehr groß sind, arbeitet der Lichtbogen mit nahezu voller Leistung, so daß keine wesentliche Beeinflußung der Schmelzgut-Aufheizung stattfindet. Wird der Lichtbogen kürzer, so nimmt die Häufigkeit der Bogenkurzschlüsse zu.

Gemäß dem bekannten Lichtbogenschmelzofen wird der Elektrodenabstand in der Weise geregelt, daß die Häufigkeit der Bogenkurzschlüsse innerhalb eines bestimmten Bereichs gehalten wird. Hierbei wird beispielsweise ein Voltmeter beobachtet, und es werden mit einer Stoppuhr die Zeitabstände zwischen den einzelnen Spannungseinbrüchen gemessen, damit die Spannungseinbrüche pro Zeiteinheit ermittelt werden können.

Eine andere bekannte Einrichtung zur Regelung des Elektrodenabstands in einem Lichtbogenschmelzofen geht von der Erkenntnis aus, daß der Lichtbogenspannung Spannungsschwankungen in Form von positiv ansteigenden Impulsen überlagert sind, von denen jeder während einer kurzen Zeitspanne von beispielsweise 40 Millisekunden mit einer Frequenz von 30 Hz auftritt (DE-PS 1 212 651). Diese Spannungsimpulse, über deren Ursache nichts ausgesagt ist, werden dazu benutzt, den Elektrodenabstand zu regeln, wobei der Spannungsverlauf in eine Grundkomponente und eine zwei-

te Komponente aufgespalten wird. Die in der zweiten Komponenten als Spannungs-, Strom- oder Impedanzschwankungen auftretenden impulsförmigen Schwankungen werden hierbei nachgewiesen, und der Elektrodenabstand wird in Abhängigkeit von der Folgefrequenz dieser Schwankungen geregelt. Es wird also eine Impulzzählung der Überspannungen pro Zeiteinheit vorgenommen und bei zu geringer Impulszahl die Elektrode abgesenkt.

Bei einer anderen bekannten Vorrichtung zum Bogenschmelzen wird von oszilloskopischen oder -graphischen Beobachtungen ausgegangen, die zeigen, daß während des Schmelzens von Metallen im Vakuum kurzzeitige Kurzschlüsse von 0,1 bis 0,3 Sekunden zwischen der Elektrode und der geschmolzenen Metalloberfläche des Tiegels auftreten. Zusätzlich wird berücksichtigt, daß Änderungen in der Lichtbogen Spannung auftreten, die sich durch Verunreinigungen ergeben, welche ihrerseits auf Änderungen in der Zusammensetzung oder im Druck einer inaktiven Gasatmosphäre beruhen oder durch das Ausschlagen eines Lichtbogens von der Elektrode zur Tiegelwand bedingt sind, wobei diese letztgenannten Spannungsänderungen kleiner sind als die Spannungsänderungen, die auftreten, wenn Tropfen vom geschmolzenem Metall die Elektrode mit dem geschmolzenen Metallband verbinden (US-PS 2 915 572). Diese bekannte Vorrichtung weist eine Einrichtung auf, mit welcher die Elektrode in Richtung auf die Oberfläche des im Tiegel befindlichen Metalls um einen Betrag bewegt wird, der mindestens gleich der Differenz zwischen der Schmelzrate der Elektrode und der Anstiegsrate der Metalloberfläche ist. Die Vorrichtung weist außerdem Einrichtungen auf, die aufgrund geschmolzener Tropfen zwischen der Elektrode und der Metalloberfläche in einer vorgegebenen Position der Elektrode in Bezug zu der Metalloberfläche aktiviert werden, um die Elektrode von der Metalloberfläche weg in eine bestimmte Entfernung zu bewegen. Die Spannungskurzschlüsse werden hierbei durch ein Relais erfaßt, das ein Zeitmeßgerät steuert.

Weiterhin ist eine Vorrichtung für die Regelung des Elektrodenabstands bekannt, bei welcher die Tropfenkurzschlüsse zwischen der Elektrode und der

flüssigen Metalloberfläche des Tiegels als Regelkriterium herangezogen wird (US-PS 45 78 795). Die Tropfenkurzschlüsse und die zugeordneten Spannungsreduktionen erscheinen hierbei als sich wiederholende Impulse, die eng mit dem Elektrodenabstand korrelieren. Die Zahl der Tropfenkurzschlüsse wird aufsummiert und jedesmal dann, wenn die Zahl der Kurzschlüsse einen vorgegebenen Wert erreicht hat, werden die mittlere Periode zwischen den Kurzschlüssen, und zwar ausgehend von diesem vorgegebenen Wert, sowie die Zeit, in welcher dieser Wert erreicht wird, errechnet. Für diese Berechnung und für die Anzeige der Dauer jedes Kurzschlusses wird ein Mikroprozessor verwendet. Es wird hierbei unmittelbar nach der Impulsformung der natürlichen Tropfen-Kurzschlüsse digital mit einem Rechner gearbeitet. Die normierten Impulse werden einem Ereignis-Register zugeführt, wobei die einzuzählende Impulsmenge vorher über ein Rechner-Bedienpult eingegeben und fallweise geändert werden kann. Unterschreitet der Inhalt des Ereignis-Registers die festgelegte Impulszahl, was durch Koinzidenz festgestellt wird, so erfolgt ein Befehl an ein Zeitmeßgerät, und die abgelaufene Zeit zwischen den jeweiligen Koinzidenzen wird ausgelesen. Dieser Wert dient als Maßstab für den Abstand zwischen Elektrode und flüssiger Metalloberfläche. Der Meßwert wird jeweils nach Erreichen der vorgegebenen Anzahl von Tropfenkurzschlüssen (ca. 100 Kurzschlüsse) erneuert. Eine solche Vorrichtung beinhaltet zwei Nachteile, nämlich daß der Meßwert erst nach relativ langen Zeitabschnitten aufgefrischt wird, also nicht aktuell ist, und daß dann, wenn wenig oder gar keine Tropfen auftreten, die Zeit bis zu einem Regeleingriff sehr lang wird. Bei hoher Tropfenzahl ist der Regeleingriff dagegen sehr schnell. Die Ermittlungszeiten für die Tropfenzahl stellen eine Totzeit dar. Diese Totzeit ist für unterschiedliche Betriebszustände unterschiedlich lang. Das Zeitverhalten des Meßglieds ist nicht-linear. Die Phasendrehung des Signals ist somit von dem augenblicklichem Betriebszustand abhängig. Die Größe des Regeleingriffs bei einer Abweichung vom Sollwert muß stark eingeschränkt werden, um ein Schwingen zu vermeiden. Es muß also eine kleine Kreisverstärkung gewählt werden. Dies bedingt eine träge Störgrößen-Regelung mit großen Abweichungen vom Sollwert.

Schließlich sind noch ein weiteres Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern der Elektrodenantriebsgeschwindigkeit in einem Lichtbogenofen bekannt, bei denen die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tropfenkurzschlüssen gemessen und die mittlere Zeit zwischen einer vorgegebenen
05 Anzahl der zurückliegenden Kurzschlüsse errechnet wird (US-PS 4 303 797). Beispielsweise wird das Zeitintervall zwischen den zehn letzten Kurzschlüssen berechnet und als Istwert einem Regler zugeführt. Das Übergangsverhalten dieser Einrichtung bei Signaländerungen ist jedoch nachteilig.

10 Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zu schaffen, mit der es möglich ist, eine verbesserte Elektrodenregelung zu erreichen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Regler mit einem Signal be-
15 aufschlägt wird, das der Differenz zwischen dem Kehrwert des vom Mittelwertbildner gebildeten Tropfenratensignals und einer Sollzeit entspricht, die gleich der angestrebten mittleren Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tropfenkurzschlüssen ist.

20 Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, daß der Elektroden-Regler nicht nur sehr scharf eingestellt werden kann, sondern daß es auch möglich ist, eine sehr schnelle Regelung mit nur geringen Abweichungen vom Sollwert zu erzielen. Die Erfindung optimiert auf diese Weise den geschlossenen Regelkreis, der gegenüber einem offenen
25 Regelkreis den Nachteil aufweist, daß erst eine Regelabweichung auftreten muß, bis der Regler über eine Stellgröße überhaupt eine Korrektur vornehmen kann. In der allgemeinen Regeltechnik wird dieser Nachteil meistens durch eine sogenannte Regelung mit Störgrößenaufschlag zu beseitigen versucht. Hierbei wird eine Störgröße gemessen und über einen
30 Hilfsregler dem Stellglied zugeführt. Bei Auftreten einer Störgröße wird sofort ein Korrektursignal erzeugt, ohne daß erst eine Regelabweichung abzuwarten ist. Dieser Zweig stellt, von der Störgröße her gesehen, eine offene Kette, also eine Steuerung dar mit all deren Nachteile.

Unter einer Tropfenrate wird die Zahl der Tropfenkurzschlüsse innerhalb

einer gewissen Zeit verstanden, während die Tropfenfolge die Zeit zwischen zwei Tropfenkurzschlüssen gemeint ist. Obwohl die Tropfenrate und die Tropfenfolge Kehrwerte zueinander sind, ist es im vorliegenden Fall nicht gleichgültig, ob zuerst eine Mittelwertbildung und dann eine Kehrwertbildung vorgenommen wird oder umgekehrt, denn die Mittelwertbildung ist ein Additionsvorgang, während die Kehrwertbildung ein Multiplikationsvorgang ist. Folglich ist der arithmetische Mittelwert einer Summe von Zeiten nicht gleich dem Kehrwert eines arithmetischen Mittelwerts einer Summe von Raten, d. h. Summe der Kehrwerte der Zeiten. Dieser Unterschied wirkt sich regelungstechnisch insofern aus, als das Übergangsverhalten bei Signaländerungen, d. h. das sogenannte transiente Verhalten, bei der erfindungsgemäßen Lösung entscheidend verbessert wird. Die Totzeit ist bei der Einrichtung nach der Erfindung stets gleich lang.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 den Spannungsverlauf bzw. den Stromverlauf bei einem typischen Tropfenkurzschluß;

20

Fig. 2 eine bekannte Regelschaltung für den Vorschub einer Elektrode in einem Schmelztiegel;

25

Fig. 3 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für die Tropfenkurzschlußregelung in einer Schmelzelektroden-Verbindung in Analogtechnik;

30

Fig. 4 eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung entsprechend Fig. 3, jedoch in Digitaltechnik;

Fig. 5a eine grafische Darstellung, welche die funktionelle Abhängigkeit zwischen Spaltbreite und Tropfenfolge zeigt;

Fig. 5b eine grafische Darstellung, welche die funktionelle Abhängigkeit

zwischen Spaltbreite und Tropfenhäufigkeit zeigt.

In der Fig. 1 ist dargestellt, in welcher Weise sich Strom und Spannung verändern, die zwischen einer Schmelz-Elektrode und einem Tiegel anstehen bzw. diese Strecke durchfließen. Man erkennt hierbei, daß bei einem Gleichstrom, dem ein Wechselstrom mit geringer Amplitude überlagert ist, die Spannung U im allgemeinen konstant bleibt und nur in den Punkten A,B ein Minimum bzw. in den Punkten C,D ein Maximum hat. Wenn die Spannung U ein Minimum hat, dann besitzt der Strom ein Maximum, vergl. die Punkte E und F.

Die Spannungseinbrüche in den Punkten A und B deuten jeweils einen Kurzschluß an, der durch einen Tropfen flüssigen Metalls hervorgerufen wird, der die Elektrode mit der Oberfläche des geschmolzenen Metalls im Tiegel kurzzeitig verbindet.

15

In der Fig. 2 ist eine bekannte Schaltungsanordnung dargestellt, die für die Tropfen-Kurzschlußregelung geeignet ist. Anhand dieser bekannten Schaltungsanordnung lassen sich die Unterschiede und Vorteile der Erfindung besser verständlich machen. Die eigentliche Tropfen-Kurzschlußregelung (=Drop-short-Regelung) ist hierbei mit der Bezugszahl 20 bezeichnet. Sie enthält mehrere Bauelemente und arbeitet wie folgt: Nach der galvanischen Trennung der Lichtbogenspannung U_L durch einen Trennwandler 21 werden über ein Differenzierglied 22 die Spannungseinbrüche aufgrund der Tropfen-Kurzschlüsse ausgefiltert. Die Grenzfrequenz des Differenzierglieds 22 ist dabei so ausgelegt, daß die Kurzschlüsse einwandfrei erfaßt werden können. In der nachfolgenden Triggerschaltung 23 werden die ausgefilterten Impulse formiert und in einer nachfolgenden monostabilen Kippstufe 24 in Normimpulse, d. h. in Impulse konstanter Amplitude und Breite, umgewandelt.

30

Ein Integrator, genauer ein PT_1 -Glied 25 mit fester Integrationszeit, bildet den Impulsmittelwert aus den anfallenden normierten Impulsen. Die Ausgangsgröße dieses Integrators 25 stellt den Kurzschlußhäufigkeits-Istwert U_{si} dar, der mit einem an einem Potentiometer 27 abgegriffenen

Kurzschlußhäufigkeits-Sollwert U_{ss} verglichen und als Differenz dem Kurzschlußhäufigkeitsregler 26 zugeführt wird. Das entsprechende digitale Analogon hierzu wäre das Einzählen von Impulsen in einen digitalen Zähler mit fester Zeitbasis und das Auswerten des jeweils innerhalb eines festen
05 Zeitintervalls anfallenden Impulszählerstands. Es wird also die Anzahl der anfallenden Tropfen-Kurzschlüsse innerhalb eines festgelegten Zeit gezählt. Als Mittelwertbildner käme also ein Ringzähler in Frage, der den Mittelwert über alle in der Ringzeit erfaßten Kurzschlüsse ermittelt. Die übrigen Schaltungsteile der Fig. 2 haben mit der eigentlichen Kurzschlußhäufigkeitsregelung nichts zu tun, obgleich sie für die Gesamtregelung
10 erforderlich sind. Sie berücksichtigen andere Einflußgrößen auf die Regelung, denn die Tropfen-Kurzschlüsse sind nur eines von mehreren möglichen Regelkriterien, was durch das Summationsglied 28 zum Ausdruck kommt. Neben einer konstanten Spannung U_{const} kann beispielsweise die Ausgangsgröße des Kurzschlußhäufigkeitsreglers 26 über einen
15 Schalter 29 zugeschaltet werden. Ferner kann das Summationsglied 28 zusätzlich über einen Schalter 30 mit der Ausgangsgröße eines allgemeinen Lichtbogenstromspannungsreglers 31 beaufschlagt werden. Diesem Lichtbogenstromspannungsregler 31 wird die Differenz zwischen dem Lichtbogenstromspannungs-
20 istwert U_{Li} und einem Lichtbogenstromspannungssollwert U_{LS} , der von einem Potentiometer 32 abgegriffen wird, über ein Verknüpfungselement 33 zugeführt. Die Ausgangsgröße dieses Summationsglieds 28 ist über einen steuerbaren Schalter 34 mit Motorreglern verbunden. Der Schalter 34 kann hierbei über ein Relais 35 gesteuert werden, das durch eine Spannung
25 ausgelöst wird, die durch einen Gas-Detektor 36 erzeugt wird. Die erwähnten Motorregler steuern zwei Motoren M 1 bzw. M 2, die für das Differenzialgetriebe der Elektrode vorgesehen sind. Diese Motorregler sind vom selben Typ und weisen jeweils einen P-Regler 37 bzw. 37', einen I-Regler 38 bzw. 38', ein Impuls-Gerät 39,39' einen Gleichrichter 40,40'
30 und einen Widerstand auf, wobei der Ausgang des Widerstands 41,41' auf ein Verknüpfungselement 42,42' rückgeführt ist, das zwischen dem P-Regler 37,37' und dem I-Regler 38,38' liegt. Ferner ist die Ausgangsgröße eines Tachodynamos TD_1 bzw. TD_2 auf ein Verknüpfungselement 43 bzw. 43' rückgeführt, wobei das Verknüpfungselement 43 zwischen den Abgriff

eines Potentiometers 44 und den P-Regler 37 angeschlossen ist, während das Verknüpfungselement 43' zwischen den Ausgang eines Umkehrverstärkers 45, der ebenfalls am Abgriff des Potentiometers 44 liegt, und dem P-Regler 37' angeschlossen ist. Ein weiterer Motor M 3 des Differentialgetriebes der Elektroder ist über Schalter 46,47,48 zuschaltbar, wobei der
05 Schalter 48 von einem Relais 49 gesteuert wird, das seinerseits von einer Kurzschlußauflöseschaltung 50 angesteuert wird.

In der Fig. 3 ist eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung dargestellt, die in einigen Einzelheiten der Anordnung nach Fig. 2 entspricht. Die eigentliche Tropfenregelung geschieht jetzt jedoch auf andere Weise. Zur Veranschaulichung ist außer der erwähnten Schaltungsanordnung auch der Schmelztiegel 60 gezeigt, in dem sich das Schmelzgut 61, z. B. geschmolzenes Metall bzw. eine geschmolzene Metallegierung, befindet. Über diesem Schmelzgut 61 ist eine Schmelzelektrode 62 angeordnet, die an einer Haltestange 63 befestigt ist, welche durch eine Öffnung in den Schmelztiegel ragt und dort mittels eines Flansches 64 arretiert ist. Der aus dem Tiegel 60 herausragende Teil der Haltestange 63 ist mit einem Gewinde 65 versehen, das durch eine Antriebsmutter 66 geführt ist. Diese
15 Antriebsmutter 66 steht mit einem Getriebe 67 in Verbindung, das seinerseits mit einem Motor 68 gekoppelt ist, der einen Tachogenerator 69 antreibt. Eine Geschwindigkeits-Regeleinrichtung 70 beaufschlagt den Motor 68 und wird ihrerseits von Signalen des Tachogenerators 69 beaufschlagt. An dem Schmelztiegel 60 befindet sich ein Vakkum-Pumpensystem 71, welches das Innere des Schmelztiegels 60 auf einem vorgegebenen geringen Druck hält. Zwischen dem Boden des Schmelztiegels 60 und der Haltestange 63 der Elektrode 62 ist eine Stromversorgung 72 angeschlossen, welche zwischen dem Ende der Elektrode und der Oberfläche des Schmelzguts 61 eine Spannung anlegt, die sogenannte Lichtbogenspannung.
25 Der Istwert der Lichtbogenspannung wird auf einen Gleichstromtransformator 73 gegeben, dessen Ausgangssignal U_{Li} einem Verknüpfungselement 74 zugeführt ist, welches auch den Lichtbogensollwert U_{LS} erhält, der von einem Potentiometer 75 abgegriffen wird.
30

Die Differenz zwischen dem Ist- und dem Sollwert der Lichtbogenspannung wird einem Spannungsregler 75 zugeführt, der über einen Schalter 76 ein Regelsignal auf die Geschwindigkeitsregelung 70 gibt. Die eigentliche Tropfenfolgeregelung wird über einen anderen Schalter 77 auf die
05 Geschwindigkeitsregelung 70 geschaltet. Sie enthält einen Trigger 78, der mit dem Gleichstromformator 73 verbunden ist und der die von dort kommenden Tropfen-Kurzschlußimpulse triggert. Die von dem Trigger 78 abgegebenen Impulse können sich noch in Amplitude und/oder Impulsbreite unterscheiden und werden deshalb einem Normimpulsbildner 79 zuge-
10 führt, der aus ihnen Impulse von einheitlicher Form bildet. Das wesentliche Charakteristikum der vom Normimpulsbildner kommenden Impulse ist somit nur noch ihr zeitlicher Abstand, d. h. die Impulsfolge. In einem nachgeschalteten Mittelwertbildner 80 wird sodann der Mittelwert aller Impulse innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls gebildet. Der ent-
15 scheidende Schritt der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, daß ein Kehrwertbildner 81 vorgesehen ist, der den Kehrwert aus dem Ausgangssignal des Mittelwertbildners 80 bildet. Hat der Mittelwertbildner 80 beispielsweise innerhalb von T Sekunden insgesamt X Tropfen-Kurzschlußimpulse ermittelt, so beträgt die Impulsrate für diesen Zeitraum X/T .
20 Im Kehrwertbildner 81 wird dieser Wert betragsgemäß umgekehrt, d. h. es wird $1/X$ pro T errechnet. Dieser Kehrwert wird sodann als Istwert einem Verknüpfungselement 82 zugeführt, dem gleichzeitig ein Sollwert, welcher an einem Potentiometer 83 abgegriffen wird, zugeführt wird. Die Differenz zwischen Ist- und Sollwert gelangt hierauf auf einen Tropfen-
25 folgeregler 84, der über den bereits erwähnten Schalter 77 mit der Geschwindigkeitsregelung 70 in Verbindung steht.

Wie eine Gegenüberstellung der Figuren 2 und 3 zeigt, ergibt sich bei der Anordnung nach Fig. 2 eine nicht-lineare Kreisverstärkung. Durchgeführte
30 Messungen (vergl. z. B. die Meßkurven gemäß der oben bereits erwähnten US-PS 45 78 795) zeigen, daß die mittlere Tropfenfrequenz, d. h. der mittlere Zeitabstand zwischen zwei Tropfen, in etwa eine lineare Funktion der Lichtbogenlänge ist. Da der Kehrwert der Tropfenrate die Tropfenfolge ist, hat die Tropfenrate somit einen hyperbolischen Zusammen-

hang mit der Lichtbogenlänge (vergl. Fig. 5b). Wird nun ein Regler verwendet, der als Regelgröße die Tropfenhäufigkeit (Rate) - wie Fig. 2 zeigt - verwendet, ergibt sich unter Einbeziehung der Strecke ein Regelkreis mit nicht-konstanter Kreisverstärkung. Um ein Schwingen zu vermeiden, muß die Größe des Regeleingriffes bei einer Abweichung vom Sollwert stark eingeschränkt werden. Es muß also eine kleine Kreisverstärkung gewählt werden. Dies bedeutet eine träge Störgrößen-Regelung mit großen Abweichungen vom Sollwert.

10 Wird dagegen, wie bei der Anordnung nach Fig. 3, vom Ausgangssignal des Mittelwertbildners 80 der Kehrwert gebildet, so ist das Abweichungssignal proportional zur Streckenabweichung. Die Zeitkonstante und die Kreisverstärkung sind konstant, d. h. der Regler kann optimal eingestellt werden.

15

In der Fig. 4 ist eine digitale Version der in der Fig. 3 gezeigten Anordnung gezeigt, wobei der obere Bereich weggelassen ist. Man erkennt hierbei, daß lediglich ein Vorspeicher 90 zwischen Normimpulsgeber 79 und Mittelwertbildner 80 sowie ein Digital-Analog-Wandler 11 an den Ausgang des Tropfenfolgenreglers 84 geschaltet sind. Der Vorspeicher 90 summiert alle Impulse auf, die während einer Zykluszeit des digitalen Auswertegeräts auflaufen. Seinen Speicherinhalt liest er an den Mittelwertbildner 20 80 am jeweiligen Ende der Zykluszeit aus.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Regeln des Abstands einer Schmelzelektrode zur Oberfläche des Schmelzguts in einem Vakuumlichtbogenofen, wobei die durch Tropfen entstehenden Kurzschlüsse zwischen der Schmelzelektrode und der Oberfläche des Schmelzguts als Regelkriterium herangezogen werden und
05 wobei die innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums auftretenden Kurzschlüsse, die sogenannte Tropfenrate, ermittelt und einem Mittelwertbildner zugeführt werden, der mit einem Regler verbunden ist, welcher einen elektrischen Antrieb für die Schmelzelektrode steuert, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler (84) mit einem Signal beaufschlagt wird, das der Differenz
10 zwischen dem Kehrwert des vom Mittelwertbildner (80) gebildeten Tropfenratensignals und einer Sollzeit entspricht, die gleich der angestrebten mittleren Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tropfenkurzschlüssen ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Mittelwertbildner (80) ein Norm-Impulsbildner (79) vorgeschaltet ist, der von
15 einem Trigger (78) angesteuert wird, welcher die Tropfenkurzschlußsignale erfaßt.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erwähnte Regler (84) über einen Schalter (77) mit einer Geschwindigkeitsregel-
20 einrichtung (70) verbindbar ist, und daß diese Geschwindigkeitsregel- einrichtung (70) gleichzeitig über einen weiteren Schalter (76) mit einem Spannungsregler (75) für die Lichtbogenspannung verbindbar ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwin-
25 digkeitsregel-einrichtung (70) einen Motor (68) steuert, der ein Getriebe (67) antreibt, welches mit einer Halterung (63) der Elektrode (62) verbunden ist.
5. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Normim-
30 puls-bildner (79) ein monostabile Kippstufe (39,39') vorgesehen ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittelwertbildner ein PT_1 -Glieder vorgesehen ist.
- 05 7. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittelwertbildner ein Ringzähler vorgesehen ist, der den Mittelwert über alle in der Ringzeit erfaßten Kurzschlüsse ermittelt.
- 10 8. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelwertbildner (80), der Kehrwertbildner (81), die Sollwertvorgabe (83) und der erwähnte Regler (84) digital arbeiten und die Ausgangsgrößen anschließend in einem Digital-Analog-Wandler in eine analoge Größe für die Ansteuerung des Vorschubmotors gewandelt wird.
- 15 9. Einrichtung nach Anspruch 1 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalverarbeitung hybrid, d. h. teils digital, teils analog, erfolgt.
- 20 10. Einrichtung nach Anspruch 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Mittelwertbildner (80) ein Vorspeicher (90) gesetzt ist, der alle Impulse während einer Zykluszeit (z. B. 100 ms) des digitalen Auswertegerätes aufsummiert und seinen Speicherinhalt an den Mittelwertbildner (80) am jeweiligen Ende der Zykluszeit ausliest.

FIG. 1

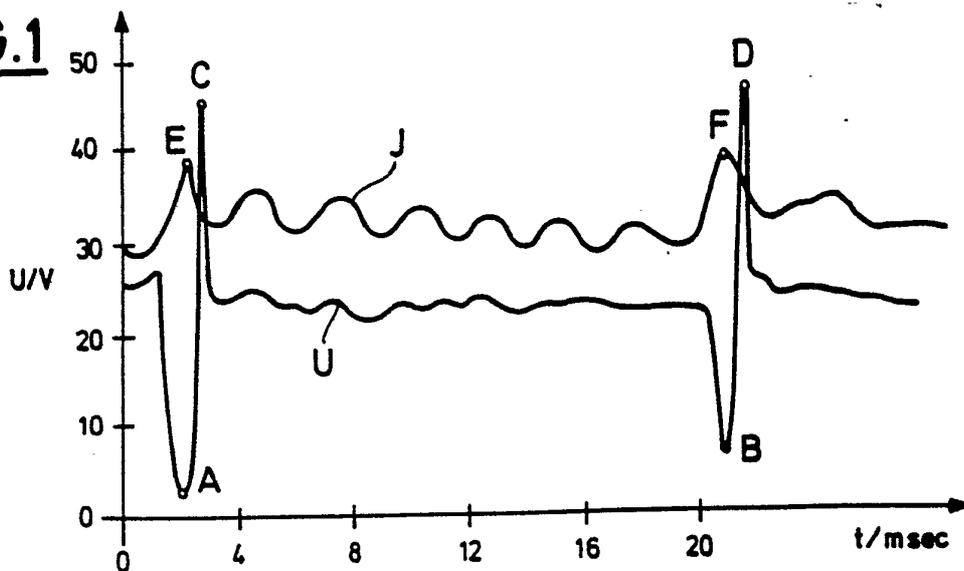
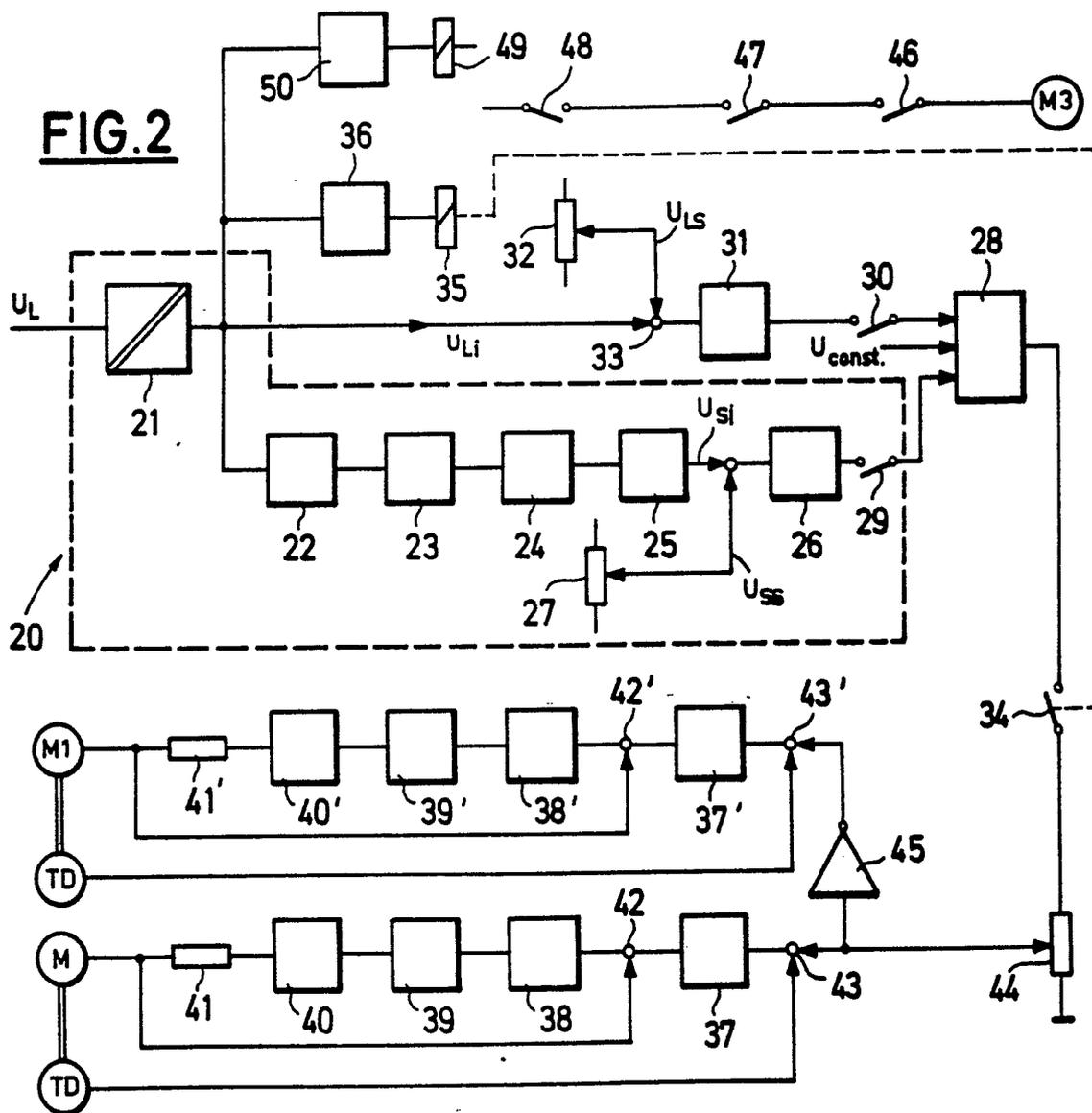


FIG. 2



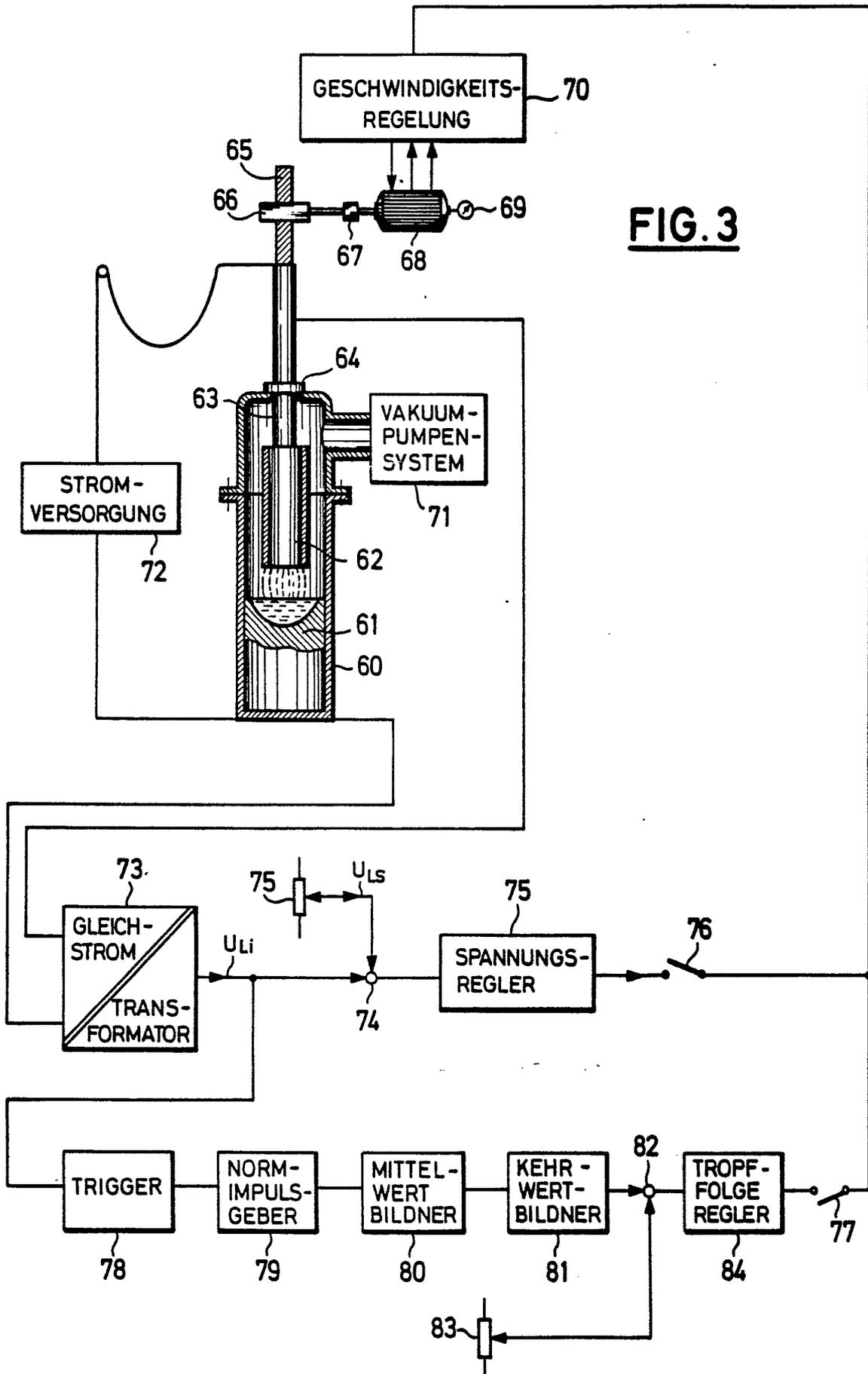


FIG. 3

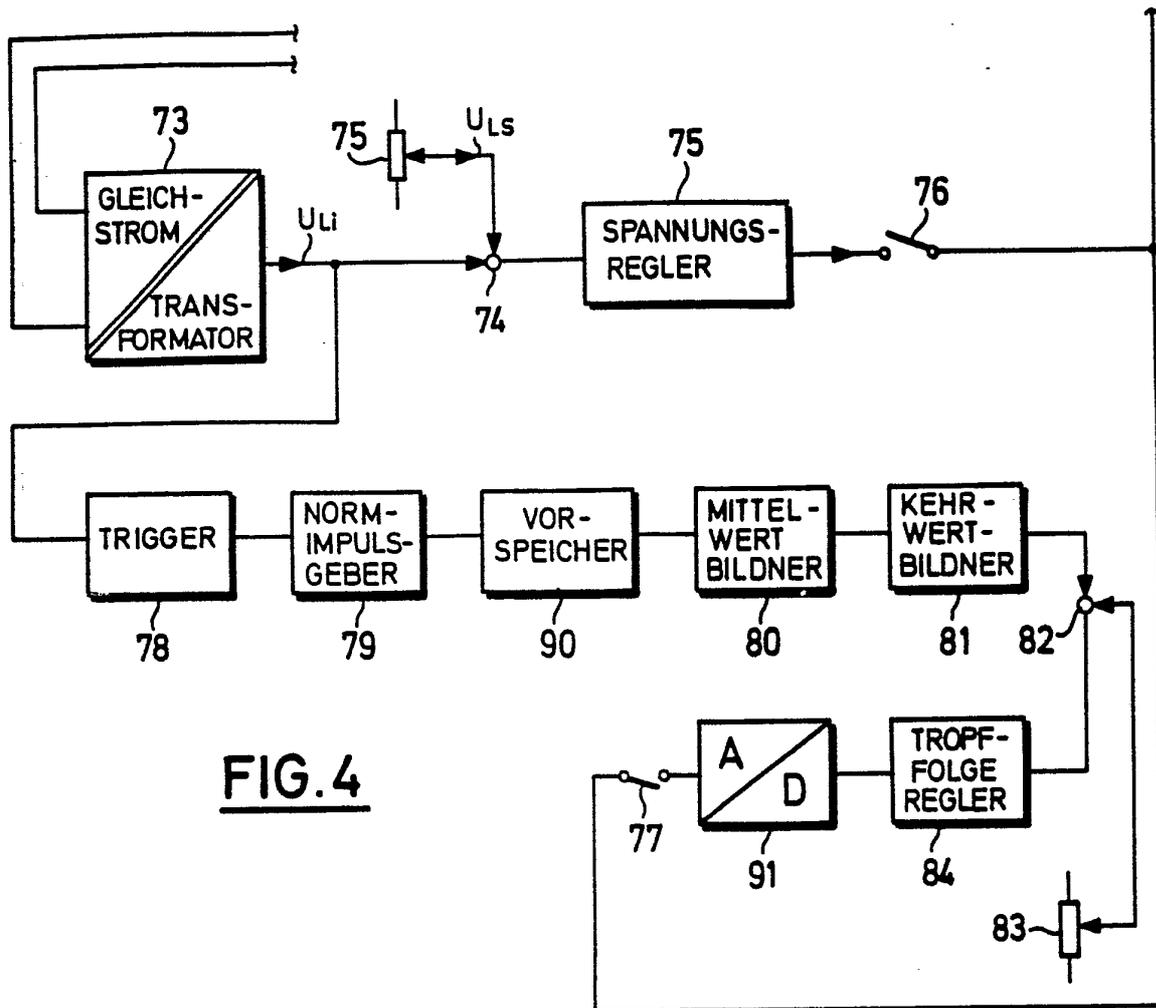


FIG. 4

FIG. 5a

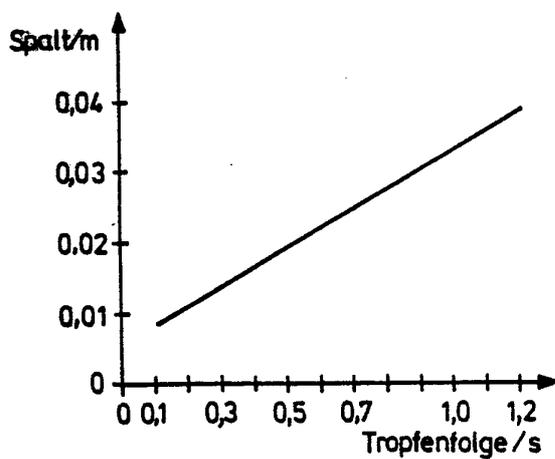
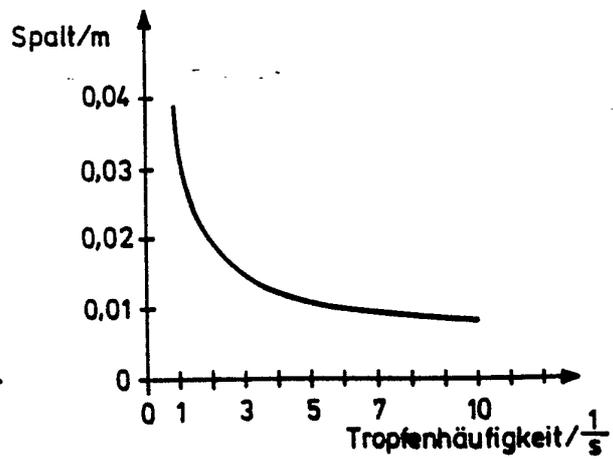


FIG. 5b



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/DE 86/00487

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) ⁶		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. ⁴ : H 05 B 7/152		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched ⁷		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. ⁴ :	H 05 B 7/00	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹		
Category [*]	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
A	DE, B, 1169604 (W.C. HERAEUS) 6 May 1964 see column 3, line 52 - column 4, line 19 --	1, 3, 4
A	US, A, 3143587 (BUEHL) 4 August 1964 see column 5, lines 17-65 --	1, 3, 4
A	DE, A, 3020336 (MANNESMANN) 4 February 1982 see page 5, line 1 - page 6, line 15 --	1, 3, 4, 8-10
A	US, A, 3872231 (TOROID CORP.) 18 March 1975 --	
A	DE, A, 3000996 (MANNESMANN) 23 July 1981 --	
A	DE, A, 1815359 (LEYBOLD-HERAEUS) 2 July 1970 -----	
<p>[*] Special categories of cited documents: ¹⁰</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"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</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"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.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search		Date of Mailing of this International Search Report
6 March 1987 (06.03.87)		3 April 1987 (03.04.87)
International Searching Authority		Signature of Authorized Officer
European Patent Office		

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON

INTERNATIONAL APPLICATION NO. PCT/DE 86/00487 (SA 15328)

This Annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 16/03/87

The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

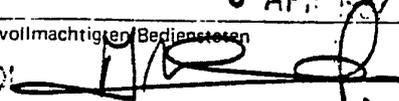
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-B- 1169604		None	
US-A- 3143587		None	
DE-A- 3020336	04/02/82	None	
US-A- 3872231	18/03/75	None	
DE-A- 3000996	23/07/81	None	
DE-A- 1815359	02/07/70	FR-A- 2026497 GB-A- 1233517	18/09/70 26/05/71

For more details about this annex :
see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 86/00487

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int. Cl. 4.	H 05 B 7/152	
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int. Cl. 4.	H 05 B 7/00	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN⁹		
Art*	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	DE, B, 1169604 (W.C. HERAEUS) 6. Mai 1964 siehe Spalte 3, Zeile 52 - Spalte 4, Zeile 19	1, 3, 4
	--	
A	US, A, 3143587 (BUEHL) 4. August 1964 siehe Spalte 5, Zeilen 17-65	1, 3, 4
	--	
A	DE, A, 3020336 (MANNESMANN) 4. Februar 1982 siehe Seite 5, Zeile 1 - Seite 6, Zeile 15	1, 3, 4, 8-10
	--	
A	US, A, 3872231 (TOROID CORP.) 18. März 1975	
	--	
A	DE, A, 3000996 (MANNESMANN) 23. Juli 1981	
	--	
A	DE, A, 1815359 (LEYBOLD-HERAEUS) 2. Juli 1970	

<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
6. März 1987	- 3 APR 1987	
Internationale Recherchenbehörde	Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten	
Europäisches Patentamt	M. VAN MOI 	

ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE

INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR. PCT/DE 86/00487 (SA 15328)

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben. Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 16/03/87

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-B- 1169604		Keine	
US-A- 3143587		Keine	
DE-A- 3020336	04/02/82	Keine	
US-A- 3872231	18/03/75	Keine	
DE-A- 3000996	23/07/81	Keine	
DE-A- 1815359	02/07/70	FR-A- 2026497 GB-A- 1233517	18/09/70 26/05/71

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang :
siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr. 12/82