



(11) **EP 1 915 889 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
22.10.2008 Patentblatt 2008/43

(51) Int Cl.:
H05B 7/02 *(2006.01)* **H05B 7/00** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **06776359.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/007247

(22) Anmeldetag: **24.07.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/019943 (22.02.2007 Gazette 2007/08)

(54) **ELEKTRONISCHER SCHALTKREIS UND VERFAHREN ZUM EINSPEISEN VON ELEKTRISCHER ENERGIE IN EINEN WECHSELSTROM-ELEKTROOFEN**

ELECTRONIC CIRCUIT AND METHOD FOR ELECTRIC POWER SUPPLY TO AN ALTERNATIVE CURRENT ELECTRIC FURNACE

CIRCUIT ELECTRONIQUE ET PROCEDE POUR ALIMENTER EN ENERGIE ELECTRIQUE UN FOUR ELECTRIQUE A COURANT ALTERNATIF

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

- **PASCH, Thomas**
40699 Erkrath (DE)
- **HAAKS, Andreas**
47495 Rheinberg (DE)
- **DEGEL, Rolf**
40878 Ratingen (DE)

(30) Priorität: **15.08.2005 DE 102005038702**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.04.2008 Patentblatt 2008/18

(74) Vertreter: **Klüppel, Walter et al**
Patentanwälte Hemmerich & Kollegen
Hammerstrasse 2
57072 Siegen (DE)

(73) Patentinhaber: **SMS Demag AG**
40237 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **KÖNIG, Roland**
47057 Duisburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 429 774 EP-A2- 0 589 544
WO-A2-02/063927 DE-A1- 2 034 874
DE-C- 972 422

EP 1 915 889 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 Erfindung betrifft einen elektronischen Schaltkreis und ein Verfahren zum Speisen von mindestens einer Elektrode eines Wechselstrom-Elektroofens, insbesondere zum Schmelzen von Metall mit Energie.

[0002] Die Erfindung ist anwendbar bei Elektroöfen zur Produktion von Nichteisenmetallen, Eisenlegierungen, Prozessschlacken, Stahl sowie zur Schlackenreinigung. Die Elektroöfen können ausgebildet sein als Elektro-Reduktionsöfen, als Elektro-Niederschachtöfen oder als Lichtbogenöfen.

[0003] Ein derartiger elektronischer Schaltkreis zum Speisen eines Wechselstrom-Elektroofens ist aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 2 034 874 bekannt. Der dort offenbarte elektronische Schaltkreis ist zwischen ein Stromnetz und die mindestens eine Elektrode des Elektroofens geschaltet. Er umfasst eine Reihenschaltung bestehend aus einem Ein-/Aus-Schalter für den Elektroofen, einem Transformator zum Bereitstellen einer Speisespannung für den Elektroofen aus dem Stromnetz und einem zwischen den Transformator und die Elektrode geschalteten Wechselstromsteller zum Regeln des Stromes durch die Elektrode.

[0004] Ein Wechselstromsteller besteht typischerweise aus zwei antiparallel geschalteten Thyristoren und realisiert die Stromregelung in Form einer Phasenschnittssteuerung. Dabei sind die Thyristoren, welche den Leistungsteil des Stromstellers realisieren, typischerweise auf den gesamten Arbeitsbereich des Elektroofens, das heißt einen sehr großen Strombereich, ausgelegt. Speziell bei leistungsstarken Öfen, welche mit großen Speisespannungen betrieben werden, sind aufgrund der hohen Thyristor-Sperrspannungen in der Regel sehr teure Baureihen von Thyristoren erforderlich. Thyristoren mit großen Sperrspannungen können jedoch in der Regel keine großen Ströme schalten; zum Schalten großer Ströme, wie sie bei bestimmten Betriebszuständen, insbesondere bei einem Widerstandsbetrieb, des Elektroofens durchaus auftreten können, müssen deshalb viele einzelne Thyristoren oder ganze Wechselstromsteller parallel geschaltet werden. Nur so lassen sich dann die bei zumindest einzelnen Betriebszuständen erforderlichen hohen Elektrodenströme führen. Um einen zuverlässigen Betrieb des Elektroofens in allen Betriebszuständen, insbesondere auch bei hohen Elektrodenströmen zu gewährleisten, sind deshalb traditionell teure und aufwändige Stromrichterschaltungen erforderlich.

[0005] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen bekannten elektronischen Schaltkreis und ein Verfahren zum Einspeisen von elektrischer Energie in einen Wechselstrom-Elektroofen konstruktiv einfach und preiswert dahingehend weiterzubilden, dass ein Betrieb des Elektroofens in allen Betriebszuständen, insbesondere auch bei hohen Elektrodenströmen, problemlos möglich ist.

[0006] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des

Patentanspruchs 1 gelöst. Demnach zeichnet sich ein erfindungsgemäßer elektronischer Schaltkreis zum Speisen eines Wechselstrom-Elektroofens aus durch eine Strommesseinrichtung zum Messen des Betrages des durch die Elektrode fließenden Stromes, einen Überbrückungs-Trennschalter, welcher parallel zu dem Wechselstromsteller geschaltet ist, und eine Steuereinrichtung zum Öffnen oder Schließen des Überbrückungs-Trennschalters nach Maßgabe durch den Betrag des durch die Elektrode fließenden Stromes.

[0007] Die genannten kennzeichnenden Merkmale sind sehr einfach und damit preisgünstig zu realisieren. In ihrer beanspruchten Konfiguration ermöglichen sie vorteilhafterweise ein Überbrücken des Wechselstromstellers bei drohender Überlast, das heißt während Betriebszuständen des Elektroofens, welche einen besonders großen Elektrodenstrom erfordern. Vorteilhafterweise erfordern diese Betriebszustände, wie zum Beispiel ein Widerstandsbetrieb mit eingetauchten Elektroden und ohne Lichtbogenanteil, keine spezielle Regelung des Elektrodenstromes durch den Wechselstromsteller; seine Funktion ist dann entbehrlich und wird dann, wie beansprucht, überbrückt. Bei anderen Betriebszuständen des Elektroofens, zum Beispiel während eines Widerstandsbetriebs mit einem Lichtbogenanteil, wird der Überbrückungs-Trennschalter erfindungsgemäß geöffnet, mit der Folge, dass der Elektrodenstrom dann über den Wechselstromsteller geführt wird und durch diesen geregelt werden kann. Typischerweise ist der Betrag des Stromes durch die Elektrode während eines Betriebs mit Lichtbogen geringer als während eines Widerstandsbetriebs ohne Lichtbogen.

[0008] Aufgrund der durch den erfindungsgemäßen Überbrückungs-Trennschalter realisierten Begrenzung des Stromes durch den Wechselstromsteller kann dieser vorteilhafterweise wesentlich kleiner dimensioniert und einfacher und preiswerter hergestellt werden, ohne dass damit eine Einschränkung für den Betrieb des Elektroofens verbunden wäre.

[0009] Das Vorsehen von zusätzlichen Trennschaltern unmittelbar vor und hinter dem Wechselstromsteller, aber noch zwischen den Anschlüssen des Überbrückungs-Trennschalters, bietet den Vorteil, dass bei geschlossenem Überbrückungs-Trennschalter, das heißt wenn der Wechselstromsteller überbrückt wird, dieser zum Beispiel zu Wartungszwecken aus dem elektronischen Schaltkreis entnommen werden kann, ohne dass der Elektrodenstrom und damit der Betrieb des Elektroofens unterbrochen werden müsste.

[0010] Durch das erfindungsgemäße Vorsehen des Überbrückungs-Trennschalters wird der elektronische Schaltkreis an unterschiedliche Betriebszustände des Elektroofens, wie sie sich aufgrund metallurgischer Anforderungen ergeben, sehr einfach und preisgünstig angepasst.

[0011] Die oben genannte Aufgabe wird weiterhin durch ein beanspruchtes Verfahren zum Einspeisen von elektrischer Energie in einen Wechselstrom-Elektroofen

beziehungsweise in dessen Elektrode gelöst. Die Vorteile dieses Verfahrens entsprechen den oben mit Bezug auf den beanspruchten elektronischen Schaltkreis genannten Vorteilen.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen von sowohl dem elektronischen Schaltkreis wie auch dem Verfahren sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] Der Beschreibung sind insgesamt 4 Figuren beigefügt, wobei

Figur 1 den erfindungsgemäßen elektronischen Schaltkreis;

Figur 2 ein typisches Spannungs-Strom-Leistungsdigramm U-I-P-Diagramm für einen Elektroreduktionsofen;

Figur 3 einen Querschnitt durch die Elektrode und Schmelze in einem Elektroofen sowie ein zugehöriges elektrisches Ersatzschaltbild für diesen Abschnitt des Elektrodenstromes; und

Figur 4 das Diagramm nach Figur 2 mit zusätzlich eingezeichneten unterschiedlichen Betriebsbereichen des Elektroofens und eingezeichnetem Stromschwellenwert

zeigt.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend in Form von Ausführungsbeispielen detailliert unter Bezugnahme auf die genannten Figuren beschrieben.

[0015] Typischerweise werden zum Schmelzen von Stahl Elektroöfen mit drei oder sechs Elektroden verwendet. Bei Öfen mit sechs Elektroden werden die Elektroden 11 zur Energieeinbringung in das Ofengefäß 12 jeweils paarig verschaltet. Bei Elektroöfen mit 3 Elektroden 11 werden die Elektroden üblicherweise in Knappsackschaltung angeschlossen, um die Reaktanz der Hochstromleitung zu reduzieren. Alternativ zu der Knappsackschaltung ist jedoch auch eine Sternschaltung der Elektroden möglich.

[0016] Figur 1 zeigt den erfindungsgemäßen elektronischen Schaltkreis zum Einspeisen von elektrischer Energie in einen Elektroofen. Figur 1 zeigt eine einphasige Darstellung; entsprechende Schaltkreise könnten für weitere Phasen vorgesehen sein.

[0017] Die Energieversorgung für den Elektroofen erfolgt üblicherweise aus einem Mittelspannungsnetz 1. Zwischen dem Mittelspannungsnetz und der Elektrode 11 umfasst der elektronische Schaltkreis einen Ofentransformator 6, welcher mit seiner Primärseite dem Mittelspannungsnetz 1, nachfolgend auch Stromnetz genannt, und mit seiner Sekundärseite der Elektrode 11 zugewandt ist. Zwischen dem Stromnetz 1 und der Primärseite des Ofentransformators 6 umfasst der elektronische Schaltkreis eine erste Reihenschaltung umfassend eine Spannungsmesseinrichtung 2, einen Offenleistungsschalter 3 zum Ein- oder Abschalten des Elektro-

ofens, eine Strommeseinrichtung 4, optional einen Stern-/Dreieck-Schalter zum wahlweisen Schalten der Primärwicklung des Ofentransformators in eine Stern- oder Dreieckschaltung sowie einen Überspannungsschutz 13. Der Stern-/Dreieck-Schalter ermöglicht eine Verschiebung des Bemessungsspannungsbereiches des Ofentransformators 6 um zum Beispiel den Faktor 1,73 nach oben oder nach unten.

[0018] Zwischen der Sekundärseite des Ofentransformators 6 und der Elektrode 11 weist der elektronische Schaltkreis im wesentlichen eine zweite Reihenschaltung auf bestehend aus einem ersten Trennschalter 10a, einem Wechselstromsteller 8 und einem zweiten Trennschalter 10b. Die Trennschalter 10a und 10b ermöglichen bei geschlossenem Hochstrom-Trennschalter 9 eine elektrische Trennung bzw. einen Ausbau des Wechselstromstellers 8; zum Beispiel für Wartungsarbeiten, ohne dass der Ofenbetrieb, insbesondere der Widerstandsbetrieb mit eingetauchten Elektroden und ohne Lichtbogenanteil dafür unterbrochen werden müsste. Der Wechselstromsteller 8 ermöglicht eine Regelung des Elektrodenstroms in Form einer Phasenanschnittssteuerung.

[0019] Erfindungsgemäß wurde der elektronische Schaltkreis ergänzt durch einen parallel zu dem Wechselstromsteller 8 und optional auch parallel zu dem ersten und zweiten Trennschalter 10a und 10b geschalteten Überbrückungs-Trennschalter 9, welcher von einer Steuereinrichtung 14 angesteuert wird. Diese steuert den Überbrückungs-Trennschalter 9 nach Maßgabe durch den von der Strommeseinrichtung 4 gemessenen Betrag des durch die Elektrode 11 fließenden Stromes. Die Steuerungseinrichtung 14 kann in Form einer speicherprogrammierten Steuerung, eines Prozessleitsystems oder eines anderen computergestützten Systems realisiert sein.

[0020] Nach dem Aufbau des elektronischen Schaltkreises wird nun die Funktionsweise des Elektroofens im Zusammenwirken mit dem erfindungsgemäßen elektronischen Schaltkreis näher beschrieben.

[0021] Figur 2 zeigt ein typisches Spannungs-Strom-Leistungsdigramm U-I-P-Diagramm für einen Elektroreduktionsofen mit 6 Elektroden. In diesem Diagramm sind Wirkleistungslinien 100 in Abhängigkeit des Sekundärstroms, aufgetragen auf der Ordinatenachse, und der Sekundärspannungen, aufgetragen auf der Abszissenachse, dargestellt. Die Kennlinienschar 200 kennzeichnet den Ofenwiderstand. Die Kurzschlussimpedanz des Elektroofens ist hierbei durch die Kennlinie 300 symbolisiert. Diese Kennlinien in dem Diagramm sind nur für einen konstanten Thyristorzündwinkel gültig. Bei einem größeren oder kleineren Zündwinkel verschieben sich die Kennlinien über die Abszisse.

[0022] Die Kennlinien 4a und 4b zeigen den maximal zulässigen Strom durch die Elektrode in Abhängigkeit der Sekundärspannung bei primärseitiger Sternschaltung der Transformatorwicklungen 4a und bei primärseitiger Dreiecksschaltung der Transformatoren der Trans-

formatorwicklungen 4b. Kennlinie 500 veranschaulicht den maximalen Bemessungsstrom des erfindungsgemäßen Wechselstromrichters 8, das heißt den Stromschwellenwert.

[0023] Typischerweise können bei einem Elektroofen je nach Prozess, Einsatzstoffen und Produkten im Wesentlichen folgende metallurgische Betriebszustände unterschieden werden:

- a) Widerstandsbetrieb mit eingetauchten Elektroden und ohne Lichtbogenanteil;
- b) Widerstandsbetrieb mit nur geringem Lichtbogenanteil; und
- c) Betrieb mit hohem Lichtbogenanteil.

[0024] Diese drei Betriebszustände werden nachfolgend näher erläutert:

[0025] Widerstandsbetrieb mit eingetauchten Elektroden und ohne Lichtbogenanteil.

[0026] Die für den Prozess erforderliche Energie wird über eine Widerstandserwärmung der Schlacke erzeugt. Die Elektroden 11 sind deutlich in die Schlacke eingetaucht, die Eintauchtiefe ist unter anderem abhängig von dem Elektrodendurchmesser; sie liegt jedoch in der Regel über ca. 200 mm. In dieser Betriebsart wird elektrischer Strom durch die Schlacke geleitet, wodurch elektrische Energie aufgrund des elektrischen Widerstandes der Schlacke in Joule'sche Wärme umgewandelt wird, welche eine metallurgische endotherme Reaktion, zum Beispiel Reduktion und Schmelzen, vorantreibt. Der Widerstandsbetrieb mit eingetauchten Elektroden und ohne Lichtbogenanteil ist charakterisiert durch hohe Elektrodenströme und relativ niedrige Sekundärspannungen, die deutlich unterhalb von 1000 V liegen.

[0027] Bei dieser Betriebsart besteht aufgrund der eingetauchten Elektroden keine besondere Anforderung an die Regelung. Der Elektroofen kann deshalb dann auch konventionell, das heißt ohne Stromregelung betrieben werden. Deshalb empfiehlt es sich während dieses Betriebs den Überbrückungs-Trennschalter 9 zu schließen und so den Wechselstromsteller 8 zu überbrücken. Auf diese Weise werden die Leistungshalbleiter, typischerweise Thyristoren, in dem Wechselstromsteller 8 vor zu großen Strömen geschützt.

Widerstandsbetrieb mit nur geringem Lichtbogenanteil

[0028] Der Hauptanteil der für diesen Betrieb des Elektroofens erforderlichen Energie wird über eine Widerstandserwärmung der Schlacke erzeugt. Dabei wird elektrischer Strom durch die Schlacke geleitet, wodurch die elektrische Energie durch den Widerstand der Schlacke in Joule'sche Wärme umgewandelt wird. Die Joule'sche Wärme treibt dabei eine metallurgische endotherme Reaktion, zum Beispiel Reduktion und Schmelzen, voran. Ein zusätzlicher kleinerer Energieeintrag kann durch einen im unteren Bereich der Elektroden oder unter ihnen auftretenden Lichtbogen bewirkt wer-

den. Dies gelingt bei nur minimal eingetauchten Elektroden oder bei einer Elektrodenposition unmittelbar über dem Schlackenbad. Für diese Betriebsweise sind üblicherweise relativ große Stromstärken und vergleichsweise niedrige Spannungen erforderlich; siehe Figur 4, Bereich b). Allerdings sind die Spannungen bei dieser Betriebsart deutlich höher als bei eingetauchten Elektroden. Konkret liegen die Sekundärspannungen typischerweise in einem Bereich um die 1000 V bei Öfen von rund 30 - 50 MW-Leistung.

Widerstandsbetrieb mit hohem Lichtbogenanteil

[0029] Bei dieser Betriebsart erfolgt ein größerer Anteil des Energieeintrags durch Lichtbögen. Die Lichtbögen übertragen ihre Strahlungswärme direkt auf die Möller- und Schlackenschicht des Ofens. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen einer Fahrweise mit offenem Lichtbogen und einer Fahrweise mit abgedecktem Lichtbogen.

[0030] Bei der Fahrweise mit offenem Lichtbogen trifft der Lichtbogen ohne Nutzung der Seiten-Wärmestrahlung auf den Möller Mö bzw. die Schlacke S; siehe Figur 3, wobei N den Bereich des nicht abgedeckten Lichtbogens repräsentiert. In Figur 3 ist auch ein elektrisches Ersatzschaltbild für den elektrischen Pfad durch die Elektrode 11, den Lichtbogen L, die Schlacke S und das geschmolzene Metall 15 aufgezeigt. Bei idealisierender Betrachtung kann der ohmsche Widerstand der Elektrode 11 und des geschmolzenen Metalls 15 zu Null angenommen werden. Es verbleiben dann für den Elektrodenstrom ein ohmscher Widerstand R_L aufgrund des Lichtbogens L und ein ohmscher Widerstand R_S durch die Schlacke S.

[0031] Bei der Fahrweise mit abgedecktem Lichtbogen wird der Randbereich der Elektrode 11 durch Möller Mö teilweise abgedeckt; siehe in Figur 3 den rechten Rand der Elektrode. Neben der Lichtbogenenergie wird ein etwa gleicher oder kleinerer Anteil der eingebrachten Energie über die Widerstandserwärmung in den Elektroden eingetragen. Für die beschriebene Betriebsart mit hohem Lichtbogenanteil sind üblicherweise niedrige Ströme bei hohen Spannungen notwendig; siehe Figur 4 Bereich c).

[0032] Die Spannungen liegen dabei bei Öfen mit Leistungen oberhalb 30-50-MW üblicherweise oberhalb von 1000 V. Es bestehen hohe Anforderungen an die Elektrodenstromregelung aufgrund des nichtlinearen und stochastischen Verhaltens der Lichtbögen mit der Neigung zur Instabilität. Bei der Betriebsart c) wird der gesamte benötigte Elektrodenstrom über den Wechselstromsteller 8 geführt und geregelt. Der Hochstrom-Trennschalter 9 wird hierbei geöffnet.

[0033] Der Übergang zwischen der Betriebsart b) und c) ist fließend. Grundsätzlich gilt, dass erst bei zunehmender Leistungserhöhung durch Erhöhung der Sekundärspannung des Transformators 6, bei zunehmendem Anteil des Lichtbogens L am Energieeintrag, siehe Figur

3, und bei Unterschreiten des Stromschwellenwertes 300 für den Elektrodenstrom der Überbrückungs-Trennschalter 9 geöffnet wird und der erste und zweite Trennschalter 10a, 10b geschlossen werden. Auf diese Weise wird der Wechselstromsteller dann zugeschaltet und dient zur Optimierung des Energieeintrags. Umgekehrt muss der Wechselstromsteller 8 bei einer Absenkung des Energieeintrags durch den Lichtbogen, bei einer Absenkung der Sekundärspannung und bei zunehmendem Elektrodenstrom, das heißt grundsätzlich bei einem Überschreiten des Stromschwellenwertes durch den Elektrodenstrom, wieder rechtzeitig aus dem elektrischen Kreis herausgenommen werden. Grundsätzlich ist der Stromschwellenwert 300 zum Öffnen des Überbrückungs-Trennschalters 9 identisch mit dem Stromschwellenwert zum Schließen des Überbrückungs-Trennschalters. Allerdings sind für die beiden Vorgänge auch unterschiedliche Stromschwellenwerte, zum Beispiel kombiniert in einer Hysterese, denkbar.

[0034] Figur 4 zeigt analog zu Figur 2 ein Beispiel für die Dimensionierung des erfindungsgemäßen elektronischen Schaltkreises zur Energieeinbringung in einen Elektroofen mit 6 Elektroden für einen FeNi-Prozess mit 129 MVA. Genau wie in Figur 2 kennzeichnet auch hier die Kennlinie 300 den maximalen Strom durch den Wechselstromsteller 8 und damit den Stromschwellenwert für die Umschaltung des Überbrückungs-Trennschalters 9. Der Wechselstromsteller 8 wird bei Elektrodenströmen oberhalb dieses Schwellenwertes geschlossen, wodurch der Wechselstromsteller dann elektrisch entlastet wird. Dies hat den Vorteil, dass der Wechselstromsteller 8 insgesamt und insbesondere dessen Leistungshalbleiter erheblich kleiner dimensioniert werden können, wodurch eine einfache und preiswerte Lösung möglich wird.

[0035] Auch wenn die Elektroöfen, insbesondere Elektro-Reduktionsöfen für die Betriebsarten b) und c) ausgelegt sind, so können sie jedoch im Bereich eines Anfahrbetriebs und eines Teillastbetriebs mit geschlossenem Überbrückungs-Trennschalter 9, das heißt mit überbrücktem Wechselstromsteller 8 betrieben werden.

Patentansprüche

1. Elektronischer Schaltkreis zum Einspeisen von elektrischer Energie in mindestens eine Elektrode (11) eines Wechselstrom-Elektroofens, insbesondere zum Schmelzen von Metall, umfassend in Reihe geschaltet:

einen Transformator (6) zum Bereitstellen einer Speisespannung für den Elektroofen aus einem Stromnetz (1); und
einen zwischen den Transformator (6) und die Elektrode (11) geschalteten Wechselstromsteller (8) zum Regeln des Stromes durch die Elektrode (11);

gekennzeichnet durch

eine Strommesseinrichtung (4) zum Messen des Betrags des **durch** die Elektrode fließenden Stromes; einen Überbrückungs-Trennschalter (9), welcher parallel zu dem Wechselstromsteller (8) geschaltet ist; und
eine Steuereinrichtung (14) zum Öffnen oder Schließen des Überbrückungs-Trennschalters (9) nach Maßgabe **durch** den Betrag des **durch** die Elektrode (11) fließenden Stromes.

2. Elektronischer Schaltkreis nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** zwischen den Transformator (6) und den Wechselstromsteller (8) ein erster (10a) und zwischen den Wechselstromsteller (8) und die Elektrode (11) ein zweiter Trennschalter (10b) geschaltet ist.

3. Elektronischer Schaltkreis nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Überbrückungs-Trennschalter (9) so geschaltet ist, dass er die Reihenschaltung aus dem ersten Trennschalter (10a), dem Wechselstromsteller (8) und dem zweiten Trennschalter (10b) überbrückt.

4. Verfahren zum Einspeisen von elektrischer Energie in mindestens eine Elektrode (11) eines Wechselstrom-Elektroofens, insbesondere zum Schmelzen von Metall, umfassend folgende Schritte:

Bereitstellen einer Speisespannung für den Elektroofen aus einem Stromnetz (1); und
Regeln des Stromes durch die Elektrode (11) mit Hilfe eines Wechselstromstellers (8);

gekennzeichnet durch

Messen des Betrags des **durch** die Elektrode fließenden Stromes; und
Überbrücken des Wechselstromstellers **durch** eine Kurzschlussverbindung nach Maßgabe des Betrages des gemessenen Stromes.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Wechselstromsteller (8) dann überbrückt wird, wenn der Betrag des Stromes durch die Elektrode (11) einen vorgegebenen Stromschwellenwert überschreitet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Elektroofen in einem Anfahrbetrieb, einem Warmhaltebetrieb oder einem Widerstandsbetrieb ohne Lichtbogenanteil betrieben wird, wenn der Betrag des Stromes oberhalb des vorgegebenen Stromschwellenwertes liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektroofen in einem Widerstandsbetrieb mit einem Lichtbogenanteil betrieben wird, wenn der Betrag des Stromes unterhalb des vorgegebenen Stromschwellenwertes liegt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wechselstromsteller (8), wenn er überbrückt ist, während des Betriebs des Elektroofens, z.B. zu Wartungszwecken, aus einem elektronischen Schaltkreis zur Speisung der Elektrode ausgebaut werden kann.

Claims

1. Electronic circuit for the supply of electrical energy to a least one electrode (11) of an alternating current electric furnace, particularly for smelting metal, comprising a serial connection of: a transformer (6) for providing a supply voltage for the electric furnace from a power mains (1); and an alternating current controller (8) for regulating the current through the electrode (11); **characterised by** a current measuring device (4) for measuring the amount of the current flowing through the electrode; a bridging-over isolating switch (9) connected in parallel with the alternating current controller (8); and a control device (14) for opening or closing the bridging-over isolating switch (9) depending on the amount of current flowing through the electrode (11).
2. Electronic circuit according to claim 1, **characterised in that** a first isolating switch (10a) is connected between the transformer (6) and the alternating current controller (8) and a second isolating switch (10b) is connected between the alternating current controller (8) and the electrode (11).
3. Electronic circuit according to claim 2, **characterised in that** the bridging-over isolating switch (9) is so connected that it bridges over the serial connection of the first isolating switch (10a), the alternating current controller (8) and the second isolating switch (10b).
4. Method of supplying electrical energy to at least one electrode (11) of an alternating current electric furnace, particularly for smelting metal, comprising the following steps: providing a supply voltage for the electric furnace from a power mains (1); and regulating the current through the electrode (11) with the help of an alternating current controller (8); **characterised by** measuring the amount of the current flowing through the electrode and bridging over the alternating current controller, by a short-circuit con-

nection, depending on the amount of the measure current.

5. Method according to claim 4, **characterised in that** the alternating current controller (8) is bridged over when the amount of current through the electrode (11) exceeds a predetermined current threshold value.
6. Method according to claim 5, **characterised in that** the electric furnace in start-up operation, keeping-warm operation or resistance operation is operated without an arc component when the amount of the current lies above the predetermined current threshold value.
7. Method according to claim 7, **characterised in that** the electric furnace is operated in a resistance operation with an arc component when the amount of current lies below the predetermined current threshold value.
8. Method according to any one of claims 4 to 7, **characterised in that** the alternating current controller (8) can when it is bridged over, be removed during operation of the electric furnace, for example for maintenance purposes, from an electronic circuit for supply the electrode

Revendications

1. Circuit électronique pour alimenter de l'énergie électrique dans au moins une électrode (11) d'un four électrique à courant alternatif, notamment pour la fusion de métal, comprenant, montés en ligne :

un transformateur (6) pour la mise à disposition d'une tension d'alimentation pour le four électrique à partir d'un réseau électrique (1); et un gradateur de courant alternatif (8) monté entre le transformateur (6) et l'électrode (11), pour le réglage du courant à travers l'électrode (11) ;

caractérisé par

un dispositif de mesure du courant (4) pour mesurer la valeur du courant circulant à travers l'électrode ; un sectionneur de pontage (9) qui est monté à la parallèle du gradateur de courant alternatif (8) ; et un dispositif de commande (14), pour ouvrir et fermer le sectionneur de pontage (9), selon les critères de la valeur du courant circulant à travers l'électrode.

2. Circuit électronique selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**entre le transformateur (6) et le gradateur de courant alternatif (8) un premier (10a) et entre le gradateur de courant alternatif (8)

et l'électrode (11), un deuxième sectionneur (10b) est monté.

3. Circuit électronique selon la revendication 2,
caractérisé en ce que le sectionneur de pontage (9) est monté de sorte à ponter le montage en série du premier sectionneur (10a), du gradateur de courant alternatif (8) et du deuxième sectionneur (10b). 5

4. Procédé pour alimenter de l'énergie électrique dans au moins une électrode (11) d'un four électrique à courant alternatif, notamment pour la fusion de métal, comprenant les étapes suivantes : 10

mise à disposition d'une tension d'alimentation pour le four électrique à partir d'un réseau électrique (1); et 15

réglage du courant à travers l'électrode (11) à l'aide d'un gradateur de courant alternatif (8) ; 20

caractérisé par
 la mesure de la valeur du courant circulant à travers l'électrode ; et le pontage du gradateur de courant alternatif par une liaison par court-circuit selon les critères de la valeur du courant mesuré. 25

5. Procédé selon la revendication 4,
caractérisé en ce que,
 le gradateur de courant alternatif (8) est ponté lorsque la valeur du courant à travers l'électrode (11) dépasse une valeur seuil prédéfinie pour le courant. 30

6. Procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce que,
 on fait fonctionner le four électrique en un mode de maintien en température ou en un mode de résistance sans pourcentage d'arc électrique si la valeur du courant est supérieure à la valeur seuil prédéfinie pour le courant. 35

40

7. Procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce que,
 on fait fonctionner le four électrique en un mode résistance avec un pourcentage d'arc électrique si la valeur du courant est inférieure à la valeur seuil prédéfinie pour le courant. 45

50

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, **caractérisé en ce que,**
 pendant le fonctionnement du four électrique, lorsqu'il est ponté, par exemple à des fins de maintenance, le gradateur de courant alternatif (8) peut être démonté d'un circuit électronique pour l'alimentation de l'électrode. 55

50

Fig. 1

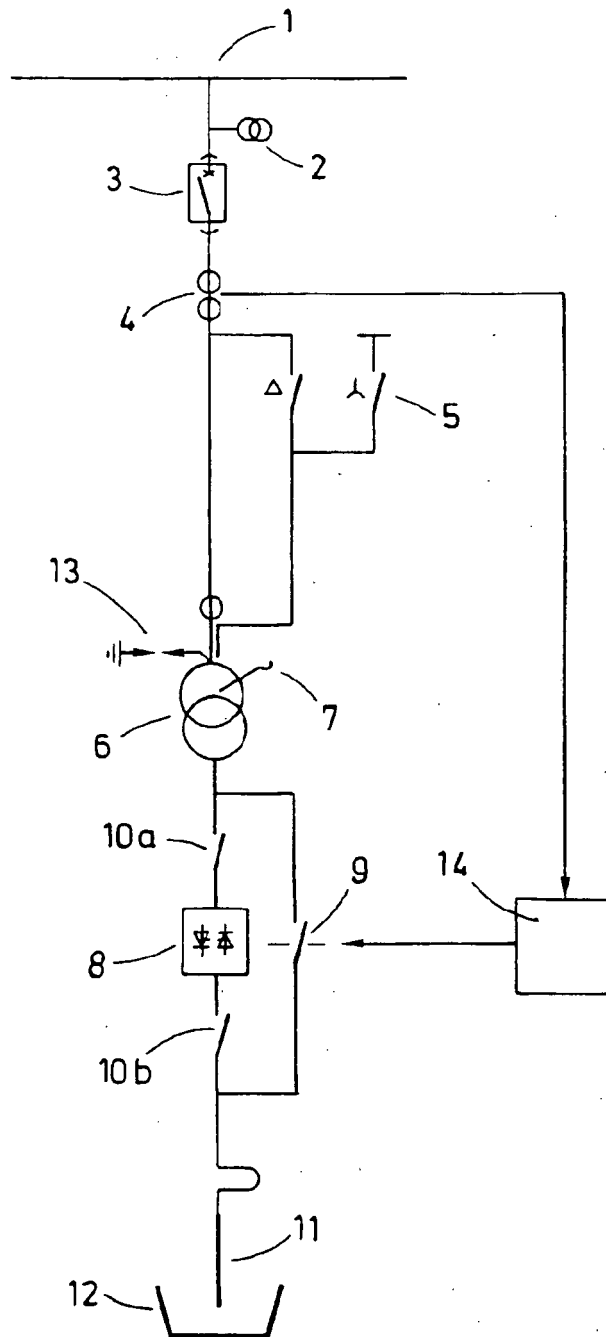


Fig. 2

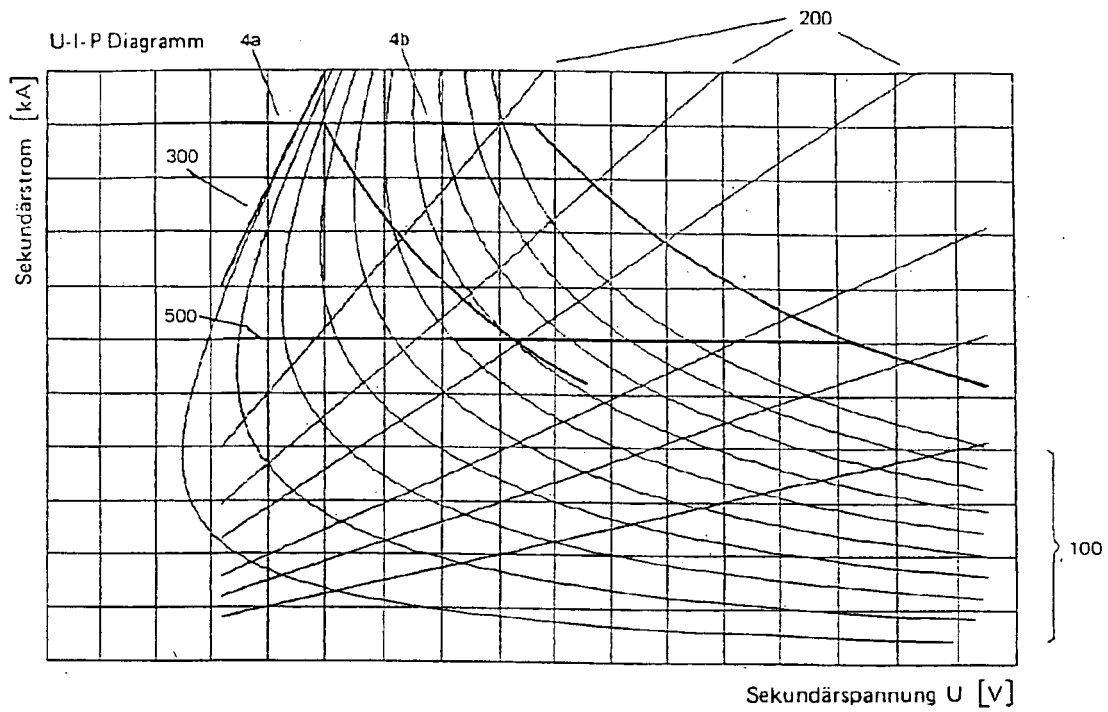


Fig. 3

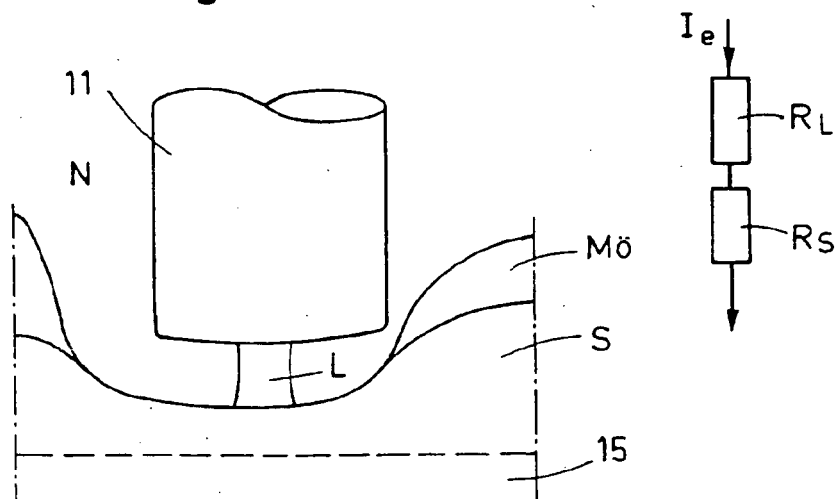
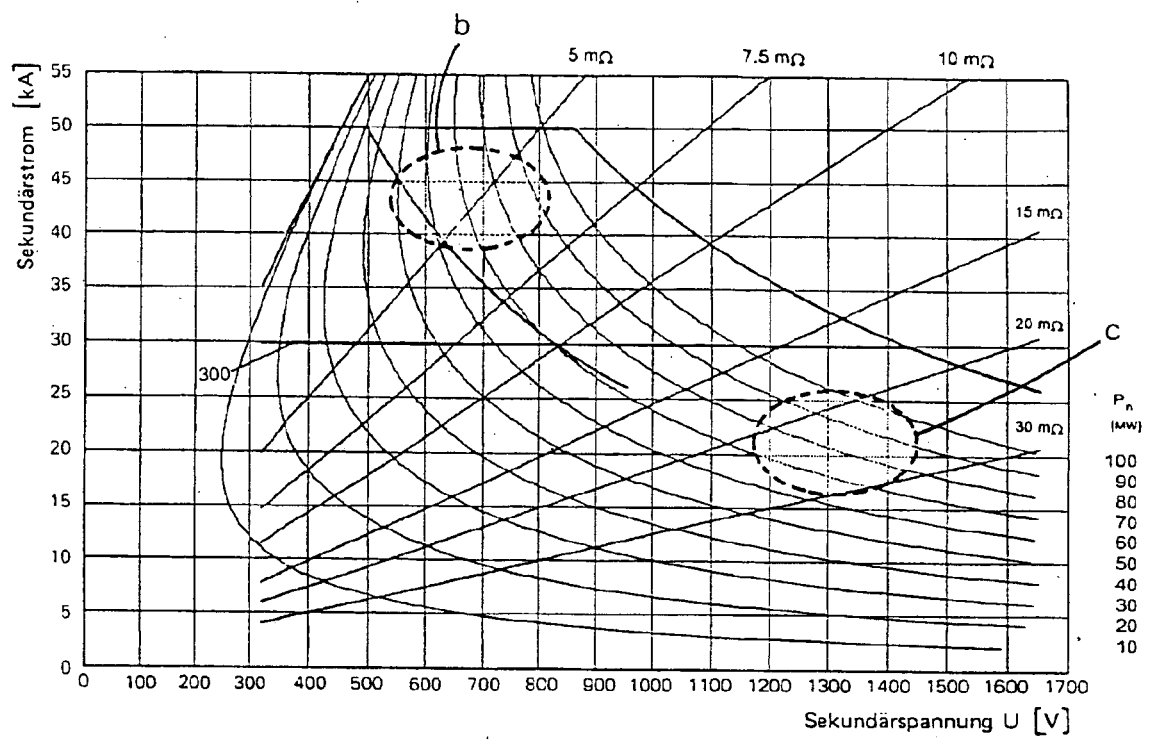


Fig. 4



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

- DE 2034874 [0003]