

(19)



(11)

**EP 4 436 315 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**25.09.2024 Patentblatt 2024/39**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H05B 7/144 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **23163421.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H05B 7/144**

(22) Anmeldetag: **22.03.2023**

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

(72) Erfinder: **RIEDINGER, Dirk**  
**77694 Kehl (DE)**

(74) Vertreter: **Kramer Barske Schmidtchen**  
**Patentanwälte PartG mbB**  
**European Patent Attorneys**  
**Landsberger Strasse 300**  
**80687 München (DE)**

(71) Anmelder: **Badische Stahl-Engineering GmbH**  
**77694 Kehl (DE)**

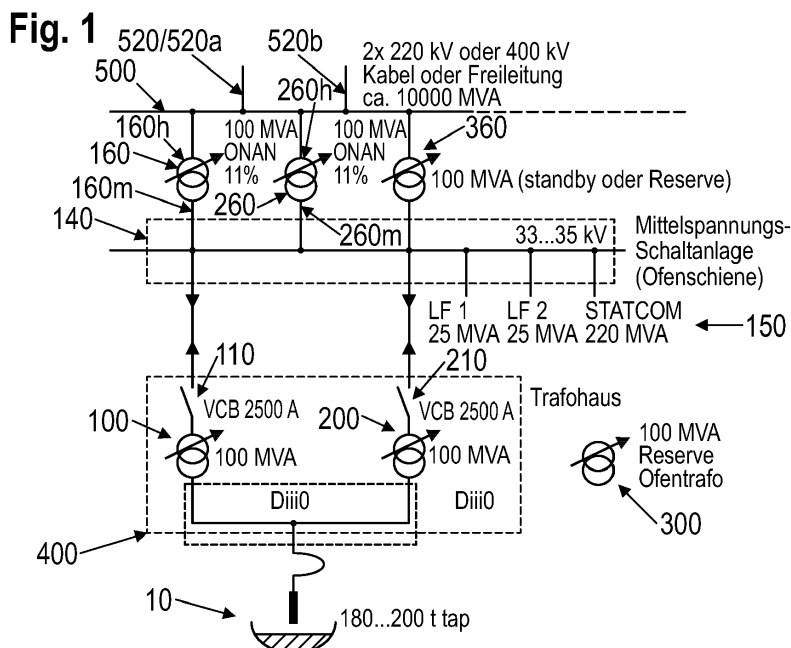
Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

**(54) STROMVERSORGUNGSEINRICHTUNG FÜR EINE METALLURGISCHE VORRICHTUNG**

(57) Es wird eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, die eine maximale Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA aufweist, wie einen elektrischen Lichtbogenofen mit einer Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA, angegeben, bei der wenigstens zwei baulich gleichwertige Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA,

die eine Dreiecksverschaltung (D) auf der Eingangsseite und eine externe Verschaltung (iii) auf der Ausgangsseite aufweisen, und einer niederspannungsseitigen Parallelschaltung (400) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse der Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) mit symmetrisierten externen Dreieck-Verschaltungen mittels wassergekühlter Hochstromleiter, die weiterhin elektrisch symmetrisiert mit Elektroden der metallurgischen Vorrichtung (10) verbunden sind, vorgesehen sind.

**EP 4 436 315 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last wie einen elektrischen Lichtbogenofen mit einer Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA.

**[0002]** Stromversorgungseinrichtungen für mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtungen sind bekannt aus der EP 3 943 853 A1 (US 11,320,203 B2), WO 2021/130791 A1, US 11,346,605 B2, US 2022/0412651 A1, WO 2021/161355 A1, EP 4 110 015 A1, und WO 2015/176899 A1.

**[0003]** In der europäischen Stahlindustrie hat im Zuge der Dekarbonisierung eine Transformation von einer integrierten Route der Stahlherstellung mit Hochöfen und Konvertern hin zu einer Elektrostahlroute mit Lichtbogenöfen für Schrott und H<sub>2</sub> basiertem direkt reduziertem Eisen/Eisenschwamm (auch DRI = Direct Reduction Iron genannt) in brikettierter Form (auch HBI = Hot Briquetted Iron genannt) begonnen. Derzeit beträgt der Anteil der Elektrostahlroute z.B. in Deutschland ca. 30%. Dieser Anteil soll wegen der angestrebten CO<sub>2</sub>-Reduktion bis Mitte der 2030er Jahre möglichst auf 100% anwachsen. Die derzeitigen Abstichmassen der Konverter liegen bei ca. 150 t bis 250 t und sind wegen der notwendigen Beibehaltung der installierten Pfannen und Giessanlagen und wegen der notwendigen Produktivität nicht veränderbar. Das hat Konsequenzen für die Auslegung der elektrischen Lichtbogenöfen, die die Konverter ersetzen sollen.

**[0004]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Stromversorgung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last wie einen elektrischen Lichtbogenofen zu verbessern, insbesondere für einen elektrischen Lichtbogenofen, der in einer bestehenden Anlage mit einem Hochofen und/oder Konverter zur Verwendung kommen soll.

**[0005]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1.

**[0006]** Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0007]** In der Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1 sind zwei, im Verhältnis zur benötigten Gesamtleistung kleine, Ofentransformatoren parallel geschaltet.

**[0008]** Baulich gleichwertig bedeutet bei den Transformatoren, dass die Transformatoren sich in ihren Betriebseigenschaften nicht unterscheiden und deren Masse, Abmessungen und Anschlüsse weitestgehend gleich sind. Das ist natürlich bei baugleichen (identischen) Transformatoren der Fall. Daher sind die baulich gleichwertigen Transformatoren vorzugsweise baugleich (identisch). Aber Transformatoren mit geringen Unterschieden, die entweder nicht zu unterschiedlichen Betriebseigenschaften führen, werden von baulich gleichwertigen Transformatoren erfasst. Auch geringe Unterschiede in den Massen, Abmessungen oder Anschlüssen, die die Austauschbarkeit der Transformatoren nicht

behindern, werden von baulich gleichartig erfasst.

**[0009]** Die beiden baulich gleichwertigen Ofentransformatoren sind mit offener Sekundärwicklung ausgeführt und extern im Dreieck verschaltet (Schaltgruppe Diii0).

**[0010]** Die beiden externen Dreieck-Verschaltungen sind an ihren Eckpunkten parallelgeschaltet, also in bestimmter Weise über weitere Leiter verbunden. Daher führen die Leiter bis zur Verbindung dieser Leiter auf jeder Seite nur den halben Elektrodenstrom.

**[0011]** Die Leiterführung der niederspannungsseitigen Parallelschaltung, also die Anordnung bzw. Führung der Leiter im Hochstromsystem, kann daher geringer dimensioniert werden als in dem Fall, in dem gesamte Elektrodenstrom auf ganzer Länge durch einen Leiter geführt werden muss.

**[0012]** Eine solche Auslegung erfolgt z.B. mit einer Simulation des elektrischen Netzwerks über eine spezielle Methode zur Feldberechnung elektromagnetischer Felder. So lassen sich die Impedanzen des gesamten Hochstromsystems mit grosser Genauigkeit mit allen Stromverdrängungseffekten berechnen und symmetrisch auslegen.

**[0013]** Eine solche symmetrische Auslegung führt im Mittel zu gleichen Eigenschaften der drei Lichtbögen (Leistung, Strahlung, Länge) und hat signifikante Vorteile im Betrieb.

**[0014]** Da die beiden baulich gleichwertigen Ofentransformatoren mit offener Sekundärwicklung ausgeführt und extern im Dreieck verschaltet (Schaltgruppe Diii0) sind, sind die Ofentransformatoren baulich einfacher und damit zuverlässiger, leichter, kleiner.

**[0015]** Ein weiterer Vorteil einer solchen Parallelschaltung aus zwei baulich gleichwertigen oder baugleichen kleineren Ofentransformatoren gegenüber einem doppelt so leistungsfähigen Ofentransformator liegt darin, dass die Herstellung von Ofentransformatoren mit 90 bis 150MVA Routine ist im Vergleich zu einer Herstellung von einzelnen Ofentransformatoren mit einer Leistung von 180MVA und mehr. Es gibt mehrere Hersteller, die solche Standardgrößen bis 120 MVA und manche bis 150MVA bauen können.

**[0016]** Solche Transformatoren mit vergleichsweise geringerer aber immer noch hoher Leistung größer oder gleich 90 MVA sind außerdem unkomplizierter, weil sie z.B. nur einen Eisenkern mit Wicklungen und keinen Booster aufweisen. Die ganze interne Verschaltung ist einfacher. Das verbessert die Zuverlässigkeit gegenüber einem einzelnen Transformator mit der benötigten Leistung.

**[0017]** Die Abmessungen und die Masse der einzelnen Transformatoren mit vergleichsweise geringerer aber immer noch hoher Leistung größer oder gleich 90 MVA sind wesentlich geringer als die eines einzelnen großen Ofentransformators. Ein 100 MVA Ofentransformator hat ca. 130 t Gesamtmasse und ist relativ leicht transportierbar sowie ein- und ausbaubar, meistens mit dem Chargierkran des entsprechenden Stahlwerkes.

**[0018]** Ofentransformatoren, die mehr oder minder einem Standardmodell entsprechen, sind kostengünstiger als speziell gefertigte und sehr große Transformatoren. Die Fertigungskosten skalieren nicht linear mit der Leistung oder der Masse.

**[0019]** Da es sehr unwahrscheinlich ist, dass beide baulich gleichwertigen Ofentransformatoren zur gleichen Zeit ausfallen, reicht für die übliche Bevorratung eines Ersatztransformators ein baulich gleichwertiger Reservetransformator aus. D.h., es reichen z.B. anstatt zwei gigantischer 200 MVA Ofentransformatoren, also einer für den Betrieb und einer als Reserve, drei 100 MVA Standard-Ofentransformatoren, also zwei für den Betrieb und einer als Reserve, aus. Die Kosten für drei kleinere Standard-Ofentransformatoren sind niedriger als die Kosten für zwei vergleichsweise sehr große Nichtstandard-Ofentransformatoren. Darüber hinaus ist der Austausch eines defekten Transformators gegen den Ersatztransformator ebenfalls viel einfacher als bei einem einzelnen Transformator mit einer doppelt so hohen Leistung  $\geq 180\text{MVA}$ .

**[0020]** Wenn die beiden Ofentransformatoren so angeordnet sind, dass sie sich mit den niederspannungsseitigen Anschlüssen gegenüberstehen, spart das Platz und ermöglicht wiederum einen noch einfacheren Austausch im Falle eines Defekts.

**[0021]** Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, nämlich einen elektrischen Lichtbogenofen, nach einer ersten Ausführungsform mit einer Mittelspannungssofenschiene und einer Leistungsaufnahme von 200 MVA;

Fig. 2 eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, nämlich einen elektrischen Lichtbogenofen, nach einer zweiten Ausführungsform mit zwei Mittelspannungssofenschienen und einer Leistungsaufnahme von 280 MVA;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der elektrischen Verbindungen eines Teils einer Stromversorgungseinrichtung für einen elektrischen Lichtbogenofen mit zwei parallel geschalteten baulich gleichwertigen Ofentransformatoren und einem elektrischen Lichtbogenofen in einer Ausführungsform;

Fig. 4 ein sekundärseitiges elektrisches Ersatzschaltbild (ESB) mit parallel geschalteten Ofentransformatoren;

Fig. 5 eine elektrisch symmetrische Anordnung wassergekühlter Hochstromleiter im sekundärseitigen Hochstromsystem einer niederspannungsseitigen Parallelschaltung der ausgangssseitigen Niederspannungsanschlüsse zweier baulich gleichwertiger Lichtbogenofen-Transformatoren mit symmetrisierten externen Dreieck-Verschaltungen; und

Fig. 6 eine schematische Darstellung der elektrischen Verbindungen eines Teils einer Stromversorgungseinrichtung, die der Darstellung aus Fig. 3 mit Bezugszeichen aus Fig. 5 entspricht.

**[0022]** Fig. 1 zeigt eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, nämlich einen elektrischen Lichtbogenofen, nach einer ersten Ausführungsform in einer vereinfachten Einlinienansicht. In der Einlinienansicht sind die drei Phasen der Drehspannung durch nur eine Linie anstelle dreier Linien dargestellt. In der gesamten Anmeldung und in allen Ausführungsformen der Erfindung sind die Eingangs- und Ausgangsspannungen der Transformatoren immer die drei, um  $120^\circ$  versetzten Phasen, einer Drehspannung, außer es wird ausdrücklich etwas anderes beschrieben oder es ist zwangsweise anders wie bei der Ausgangsspannung für einen Ausgang einer einzelnen Phase.

**[0023]** Die Stromversorgungseinrichtung weist eine Hochspannungsversorgungsschiene 500 auf, die mit der allgemeinen elektrischen Energieversorgung wie z.B. einer 400 kV Leitung 520 oder zwei 220 kV Leitungen 520a, 520b verbunden ist. Die allgemeine elektrische Energieversorgung liefert (jeweils) eine Drehspannung auf der 400 kV Leitung 520 bzw. auf den beiden 220 kV Leitungen 520a, 520b. Die Stromversorgungseinrichtung weist wenigstens zwei baulich gleichwertige Versorgungs-Transformatoren 160, 260 auf, die jeweils einen eingangsseitigen Hochspannungsanschluss 160h, 260h für die drei Phasen und einen ausgangssseitigen Mittelspannungsanschlusses 160m, 260m für die drei Phasen aufweisen. Die Eingänge des eingangsseitigen Hochspannungsanschlusses 160h, 260h sind mit der Hochspannungsversorgungsschiene 500 verbunden.

**[0024]** Die Stromversorgungseinrichtung weist eine Mittelspannungssofenschiene 140 auf. Die Ausgänge des ausgangssseitigen Mittelspannungsanschlusses 160h, 260h der Versorgungs-Transformatoren 160, 260 sind mit der Mittelspannungssofenschiene 140 verbunden.

**[0025]** Die Stromversorgungseinrichtung weist zwei baulich gleichwertige, hier baugleiche (identische), Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 auf.

**[0026]** Fig. 3 zeigt schematisch die elektrischen Verbindungen eines Teils der Stromversorgungseinrichtung für einen elektrischen Lichtbogenofen mit zwei ausgangssseitig parallel geschalteten Ofentransformatoren und einem elektrischen Lichtbogenofen in einer Ausführungsform;

rungsform. Jeder der beiden Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 weist jeweils einen eingangsseitigen Dreiphasen-Mittelspannungsanschluss 1U-100, 1V-100, 1W-100 bzw. 1U-200, 1V-200, 1W-200 auf, wie in Fig. 3 gezeigt ist. Jeder der beiden Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 weist jeweils eine Dreiecksverschaltung D auf der Eingangsseite auf. Die Mittelspannungsofenschiene 140 ist mit den eingangsseitigen Drei-Phasen-Mittelspannungsanschlüssen/-eingängen 1U-100, 1V-100, 1W-100 und 1U-200, 1V-200, 1W-200 der Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 verbunden.

**[0027]** Eine solche Mittelspannungsofenschiene ist eine Schaltanlage für Mittelspannung, wie sie grundsätzlich auch im Stand der Technik vorhanden ist, aber in diesem Fall für zwei Ofentransformatoren.

**[0028]** Jeder der beiden Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 weist jeweils einen ausgangsseitigen Dreiphasen-Niederspannungsanschluss 2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100 bzw. 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200 und eine externe Verschaltung (iii) auf der Ausgangsseite auf. Das bedeutet, die beiden Wicklungsenden, also Wicklungsanfang U1, V1, W1 und Wicklungsende U2, V2, W2, aller drei Wicklungen U, V, W auf der der Sekundärseite/Ausgangsseite (Niederspannungsseite) der Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 sind nach außen aus dem Transformator geführt, wird durch iii gekennzeichnet ist. Diese Art des Anschlusses bzw. des Ausgangs wird auch als offene Wicklungen bezeichnet.

**[0029]** Die ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse 2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100, 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200 der Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 sind in einer niederspannungsseitigen Parallelschaltung 400 extern, also außerhalb der Transformatoren, so im Dreieck verbunden (verschaltet), dass die Stromflüsse symmetrisiert werden. Dazu werden die Impedanzen des gesamten Hochstromsystems, also der niederspannungsseitigen Verbindungen, in denen große (hohe) Stromstärken fließen, mit allen Stromverdrängungseffekten berechnet und symmetrisch ausgelegt.

**[0030]** Diese externen Dreieck-Verschaltungen sind mittels wassergekühlter Hochstromleiter verwirklicht, die mit drei Elektroden 11, 12, 13 der metallurgischen Vorrichtung (10) verbunden sind, wie weiter unten noch eingehender beschrieben wird.

**[0031]** Im Einzelnen sind, wie in Fig. 3 dargestellt ist, ein (erster) Wicklungsanfang 2U1-100 einer ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 der beiden Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 mit einem (dritten) Wicklungsende 2W2-100 einer dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100, ein (erstes) Wicklungsende 2U2-100 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des ersten Lichtbogenofen-Transfor-

matoren 100 mit einem (zweiten) Wicklungsanfang 2V1-100 einer zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100, und ein (zweites) Wicklungsende 2V2-100 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 mit einem (dritten) Wicklungsanfang 2W1-100 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 verbunden.

**[0032]** In derselben Weise sind bei dem zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 der beiden Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200, wie ebenfalls in Fig. 3 gezeigt ist, ein (erster) Wicklungsanfang 2U1-200 einer ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 mit einem (dritten) Wicklungsende 2W2-200 einer dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200, ein (erstes) Wicklungsende 2U2-200 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 mit einem (zweiten) Wicklungsanfang 2V1-200 einer zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200, und ein (zweites) Wicklungsende 2V2-200 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 mit einem (dritten) Wicklungsanfang 2W1-200 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 verbunden.

**[0033]** Die entsprechend paarweise miteinander verbundenen Niederspannungsanschlüsse bzw. Wicklungsanfänge und Wicklungsenden 2U1-100 und 2W2-100, 2U2-100 und 2V1-100, 2V2-100 und 2W1-100 des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 sind mit den entsprechenden paarweise miteinander verbundenen Niederspannungsanschlüssen bzw. Wicklungsanfängen und Wicklungsenden 2U1-200 und 2W2-200, 2U2-200 und 2V1-200, 2V2-200 und 2W1-200 des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 parallel geschaltet (verbunden), d.h. der Wicklungsanfang 2U1-100 und das Wicklungsende 2W2-100 sind in einem Knoten 2 parallel geschaltet mit dem Wicklungsanfang 2U1-200 und dem Wicklungsende 2W2-200, das Wicklungsende 2U2-100 und der Wicklungsanfang 2V1-100 sind in einem Knoten 1 parallel geschaltet mit dem Wicklungsende 2U2-200 und dem Wicklungsanfang 2V1-200, und das Wicklungsende 2V2-100 und der Wicklungsanfang 2W1-100 sind in einem Knoten 3 parallel geschaltet mit dem Wicklungsende 2V2-200 und dem Wicklungsanfang 2W1-200, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. In dieser niederspannungsseitigen Parallelschaltung 400 außerhalb der Transformatoren liegen die entsprechenden Spannungen an den Knoten 1, 2 und 3.

**[0034]** Ein elektrischer Lichtbogenofen 10, der mit Drehstrom betrieben wird, weist drei Elektroden 11, 12, 13 auf. Diese Knoten 1, 2, 3 der Parallelschaltung 400 sind über Leitungen 111, 112, 133 mit den Elektroden 11, 12, 13 des elektrischen Lichtbogenofens 10 verbunden.

**[0035]** Die Parallelschaltung 400 und der elektrische

Lichtbogenofen 10 sind in Fig. 1 schematisch dargestellt. In Fig. 1 sind entsprechend der Darstellung in Einliniensicht jeweils nur eine Ausgangsschluss der Ofentransformatoren 100, 200 und eine Elektrode des Lichtbogenofens 10 und eine Leitung dargestellt, aber es sind natürlich entsprechend des Drehstrombetriebs jeweils drei vorhanden.

**[0036]** Fig. 4 zeigt ein sekundärseitiges elektrisches Ersatzschaltbild der parallel geschalteten Ofentransformatoren aus Fig. 1 und 3. Es sind pro Dreieckszweig der externen sekundärseitigen Transformatorverschaltung jeweils zwei Spannungsquellen  $U_{12-1}$ ,  $U_{12-2}$ , und  $U_{23-1}$ ,  $U_{23-2}$ , und  $U_{31-1}$ ,  $U_{31-2}$ , vorhanden anstatt nur jeweils eine Spannungsquelle wie im Normalfall mit nur einem Ofentransformator. Die in Fig. 4 neben den Spannungsquellen gezeigten Kästen stellen die entkoppelten Impedanzen der Hochstromleiter dar. Die mit I 11, I 12, und I 13 bezeichneten Kästen stellen die Impedanzen der entsprechenden Elektroden 11, 12, und 13 und deren Verbindungsleitungen 111, 112, 113 zu den Knoten 1, 2, und 3 dar. Der mit 0 bezeichnete Knoten stellt den elektrischen Sternpunkt im Schmelzgut dar, welches leitend verbunden ist mit der Erdung des Ofengefäßes des Lichtbogenofens 10.

**[0037]** Die Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung aus Fig. 1 weist die beiden baulich gleichwertigen, vorzugsweise identischen Versorgungs-Transformatoren 160, 260 auf, die jeweils eine Leistung von 100 MVA haben, welche sich auf die Kühlungsart ONAN (Oil Natural Air Natural) bezieht. Die Kühlungsart ONAF (Oil Natural Air Forced), mit der diese Transformatoren auch ausgestattet sind (installierte Ventilatoren), vergrößert die abnehmbare Leistung um einen spezifizierten Wert, z.B. +20% oder +30%.

**[0038]** Ein dritter baulich gleichwertiger, vorzugsweise identischer Versorgungs-Transformator 360 ist bevorzugt als Reserve aufgestellt, damit bei Ausfall eines der beiden anderen Versorgungs-Transformatoren 160, 260 dieser mit minimaler Ausfallzeit durch den dritten Versorgungs-Transformator 360 ersetzt werden kann.

**[0039]** Die Versorgungs-Transformatoren 160, 260 transformieren die Eingangsspannung von 400 kV oder 220 kV auf eine für den Betrieb von Ofentransformatoren übliche Mittelspannung von 33 kV bis 35 kV an ihren ausgangsseitigen Mittelspannungsanschlüssen 160m, 260m für die drei Phasen. Diese sind mit der Mittelspannungsofenschiene 140 verbunden.

**[0040]** In solch einer Einspeisung hat man es nur mit Standardkomponenten zu tun, ein offensichtlicher Vorteil für die elektrische Instandhaltung. Ein halbleiterbasierter Blindstromkompensator ist zur Kompensation von Blindströmen mit der Mittelspannungsofenschiene 140 verbunden, und z.B. als STATCOM-Kompensation 150 mit 220 MVA ausgeführt (Static Synchronous Compensator = STATCOM). Der STATCOM 150 ist mit der Mittelspannungsofenschiene 140 verbunden und kann z.B. optional und vorteilhaft auch dazu verwendet werden, die Blind-

ströme der allgemeinen Schiene (Walzwerke, etc.) in einem gewissen Ausmass mitzukompensieren, wenn diese auf der gleichen Hochspannungsschiene wie die Lichtbogenöfen angeschlossen ist. Die STATCOM ist eine bewährte Technologie und in der Lage, die Anforderungen an Grenzwerte der Energieversorgung zu erfüllen (Flicker, Oberschwingungen, Unsymmetrie).

**[0041]** An der Mittelspannungsofenschiene 140 können auch einer oder mehrere Pfannenöfen (Ladle Furnace = LF) angeschlossen sein. Genauer gesagt sind ggf. ein oder mehrere entsprechende Pfannenofentransformatoren für den oder die Pfannenöfen an der Mittelspannungsofenschiene 140 angeschlossen. Je nach Leistung der Pfannenöfen muss ggf. die Leistung der Versorgungs-Transformatoren 160, 260 angepasst werden.

**[0042]** Die Stromversorgungseinrichtung weist die zwei baulich gleichwertigen, vorzugsweise identischen Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 auf, die jeweils eine Leistung von 100 MVA haben. Die Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 sind OFWF (Oil Forced Water Forced) gekühlt. Ein dritter baulich gleichwertiger, vorzugsweise identischer Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformator 300 ist bevorzugt als Reserve aufgestellt.

**[0043]** Jeder der Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 wird separat eingespeist und hat einen Abgangsschalter an der gemeinsamen Mittelspannungsofenschiene 140 sowie einen Ofenschalter 110, 210.

**[0044]** Idealerweise wird ein Ofenschalter eingesetzt, der den starken Einschaltstromstoss des Transformators vermeidet, welcher sonst immer auftritt. Das verlängert die Lebensdauer der Trafos und entlastet die ganze Einspeisung.

**[0045]** In der gezeigten Ausführungsform sind die zwei Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 jeweils über einen Ofenschalter wie z.B. VCB-Schalter (VCB = Vacuum Circuit Breaker) 110, 210 an die Mittelspannungsofenschiene 140 angeschlossen.

**[0046]** Übliche Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren weisen Stufenschalter auf, mit denen die Sekundärspannungen des Transformators am Hochstromsystem unter Last eingestellt werden können. Die Synchronisierung der Stufenschalter beider Lichtbogenofen-Transformatoren ist sicherzustellen. Das ist steuerungstechnisch kein Problem.

**[0047]** Die beiden Ofentransformatoren sind bevorzugt so angeordnet, dass die niederspannungsseitigen Anschlüsse einander zwischen den Ofentransformatoren gegenüber liegen, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. Die Ofentransformatoren sind dabei auf einer lateralen Seite des Lichtbogenofens 10 positioniert. Das spart nicht nur Platz sondern erleichtert auch den Austausch. In Fig. 3 sind Schienen 100s für den einen Ofentransformator 100 gezeigt, mittels derer der entsprechende Ofentransformator 100 in seine Position gefahren werden kann. In Fig. 3 sind Schienen 200s für den anderen Ofentransformator 200 gezeigt, mittels derer der entsprechende an-

dere Ofentransformator 200 in seine Position gefahren werden kann, die der Position des einen Ofentransformator 100 wie beschrieben auf der einen lateralen Seite des Ofens 10 gegenüberliegt. In Fig. 3 sind mit 100k und 200k Kühlsysteme gekennzeichnet. Bei den in Fig. 3 gezeigten Ofentransformatoren 100, 200 sind die Kühlsysteme 100k und 200k an einer lateralen Seite der Ofentransformatoren 100, 200 angeordnet, aber es könne selbstverständlich auch der Ofentransformatoren 100, 200 verwendet werden bei denen beidseitig oder an anderer Stelle Kühlsysteme vorhanden sind.

**[0048]** Theoretisch könnten die Ofentransformatoren auch konventionell nebeneinander stehen. Dann ist wesentlich mehr bauliche Breite erforderlich.

**[0049]** Die Masse eines 100 MVA Ofentransformators ist ca. 130 t. Daher ist ein solcher Ofentransformator 100, 200 relativ leicht transportierbar sowie ein- und ausbaubar, z.B. mit einem normalen Autokran und meistens sogar mit dem Chargierkran des bestehenden Stahlwerkes.

**[0050]** Da die Pfannengröße integrierter Stahlwerke um 180 t bis 250 t, z.B. bei 220 t Flüssigstahl liegt, ist es für den angedachten Ersatz der Konverter notwendig, auch z.B. 220 t Flüssigstahl aus einem einzelnen elektrischen Lichtbogenofen (EAF) 10 abzusteichen. Zum Einschmelzen von Schrott und DRI (HBI) sind in diesem Fall sehr große elektrische Leistungen notwendig, damit die erforderlichen TTT (Tap-to-Tap-Time = Zeit zwischen zwei Abstichen) erreichbar sind, insbesondere da Konverter üblicherweise schneller als EAF sind. Bei Betrieb eines EAF mit 180 t bis 250 t Abstichmasse sind elektrische Leistungen von 180 MVA und mehr erforderlich. Ein 180 MVA Ofentransformator würde beispielsweise für eine maximale Stromstärke von 115 kA dimensioniert sein, was Elektroden mit 750 mm Durchmesser erfordern würde.

**[0051]** Ein einzelner Ofentransformator mit 180 MVA hätte bereits eine Masse von mindestens 200 t und eine maximale Stromstärke von ca. 115 kA. Die notwendigen Leiterquerschnitte im Transformator für Stromstärken von 100 kA und mehr sind problematisch wegen der Stromverdrängung und Kühlung.

**[0052]** Die beschriebene Parallelschaltung zweier identische Ofentransformatoren mit externer paralleler Dreieckverschaltung Diii halbiert die Stromstärke in den entsprechenden parallelen Leitern bis zu den Knoten 1, 2, 3.

**[0053]** Es ist eine elektrisch symmetrische Konfiguration des parallelen Ofentransformatorsystems möglich. Ziel ist, dass jede Transformatorwicklung den gleichen Delta-Zweigstrom führt, damit die Transformatorwicklungen symmetrisch belastet werden bei gleichen Elektrodenströmen. Das Hochstromsystem des Lichtbogenofens ist einzubeziehen für eine endgültige Auslegung der Geometrie der Leitungen. Eine solche Auslegung erfolgt z.B. mit einer Simulation des elektrischen Netzwerks über eine spezielle Methode zur Feldberechnung elektromagnetischer Felder. So lassen sich die Impedanzen

des gesamten Hochstromsystems mit grosser Genauigkeit mit allen Stromverdrängungseffekten berechnen und symmetrisch auslegen. Ein Beispiel eines solchen Verfahrens ist die Finite-Netzwerk-Methode (Finite Network Method / FNM) (siehe z.B. Abbas Farschtschi, "Neuartiges Berechnungssystem löst elektromagnetische Probleme an Elektrolichtbogenöfen", stahl und eisen 131 (2011) Nr. 6/7, Seiten 93 bis 104, oder Abbas Farschtschi, "An advanced computation system to solve electromagnetic problems in arc furnaces" www.steeltimesint.com, Steel Times International, September 2011). Elektrisch symmetrisch bedeutet hier  $\leq 3\%$ . Die elektrische Symmetrie in Prozent berechnet sich aus den Ersatz-Stern-Reaktanzen der Leiteranordnung des Hochstromsystems  $X_1, X_2, X_3$  zu  $U_x = (X_{\max} - X_{\min}) / X_{\text{mittel}}$ , wo X die Reaktanz in mOhm bezeichnet. Der Wert  $U_x$  ist bezogen auf die Standardkonfiguration des Hochstromsystems, welche identische Elektrodenlängen unterhalb der Halter aufweist.

**[0054]** Fig. 5 zeigt eine elektrisch symmetrische Anordnung wassergekühlter Hochstromleiter im sekundärseitigen Hochstromsystem für eine niederspannungsseitige Parallelschaltung der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse zweier Lichtbogenofen-Transformatoren mit symmetrisierten externen Dreieck-Verschaltungen, wie sie in Fig. 3 gezeigt ist, die mittels einer Simulation der Ströme in den Leitern ausgelegt ist. Die selben Elemente wie in Fig. 3 sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet und die Beschreibung derselben wird nicht wiederholt. Die wassergekühlten Hochstromleiter sind typischerweise Cu-Rohre, die für eine mittlere Stromdichte von 6 A/mm<sup>2</sup> ausgelegt sind. Die Wandstärken und Durchmesser der Cu-Rohre sind entsprechend gewählt. Es können z.B. Rohre mit Wandstärken von 10 bis 15 mm wie z.B. 12,5 mm und Durchmessern von 140 mm bis 250 mm wie z.B. 140 mm oder 160 mm oder 180 mm oder 200 mm oder 220 mm oder 240 mm abhängig von den Stromstärken gewählt werden. Die Rohre werden bevorzugt horizontal parallel in wenigstens zwei parallelen horizontalen Ebenen und vertikal in wenigstens zwei parallelen vertikalen Ebenen geführt, sowohl wegen der Kabelaufhängung als auch zur Beibehaltung entsprechender Abstände der Rohre bei möglichst gleichen Längen. In Fig. 5 sind es vier parallele horizontale Ebenen und fünf parallele vertikale Ebenen. Die Zahl dieser Ebenen ist aber nicht entscheidend und kann in Anpassung an die Auslegung gewählt werden.

**[0055]** Im Einzelnen, wie in Fig. 5 dargestellt ist, ist der (erste) Wicklungsanfang 2U1-100 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 der beiden Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 über ein Cu-Rohr 21-100 und ein damit verbundenes Cu-Rohr 22-100 mit dem (dritten) Wicklungsende 2W2-100 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 verbunden, ist das (erste) Wicklungsende 2U2-100 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 über ein Cu-Rohr 11-100

und ein damit verbundenes Cu-Rohr 12-100 mit dem (zweiten) Wicklungsanfang 2V1-100 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 verbunden, und ist das (zweite) Wicklungsende 2V2-100 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 über ein Cu-Rohr 31-100 und ein damit verbundenes Cu-Rohr 32-100 mit dem (dritten) Wicklungsanfang 2W1-100 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 verbunden.

**[0056]** In derselben Weise sind bei dem zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 der beiden Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200, wie ebenfalls in Fig. 3 gezeigt ist, der (erste) Wicklungsanfang 2U1-200 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 über ein Cu-Rohr 21-200 und ein damit verbundenes Cu-Rohr 22-200 mit dem (dritten) Wicklungsende 2W2-200 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 verbunden, das (erste) Wicklungsende 2U2-200 der ersten sekundärseitigen Wicklung 2U des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 über ein Cu-Rohr 11-200 und ein damit verbundenes Cu-Rohr 12-200 mit dem (zweiten) Wicklungsanfang 2V1-200 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 verbunden, und das (zweite) Wicklungsende 2V2-200 der zweiten sekundärseitigen Wicklung 2V des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 über ein Cu-Rohr 31-200 und ein damit verbundenes Cu-Rohr 32-200 mit dem (dritten) Wicklungsanfang 2W1-200 der dritten sekundärseitigen Wicklung 2W des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 verbunden.

**[0057]** Die entsprechend paarweise miteinander verbundenen Cu-Rohre bzw. Wicklungsanfänge und Wicklungsenden 2U1-100 und 2W2-100, 2U2-100 und 2V1-100, 2V2-100 und 2W1-100 des ersten Lichtbogenofen-Transformators 100 sind mit den entsprechenden paarweise miteinander verbundenen Cu-Rohren bzw. Wicklungsanfängen und Wicklungsenden 2U1-200 und 2W2-200, 2U2-200 und 2V1-200, 2V2-200 und 2W1-200 des zweiten Lichtbogenofen-Transformators 200 parallel geschaltet (verbunden), indem ein Cu-Rohr 2-100 mit den Cu-Rohren 21-100 und 22-100 und dem Knoten 2 und ein Cu-Rohr 2-200 mit den Cu-Rohren 21-200 und 22-200 und dem Knoten 2 verbunden ist, indem ein Cu-Rohr 1-100 mit den Cu-Rohren 11-100 und 12-100 und dem Knoten 1 und ein Cu-Rohr 1-200 mit den Cu-Rohren 11-200 und 12-200 und dem Knoten 1 verbunden ist, indem ein Cu-Rohr 3-100 mit den Cu-Rohren 31-100 und 32-100 und dem Knoten 3 und ein Cu-Rohr 3-200 mit den Cu-Rohren 31-200 und 32-200 und dem Knoten 3 verbunden ist, wie es in Fig. 5 gezeigt ist.

**[0058]** Fig. 6 zeigt dieselbe schematische Darstellung der elektrischen Verbindungen des Teils der Stromversorgungseinrichtung, der in Fig. 3 gezeigt ist, mit Bezugszeichen aus Fig. 5, zur Verdeutlichung der Entsprechung der elektrischen Leitungen aus Fig. 3 und der Cu-Rohre

aus Fig. 5.

**[0059]** Fig. 2 zeigt eine Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last wie einen elektrischen Lichtbogenofen nach einer zweiten Ausführungsform. Die selben Elemente wie in Fig. 1 sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet und die Beschreibung derselben wird nicht wiederholt.

**[0060]** Die zweite Ausführungsform ist für einen sehr großen EAF mit z.B. 220 t Abstichmasse und einer Leistungsaufnahme von bis zu 280 MVA ausgelegt. Die Elektroden weisen daher Durchmesser von 750 mm bis 800 mm auf. Größere Elektroden sind auf dem Markt nicht verfügbar. Aber wenn die Ofengrößen und Stromstärken das erfordern und größere Elektroden mit einem Durchmesser von z.B. 850 mm verfügbar wären, dann könnten diese bei Bedarf verwendet werden. Wie aus Fig. 2 zu entnehmen ist, haben die beiden baulich gleichwertigen, vorzugsweise identischen Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 jeweils eine Leistung von 140 MVA. Die beiden Versorgungs-Transformatoren 160, 260 haben jeweils eine Leistung von 150 MVA. Die Hochspannungsversorgungsschiene 500 ist mit der allgemeinen elektrischen Energieversorgung z.B. über eine 400 kV Leitung 520 (oder zwei 220 kV Leitungen) verbunden.

**[0061]** Anders als bei der ersten Ausführungsform aus Fig. 1, sind bei der zweiten Ausführungsform in Fig. 2 zwei Mittelspannungssofenschienen 140a, 140b mit jeweils separaten halbleiterbasierten Blindstromkompensatoren (SVC+) 150a, 150b mit jeweils 140 MVA vorgesehen. Diese können ebenfalls z.B. als STATCOM-Kompensation mit jeweils 140 MVA ausgeführt sein.

**[0062]** Von den beiden Versorgungs-Transformatoren 160, 260 ist jeweils einer mit seinem ausgangsseitigen Mittelspannungsanschluss 160m, 260m mit je einer entsprechenden der Mittelspannungssofenschienen 140a, 140b verbunden, wie in Fig. 2 gut zu erkennen ist, also Versorgungs-Transformator 160 mit Mittelspannungssofenschiene 140a und Versorgungs-Transformator 260 mit Mittelspannungssofenschiene 140b.

**[0063]** Der Aufbau der beiden baulich gleichwertigen, vorzugsweise identischen Lichtbogenofen-Transformatoren 100, 200 und der niederspannungsseitigen Parallelschaltung 400 wurde bereits zu den Fig. 1, 3, 4, 5 erläutert.

**[0064]** Die Stromversorgungseinrichtung wird üblicherweise mit einer Mittelspannung im Bereich von 25 kV bis 40kV, bevorzugt von 30 kV bis 35 kV, noch bevorzugter 33 kV bis 35 kV betrieben, bzw. die Ofentransformatoren sind dafür ausgelegt.

**[0065]** Die Stromversorgungseinrichtung wird üblicherweise mit einer Niederspannung im Bereich von 1000 V bis 2000 V, bevorzugt von 1100 V bis 1800 V, noch bevorzugter von 1100 V bis 1600 V betrieben, wie z.B. in einem Bereich von 1000 V bis 1400V oder in einem Bereich von 1100 V bis 1600 V, bzw. die Ofentransformatoren sind dafür ausgelegt. Dabei bezeichnet der Spannungsbereich für die Niederspannung die mögli-

chen Einstellungen der Ofentransformatoren über Stufenschalter.

**[0066]** Die Stromversorgungseinrichtung wird üblicherweise mit einer Hochspannung im Bereich von 400 kV bis 150 kV, bevorzugt 400 bis 380 kV oder 180 kV bis 220 kV, betrieben, bzw. die Versorgungs-Transformatoren sind dafür ausgelegt.

**[0067]** Mit der beschriebenen Stromversorgungseinrichtung ist es möglich, sehr große EAF mit Abstichmassen  $\geq 180$  t wie z.B. 200 t oder 220 t oder 250 t zu betreiben und dabei die Nachteile sehr großer Ofentransformatoren zu vermeiden.

**[0068]** Prinzipiell sind Ofentransformatoren für Drehstrom-Lichtbogenöfen mit Leistungen von grösser 180 MVA durchaus herstellbar und es sind einige installiert. Der grösste gebaute Ofentransformator hat eine Leistung von rund 300 MVA. Solche gigantischen Aggregate haben jedoch signifikante Nachteile:

1) Die Herstellung ist keine Routine und sehr kompliziert. Es gibt sehr wenige Hersteller, die in der Lage sind, solche Größenordnungen zuverlässig zu bauen. Die Baugrösse ist beschränkt durch die Krankkapazitäten im Herstellerwerk und durch die Grösse der Aktivteil-Trocknungsöfen. Zudem sind solche Ofentransformatoren Spezialitäten, die besonderes Know-How im Engineering und in der Fertigung erfordern und der Markt für solche Ofentransformatoren ist klein.

2) Solch grosse Leistungen erfordern immer ein Zwischenkreis-Design (Booster), welches zwei Eisenkerne mit Wicklungen hat und dadurch sehr groß und sehr schwer gebaut ist.

3) Die Gesamtmasse solcher Transformatoren liegt bei mindestens 240 t. Die großen äusseren Abmessungen sind ebenfalls problematisch. Der Transport vom Hersteller ins Stahlwerk wird dadurch sehr kompliziert.

4) Die erforderlichen Leiterquerschnitte der Wicklungen für mehr als 100 kA Elektrodenstrom bedingen entsprechend große Wicklungen, deren zuverlässige Kühlung schwierig wird.

5) Die Stromstärken auf der Mittelspannungsebene werden so gross (z.B. 3500 A mit 200 MVA an 33 kV), dass ggf. zwei parallele Ofenschaltanlagen erforderlich sind. Die Mittelspannungskabel sind entsprechend zu dimensionieren.

6) Noch viel problematischer sind der Transport, der Einbau und Ausbau solcher Aggregate. Durch die Integration der neu zu bauenden Lichtbogenofen-Stahlwerke in bestehende integrierte Stahlwerke ist oft der verfügbare Platz sehr begrenzt. Dies macht einen späteren Wechsel eines Ofentransformators

sehr schwierig bis unmöglich. Es könnte z.B. ein 1000 t Autokran erforderlich sein, um einen Trafo über das Hallendach auszuheben. Die Verfügbarkeit solcher Spezialkräne ist sehr begrenzt und Wartezeiten von 6 Monaten eher typisch.

7) Je grösser und komplizierter ein Transformator wird, desto grösser ist prinzipiell die Fehleranfälligkeit. Einfacher ist zuverlässiger. Die Erfahrung zeigt, dass Ofentransformatoren jederzeit ausfallen können bzw. noch vor Eintritt eines fatalen Fehlers stillgesetzt werden müssen, um prinzipiell reparierbar zu bleiben. Dann ist der schnelle Einbau der Reserve notwendig. Eine identische Reserve ist daher erforderlich. Die Giganten unter den Ofentransformatoren sind jedoch praktisch nur vor Ort reparierbar, da ein Rücktransport in das Trafowerk zu aufwendig wird, insbesondere, wenn der Trafo aus dem Ausland kommt. Eine Vor-Ort-Reparatur bzw. ein Tausch von Wicklungen und die anschließende Hochspannungsprüfung wären sehr aufwendig. Im Sonderfall einer installierten Reserve wäre ein sehr großes Trafogehäuse erforderlich, das ca. 480 t tragen müsste.

**[0069]** Die signifikanten Vorteile einer Parallelschaltung zweier baulich gleichwertiger, vorzugsweise baugleicher kleinerer Ofentransformatoren sind daher gegeben. Die Herstellung von z.B. 100... 120 MVA Ofentransformatoren ist im Vergleich Routine. Es gibt mehr Hersteller, die solche Standardgrößen bauen können. Solche Transformatoren sind offensichtlich unkomplizierter, haben z.B. nur einen Eisenkern mit Wicklungen (kein Booster). Die ganze interne Verschaltung ist einfacher. Das verbessert die Zuverlässigkeit. Die Abmessungen und die Masse sind wesentlich geringer. Ein 100 MVA Ofentrafo hat ca. 130 t Gesamtmasse und ist relativ leicht transportierbar sowie ein- und ausbaubar. Ofentransformatoren, die einem Standard entsprechen, sind kostengünstiger. Da die Ofentransformatoren mit offener Sekundärwicklung ausgeführt und extern im Dreieck verschaltet (Schaltgruppe Diii0) sind, sind sie baulich einfacher, zuverlässiger, leichter, kleiner. Die beiden externen Dreieckverschaltungen sind an ihren Eckpunkten parallelgeschaltet. Bis zur Verbindung dieser Leiter führt jede Seite nur den halben Elektrodenstrom. Die Anordnung bzw. Führung der Leiter im Hochstromsystem kann mit einer Simulation so ausgelegt werden, dass das ganze Hochstromsystem elektrisch symmetrisch ist. Dies führt im Mittel zu gleichen Eigenschaften der drei Lichtbögen (Leistung, Strahlung, Länge) und hat signifikante betriebliche Vorteile. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass beide Ofentransformatoren zur gleichen Zeit ausfallen. Daher reicht eine baulich gleichwertige, vorzugsweise identische Reserve.

**[0070]** Die maximale Leistungsaufnahme der metallurgischen Vorrichtung ist bevorzugt kleiner oder gleich 320 MVA, bevorzugter kleiner oder gleich 280 MVA, noch



bevorzugter kleiner oder gleich 240 MVA.

**[0071]** Die zu den Fig. 1 und 2 beschriebenen Anordnungen für die Hochspannungs-Mittelspannungsversorgung können auch durch andere Anordnungen ersetzt werden, da es für die beschriebene und beanspruchte niederspannungsseitige Ausbildung der Ofentransformatoren und deren Verschaltung nicht auf die spezifische Ausbildung der Anordnungen für die Hochspannungs-Mittelspannungsversorgung ankommt.

**[0072]** Es wird explizit betont, dass alle in der Beschreibung und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmale als getrennt und unabhängig voneinander zum Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkung der beanspruchten Erfindung unabhängig von den Merkmalskombinationen in den Ausführungsformen und/oder den Ansprüchen angesehen werden sollen. Es wird explizit festgehalten, dass alle Bereichsangaben oder Angaben von Gruppen von Einheiten jeden möglichen Zwischenwert oder Untergruppe von Einheiten zum Zweck der ursprünglichen Offenbarung ebenso wie zum Zweck des Einschränkung der beanspruchten Erfindung offenbaren, insbesondere auch als Grenze einer Bereichsangabe.

## Patentansprüche

1. Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, die eine maximale Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA aufweist, wie einen elektrischen Lichtbogenofen mit einer Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA, mit

wenigstens zwei baulich gleichwertigen Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Dreiphasen-Mittelspannungsanschluss (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) und ein Dreieckverschaltung (D) auf der Eingangsseite und einen ausgangsseitigen Dreiphasen-Niederspannungsanschluss (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) und eine externe Verschaltung (iii) auf der Ausgangsseite aufweisen, wenigstens einer Mittelspannungssofenschiene (140; 140a, 140b), die mit den eingangsseitigen Mittelspannungsanschlüssen (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) der Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) verbunden ist, und einer niederspannungsseitigen Parallelschaltung (400) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse (2U1-100, 2U2-100,

2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) der Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) mit symmetrisierten externen Dreieck-Verschaltungen mittels wassergekühlter Hochstromleiter, die mit Elektroden (11, 12, 13) der metallurgischen Vorrichtung (10) verbunden ist.

2. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1, die weiter

eine Hochspannungsversorgungsschiene (500), und wenigstens zwei baulich gleichwertige Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Hochspannungsanschluss (160h, 260h) und einen ausgangsseitigen Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) aufweisen, deren Hochspannungseingänge mit der Hochspannungsversorgungsschiene (500) verbunden sind, aufweist, bei der die ausgangsseitigen Mittelspannungsanschlüsse (160m, 260m) der Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit der Mittelspannungssofenschiene (140; 140a, 140b) verbunden sind.

3. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1, die wenigstens zwei Mittelspannungssofenschiene (140a, 140b) aufweist, von denen je eine mit einem eingangsseitigen Mittelspannungsanschluss (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) jeweils eines entsprechenden der Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) verbunden ist.

4. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 3, die weiter

eine Hochspannungsversorgungsschiene (500), und wenigstens zwei baulich gleichwertige Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Hochspannungsanschluss (160h, 260h) und einen ausgangsseitigen Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) aufweisen, deren Hochspannungseingänge mit der Hochspannungsversorgungsschiene (500) verbunden sind, aufweist, bei der je ein ausgangsseitiger Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) eines entsprechenden der Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit je einer entsprechenden der Mittelspannungssofenschiene (140a, 140b) verbunden ist.

5. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die weiter

wenigstens einen Blindstromkompensator (150; 150a, 150b) pro Mittelspannungsofenschiene (140; 140a, 140b) aufweist, von denen jeweils einer mit je einer entsprechenden der Mittelspannungsofenschienen (140; 140a, 140b) verbunden ist, bei der der oder die Blindstromkompensatoren vorzugsweise als halbleiterbasierte Blindstromkompensatoren ausgebildet sind.

6. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der

die niederspannungsseitige Parallelschaltung (300) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) der Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) wassergekühlte Hochstromleiter für die elektrisch symmetrisierte externe Dreieck-Verschaltung aufweist, die als wassergekühlte Kupferrohre (11-100, 12-100, 1-100, 11-200, 12-200, 1-200, 21-100, 22-100, 2-100, 21-200, 22-200, 2-200, 31-100, 32-100, 3-100, 31-200, 32-200, 3-200), die für jede der drei Phasen in je einer Schleife mit vorbestimmter Länge verbunden sind, so ausgeführt sind, dass die vorbestimmten Längen der Hochstromleiter innerhalb der drei Schleifen die elektrische Symmetrierung gewährleisten.

7. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der

die wenigstens zwei Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) einander auf einer lateralen Seite der metallurgische Vorrichtung wie dem elektrischen Lichtbogenofen gegenüberstehend so angeordnet sind, dass die ausgangsseitigen Dreiphasen-Niederspannungsanschlüsse einander gegenüber liegen und die niederspannungsseitige Parallelschaltung (400) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse zwischen den Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) angeordnet ist.

8. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der

die wenigstens zwei Mittelspannungsofenschienen (140, 240) jeweils mit einem eingangsseitigen Mittelspannungsanschluss eines entsprechenden Pfannenofentransformators verbunden sind.

9. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der

die wenigstens zwei baulich gleichwertigen Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) von identischer Bauart sind.

## Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Stromversorgungseinrichtung für eine mit elektrischer Energie zu betreibende metallurgische Vorrichtung mit nichtlinearer Last, die eine maximale Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA aufweist, wie einen elektrischen Lichtbogenofen mit einer Leistungsaufnahme größer als oder gleich 180 MVA, mit

wenigstens zwei baulich gleichwertigen Dreiphasen-Ofen-Transformatoren (100, 200) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Dreiphasen-Mittelspannungsanschluss (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) und ein Dreiecksverschaltung (D) auf der Eingangsseite und einen ausgangsseitigen Dreiphasen-Niederspannungsanschluss (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) und eine externe Verschaltung (iii) auf der Ausgangsseite aufweisen,

wenigstens einer Mittelspannungsofenschiene (140; 140a, 140b), die mit den eingangsseitigen Mittelspannungsanschlüssen (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) der Ofen-Transformatoren (100, 200) verbunden ist, und einer niederspannungsseitigen Parallelschaltung (400) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) der Ofen-Transformatoren (100, 200) mit symmetrisierten externen Dreieck-Verschaltungen mittels wassergekühlter Hochstromleiter, die mit Elektroden (11, 12, 13) der metallurgischen Vorrichtung (10) verbindbar ist.

2. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1, die weiter

eine Hochspannungsversorgungsschiene (500), und

wenigstens zwei baulich gleichwertige Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Hochspannungsanschluss (160h, 260h) und einen ausgangsseitigen Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) aufweisen, deren Hochspannungseingänge mit der Hochspannungsversorgungsschiene (500) verbunden sind, aufweist, bei der die ausgangsseitigen Mittelspannungsanschlüsse (160m, 260m) der Versorgungs-

Transformatoren (160, 260) mit der Mittelspannungsofenschiene (140; 140a, 140b) verbunden sind.

3. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 1, die wenigstens zwei Mittelspannungsofenschienen (140a, 140b) aufweist, von denen je eine mit einem eingangsseitigen Mittelspannungsanschluss (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) jeweils eines entsprechenden der Ofen-Transformatoren (100, 200) verbunden ist. 5
  
4. Stromversorgungseinrichtung nach Anspruch 3, die weiter 10

eine Hochspannungsversorgungsschiene (500), und

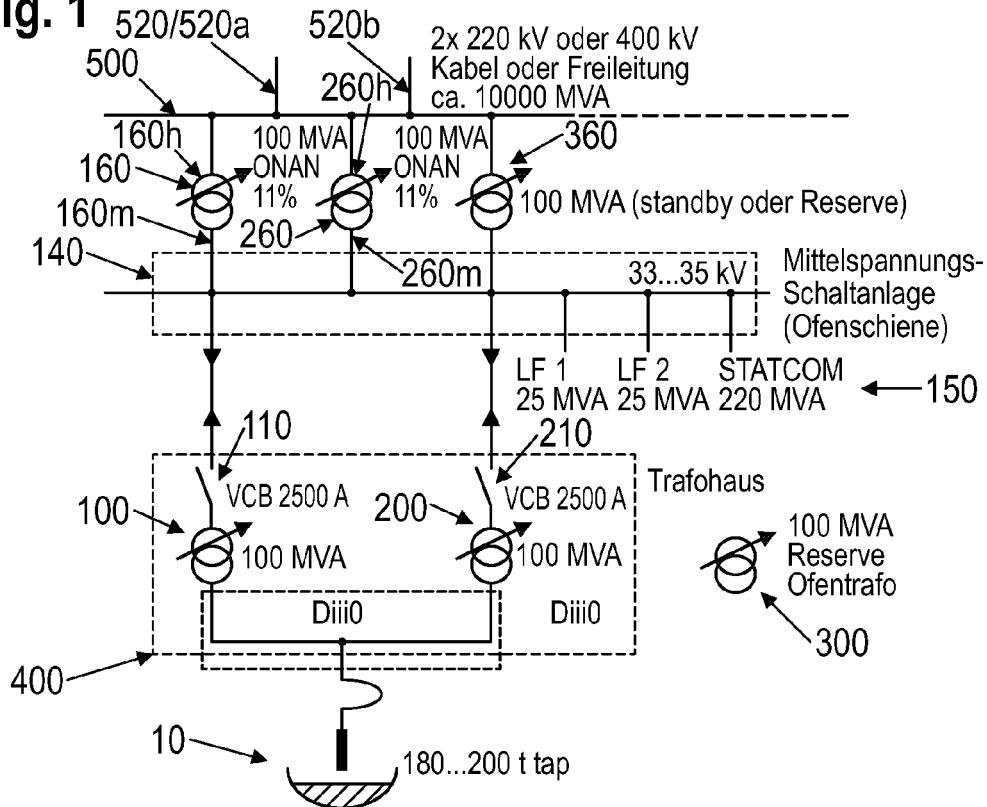
wenigstens zwei baulich gleichwertige Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit einer Ausgangsleistung größer als oder gleich 90 MVA, die jeweils einen eingangsseitigen Hochspannungsanschluss (160h, 260h) und einen ausgangsseitigen Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) aufweisen, deren Hochspannungseingänge mit der Hochspannungsversorgungsschiene (500) verbunden sind, aufweist, bei der je ein ausgangsseitiger Mittelspannungsanschluss (160m, 260m) eines entsprechenden der Versorgungs-Transformatoren (160, 260) mit je einer entsprechenden der Mittelspannungsofenschienen (140a, 140b) verbunden ist. 15
  
5. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die weiter wenigstens einen Blindstromkompensator (150; 150a, 150b) pro Mittelspannungsofenschiene (140; 140a, 140b) aufweist, von denen jeweils einer mit je einer entsprechenden der Mittelspannungsofenschienen (140; 140a, 140b) verbunden ist, 20

bei der der oder die Blindstromkompensatoren vorzugsweise als halbleiterbasierte Blindstromkompensatoren ausgebildet sind. 25
  
6. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der die niederspannungsseitige Parallelschaltung (300) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) der Ofen-Transformatoren (100, 200) wassergekühlte Hochstromleiter für die elektrisch symmetrierte externe Dreieck-Verschaltung aufweist, die als wassergekühlte Kupferrohre (11-100, 12-100, 1-100, 11-200, 12-200, 1-200, 21-100, 22-100, 2-100, 21-200, 22-200, 2-200, 31-100, 32-100, 3-100, 31-200, 32-200, 3-200), die für jede der drei Phasen in je einer Schleife mit vorbestimmter Länge 30

verbunden sind, so ausgeführt sind, dass die vorbestimmten Längen der Hochstromleiter innerhalb der drei Schleifen die elektrische Symmetrierung gewährleisten.

7. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der die wenigstens zwei Dreiphasen-Ofen-Transformatoren (100, 200) einander auf einer lateralen Seite der metallurgische Vorrichtung wie dem elektrischen Lichtbogenofen gegenüberstehend so angeordnet sind, dass die ausgangsseitigen Dreiphasen-Niederspannungsanschlüsse einander gegenüber liegen und die niederspannungsseitige Parallelschaltung (400) der ausgangsseitigen Niederspannungsanschlüsse zwischen den Ofen-Transformatoren (100, 200) angeordnet ist. 35
  
8. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die wenigstens zwei Mittelspannungsofenschienen (140, 240) jeweils mit einem eingangsseitigen Mittelspannungsanschluss eines entsprechenden Pfannenofentransformators verbunden sind. 40
  
9. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der die wenigstens zwei baulich gleichwertigen Dreiphasen-Ofen-Transformatoren (100, 200) von identischer Bauart sind. 45
  
10. Stromversorgungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der die wenigstens zwei baulich gleichwertigen Dreiphasen-Ofen-Transformatoren (100, 200) Dreiphasen-Lichtbogenofen-Transformatoren (100, 200) sind. 50

**Fig. 1**



### Fig. 2

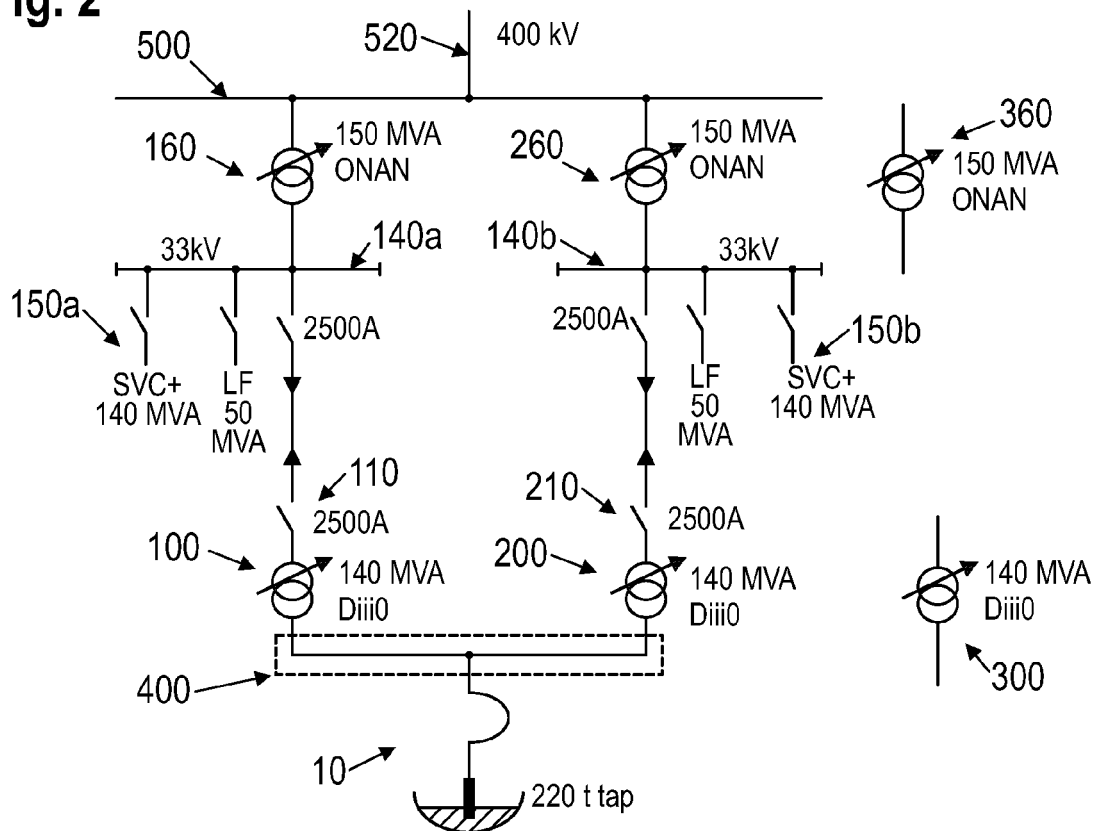


Fig. 3

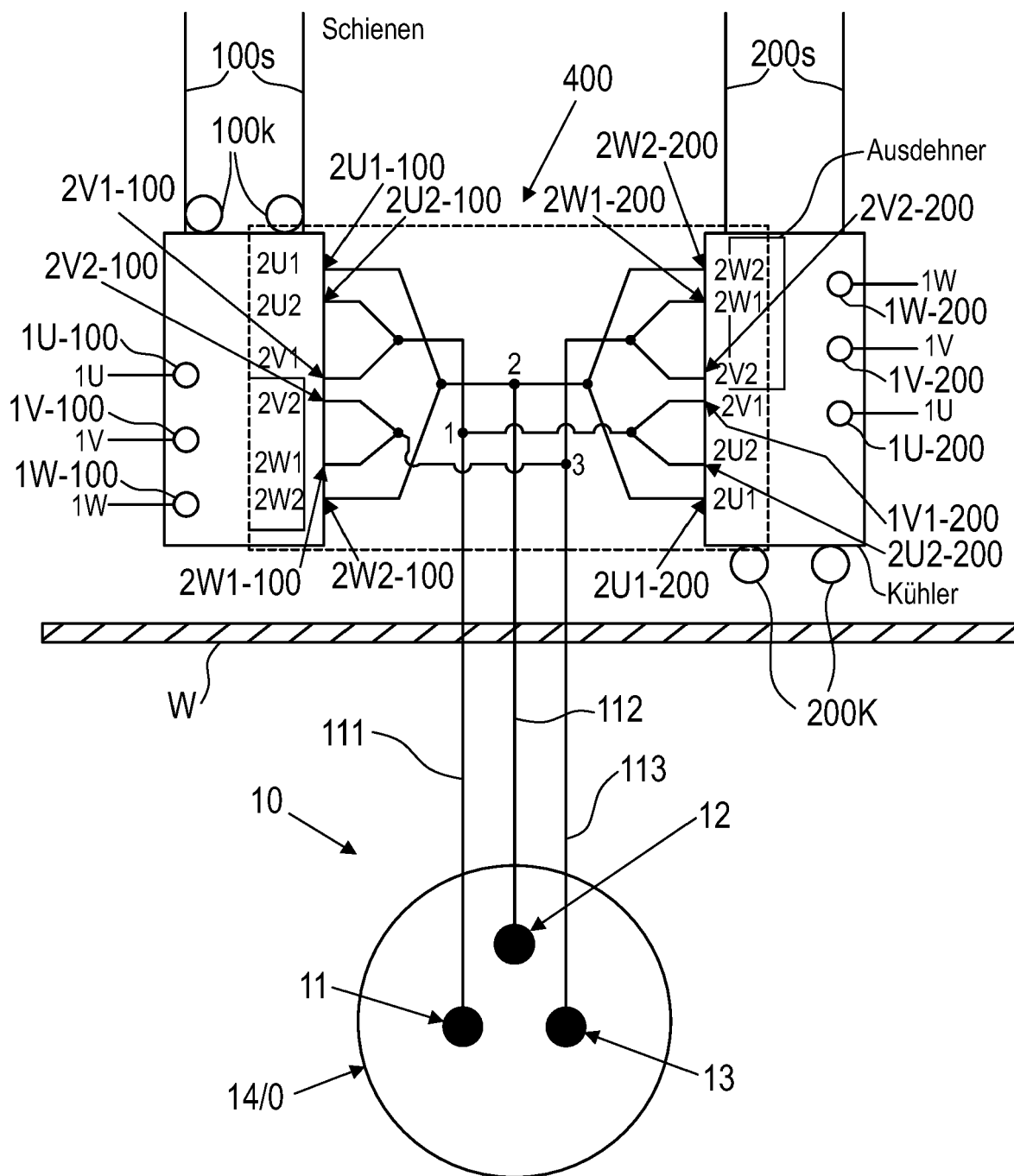


Fig. 4

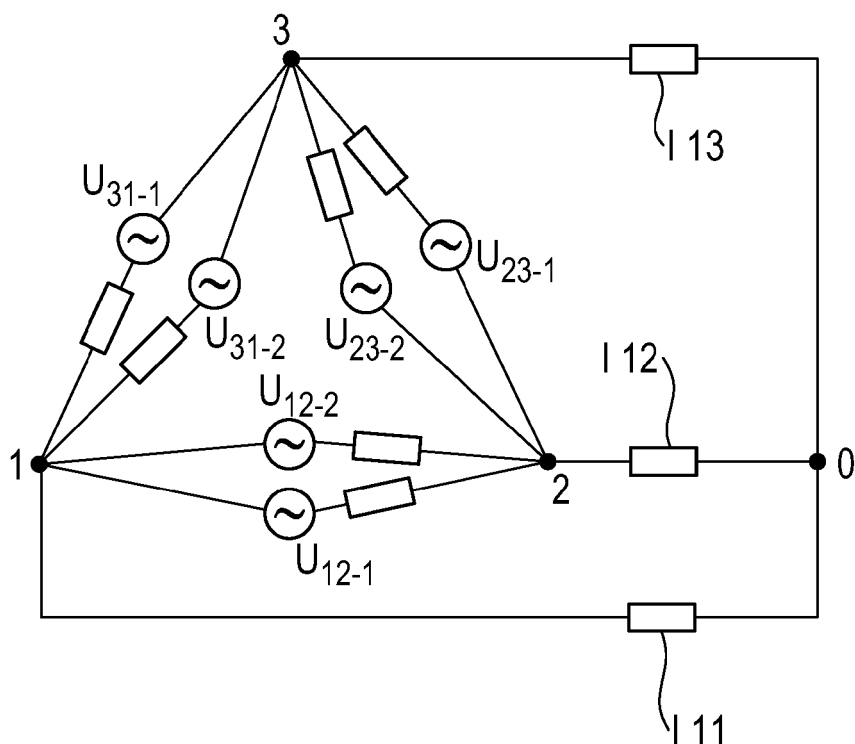


Fig. 5

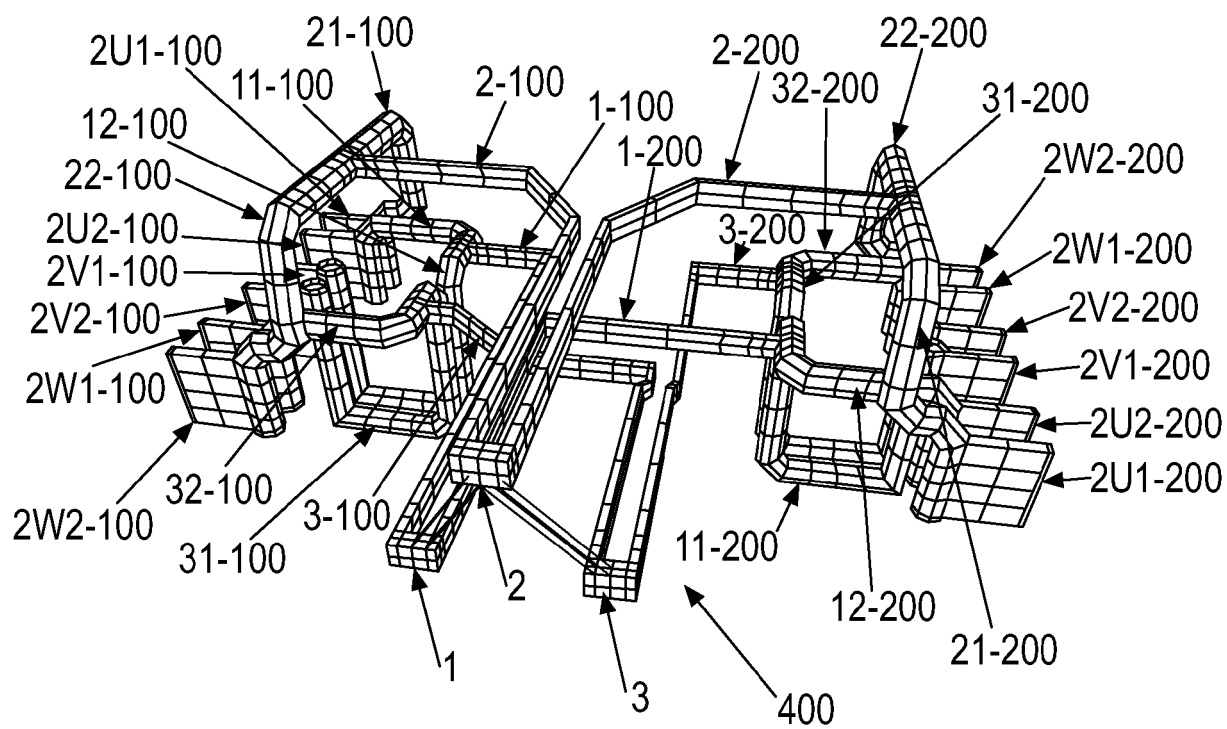
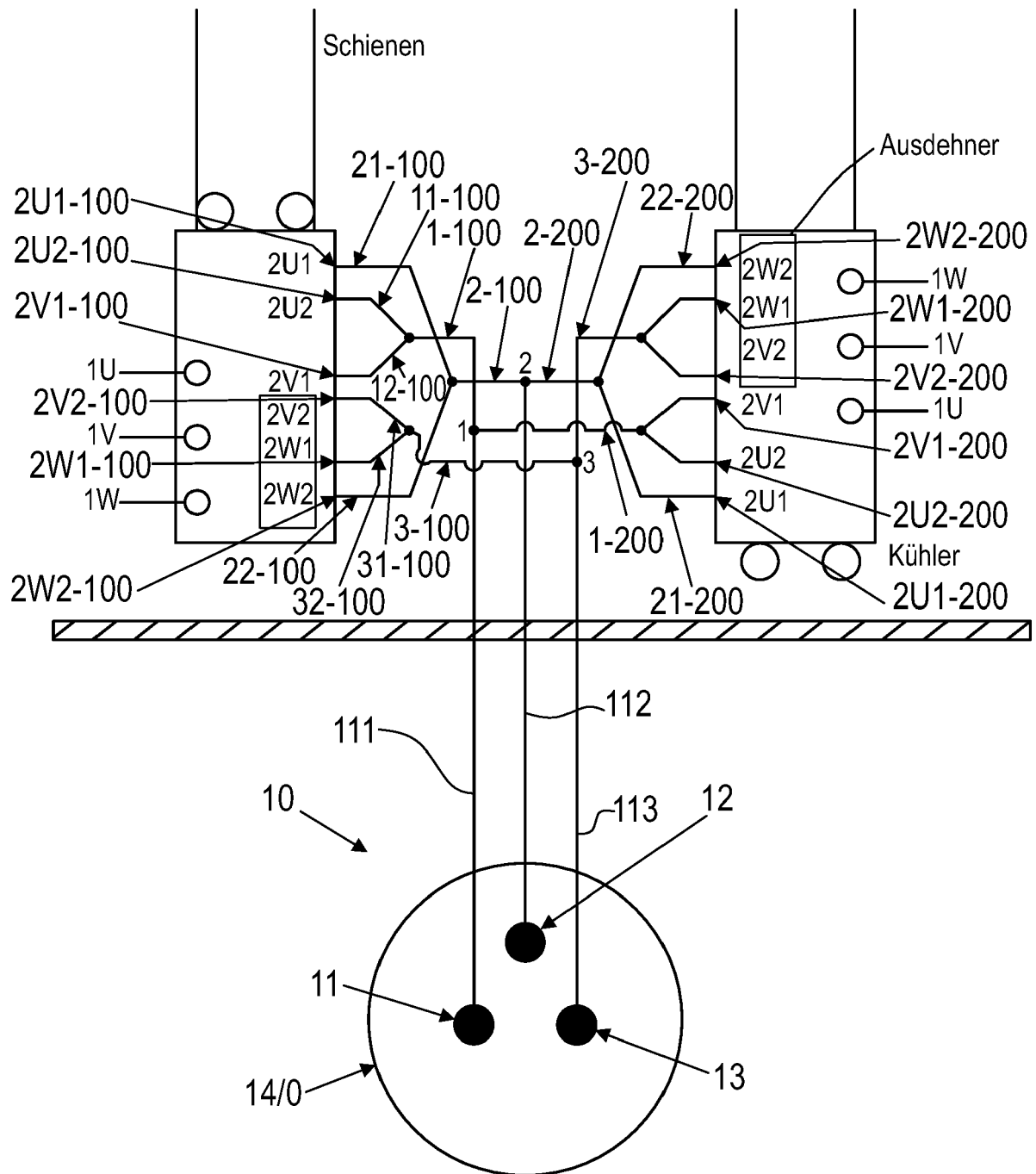


Fig. 6





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 3421

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	<b>WO 2007/014535 A1 (SIEMENS AG [DE]; BACKES RALPH-HERBERT [DE] ET AL.)</b> <b>8. Februar 2007 (2007-02-08)</b> * Seite 1, Zeile 6 – Zeile 7 * * Seite 1, Zeile 29 – Zeile 32 * * Seite 6, Zeile 19 – Seite 8, Zeile 3; Abbildung 1 * -----	1-9	<b>INV.</b> <b>H05B7/144</b>
A	<b>FR 2 926 182 A1 (TOULOUSE INST NAT POLYTECH [FR])</b> 10. Juli 2009 (2009-07-10) * Seite 1, Zeile 1 – Zeile 4 * * Seite 7, Zeile 18 – Zeile 20; Abbildung 1 * * Seite 9, Zeile 29 – Seite 10, Zeile 24; Abbildung 1 * -----	1-9	
A	<b>EP 1 026 921 B1 (HATCH LTD [CA])</b> <b>2. Januar 2008 (2008-01-02)</b> * Absatz [0001] * * Absatz [0013]; Abbildung 1A * * Absatz [0017]; Abbildung 2 * -----	1-9	<b>RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)</b> <b>H05B</b>
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>31. August 2023</b>	Prüfer <b>Barzic, Florent</b>
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 anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			



**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 16 3421

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-08-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>WO 2007014535 A1</b>	<b>08-02-2007</b>	<b>CN 101228811 A</b>	<b>23-07-2008</b>
		<b>DE 112005003716 A5</b>	<b>10-07-2008</b>
		<b>EP 1911329 A1</b>	<b>16-04-2008</b>
		<b>UA 89835 C2</b>	<b>10-03-2010</b>
		<b>WO 2007014535 A1</b>	<b>08-02-2007</b>
-----			
<b>FR 2926182 A1</b>	<b>10-07-2009</b>	<b>FR 2926182 A1</b>	<b>10-07-2009</b>
		<b>WO 2009087176 A1</b>	<b>16-07-2009</b>
-----			
<b>EP 1026921 B1</b>	<b>02-01-2008</b>	<b>AT 383061 T</b>	<b>15-01-2008</b>
		<b>CA 2260516 A1</b>	<b>28-07-2000</b>
		<b>DE 69937873 T2</b>	<b>13-11-2008</b>
		<b>EP 1026921 A1</b>	<b>09-08-2000</b>
		<b>JP 4562216 B2</b>	<b>13-10-2010</b>
		<b>JP 2000234875 A</b>	<b>29-08-2000</b>
		<b>US 5991327 A</b>	<b>23-11-1999</b>
-----			

EPO FORM P0461

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

## 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 Patentedokumente

- EP 3943853 A1 [0002]
- US 11320203 B2 [0002]
- WO 2021130791 A1 [0002]
- US 11346605 B2 [0002]
- US 20220412651 A1 [0002]
- WO 2021161355 A1 [0002]
- EP 4110015 A1 [0002]
- WO 2015176899 A1 [0002]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ABBAS FARSCHTSCHI.** Neuartiges Berechnungssystem löst elektromagnetische Probleme an Elektrolichtbogenöfen. *stahl und eisen*, 2011, vol. 131 (6/7), 93-104 [0053]
- **ABBAS FARSCHTSCHI.** An advanced computation system to solve electromagnetic problems in arc furnaces. *Steel Times International*, September 2011, [www.steeltimesint.com](http://www.steeltimesint.com) [0053]