



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.12.2022 Patentblatt 2022/52

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 7/20 (2006.01) H05B 7/148 (2006.01)
C21C 5/52 (2006.01) F27B 3/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21180899.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 7/20; C21C 5/5211; F27B 3/085; H05B 7/148

(22) Anmeldetag: **22.06.2021**

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

(72) Erfinder: **Matschullat, Thomas**
90542 Eckental (DE)

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

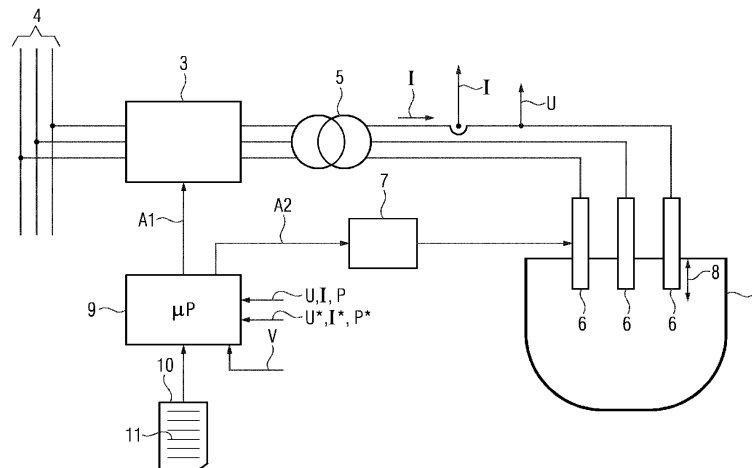
(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(54) **BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINEN LICHTBOGENOFEN**

(57) Eine Steuereinrichtung (9) eines Lichtbogenofens steuert in einer Schmelzphase und danach in einer Flachbadphase eine Energieversorgungseinrichtung (3) mit ersten Ansteuerwerten (A1) an, so dass diese elektrische Energie über einen Ofentransformator (5) Elektroden (6) des Lichtbogenofens zuführt. Sie steuert in beiden Phasen weiterhin eine Positioniereinrichtung (7) mit zweiten Ansteuerwerten (A2) an, so dass diese die Elektroden (6) in der Schmelzphase relativ zu noch ungeschmolzenem stahlhaltigem Material (2) und in der Flachbadphase relativ zu der Stahlschmelze (15) positioniert. Dadurch bilden sich in beiden Phasen Lichtbögen (14) aus, durch welche das stahlhaltige Material (2) geschmolzen wird bzw. die Stahlschmelze (15) weiter auf-

geheizt wird. Während der Schmelzphase werden sowohl die ersten Ansteuerwerte (A1) als auch die zweiten Ansteuerwerte (A2) derart ermittelt, dass elektrische Kenngrößen (U, I, P) der den Elektroden (6) zugeführten elektrischen Energie korrespondierenden Sollgrößen (U^* , I^* , P^*) so weit wie möglich angenähert werden. In der Flachbadphase gilt dies nur für die ersten Ansteuerwerte (A1). Die zweiten Ansteuerwerte (A2) hingegen werden entweder völlig unabhängig von den elektrischen Kenngrößen (U, I, P) ermittelt oder nur dann in Abhängigkeit von den elektrischen Kenngrößen (U, I, P) ermittelt, wenn aufgrund der elektrischen Kenngrößen (U, I, P) die Gefahr eines Lichtbogenabrisses und/oder eines Kurzschlusses erkannt wird.

FIG 1



Beschreibung

Gebiet der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für einen Lichtbogenofen,

- wobei eine Steuereinrichtung des Lichtbogenofens zunächst in einer Schmelzphase und sodann in einer sich an die Schmelzphase anschließenden Flachbadphase eine Energieversorgungseinrichtung des Lichtbogenofens mit ersten Ansteuerwerten ansteuert, so dass die Energieversorgungseinrichtung elektrische Energie aus einem Versorgungsnetz bezieht und über einen Ofentransformator Elektroden des Lichtbogenofens zuführt, und weiterhin eine Positioniereinrichtung des Lichtbogenofens mit zweiten Ansteuerwerten ansteuert, so dass die Positioniereinrichtung die Elektroden in der Schmelzphase relativ zu in einem Ofengefäß des Lichtbogenofens befindlichem stahlhaltigem Material in festem Aggregatzustand positioniert, so dass sich in der Schmelzphase zwischen den Elektroden und dem stahlhaltigen Material Lichtbögen ausbilden, durch welche das stahlhaltige Material zu einer Stahlschmelze geschmolzen wird, und in der Flachbadphase relativ zu der Stahlschmelze positioniert, so dass sich in der Flachbadphase zwischen den Elektroden und der Stahlschmelze Lichtbögen ausbilden, durch welche die Stahlschmelze weiter aufgeheizt wird,
- wobei die Steuereinrichtung während der Schmelzphase sowohl die ersten Ansteuerwerte als auch die zweiten Ansteuerwerte derart ermittelt, dass elektrische Kenngrößen der den Elektroden zugeführten elektrischen Energie korrespondierenden Sollgrößen so weit wie möglich angenähert werden,
- wobei die Steuereinrichtung während der Flachbadphase die ersten Ansteuerwerte derart ermittelt, dass die elektrischen Kenngrößen den korrespondierenden Sollgrößen so weit wie möglich angenähert werden.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, wobei das Steuerprogramm Maschinencode umfasst, der von der Steuereinrichtung abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung einen Lichtbogenofen gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Steuerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus

von einem Lichtbogenofen,

- wobei der Lichtbogenofen ein Ofengefäß aufweist, dem stahlhaltiges Material in festem Aggregatzustand zuführbar ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Energieversorgungseinrichtung und Elektroden sowie einen Ofentransformator aufweist,
- wobei die Energieversorgungseinrichtung eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz verbunden ist und ausgangsseitig über den Ofentransformator mit den Elektroden verbunden ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Positioniereinrichtung aufweist, mittels derer die Elektroden in einer Schmelzphase relativ zum stahlhaltigen Material und in einer sich an die Schmelzphase anschließenden Flachbadphase relativ zu einer durch Schmelzen des stahlhaltigen Materials erzeugten Stahlschmelze positionierbar sind,
- wobei der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung aufweist, von der sowohl in der Schmelzphase als auch in der Flachbadphase die Energieversorgungseinrichtung mit ersten Ansteuerwerten ansteuerbar ist und die Positioniereinrichtung mit zweiten Ansteuerwerten ansteuerbar ist,
- wobei die Steuereinrichtung so wie obenstehend erläutert ausgebildet ist.

Stand der Technik

[0005] Die genannten Gegenstände sind allgemein bekannt. Beispielsweise kann auf die WO 2015/176 899 A1 verwiesen werden. Auch die EP 1 026 921 A1 und die EP 3 124 903 A1 können in diesem Zusammenhang genannt werden.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Beim Schmelzen von Stahl in einem Lichtbogenofen erfolgt die Zufuhr der elektrischen Energie zu den Elektroden des Lichtbogenofens über einen Ofentransformator. Oftmals ist der Ofentransformator über einen Mittelspannungstransformator an das Versorgungsnetz angeschlossen. Der Ofentransformator stellt mehrere Spannungsstufen zur Verfügung. Für den Bereich konstanter Leistung und andere Hochstrombereiche kann die jeweilige Spannungsstufe am Ofentransformator gewählt werden. Eine Feinregelung innerhalb einer bestimmten Spannungsstufe kann beispielsweise mittels einer Impedanzregelung erfolgen.

[0007] Bei dieser Vorgehensweise sind nur einige wenige Spannungsstufen möglich und die Elektrodenströme unterliegen starken Schwankungen. Zur Reduzierung der Schwankungen werden die Positionierungen der Elektroden mechanisch geregelt, meist über hydraulische Verstelleinrichtungen. Das mechanische Verstellen der Elektroden weist eine erheblich geringere Dynamik auf als das reale Verhalten der Lichtbögen. Die

Schwankungen können daher nur unzureichend ausgeglichen werden. Weiterhin führen die Schwankungen zu erheblichen Belastungen der Bauteile, beispielsweise der Hochstromkabel, der stromführenden Tragarme, der Hydraulikzylinder usw. Die Schwankungen treten sowohl in der Schmelzphase als auch in der Flachbadphase auf.

[0008] In der Flachbadphase werden an die Elektroden in der Regel relativ geringe Spannungen angelegt und weiterhin die Elektroden relativ nahe an der Oberfläche der Stahlschmelze positioniert. Dadurch stellen sich hohe Ströme ein. Gleichzeitig werden Wärmeverluste zuverlässig über die Schaumschlacke abgeschirmt. Je nach Leistungsniveau des Lichtbogenofens oder bei der Erzeugung bestimmter Stähle (insbesondere von rostfreien Stählen und Edelstählen) werden die Lichtbögen jedoch nur teilweise oder gar nicht von der Schaumschlacke eingehüllt. Dadurch sinkt die Energieeffizienz des Lichtbogenofens.

[0009] Bei der Einstellung der Elektrodenspannung über die Spannungsstufen des Ofentransformators muss die Positionierung der Elektroden laufend nachgeregelt werden. Die Nachregelung kann beispielsweise derart erfolgen, dass auf eine bestimmte Impedanz oder eine bestimmte Leistung geregelt wird. Da die Dynamik der Positioniereinrichtung jedoch im Vergleich zu den Veränderungen im elektrischen System des Lichtbogens relativ niedrig ist, verbleiben gewisse Schwankungen, die nicht ausgeglichen werden können. Die Schwankungen werden durch Wellenbewegungen und Strömungen der Stahlschmelze noch vergrößert. Dadurch ist die Energieeintragsrate in die Stahlschmelze nicht optimal.

[0010] Aus den Dokumenten des Standes der Technik, insbesondere aus der WO 2015/176 899 A1 und der EP 3 124 903 A1 und in begrenztem Umfang auch aus der EP 1 026 921 A1, sind Vorgehensweisen bekannt, bei denen die Elektrodenspannungen kontinuierlich eingestellt werden können. Diese Ausgestaltungen bieten gegenüber einer Einstellung der Elektrodenspannung über Spannungsstufen des Ofentransformators erhebliche Vorteile. Zum einen können die Elektrodenspannungen nicht nur stufenweise, sondern kontinuierlich variiert werden. Zum anderen kann der Ofentransformator einfacher ausgebildet sein, weil er nicht mehrere Spannungsstufen zur Verfügung stellen muss. Weiterhin werden durch diese Ausgestaltungen weitere Arten der Regelung ermöglicht.

[0011] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer in der Flachbadphase auf einfache und zuverlässige Art und Weise eine schnelle und qualitativ hochwertige Regelung der Lichtbögen möglich ist.

[0012] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 8.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung während der Flachbadphase die

zweiten Ansteuerwerte entweder völlig unabhängig von den elektrischen Kenngrößen ermittelt oder nur dann in Abhängigkeit von den elektrischen Kenngrößen ermittelt, wenn die Steuereinrichtung aufgrund der elektrischen Kenngrößen die Gefahr eines Lichtbogenabrisses und/oder eines Kurzschlusses erkennt.

[0014] Die ersten Ansteuerwerte werden von der Steuereinrichtung während der Flachbadphase also - so wie im Stand der Technik auch - derart ermittelt, dass die elektrischen Kenngrößen den korrespondierenden Sollgrößen so weit wie möglich angenähert werden. Die zweiten Ansteuerwerte hingegen werden - außer bei Gefahr von besonderen Betriebszuständen, die unbedingt vermieden werden müssen - unabhängig von den elektrischen Kenngrößen ermittelt. Im Ergebnis erfolgt somit das Nachführen der Elektrodenspannungen und der Elektrodenströme ausschließlich durch Anpassung der Ansteuerung der Energieversorgungseinrichtung.

[0015] Die elektrischen Kenngrößen der elektrischen Energie, die den Elektroden zugeführt wird, können nach Bedarf bestimmt sein. Beispielsweise können die elektrischen Kenngrößen die Elektrodenströme sein. Als Elektrodenströme kommen insbesondere die Wirkströme in Frage. Im Einzelfall können die elektrischen Kenngrößen aber auch die Blindströme und/oder die Scheinströme sein. Alternativ können die elektrischen Kenngrößen die elektrischen Leistungen sein. Als Leistungen kommen insbesondere die Wirkleistungen in Frage. Im Einzelfall können die elektrischen Kenngrößen aber auch die Blindleistungen und/oder die Scheinleistungen sein.

[0016] Die an die Elektroden angelegten Spannungen und damit auch die den Elektroden zugeführten Ströme sind in aller Regel Wechselgrößen, also Wechselspannungen und Wechselströme. Wechselgrößen können durch ihre Amplitude, ihre Frequenz und ihren Verlauf während einer Periode (beispielsweise sinusförmig, dreieckförmig, sägezahnförmig, rechteckförmig usw.) charakterisiert werden. Der zeitliche Verlauf ist vorzugsweise sinusförmig.

[0017] Die Amplitude muss stets geeignet eingestellt werden. Die Frequenz kann in manchen Fällen konstant gehalten werden. In anderen Fällen ist es aber vorzuziehen, dass die Steuereinrichtung während der Flachbadphase die ersten Ansteuerwerte derart ermittelt, dass zum Annähern der elektrischen Kenngrößen an die korrespondierenden Sollgrößen auch eine Frequenz von den Elektroden zugeführten Elektrodenströmen und/oder von an die Elektroden angelegten Elektrodenspannungen variiert wird. Diese Vorgehensweise bietet eine größere Flexibilität bei der Optimierung des Betriebs des Lichtbogenofens.

[0018] Vorzugsweise ist die Frequenz der den Elektroden zugeführten Elektrodenströme und/oder der an die Elektroden angelegten Elektrodenspannungen in der Flachbadphase kleiner als eine Basisfrequenz des Versorgungsnetzes. Diese Vorgehensweise hat sich in Versuchen als besonders vorteilhaft erwiesen.

[0019] Zu Beginn der Flachbadphase sind die Elektroden von der Oberfläche der Stahlschmelze beabstandet. Demzufolge weisen die Lichtbögen zu Beginn der Flachbadphase eine Basislänge auf. In manchen Situationen ist es vorteilhaft, dass die Steuereinrichtung die Elektroden während der Flachbadphase auf die Stahlschmelze zu verfährt, so dass die Lichtbögen nach dem Verfahren auf die Stahlschmelze zu nur noch eine Restlänge aufweisen, die kleiner als die Basislänge ist. Um die Gefahr eines Kurzschluss zu vermeiden, sollte eine gewisse Mindestlänge aber nicht unterschritten werden. Aus diesem Grund beträgt die Restlänge vorzugsweise mindestens 20 % der Basislänge.

[0020] Die Basislänge kann anhand der elektrischen Kenngrößen, wie sie zu Beginn der Flachbadphase vorliegen, ermittelt bzw. zumindest abgeschätzt werden. Es ist möglich, dass diese Ermittlung/Abschätzung intellektuell durch eine Person erfolgt. Vorzugsweise aber erfolgt sie durch die Steuereinrichtung.

[0021] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Steuerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung einen Lichtbogenofen gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0022] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0023] Die Aufgabe wird weiterhin durch einen Lichtbogenofen mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung als erfindungsgemäße Steuereinrichtung ausgebildet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- FIG 1 ein Blockschaltbild eines Lichtbogenofens,
- FIG 2 ein Ofengefäß während einer Schmelzphase,
- FIG 3 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 4 die Wirkungsweise einer Steuereinrichtung in der Schmelzphase,
- FIG 5 das Ofengefäß während einer Flachbadphase,
- FIG 6 die Wirkungsweise der Steuereinrichtung in der Flachbadphase,
- FIG 7 eine Modifikation von FIG 6,
- FIG 8 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 9 einen Ermittlungsblock,

- FIG 10 einen Ermittlungsblock und einen Ergänzungsblock,
- FIG 11 ein Zeitdiagramm,
- FIG 12 eine Modifikation von FIG 5,
- FIG 13 ein Zeitdiagramm und
- FIG 14 ein Ablaufdiagramm.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0025] Gemäß FIG 1 weist ein Lichtbogenofen ein Ofengefäß 1 auf. Dem Ofengefäß 1 kann - siehe FIG 2 - stahlhaltiges Material 2 zugeführt werden. Das stahlhaltige Material 2 wird dem Ofengefäß 1 in festem Aggregatzustand zugeführt. Es kann sich bei dem stahlhaltigen Material 2 beispielsweise um Schrott handeln.

[0026] Der Lichtbogenofen weist weiterhin eine Energieversorgungseinrichtung 3 auf. Die Energieversorgungseinrichtung 3 ist eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz 4 verbunden. Das Versorgungsnetz 4 ist in der Regel ein Mittelspannungsnetz, das eine Nennspannung im 2-stelligen kV-Bereich aufweist und mit einer Basisfrequenz f_0 (siehe FIG 11) betrieben wird. Die Basisfrequenz f_0 liegt in der Regel bei 50 Hz oder 60 Hz. Das Versorgungsnetz 4 ist entsprechend der Darstellung in FIG 1 in der Regel ein Drehstromnetz.

[0027] Der Lichtbogenofen weist weiterhin einen Ofentransformator 5 und Elektroden 6 auf. Die Energieversorgungseinrichtung 3 ist ausgangssseitig über den Ofentransformator 5 mit den Elektroden 6 verbunden. In der Regel sind entsprechend der Darstellung in FIG 1 mehrere Elektroden 6 vorhanden und ist weiterhin der Ofentransformator 5 als Drehstromtransformator ausgebildet. Es sind aber auch andere Ausgestaltungen möglich, insbesondere eine einphasige Ausgestaltung. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung liegen an die Elektroden 6 angelegte Elektrodenspannungen U jedoch deutlich unterhalb der Nennspannung des Versorgungsnetzes 4. Die Elektrodenspannung U ist in FIG 1 nur für eine der Elektroden 6 dargestellt. Meist liegen die Elektrodenspannungen U im Bereich von mehreren 100 V. Im Einzelfall sind auch Spannungen oberhalb von 1 kV möglich. 2 kV werden in aller Regel aber nicht überschritten.

[0028] In der Regel sind weiterhin Schalteinrichtungen vorhanden, mittels derer die Energieversorgungseinrichtung 3 vom Versorgungsnetz 4 getrennt werden kann. Weiterhin können Schalteinrichtungen vorhanden sein, mittels derer die Energieversorgungseinrichtung 3 vom Ofentransformator 5 und/oder der Ofentransformator 5 von den Elektroden 6 getrennt werden kann. Die Schalteinrichtungen führen rein binäre Schaltvorgänge durch, aber keinerlei Einstellung von Spannungen und Strömen. Weiterhin können primärseitig oder sekundärseitig des Ofentransformators 5 aktive oder passive Filtereinrichtungen angeordnet sein. Die Schalteinrichtungen und auch die Filtereinrichtungen sind für die erfindungsgemäße Funktionsweise untergeordneter Bedeutung und daher in FIG 1 (und auch den anderen FIG) der Übersichtlichkeit halber nicht mit dargestellt.

[0029] Die Energieversorgungseinrichtung 3 kann aus dem Versorgungsnetz 4 elektrische Energie beziehen und die bezogene elektrische Energie über den Ofentransformator 5 den Elektroden 6 zuführen. Die Energieversorgungseinrichtung 3 weist zu diesem Zweck in der Regel viele Halbleiterschalter auf. Mögliche Ausgestaltungen der Energieversorgungseinrichtung 3 sind in der WO 2015/176 899 A1 ("Goldstandard") beschrieben. Alternativ können beispielsweise auch die Ausgestaltungen gemäß der EP 3 124 903 A1 oder der EP 1 026 921 A1 verwendet werden. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung der Energieversorgungseinrichtung 3 ist die Energieversorgungseinrichtung 3 jedoch in der Lage, ausgangsseitig - also zum Ofentransformator 5 hin - eine quasi-kontinuierliche Abstufung der an die Elektroden 6 angelegten Elektrodenspannungen U und/oder der den Elektroden 6 zugeführten Elektrodenströme I vorzunehmen. Analog zu der Darstellung für die Elektrodenspannungen U ist der Elektrodenstrom I in FIG 1 ebenfalls nur für eine der Elektroden 6 dargestellt.

[0030] Weiterhin weist der Lichtbogenofen eine Positioniereinrichtung 7 auf. Mittels der Positioniereinrichtung 7 können die Elektroden 6, wie in FIG 1 durch einen Doppelpfeil 8 neben einer der Elektroden 6 angedeutet ist, positioniert werden. Im einfachsten Fall erfolgt eine gemeinsame Positionierung der Elektroden 6. Es kann aber auch eine individuelle Positionierung der Elektroden 6 erfolgen. Die Bewegungsrichtung, in welcher die Elektroden 6 positioniert werden, kann vertikal sein. Alternativ kann die Bewegungsrichtung auch gegenüber der Vertikalen leicht geneigt sein. Auch in diesem Fall aber ist die Komponente in Vertikalrichtung die dominierende Komponente der Bewegung. Die Positioniereinrichtung 7 kann beispielsweise eine oder mehrere Hydraulikzylindereinheiten aufweisen.

[0031] Schließlich weist der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung 9 auf. Von der Steuereinrichtung 9 werden (zumindest) die Energieversorgungseinrichtung 3 und die Positioniereinrichtung 7 gesteuert. Die Steuereinrichtung 9 generiert also erste Ansteuerwerte A1, mit denen sie die Energieversorgungseinrichtung 3 ansteuert, und zweite Ansteuerwerte A2, mit denen sie die Positioniereinrichtung 7 ansteuert. Entsprechend den jeweiligen Ansteuerwerten A1, A2 werden die Energieversorgungseinrichtung 3 und die Positioniereinrichtung 7 betrieben.

[0032] Die Steuereinrichtung 9 ist als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Dies ist in FIG 1 durch die Angabe "µP" (für mikroprozessorgesteuert) angedeutet. Die Wirkung- und Betriebsweise der Steuereinrichtung 9 wird also durch ein Steuerprogramm 10 bestimmt, mit dem die Steuereinrichtung 9 programmiert ist. Das Steuerprogramm 10 umfasst Maschinencode 11, der von der Steuereinrichtung 9 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 11 durch die Steuereinrichtung 9 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 9 den Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, wie es nachstehend in Verbindung mit den weiteren FIG näher erläutert wird.

[0033] Zunächst wird das Ofengefäß 1 gemäß FIG 3 in einem Schritt S1 mit dem stahlhaltigen Material 2 beschickt. Dieser Vorgang kann, nicht aber muss unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Der Schritt S1 ist daher in FIG 3 nur gestrichelt dargestellt.

[0034] An das Beschicken mit dem stahlhaltigen Material 2 schließt sich eine Schmelzphase des Lichtbogenofens an. Die Schmelzphase umfasst Schritte S2 bis S4. An die Schmelzphase schließt sich eine Flachbadphase an. Die Flachbadphase umfasst Schritte S5 bis S7.

[0035] In der Schmelzphase ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S2 die ersten Ansteuerwerte A1 für die Energieversorgungseinrichtung 3 und die zweiten Ansteuerwerte A2 für die Positioniereinrichtung 7. Die Ermittlung erfolgt gemäß FIG 4 in entsprechenden Ermittlungsblöcken 12 und 13. Im Schritt S3 steuert die Steuereinrichtung 9 die Energieversorgungseinrichtung 3 und die Positioniereinrichtung 7 entsprechend den ermittelten Ansteuerwerten A1, A2 an.

[0036] Die Ermittlung der ersten Ansteuerwerte A1 erfolgt derart, dass die Energieversorgungseinrichtung 3 aufgrund der entsprechenden Ansteuerung elektrische Energie aus dem Versorgungsnetz 4 bezieht und über den Ofentransformator 5 den Elektroden 6 zuführt. Die Ermittlung der zweiten Ansteuerwerte A2 erfolgt derart, dass die Positioniereinrichtung 7 die Elektroden 6 relativ zu in dem stahlhaltigem Material 2 positioniert. Die Ermittlung der ersten Ansteuerwerte A1 und der zweiten Ansteuerwerte A2 durch die Steuereinrichtung 9 ist derart aufeinander abgestimmt, dass sich zwischen den Elektroden 6 und dem stahlhaltigen Material 2 Lichtbögen 14 (siehe FIG 2) ausbilden. Durch die Lichtbögen 14 wird das stahlhaltige Material 2 geschmolzen und so nach und nach eine Stahlschmelze 15 (FIG 5) erzeugt.

[0037] Zur Ermittlung der ersten Ansteuerwerte A1 und der zweiten Ansteuerwerte A2 werden der Steuereinrichtung 9 gemäß FIG 4 Kenngrößen U, I, P der den Elektroden 6 zugeführten elektrischen Energie zugeführt. Die Kenngrößen U, I, P können beispielsweise die Elektrodenspannungen U und/oder die Elektrodenströme I und/oder daraus abgeleitete Werte sein. Ein abgeleiteter Wert ist beispielsweise die momentane Leistung P (= das Produkt von Elektrodenspannung U und Elektrodenstrom I). Ein weiterer abgeleiteter Wert kann sich aus dem zeitlichen Verlauf von Elektrodenspannungen U und Elektrodenströmen I ergeben. Derartige Werte sind beispielsweise der Wirkstrom, die Wirkleistung, die Scheinleistung, Blindstrom und die Blindleistung. Die Kenngrößen können alternativ für die Gesamtheit der Elektroden 6 oder individuell für die jeweilige Elektrode 6 gegeben sein oder abgeleitet werden. Zur Ermittlung der ersten Ansteuerwerte A1 und der zweiten Ansteuerwerte A2 werden der Steuereinrichtung 9 weiterhin Sollgrößen U*, I*, P* für die Kenngrößen U, I, P zugeführt, beispielsweise Sollgrößen U*, I* für die Elektrodenspannungen U und/oder die Elektrodenströme I oder andere geeignete Sollgrößen (beispielsweise eine Sollgröße P* für die Leistung P). Sowohl die Kenngrößen U, I, P als auch die

Sollgrößen U^* , I^* , P^* werden in der Schmelzphase beiden Ermittlungsblöcken 12, 13 zugeführt.

[0038] Anhand der Kenngrößen U , I , P und der zugehörigen Sollgrößen U^* , I^* , P^* ermittelt die Steuereinrichtung 9 die ersten Ansteuerwerte $A1$ und die zweiten Ansteuerwerte $A2$. Die Ermittlung erfolgt in beiden Ermittlungsblöcken 12, 13 derart, dass die elektrischen Kenngrößen U , I , P den korrespondierenden Sollgrößen U^* , I^* , P^* so weit wie möglich angenähert werden. Diese Vorgehensweise und damit die Implementierung des Schrittes S2 ist Fachleuten allgemein bekannt. Sie muss daher nicht näher erläutert werden.

[0039] Im Schritt S4 prüft die Steuereinrichtung 9, ob die Schmelzphase beendet ist. Beendet ist die Schmelzphase, wenn die Stahlschmelze 15 entsprechend der Darstellung in FIG 5 vollständig oder zumindest im wesentlichen eine durchgehende horizontale Oberfläche gebildet hat. Es ist also entweder das stahlhaltige Material 2 vollständig geschmolzen oder die noch nicht geschmolzenen Elemente des stahlhaltigen Materials 2 befinden sich vollständig unter der Oberfläche der Stahlschmelze 15 oder die noch nicht geschmolzenen Elemente des stahlhaltigen Materials 2 ragen nur noch unwesentlich über die Oberfläche der Stahlschmelze 15 hinaus. Weiterhin kann sich auf der Oberfläche der Stahlschmelze 15 eine Schlackenschicht 16 gebildet haben.

[0040] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 9 im Rahmen der Prüfung, ob die Schmelzphase beendet ist, messtechnisch erfasste Istgrößen des Lichtbogenofens auswertet. Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 die Elektrodenströme I und/oder die Elektrodenspannungen U auswertet, insbesondere deren Schwankungen. Auch kann die Steuereinrichtung 9 akustische Größen des Lichtbogenofens auswerten, beispielsweise den Geräuschpegel oder das akustische Spektrum des erzeugten Geräusches. Alternativ ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 9 von einer Bedienerperson (nicht dargestellt) vorgegeben wird, dass die Schmelzphase beendet ist.

[0041] Wenn die Schmelzphase noch nicht beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S2 zurück. Wenn die Schmelzphase hingegen beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zur Flachbadphase und damit zum Schritt S5 über.

[0042] In der Flachbadphase ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S5 die ersten Ansteuerwerte $A1$ für die Energieversorgungseinrichtung 3 und die zweiten Ansteuerwerte $A2$ für die Positioniereinrichtung 7. Im Schritt S6 steuert die Steuereinrichtung 9 die Energieversorgungseinrichtung 3 und die Positioniereinrichtung 7 entsprechend den ermittelten Ansteuerwerten $A1$, $A2$ an.

[0043] Die Ermittlung der ersten Ansteuerwerte $A1$ erfolgt derart, dass die Energieversorgungseinrichtung 3 aufgrund der entsprechenden Ansteuerung elektrische Energie aus dem Versorgungsnetz 4 bezieht und über den Ofentransformator 5 den Elektroden 6 zuführt. Die Ermittlung der zweiten Ansteuerwerte $A2$ erfolgt derart,

dass die Positioniereinrichtung 7 die Elektroden 6 relativ zu der Stahlschmelze 15 positioniert. Insoweit stimmt die Vorgehensweise der Schritte S5 und S6 mit der Vorgehensweise der Schritte S2 und S3 überein.

[0044] Die Vorgehensweise der Schritte S5 und S6 stimmt auch insoweit mit der Vorgehensweise der Schritte S2 und S3 überein, dass die ersten Ansteuerwerte $A1$ und die zweiten Ansteuerwerte $A2$ derart aufeinander abgestimmt sind, dass sich Lichtbögen 14 ausbilden. Die Lichtbögen 14 bilden sich in der Flachbadphase jedoch entsprechend der Darstellung in FIG 5 zwischen den Elektroden 6 und der Stahlschmelze 15 aus. Durch die Lichtbögen 14 wird die Stahlschmelze 15 weiter aufgeheizt.

[0045] Der Steuereinrichtung 6 werden gemäß FIG 6 auch weiterhin die Kenngrößen U , I , P der den Elektroden 6 zugeführten elektrischen Energie und die zugehörigen Sollgrößen U^* , I^* , P^* zugeführt. Die Kenngrößen U , I , P und die zugehörigen Sollgrößen U^* , I^* , P^* werden innerhalb der Steuereinrichtung 9 jedoch nur dem Ermittlungsblock 12 zugeführt. Somit ermittelt die Steuereinrichtung 9 weiterhin die ersten Ansteuerwerte $A1$ derart, dass die elektrischen Kenngrößen U , I , P den korrespondierenden Sollgrößen U^* , I^* , P^* so weit wie möglich angenähert werden.

[0046] Der Ermittlungsblock 13 ist in der Flachbadphase hingegen deaktiviert. Stattdessen ist gemäß FIG 6 ein Ermittlungsblock 17 aktiviert. Mittels des Ermittlungsblocks 17 ermittelt die Steuereinrichtung 9 in der Flachbadphase die zweiten Ansteuerwerte $A2$. Insbesondere ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 die zweiten Ansteuerwerte $A2$ entsprechend der Darstellung in FIG 3 völlig unabhängig von den elektrischen Kenngrößen U , I , P ermittelt. In diesem Fall ist es möglich, dass dem Ermittlungsblock 17 entsprechend der Darstellung in FIG 6 die elektrischen Kenngrößen U , I , P überhaupt nicht zugeführt werden. Stattdessen kann die Steuereinrichtung 9 die zweiten Ansteuerwerte $A2$ aufgrund einer anderweitigen internen Ermittlung oder aufgrund externer Vorgaben V (beispielsweise von Vorgaben, die von einer Bedienerperson stammen) ermitteln.

[0047] Im Schritt S7 prüft die Steuereinrichtung 9, ob die Flachbadphase beendet ist. Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 9 im Rahmen der Prüfung, ob die Flachbadphase beendet ist, messtechnisch erfasste Istgrößen des Lichtbogenofens auswertet. Alternativ ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 9 von der Bedienerperson vorgegeben wird, dass die Flachbadphase beendet ist.

[0048] Wenn die Flachbadphase noch nicht beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S5 zurück. Wenn die Flachbadphase hingegen beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zu einem Schritt S8 über. Im Schritt S8 wird die erzeugte Stahlschmelze 15 aus dem Ofengefäß 1 entnommen, beispielsweise in eine Pfanne (nicht dargestellt) gegossen. Dieser Vorgang kann, nicht aber muss unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Der Schritt S8 ist daher in FIG 3 - analog zum

Schritt S1 - nur gestrichelt dargestellt.

[0049] Mit der Ausführung des Schrittes S8 ist ein vollständiger Zyklus im Betrieb des Lichtbogenofens abgeschlossen. Es kann daher, beginnend mit dem Schritt S1, ein neuer Zyklus begonnen werden.

[0050] In der einfachsten Ausgestaltung erfolgt die Ermittlung der zweiten Ansteuerwerte, wie bereits erwähnt, unabhängig von den elektrischen Kenngrößen U, I, P. Alternativ ist es möglich, dass die zweiten Ansteuerwerte A2 von dem Ermittlungsblock 17 zwar im Regelfall unabhängig von den elektrischen Kenngrößen U, I, P ermittelt werden, unter besonderen Umständen aber doch berücksichtigt werden. In diesem Fall werden dem Ermittlungsblock 17 entsprechend der Darstellung in FIG 7 die entsprechenden elektrischen Kenngrößen U, I, P zugeführt. Ein Zuführen auch der korrespondierenden Sollgrößen U^* , I^* , P^* ist hingegen nicht erforderlich.

[0051] Der Ermittlungsblock 17 (und, weil der Ermittlungsblock 17 Bestandteil der Steuereinrichtung 9 ist, im Ergebnis damit die Steuereinrichtung 9) prüft in diesem Fall, ob die elektrischen Kenngrößen U, I, P vorbestimmte Bedingungen erfüllen oder nicht. Insbesondere prüft der Ermittlungsblock 17 in diesem Fall, ob er anhand der elektrischen Kenngrößen U, I, P die Gefahr eines Lichtbogenabrisses und/oder eines Kurzschlusses erkennt. Nur dann berücksichtigt der Ermittlungsblock 17 bei der Ermittlung der zweiten Ansteuerwerte A2 die elektrischen Kenngrößen U, I, P. Auch in diesem Fall erfolgt die Berücksichtigung aber nur so lange, wie die Gefahr eines Lichtbogenabrisses und/oder eines Kurzschlusses besteht. Besteht die Gefahr nicht mehr, erfolgt auch die Ermittlung der zweiten Ansteuerwerte A2 wieder unabhängig von den elektrischen Kenngrößen U, I, P. Dies wird nachstehend in Verbindung mit FIG 8 näher erläutert.

[0052] FIG 8 zeigt die Vorgehensweise in der Flachbadphase. Die Vorgehensweise in der Schmelzphase kann unverändert sein.

[0053] Gemäß FIG 8 geht die Steuereinrichtung 9 vom Schritt S4 aus zunächst zu einem Schritt S11 über. Im Schritt S11 prüft die Steuereinrichtung 9, ob sie die Gefahr eines Lichtbogenabrisses erkennt. Im Rahmen der Prüfung des Schrittes S11 wertet die Steuereinrichtung 9 die elektrischen Kenngrößen U, I, P aus. Erkennt die Steuereinrichtung 9 die Gefahr eines Lichtbogenabrisses, geht sie zu einem Schritt S12 über. Im Schritt S12 ermittelt die Steuereinrichtung 9 die ersten Ansteuerwerte A1 und die zweiten Ansteuerwerte A2 dahingehend, dass der Gefahr des Lichtbogenabrisses entgegengewirkt wird. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 9 die ersten Ansteuerwerte A1 dahingehend variieren, dass die Elektroden Spannungen U erhöht werden, und die zweiten Ansteuerwerte A2 dahingehend variieren, dass die Elektroden 6 in Richtung auf die Stahlschmelze 15 zu abgesenkt werden.

[0054] Erkennt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S11 nicht die Gefahr eines Lichtbogenabrisses, geht die Steuereinrichtung 9 zu einem Schritt S13 über. Im Schritt S13

prüft die Steuereinrichtung 9, ob sie die Gefahr eines Kurzschlusses erkennt. Im Rahmen der Prüfung des Schrittes S13 wertet die Steuereinrichtung 9 ebenfalls die elektrischen Kenngrößen U, I, P aus. Erkennt die Steuereinrichtung 9 die Gefahr eines Kurzschlusses, geht sie zu einem Schritt S14 über. Im Schritt S14 ermittelt die Steuereinrichtung 9 die ersten Ansteuerwerte A1 und die zweiten Ansteuerwerte A2 dahingehend, dass der Gefahr des Kurzschlusses entgegengewirkt wird. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 9 die ersten Ansteuerwerte A1 dahingehend variieren, dass die Elektroden Spannungen U verringert werden, und insbesondere die zweiten Ansteuerwerte A2 dahingehend variieren, dass die Elektroden 6 in Richtung von der Stahlschmelze 15 weg angehoben werden.

[0055] Erkennt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S13 nicht die Gefahr eines Kurzschlusses, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S5 über. Im Schritt S5 erfolgt die Ermittlung der ersten Ansteuerwerte A1 und der zweiten Ansteuerwerte A2 so, wie dies bereits in Verbindung mit FIG 6 erläutert wurde.

[0056] Unabhängig davon, ob die Steuereinrichtung 9 den Schritt S12, den Schritt S14 oder den Schritt S5 ausgeführt hat, geht die Steuereinrichtung 9 als nächstes zum Schritt S6 über, in dem sie die Energieversorgungseinrichtung 3 und die Positioniereinrichtung 4 entsprechend den ermittelten ersten und zweiten Ansteuerwerten A1, A2 ansteuert. Sodann geht die Steuereinrichtung zum Schritt S7 über. Von dort aus wird entweder zum Schritt S8 übergegangen oder die Steuereinrichtung 9 geht zum Schritt S11 zurück.

[0057] Die Kenngrößen U, I, P können auf verschiedene Art und Weise gewählt werden. Beispielsweise ist es gemäß der Darstellung in FIG 9 möglich, dass - zumindest während der Flachbadphase - die elektrischen Kenngrößen U, I, P die Elektrodenströme I sind. Alternativ ist es gemäß der Darstellung in FIG 10 möglich, dass - zumindest während der Flachbadphase - die elektrischen Kenngrößen U, I, P die elektrischen Leistungen P sind. In diesem Fall kann beispielsweise dem Ermittlungsblock 12 ein Ergänzungsblock 18 vorgeordnet sein. Dem Ergänzungsblock 18 können in diesem Fall beispielsweise die Elektroden Spannungen U und die Elektrodenströme I zugeführt werden. Der Ergänzungsblock 18 ermittelt in diesem Fall beispielsweise instantan die momentane Leistung oder über eine Periode der Elektroden Spannungen U die mittlere elektrische Leistung und gibt den ermittelten Wert als elektrische Kenngröße P an den Ermittlungsblock 12 aus.

[0058] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 9 während der Flachbadphase die ersten Ansteuerwerte A1 derart ermittelt, dass eine Frequenz f der Elektroden Spannungen U (bzw. hiermit korrespondierend eine Frequenz f der Elektrodenströme I) variiert wird. Dies ist in FIG 11 dadurch angedeutet, dass eine korrespondierende Periodendauer T variiert wird. Das Variieren der Periodendauer T und hiermit korrespondierend der Frequenz f ist in FIG 11 durch einen Doppelpfeil 19 ange-

deutet. Es erfolgt zu dem Zweck, die elektrischen Kenngrößen U , I , P an die korrespondierenden Sollgrößen U^* , I^* , P^* anzunähern.

[0059] Das Variieren der Frequenz f erfolgt vorzugsweise in einem Bereich, der zwischen 70 % und 90 % der Basisfrequenz f_0 liegt, insbesondere zwischen 75 % und 85 % der Basisfrequenz f_0 .

[0060] Zu Beginn der Flachbadphase, wenn also die Steuereinrichtung 9 vom Schritt S4 zum Schritt S5 übergeht (bzw. im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 8 zum Schritt S11 übergeht), weisen die Lichtbögen 14 gemäß der Darstellung in FIG 5 eine Basislänge L_0 auf. In manchen Fällen ist es von Vorteil, wenn die Steuereinrichtung 9 die Elektroden 6 während der Flachbadphase auf die Stahlschmelze 15 zu verfährt. Nach dem Verfahren auf die Stahlschmelze 15 zu weisen die Lichtbögen 14 gemäß FIG 12 nur noch eine Restlänge LR auf. Die Restlänge LR ist kleiner als die Basislänge L_0 . Sie sollte aber entsprechend der Darstellung in FIG 13 mindestens 20 % der Basislänge L_0 betragen.

[0061] Die Basislänge L_0 kann der Steuereinrichtung 9 auf verschiedene Art und Weise bekannt werden. Beispielsweise kann die Basislänge L_0 der Steuereinrichtung 9 von der Bedienperson vorgegeben werden. Alternativ ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 entsprechend der Darstellung in FIG 14 unmittelbar nach dem Schritt S4 zunächst einen Schritt S21 ausführt. In diesem Fall ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S21 die Basislänge L_0 anhand der elektrischen Kenngrößen U , I , P , wie sie zu Beginn der Flachbadphase vorliegen. Entsprechende Vorgehensweisen sind Fachleuten bekannt. Der Schritt S21 wird, falls er vorhanden ist, nur einmal ausgeführt. Er ist also nicht in die Schleife der Schritte S5 bis S7 mit eingebunden. Dies gilt in analoger Weise auch, wenn die Schritte S11 bis S14 vorhanden sind.

[0062] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 9 die Restlänge LR anhand der Basislänge L_0 ermittelt. Alternativ ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 nur einen minimal zulässigen Wert für die Restlänge LR ermittelt oder der Steuereinrichtung 9 ein entsprechender minimal zulässiger Wert für die Restlänge LR vorgegeben ist. In diesem Fall ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 das Verfahren der Elektroden 6 beibehält, bis die Steuereinrichtung 9 aufgrund einer Auswertung der Kenngrößen U , I , P einen optimierten Betrieb des Lichtbogenofens erkennt oder die Restlänge RL den minimal zulässigen Wert erreicht. Unabhängig von der konkret ergriffenen Vorgehensweise ist der Schritt S5 in diesem Fall derart implementiert, dass die ersten Ansteuerwerte $A1$ so wie bereits erläutert ermittelt werden, die zweiten Ansteuerwerte $A2$ aber derart ermittelt werden, dass die Länge der Lichtbögen 14, ausgehend von der Basislänge L_0 , reduziert wird. Durch das Verringern der Länge der Lichtbögen 14 auf die Restlänge LR kann in manchen Betriebszuständen des Lichtbogenofens die Energieeffizienz des Lichtbogenofens verbessert werden.

[0063] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere aber kann die mechanische Belastung der Positioniereinrichtung 7 reduziert werden und kann weiterhin die Energieeffizienz beim Betrieb des Lichtbogenofens verbessert werden.

[0064] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

15 [0065]

1	Ofengefäß
2	stahlhaltiges Material
3	Energieversorgungseinrichtung
4	Versorgungsnetz
5	Ofentransformator
6	Elektroden
7	Positioniereinrichtung
8, 19	Doppelpfeile
9	Steuereinrichtung
10	Steuerprogramm
11	Maschinencode
12, 13, 17	Ermittlungsblöcke
14	Lichtbögen
15	Stahlschmelze
16	Schlackenschicht
18	Ergänzungsblock
A1, A2	Ansteuerwerte
f	Frequenz
f_0	Basisfrequenz
I	Elektrodenströme
L_0	Basislänge
LR	Restlänge
P	elektrische Leistungen
S1 bis S21	Schritte
T	Periodendauer
U	Elektrodenspannungen
U, I, P	Kenngrößen
U^* , I^* , P^*	Sollgrößen
V	Vorgaben

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für einen Lichtbogenofen,

- wobei eine Steuereinrichtung (9) des Lichtbogenofens zunächst in einer Schmelzphase und sodann in einer sich an die Schmelzphase anschließenden Flachbadphase eine Energieversorgungseinrichtung (3) des Lichtbogenofens mit ersten Ansteuerwerten ($A1$) ansteuert, so

- dass die Energieversorgungseinrichtung (3) elektrische Energie aus einem Versorgungsnetz (4) bezieht und über einen Ofentransformator (5) Elektroden (6) des Lichtbogenofens zuführt, und weiterhin eine Positioniereinrichtung (7) des Lichtbogenofens mit zweiten Ansteuerwerten (A2) ansteuert, so dass die Positioniereinrichtung (7) die Elektroden (6) in der Schmelzphase relativ zu in einem Ofengefäß (1) des Lichtbogenofens befindlichem stahlhaltigem Material (2) in festem Aggregatzustand positioniert, so dass sich in der Schmelzphase zwischen den Elektroden (6) und dem stahlhaltigen Material (2) Lichtbögen (14) ausbilden, durch welche das stahlhaltige Material (2) zu einer Stahlschmelze (15) geschmolzen wird, und in der Flachbadphase relativ zu der Stahlschmelze (15) positioniert, so dass sich in der Flachbadphase zwischen den Elektroden (6) und der Stahlschmelze (15) Lichtbögen (14) ausbilden, durch welche die Stahlschmelze (15) weiter aufgeheizt wird,
- wobei die Steuereinrichtung (9) während der Schmelzphase sowohl die ersten Ansteuerwerte (A1) als auch die zweiten Ansteuerwerte (A2) derart ermittelt, dass elektrische Kenngrößen (U, I, P) der den Elektroden (6) zugeführten elektrischen Energie korrespondierenden Sollgrößen (U*, I*, P*) so weit wie möglich angenähert werden,
 - wobei die Steuereinrichtung (9) während der Flachbadphase die ersten Ansteuerwerte (A1) weiterhin derart ermittelt, dass die elektrischen Kenngrößen (U, I, P) den korrespondierenden Sollgrößen (U*, I*, P*) so weit wie möglich angenähert werden, die zweiten Ansteuerwerte (A2) jedoch entweder völlig unabhängig von den elektrischen Kenngrößen (U, I, P) ermittelt oder nur dann in Abhängigkeit von den elektrischen Kenngrößen (U, I, P) ermittelt, wenn die Steuereinrichtung (9) aufgrund der elektrischen Kenngrößen (U, I, P) die Gefahr eines Lichtbogenabrisses und/oder eines Kurzschlusses erkennt.
2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest während der Flachbadphase die elektrischen Kenngrößen (U, I, P) die Elektrodenströme (I) sind.
 3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest während der Flachbadphase die elektrischen Kenngrößen (U, I, P) die elektrischen Leistungen (P) sind.
 4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (9) während der Flachbadphase die ersten Ansteuerwerte (A1) derart ermittelt, dass zum Annähern der elektrischen Kenngrößen (U, I, P) an die korrespondierenden Sollgrößen (U*, I*, P*) eine Frequenz (f) von den Elektroden (6) zugeführten Elektrodenströmen (I) und/oder von an die Elektroden (6) angelegten Elektrodenspannungen (U) variiert wird.
 5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Frequenz (f) der den Elektroden (6) zugeführten Elektrodenströme (I) und/oder der an die Elektroden (6) angelegten Elektrodenspannungen (U) in der Flachbadphase kleiner als eine Basisfrequenz (f0) des Versorgungsnetzes (4) ist.
 6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtbögen (14) zu Beginn der Flachbadphase eine Basislänge (L0) aufweisen und dass die Steuereinrichtung (9) die Elektroden (6) während der Flachbadphase auf die Stahlschmelze (15) zu verfährt, so dass die Lichtbögen (14) nach dem Verfahren auf die Stahlschmelze (15) zu nur noch eine Restlänge (LR) aufweisen, die kleiner als die Basislänge (L0) ist.
 7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Restlänge (LR) mindestens 20 % der Basislänge (L0) beträgt.
 8. Betriebsverfahren nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinrichtung (9) die Basislänge (L0) anhand der elektrischen Kenngrößen (U, I, P), wie sie zu Beginn der Flachbadphase vorliegen, ermittelt.
 9. Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung (9) eines Lichtbogenofens, wobei das Steuerprogramm Maschinencode (11) umfasst, der von der Steuereinrichtung (9) abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (11) durch die Steuereinrichtung (9) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (9) einen Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.
 10. Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, wobei die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm (10) nach Anspruch 9 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibt.

11. Lichtbogenofen,

- wobei der Lichtbogenofen ein Ofengefäß (1) aufweist, dem stahlhaltiges Material (2) in festem Aggregatzustand zuführbar ist, 5
- wobei der Lichtbogenofen eine Energieversorgungseinrichtung (3) und Elektroden (6) sowie einen Ofentransformator (5) aufweist,
- wobei die Energieversorgungseinrichtung (3) eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz (4) verbunden ist und ausgangsseitig über den Ofentransformator (5) mit den Elektroden (6) verbunden ist, 10
- wobei der Lichtbogenofen eine Positioniereinrichtung (7) aufweist, mittels derer die Elektroden (6) in einer Schmelzphase relativ zum stahlhaltigen Material (2) und in einer sich an die Schmelzphase anschließenden Flachbadphase relativ zu einer durch Schmelzen des stahlhaltigen Materials (2) erzeugten Stahlschmelze (15) positionierbar sind, 15 20
- wobei der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung (9) aufweist, von der sowohl in der Schmelzphase als auch in der Flachbadphase die Energieversorgungseinrichtung (3) mit ersten Ansteuerwerten (A1) ansteuerbar ist und die Positioniereinrichtung (7) mit zweiten Ansteuerwerten (A2) ansteuerbar ist, 25
- wobei die Steuereinrichtung (9) gemäß Anspruch 10 ausgebildet ist. 30

35

40

45

50

55

FIG 1

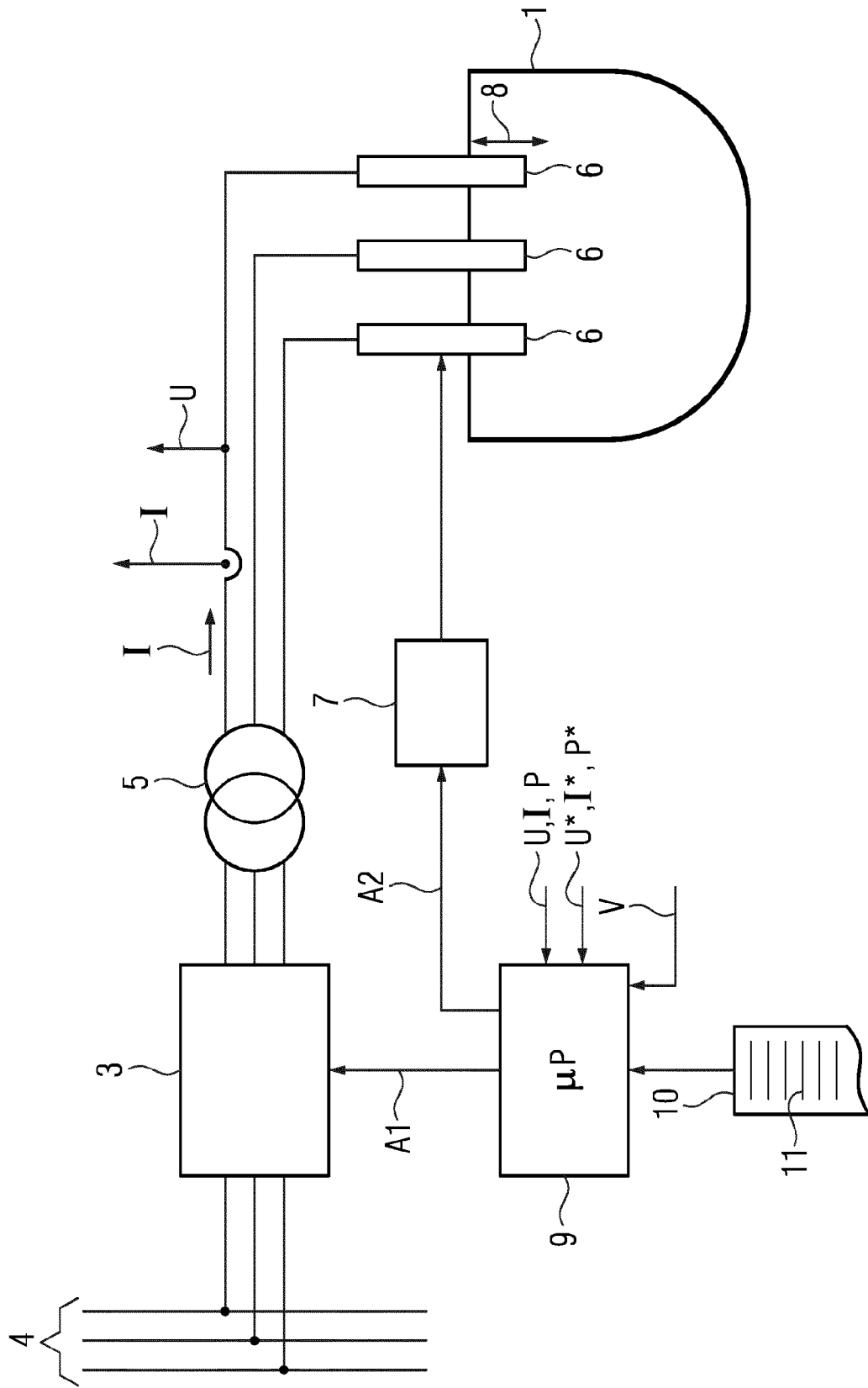


FIG 2

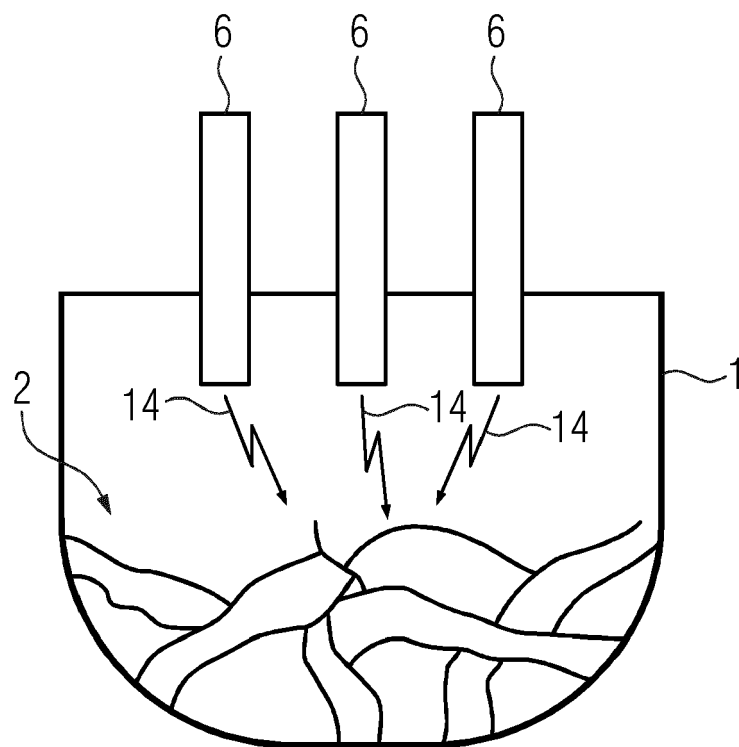


FIG 3

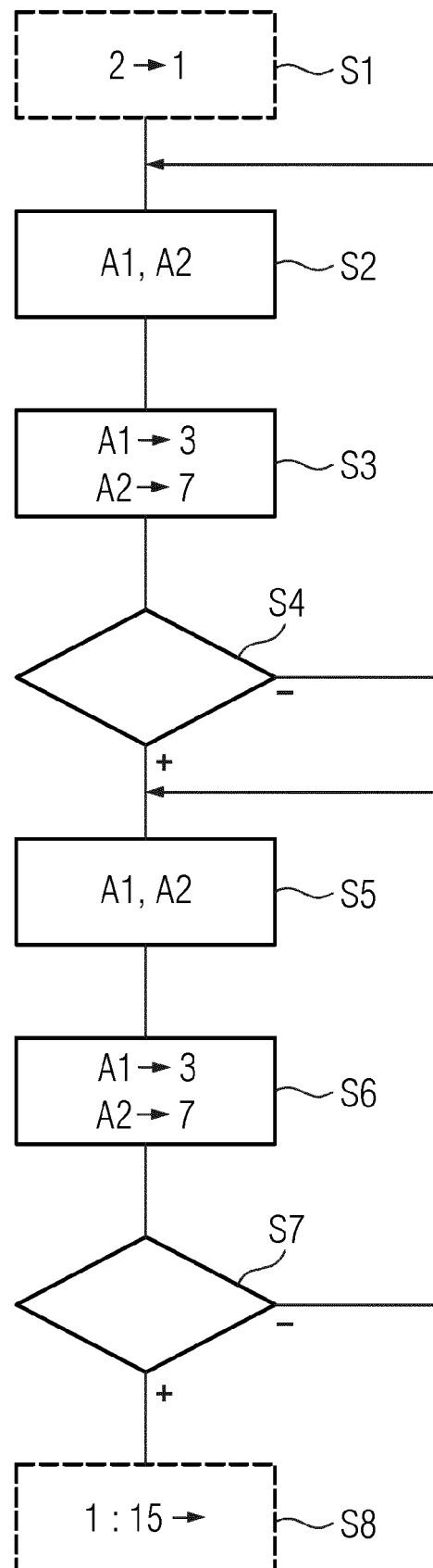


FIG 4

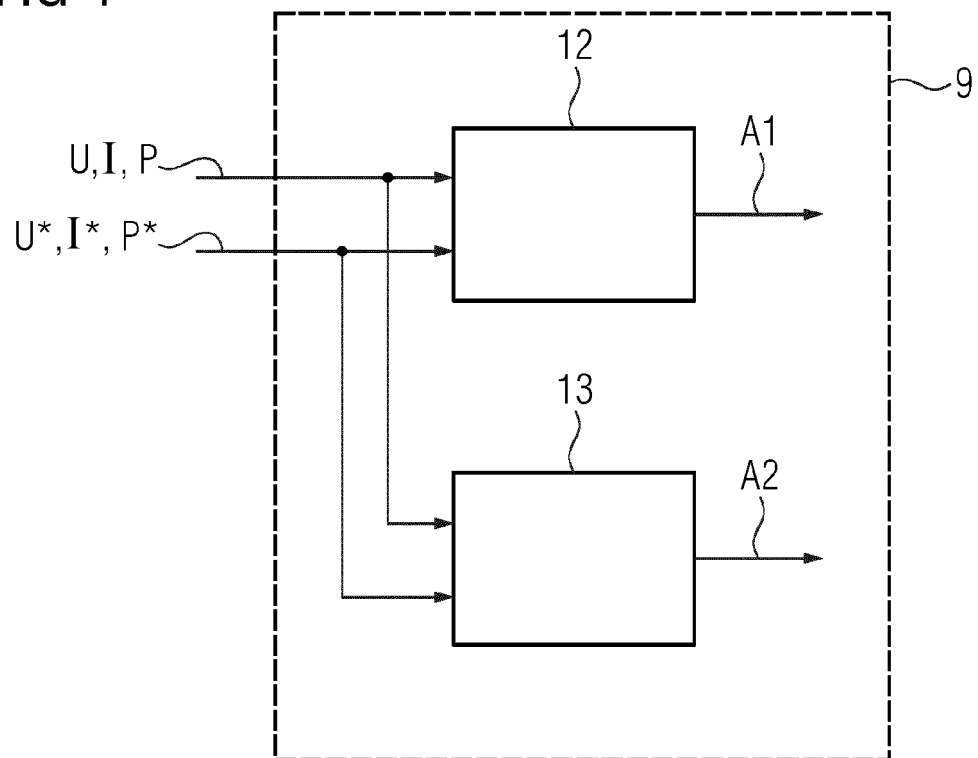


FIG 5

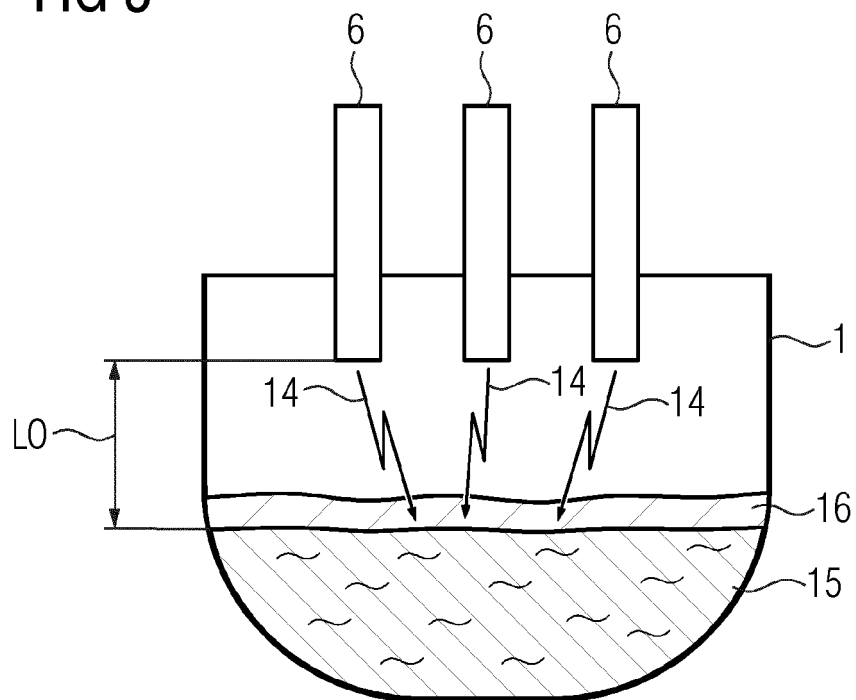


FIG 6

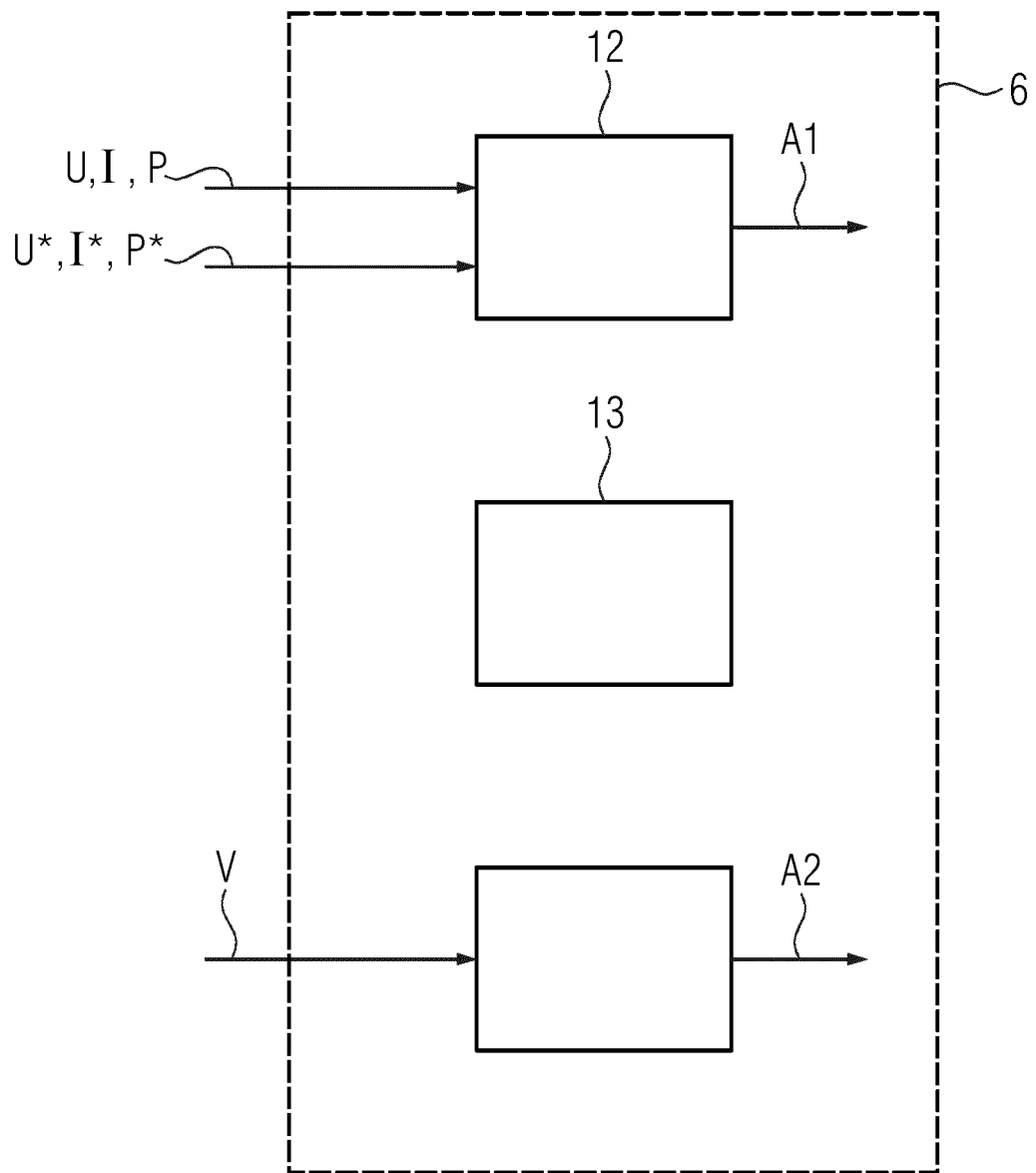


FIG 7

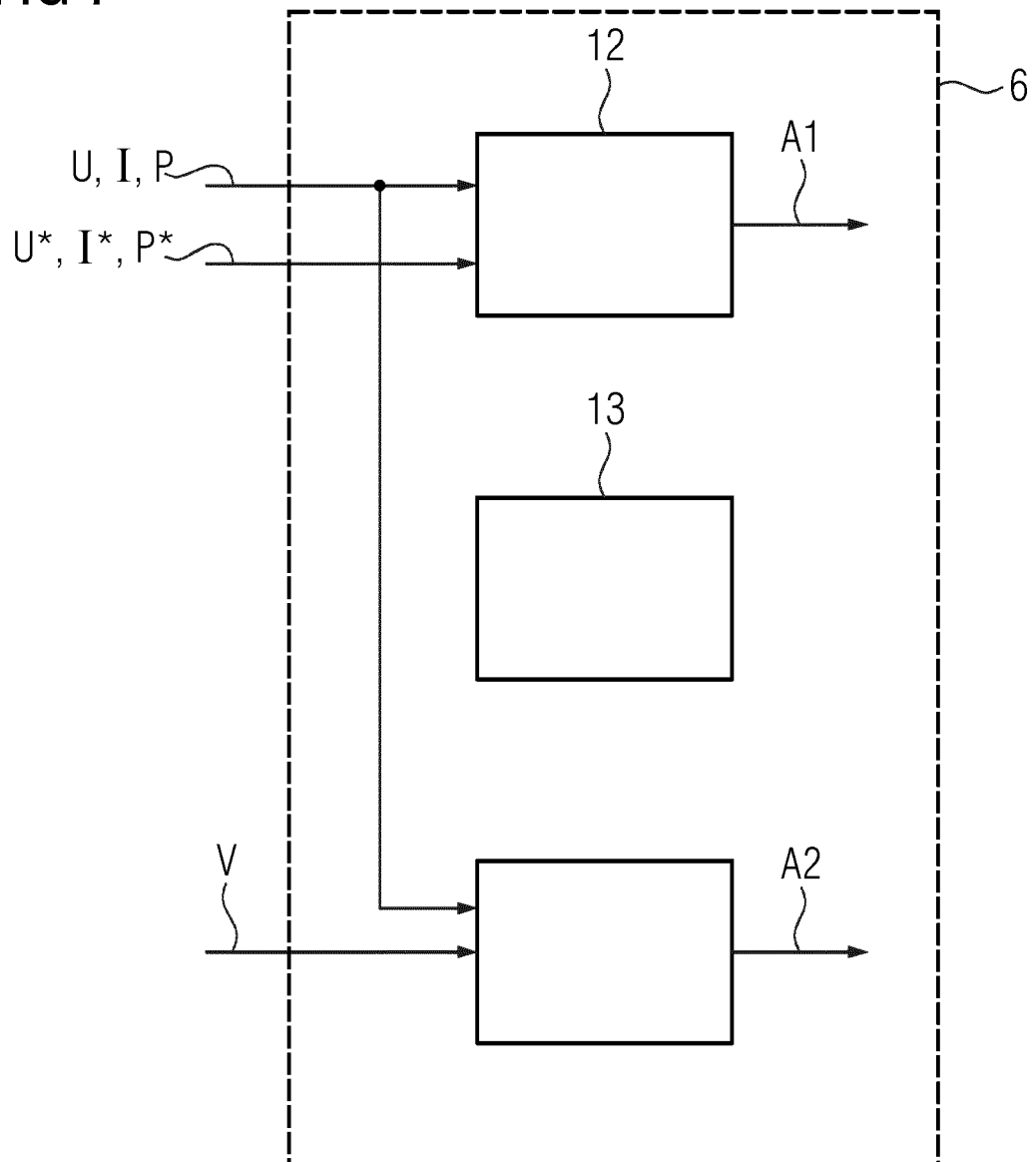


FIG 8

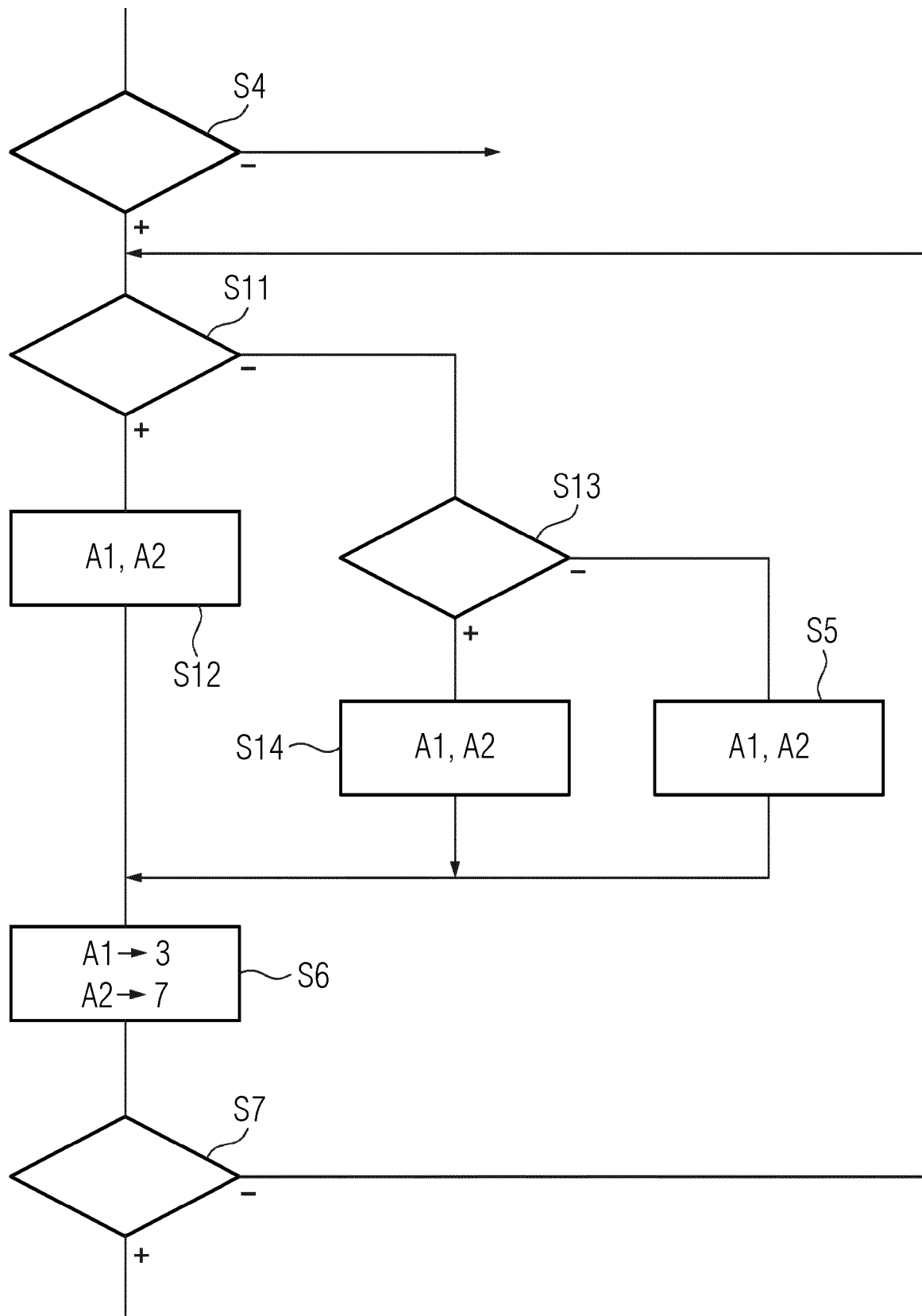


FIG 9

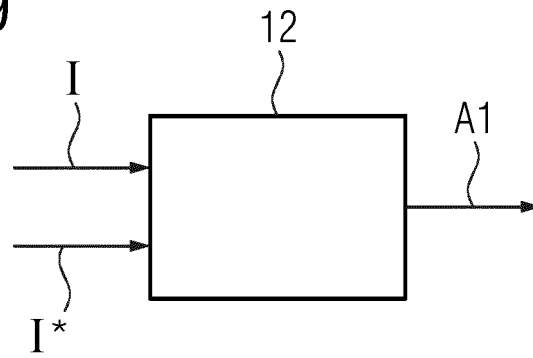


FIG 10

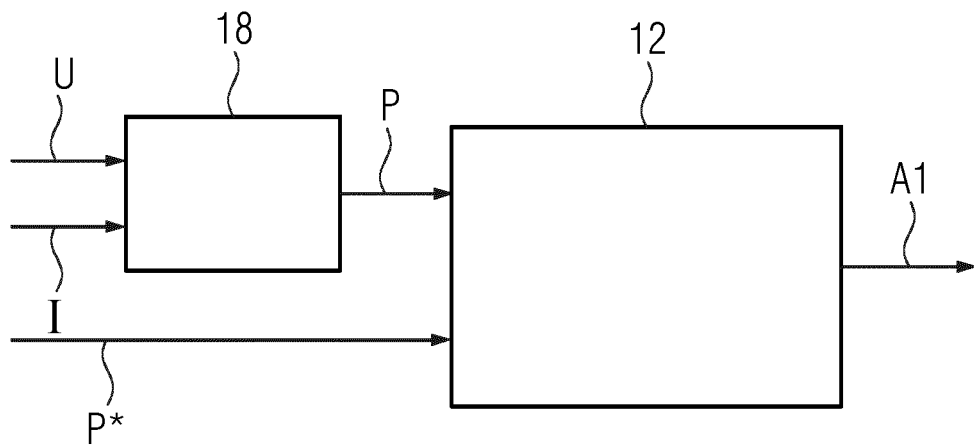


FIG 11

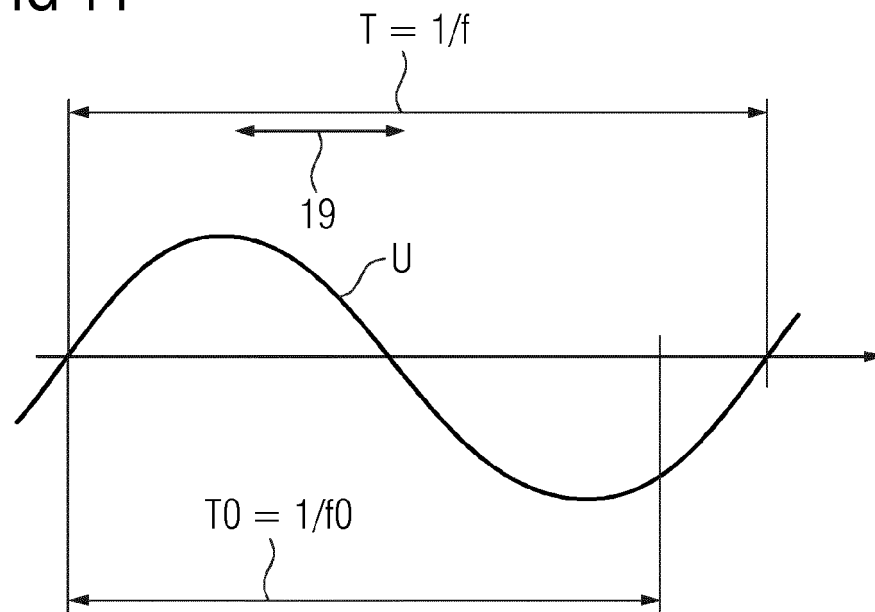


FIG 12

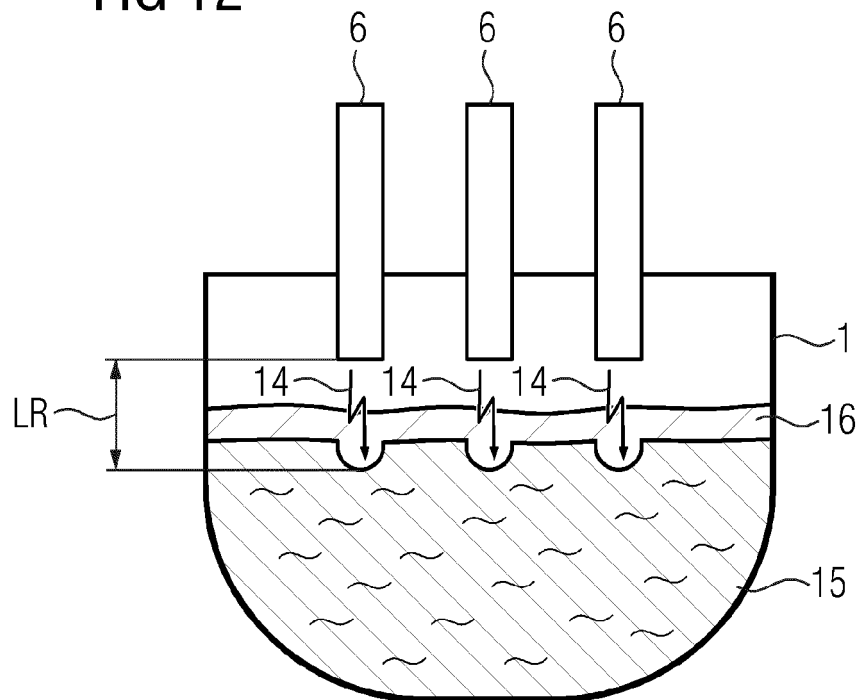


FIG 13

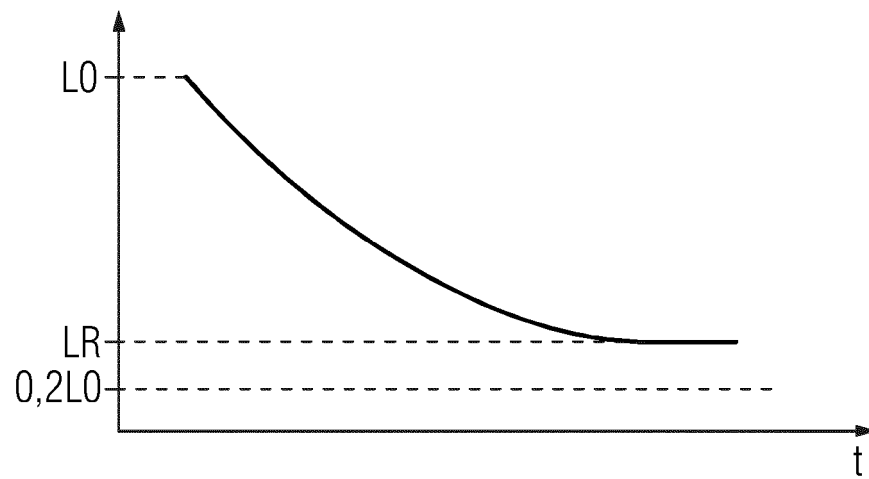
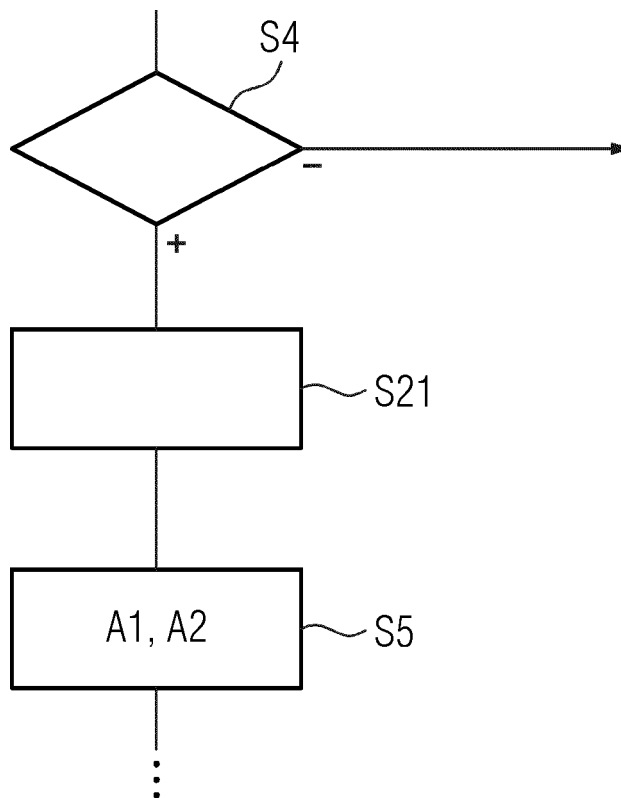


FIG 14





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 18 0899

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2019/207611 A1 (DANIELI AUTOMATION SPA [IT]; DANIELI OFF MECC [IT]) 31. Oktober 2019 (2019-10-31) * Seite 1, Zeile 5 - Zeile 10 * * Seite 1, Zeile 12 - Zeile 28 * * Seite 2, Zeile 7 - Zeile 17 * * Seite 2, Zeile 24 - Seite 3, Zeile 5 * * Seite 3, Zeile 26 - Zeile 29 * * Seite 8, Zeile 12 - Zeile 29; Abbildung 2 * * Seite 11, Zeile 17 - Zeile 32; Abbildung 2 * * Seite 12, Zeile 28 - Seite 13, Zeile 3; Abbildungen 3,4 * * Seite 9, Zeile 23 - Zeile 24 * -----	1-11	INV. H05B7/20 H05B7/148 C21C5/52 F27B3/08
A,D	EP 3 124 903 A1 (DANIELI AUTOMATION SPA [IT]) 1. Februar 2017 (2017-02-01) * Absatz [0001] - Absatz [0002] * * Absatz [0005] * * Absatz [0022] * * Absatz [0025] * * Absatz [0029] - Absatz [0044]; Abbildung 1 * -----	1-11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F27D C21C F27B H05B
A	US 5 115 447 A (BOWMAN BEN B [CH]) 19. Mai 1992 (1992-05-19) * Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 16 * * Spalte 3, Zeile 35 - Spalte 4, Zeile 14; Abbildung 1 * -----	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. November 2021	Prüfer Barzic, Florent
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 : mündliche 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 21 18 0899

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

18-11-2021

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
WO 2019207611	A1	31-10-2019	AU	2019260694	A1	19-11-2020
			CN	112236636	A	15-01-2021
			EP	3784970	A1	03-03-2021
			JP	6951591	B2	20-10-2021
			JP	2021515530	A	17-06-2021
			KR	20210003174	A	11-01-2021
			US	2021231372	A1	29-07-2021
			WO	2019207611	A1	31-10-2019

EP 3124903	A1	01-02-2017	AR	101962	A1	25-01-2017
			AU	2015227470	A1	16-02-2017
			CA	2904967	A1	30-01-2017
			CN	106413167	A	15-02-2017
			CN	113639564	A	12-11-2021
			DK	3124903	T3	13-05-2019
			DK	3518622	T3	22-03-2021
			EP	3124903	A1	01-02-2017
			EP	3518622	A1	31-07-2019
			ES	2725911	T3	30-09-2019
			ES	2859698	T3	04-10-2021
			HR	P20190858	T1	28-06-2019
			HR	P20210416	T1	30-04-2021
			HU	E043306	T2	28-08-2019
			HU	E054041	T2	30-08-2021
			JP	6002823	B1	05-10-2016
			JP	2017033911	A	09-02-2017
			KR	20170015045	A	08-02-2017
			LT	3124903	T	27-05-2019
			MA	40740	A	01-02-2017
			MA	47024	A	31-07-2019
			MX	354920	B	26-03-2018
			PL	3124903	T3	30-08-2019
			PL	3518622	T3	31-05-2021
			RU	2015139523	A	22-03-2017
			SG	10201507755V	A	27-02-2017
			SI	3124903	T1	28-06-2019
			SI	3518622	T1	30-04-2021
			TR	201906577	T4	21-05-2019
			TW	201704707	A	01-02-2017
			US	2017034878	A1	02-02-2017
			US	2019191502	A1	20-06-2019
			ZA	201506895	B	29-03-2017

US 5115447	A	19-05-1992	AT	119734	T	15-03-1995
			CA	2059062	A1	11-07-1992
			DE	69201573	T2	18-01-1996

EPO FORM P0461

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

55

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

EP 21 18 0899

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

18-11-2021

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		EP 0494720 A2	15-07-1992
		US 5115447 A	19-05-1992

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

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 Patentdokumente

- WO 2015176899 A1 [0005] [0010] [0029]
- EP 1026921 A1 [0005] [0010] [0029]
- EP 3124903 A1 [0005] [0010] [0029]