

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum

13. November 2014 (13.11.2014)



W I P O I P C T



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2014/180964 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F25J3/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/059483

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Mai 2014 (08.05.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
13002467.2 8. Mai 2013 (08.05.2013) EP

(71) Anmelder: LINDE AKTIENGESellschaft
[DE/DE]; Klosterhofstraße 1, 80331 München (DE).

(72) Erfinder: HOLZER, Max; Mühlstraße 15a, 82547
Eurasburg (DE). LOCHNER, Stefan; Wiesenweg 9b,
85567 Grafing (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
V)

(54) Title: AIR SEPARATION SYSTEM HAVING A MAIN COMPRESSOR DRIVE

(54) Bezeichnung : LUFTZERLEGUNGSANLAGE MIT HAUPTVERDICHTERANTRIEB

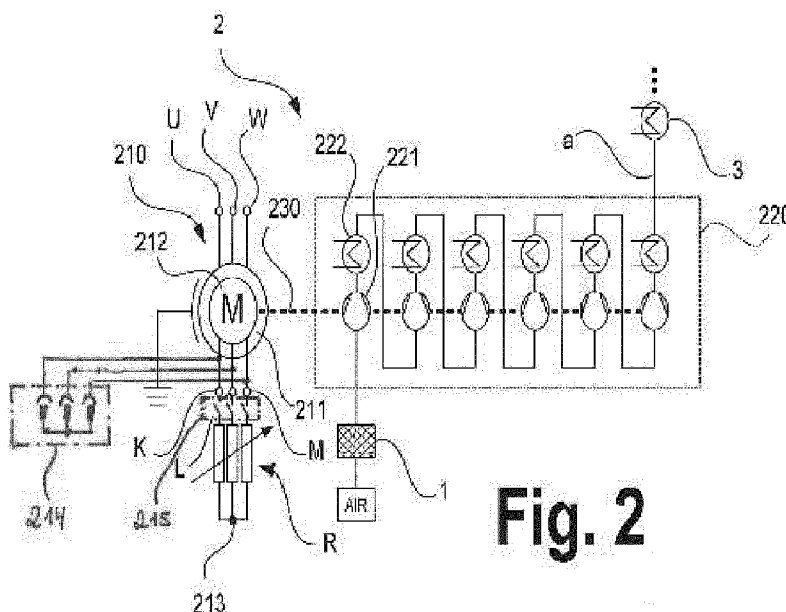


Fig. 2

der Luftzerlegungsanlage (100) insgesamt zugeführt

(57) Abstract: The invention relates to an air separation system (100), comprising a distillation column system (7), which comprises at least one high-pressure column (71) and one low-pressure column (72), and a main compressor unit (2), which is designed to compress a total air amount to be supplied to the air separation system (100) in total to a pressure that is at least 4 bar higher than an operating pressure for which the high-pressure column (71) is designed. The main compressor unit (2) has a modified slip-ring-rotor motor (210), which has a brush-lifting device (215) and a short-circuit ring (214). The invention further relates to a method for the low-temperature separation of air and the corresponding use of a slip-ring-rotor motor (210).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Destillationssäulensystem (7), das zumindest eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) umfasst, und einer Hauptverdichtereinheit (2), die dafür eingerichtet ist, eine Gesamtluftmenge, die

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

wird, auf einen Druck zu verdichten, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, für den die Hochdrucksäule (71) eingerichtet ist. Die Hauptverdichtereinheit (2) weist einen modifizierten Schleifringläufermotor (210) mit Bürstenabhebevorrichtung (215) und Kurzschlußring (214) auf. Ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und die entsprechende Verwendung eines Schleifringläufermotors (210) sind ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

BeschreibungLuftzerlegungsanlage mit Hauptverdichterantrieb

Die Erfindung betrifft eine Luftzerlegungsanlage, ein Verfahren zur

- 5 Tieftemperaturzerlegung von Luft mittels einer derartigen Luftzerlegungsanlage und die entsprechende Verwendung eines Schleifringläufermotors mit Bürstenabhebung und SchleifringkurzschlieÙvorrichtung.

Stand der Technik

10

Die Herstellung von Luftprodukten in flüssigem oder gasförmigem Zustand durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in Luftzerlegungsanlagen ist bekannt. Derartige Luftzerlegungsanlagen weisen Destillationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber

15 auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Ferner können Vorrichtungen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

Die Destillationssäulensysteme werden bei unterschiedlichen Betriebsdrücken in ihren

20 jeweiligen Trennsäulen betrieben. Die Doppelsäulensysteme weisen dabei eine sogenannte Hochdrucksäule und eine sogenannte Niederdrucksäule auf. Der Betriebsdruck der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4,3 bis 6,9 bar, vorzugsweise etwa 5,0 bar. Die Niederdrucksäule wird bei einem Betriebsdruck von beispielsweise 1,3 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,5 bar, betrieben. Bei den hier und im Folgenden

25 angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke.

Entsprechende Luftzerlegungsanlagen können beispielsweise mit sogenannter Innenverdichtung betrieben werden. Bei der Innenverdichtung wird dem Destillationssäulensystem ein flüssiger Strom entnommen und zumindest zum Teil

30 flüssig auf Druck gebracht. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird in einem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage gegen einen Wärmeträger erwärmt und verdampft. Bei dem flüssigen Strom kann es sich insbesondere um flüssigen

Sauerstoff, jedoch auch z.B. um Stickstoff oder Argon handeln. Die Innenverdichtung wird damit zur Gewinnung entsprechender gasförmiger Druckprodukte eingesetzt.

Die Innenverdichtung ist beispielsweise in folgenden Druckschriften beschrieben:

- 5 DE 830 805 B, DE 901 542 B (entspricht US 2 712 738 A bzw. US 2 784 572 A),
DE 952 908 B, DE 1 103 363 B (US 3 083 544 A), DE 1 112 997 B (US 3 214 925 A),
DE 1 124 529 B, DE 1 117 616 B (US 3 280 574 A), DE 1 226 616 A (US 3 216 206 A),
DE 1 229 561 B (US 3 222 878 A), DE 1 199 293 B, DE 1 187 248 B (US 3 371 496 A),
DE 1 235 347 B, DE 1 258 882 A (US 3 426 543 A), DE 1 263 037 A (US 3 401 531 A),
10 DE 1 501 722 A (US 3 416 323 A), DE 1 501 723 A (US 3 500 651 A),
DE 25 351 32 B2 (US 4 279 631 A), DE 26 46 690 A1, EP 0 093 448 B1
(US 4 555 256 A), EP 0 384 483 B1 (US 5 036 672 A), EP 0 505 812 B1
(US 5 263 328 A), EP 0 716 280 B1 (US 5 644 934 A), EP 0 842 385 B1
(US 5 953 937 A), EP 0 758 733 B1 (US 5 845 517 A), EP 0 895 045 B1
15 (US 6 038 885 A), DE 198 03 437 A1, EP 0 949 471 B1 (US 6 185 960 B1),
EP 0 955 509 A1 (US 6 196 022 B1), EP 1 031 804 A1 (US 6 314 755 B1),
DE 199 09 744 A1, EP 1 067 345 A1 (US 6 336 345 B1), EP 1 074 805 A1
(US 6 332 337 B1), DE 199 54 593 A1, EP 1 134 525 A1 (US 6 477 860 B2),
DE 100 13 073 A1, EP 1 139 046 A1, EP 1 146 301 A1, EP 1 150 082 A1,
20 EP 1 213 552 A1, DE 101 15 258 A1, EP 1 284 404 A1 (US 2003/051 504 A1),
EP 1 308 680 A1 (US 6 612 129 B2), DE 102 13 212 A1, DE 102 13 211 A1,
EP 1 357 342 A1, DE 102 38 282 A1, DE 103 02 389 A1, DE 103 34 559 A1,
DE 103 34 560 A1, DE 103 32 863 A1, EP 1 544 559 A1, EP 1 585 926 A1,
DE 102005 029 274 A1, EP 1 666 824 A1, EP 1 672 301 A1, DE 10 2005 028 012 A1,
25 WO 2007/033838 A1, WO 2007/1 04449 A1, EP 1 845 324 A1,
DE 10 2006 032 731 A1, EP 1 892 490 A1, DE 10 2007 014 643 A1, EP 2 015 012 A2,
EP 2 015 013 A2, EP 2 026 024 A1, WO 2009/0951 88 A2, DE 10 2008 016 355 A1.

Der Begriff "Verdampfen" schließt bei der Innenverdichtung Fälle ein, bei denen ein
30 überkritischer Druck herrscht und daher kein Phasenübergang im eigentlichen Sinne
stattfindet. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird dann "pseudoverdampft".
Gegen einen entsprechenden (pseudo-)verdampfenden Strom wird ein Wärmeträger
verflüssigt (bzw. pseudoverflüssigt, wenn er unter überkritischem Druck steht). Der
Wärmeträger wird dabei üblicherweise durch einen Teil der der Luftzerlegungsanlage
35 zugeführten verdichteten Luft gebildet.

Um den flüssig auf Druck gebrachten Strom erwärmen und verdampfen zu können, muss der Wärmeträger aufgrund thermodynamischer Gegebenheiten einen höheren Druck als der flüssig auf Druck gebrachte Strom haben. In diesem Zusammenhang
5 können sogenannte High-Air-Pressure-Verfahren (HAP) eingesetzt werden.

Bei einem HAP-Verfahren, das typischerweise mit einem Doppelsäulensystem verwendet wird, wird die gesamte, der Luftzerlegungsanlage zugeführte Luft bzw. die in einem entsprechenden Verfahren in einer Luftzerlegungsanlage insgesamt eingesetzte
10 Luft (hier als "Gesamtluftmenge" bezeichnet) in einem einzigen Hauptverdichter (hier auch als "Hauptverdichtereinheit" bezeichnet) - auf einen Druck verdichtet, der deutlich über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule liegt. Der Druckunterschied beträgt mindestens 4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar.

15 In HAP-Verfahren kann die in der Hauptverdichtereinheit verdichtete Luftmenge von der Prozessluftmenge entkoppelt werden. In einem derartigen Fall wird nur ein Teil der auf den genannten Druck verdichteten Gesamtluftmenge als sogenannte Prozessluft genutzt, also für die eigentliche Rektifikation verwendet und in die Hochdrucksäule eingespeist. Eine derartige Entkopplung ist jedoch nicht in allen HAP-Verfahren
20 vorgesehen. HAP-Verfahren sind beispielsweise aus der EP 2 466 236 A 1, der EP 2 458 311 A 1 und der US 5 329 776 A sowie der DE 10 2007 014 643 A 1 bekannt.

Anteile der Gesamtluftmenge können optional gemeinsam oder getrennt voneinander in einem oder mehreren Nachverdichtern auf einen nochmals höheren Druck (hier als
25 Nachverdichterdruck bezeichnet) nachverdichtet werden. Sie können anschließend über eine Entspannungsmaschine (sogenannter Turbinenstrom) und/oder über ein Entspannungsventil (sogenannter Drosselstrom) jeweils auf den Betriebsdruck der Hochdrucksäule oder einen geringfügig darüber liegenden Druck entspannt werden. Die jeweils entspannten Anteile können in die Hochdrucksäule eingespeist werden.

30 Ein weiterer Anteil der Gesamtluftmenge kann, ggf. nach voriger Nachverdichtung und Entspannung in der erwähnten Entspannungsmaschine, in einer weiteren Entspannungsmaschine weiter entspannt werden. Hierdurch kann der Kältebedarf der Luftzerlegungsanlage gedeckt werden. Dieser Anteil der Gesamtluftmenge wird jedoch
35 nicht in die Hochdrucksäule eingespeist, sondern letztlich auf einen Druck entspannt,

der niedriger ist als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule, beispielsweise auf Atmosphärendruck oder den Betriebsdruck der Niederdrucksäule. Dieser Anteil kann anschließend beispielsweise erneut in dem Hauptverdichter verdichtet, in die Atmosphäre abgeblasen und/oder in die Niederdrucksäule eingespeist werden.

5

Bei einem HAP-Verfahren wird also die Gesamtluftmenge erhöht und gleichzeitig auf einen höheren Druck verdichtet. Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der verwendeten Hauptverdichtereinheit, und somit auch deren Antrieb, sind daher hoch. In herkömmlichen Luftzerlegungsanlagen werden zum Antreiben der

10 Hauptverdichtereinheit typischerweise Elektromotoren mit einer Leistung von 1 bis über 10 MW eingesetzt, die als Asynchronmotoren ausgebildet sind.

Asynchronmotoren besitzen jedoch bekanntermaßen einen hohen Anlaufstrom. Als Anlaufstrom wird der Strom bezeichnet, welcher nach dem Einschalten durch den

15 Asynchronmotor fließt, um diesen aus dem Stillstand hochzubeschleunigen. Der Anlaufstrom eines Asynchronmotors liegt stets deutlich über dem Nennstrom, also dem Strom, der bei der Nenndrehzahl durch den Asynchronmotor fließt. Die Nenndrehzahl bezeichnet die Drehzahl, bei der der Asynchronmotor im Normalbetrieb läuft, bzw. für die dieser ausgelegt ist. Der Anlaufstrom ist auch von der Last abhängig, mit der der
20 Motor anlaufen muss, dem sogenannten Anlaufmoment. Ein typischer Asynchronmotor besitzt bei sogenanntem Schweranlauf je nach Bauart einen Anlaufstrom vom ca. vier- bis achtfachen seines Nennstroms. Hierdurch ergeben sich erhöhte Belastungen im speisenden Stromnetz. Beispielsweise kann es durch die erhöhte Stromaufnahme zu Spannungseinbrüchen kommen, die Auswirkungen auf weitere angeschlossene
25 Verbraucher haben. Bereits bei einem Spannungseinbruch von ca. 10 bis 15% können beispielsweise Datenverarbeitungseinrichtungen ausfallen oder Relais abfallen, wodurch beispielsweise der Betrieb einer Luftzerlegungsanlage gestört wird.

Asynchronmotoren können zwar typbedingt grundsätzlich ein relativ hohes

30 Anlaufmoment bereitstellen, so dass die Einheit aus Asynchronmotor und angeschlossener Maschine in relativ kurzer Zeit hochläuft. Bei hohen Trägheits- und/oder Gegenmomenten, wie sie in einer Hauptverdichtereinheit einer Luftzerlegungsanlage auftreten können, also bei Schweranlauf, können jedoch mehrere Sekunden verstreichen. Durch den gleichzeitig hohen Anlaufstrom kann es

dabei zu Überhitzung kommen, was zu Motorschäden führen kann. Hierbei können alle beteiligten Betriebsmittel (Leistungsschalter, Sicherungen, Kabel etc.) betroffen sein.

Zur Begrenzung des Anlaufstroms können bei schwacher Netzleistung

- 5 Frequenzwandler (Frequenzumrichter) verwendet werden, die einen geführten, stufenlosen Motorstart des Asynchronmotors mit Vorgabe eines Nennmoments ermöglichen. Die Verwendung von Frequenzwandlern ist jedoch aufwendig und kostenintensiv. Bei leistungsfähigeren Netzen können beispielsweise angepasste Anlassverfahren (z.B. Direktanlass oder Anlass mittels Spartransformatoren)
- 10 verwendet werden. Auch dies erweist sich jedoch häufig nicht als zufriedenstellend.

Die EP 0 144 848 A2 behandelt ein Verfahren zum Anfahren einer untersynchronen Stromrichteraskade aus einem Asynchronmotor mit Schleifringläufer. Im

- 15 untersynchronen Betrieb frei werdende Schlupfleistung wird über einen Umrichter dem Stromversorgungsnetz zugeführt. Die dort vorgeschlagene Lösung stellt eine teure und aufwändige Art dar, einen Motor, der mit auf die Schleifringe aufgelegten Bürsten im Dauerbetrieb bei niedrigem Wirkungsgrad betrieben wird, über Energierückspeisung im Wirkungsgrad zu erhöhen.

- 20 Der Internetartikel "Slip Ring Induction Motor Advantages Disadvantages and Applications" vom 13. Dezember 2011

(<http://electricalquestionsguide.blogspot.de/2011/12/slip-ring-induction-motor-advantages.html>) beschreibt Vor- und Nachteile eines üblichen Schleifringläufermotors,

- wobei als Nachteile hohe Wartungskosten, schlechte Drehzahlregelung, eine im
- 25 Vergleich zu Kurzschlussläufermotoren geringerer Wirkungsgrad, niedrigeren Leistungsfaktor bei hohen Lasten und Empfindlichkeit gegenüber Versorgungsspannungsschwankungen angegeben werden.

Es besteht daher auch weiterhin der Bedarf nach Verbesserungen bei

- 30 Luftzerlegungsanlagen, die nach dem HAP-Verfahren arbeiten.

Offenbarung der Erfindung

Vor diesem Hintergrund werden eine Luftzerlegungsanlage, ein Verfahren zur

- 35 Tieftemperaturzerlegung von Luft mittels einer derartigen Luftzerlegungsanlage und die

entsprechende Verwendung eines für eine Luftzerlegungsanlage optimierten Schleifringläufermotors mit SchleifringkurzschlieÙvorrichtung und Bürstenabhebung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der jeweiligen abhängigen Patentansprüche und
5 der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

Die vorliegende Erfindung geht von einer an sich bekannten Luftzerlegungsanlage mit
10 einem Destillationssäulensystem aus, das zumindest eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule umfasst. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage weist ferner eine Hauptverdichtereinheit auf, die dafür eingerichtet ist, eine Gesamtluftmenge, die der Luftzerlegungsanlage insgesamt zugeführt wird, auf einen Druck zu verdichten, der mindestens 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, für den die Hochdrucksäule
15 eingerichtet ist. Die vorliegende Erfindung kommt damit bei den eingangs erläuterten HAP-Verfahren zum Einsatz, bei denen entsprechend erhöhte Drücke für die Gesamtluftmenge verwendet werden.

Eine "Hauptverdichtereinheit" ist dabei im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein
20 Verdichter oder eine Verdichteranordnung, die eine mit externer Energie angetriebene Maschine zur Verdichtung von Luft in der Luftzerlegungsanlage darstellt. Diese kann als ein einstufiger oder mehrstufiger Verdichter ausgebildet sein, dessen Stufen alle mit dem gleichen Antrieb verbunden sind, wobei alle Stufen in einem Gehäuse untergebracht oder mit einem Getriebe verbunden sein können. Insbesondere kann
25 eine derartige Hauptverdichtereinheit die einzige mit externer Energie angetriebene Maschine zur Verdichtung von Luft in der Luftzerlegungsanlage darstellen, wobei unter einer "einzigen Maschine" auch die erwähnten mehrstufigen Verdichter verstanden werden, deren Stufen alle mit dem gleichen Antrieb verbunden sind.

30 Sogenannte Turbinenbooster, also Verdichter, die nur durch die ihnen jeweils zugeordneten Entspannungsmaschinen (Turboexpander) zur Entspannung von Anteilen der Gesamtluftmenge angetrieben werden, zählen nicht zu den mit externer Energie angetriebenen Maschinen. Eine Hauptverdichtereinheit umfasst dabei einen Antrieb, der, wie eingangs erläutert, üblicherweise in Form eines Elektromotors
35 ausgebildet ist, sowie den eigentlichen Verdichter mit mehreren Verdichterstufen, die

dafür eingerichtet sind, die der Hauptverdichtereinheit zugeführte Luft zu verdichten. In HAP-Verfahren eingesetzte Hauptverdichtereinheiten umfassen dabei typischerweise vier, fünf oder sechs Verdichterstufen. Die Verdichterstufen werden über den Antrieb mittels der gemeinsamen Welle angetrieben.

5

Wie erwähnt, ist bei den eingangs erläuterten und im Rahmen der Erfindung eingesetzten HAP-Verfahren der Druck, mit dem die Gesamtluftmenge bereitgestellt wird, wesentlich höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule. Unter "wesentlich höher" wird dabei im Rahmen dieser Anmeldung ein Druckunterschied von mindestens
10 4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar verstanden.

Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, eine Hauptverdichtereinheit mit einem in nachfolgend geschildeter Art und Weise auf die Einsatzbedingungen optimierten Schleifringläufermotor anzutreiben. Ein derartiger Schleifringläufermotor weist den
15 besonderen Vorteil auf, dass, wie nachfolgend erläutert, sein Anlaufstrom auf einen Maximalwert begrenzt werden kann. Bei einem Schleifringläufermotor handelt es sich um einen Elektromotor in Form einer Drehstrom-Asynchronmaschine.

Schleifringläufermotoren unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch von gängigen
20 Elektromotoren, die sogenannte Kurzschlussläufer aufweisen, dass die Läuferwicklung nicht (dauerhaft) kurzgeschlossen, sondern über die namensgebenden Schleifringe nach außen geführt ist. Der Anlaufstrom derartiger Schleifringläufermotoren kann dadurch verringert werden, dass der Widerstand des Läuferkreises erhöht wird. Hierzu werden die Kontakte der Läuferwicklung, die in Kurzschlussläufern kurzgeschlossen
25 und in einem Schleifringläufermotor nach außen geführt sind, mit einstellbaren Widerständen, sogenannten Anlasswiderständen, miteinander verschaltet.

Eine für die genannten HAP-Verfahren eingesetzte Hauptverdichtereinheit weist einen erfindungsgemäßen Schleifringläufermotor auf, der zum einen über eine
30 Schleifringkurzschließvorrichtung verfügt, um die Läuferwicklung des Läufers des Schleifringläufermotors nach dem Anlaufen des Motors, also nach Erreichen seiner Nenndrehzahl, kurzzuschließen, und weiterhin über eine Bürstenabhebevorrichtung, um anschließend die Bürsten von den Schleifringen abzuheben.

Die Besonderheit dieses zur Verwendung kommenden asynchronen Motors mit Schleifringläufersystem, die den signifikanten Vorteil gegenüber anderen Motoren - mit oder ohne Schleifringsystem - erreicht, ist die Kombination aus den Vorteilen eines Trommelläufers mit Schleifringen und denen eines Käfigläufers (herkömmlicher Asynchronmotor). Dies wird durch einstellbare Widerstände (veränderbarer Anfahrwiderstand zur kontrollierten Reduzierung des Anfahrstromes) und durch die Bürstenabhebevorrichtung erreicht. Vor Abheben der Bürsten wird außerdem dem Rotor ein Kurzschlussring eingefügt, welcher den Trommelläufer gleich dem Käfigläufer kurzschließt. Damit wird der dauerhafte Verlust durch den herausgeschalteten Widerstand eliminiert. Ab diesem Zeitpunkt wird der Motor, welcher dann aus dieser Betriebsweise mit der HAP-Verdichtervariante ein deutlich höheres Optimierungspotential bezüglich des Wirkungsgrades und des Leistungsfaktors schöpft, wie ein herkömmlicher Asynchronmotor betrieben. Dies versetzt nun die Hersteller in die Lage, höchste Optimierung für diese Betriebsweise zu erreichen. Dabei erhalten die Motoren, die überwiegend 4- oder 6-polig ausgeführt sind, deutlich verbesserte Betriebsbedingungen hier zugeschnitten auf die HAP-Verdichtervariante, welche die bekannten Nachteile bezüglich deren Betriebsdaten völlig eliminiert. Damit wird das Gesamtsystem im Vergleich technisch und kommerziell zu einer für das Produkt optimalen Lösung.

Gleichzeitig reduzieren sich die Anforderungen an die Energieversorgung, die zum Betrieb der HAP Anlage benötigt werden, erheblich. Die bei Schleifringläufermotoren bisher allgemein bekannten Vorteile können unter diesen Voraussetzungen insbesondere für Einsatzszenarien, in denen hohe Anlaufmomente bei gleichzeitig niedrigem Anlaufstrom gefordert werden erst sinnvoll eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den eingangs erläuterten konventionellen Asynchronmotoren mit Frequenzumrichtern, die eine variable Frequenz und somit ein steuerbares Drehfeld aufweisen, benötigen Schleifringläufermotoren allgemein keine insbesondere in der hier geforderten Leistungsklasse aufwändige Elektronik. Die erfindungsgemäß verwendete optimierte Form der Schleifringläufermotoren eines definierten Leistungsbereiches kann insbesondere standardmäßig für mehrere Luftzerlegungsanlagen einer bestimmten Bauart eingesetzt werden, ohne dass auf die jeweils vorliegende (lokale) Netzauslegung am Einsatzort Rücksicht genommen werden müsste. Die Konzeption und Erstellung entsprechender Luftzerlegungsanlagen wird durch eine derartige Standardisierung deutlich kostengünstiger. Die Kühlung der

Schleifringläufermotoren kann dabei vorteilhafterweise mittels Luft-/Wasser-Wärmetauschern erfolgen, die auch in entsprechende Kreisläufe einer Luftzerlegungsanlage eingebunden werden können.

- 5 Die Verwendung von Schleifringläufermotoren ist insbesondere in den erläuterten HAP-Verfahren vorteilhaft, weil hier ein überproportional höheres Anlaufmoment als bei herkömmlichen Verdichtern zu beobachten ist. HAP-Hauptverdichtereinheiten weisen, wie erwähnt, typischerweise vier, fünf oder sechs Verdichterstufen auf, die mit einer gemeinsamen Welle verbunden sind. Diese besitzen ein überproportional erhöhtes
- 10 Anlaufmoment im Vergleich zu den bekannten Hauptverdichter-Nachverdichter-Kombinationen (sogenannte Main Air Compressor/Booster Air Compressor- bzw. MAC/BAC-Kombinationen). Schleifringläufermotoren können aber auch in derartigen MAC/BAC-Kombinationen zum Einsatz kommen. In derartigen Hauptverdichter-Nachverdichter-Kombinationen liegen getrennte Wellen vor, die jeweils für sich
- 15 betrachtet geringere Anlaufmomente erfordern.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht damit insgesamt eine Reduzierung des Anlaufstroms bei einer gleichzeitigen Erhöhung des Anlaufmoments entsprechender Antriebe für Hauptverdichtereinheiten mit hoch optimierten Betriebsbedingungen durch

20 die Eliminierung der bekannten eingangs genannten Nachteile (schlechter Wirkungsgrad, niedriger Leistungsfaktor, hohe Wartungsintensität an der Schleifringvorrichtung, empfindlich gegen Spannungsschwankungen) der herkömmlichen Schleifringläufer-Motorvarianten.

- 25 Wie erläutert, weist die Läuferwicklung des Läufers des Schleifringläufermotors erste Anschlüsse auf, die über einstellbare Anlasswiderstände miteinander verbunden sind. Über diese Anlasswiderstände lässt sich ein Widerstand im Läufer bzw. der Läuferwicklung dosiert einstellen. Die anderen (zweiten) Anschlüsse der Läuferwicklung sind vorteilhafterweise in Sternschaltung miteinander verschaltet, wie
- 30 auch nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figur 2 noch näher erläutert. Schleifringläufermotoren können grundsätzlich auch Läufer aufweisen, die mit einer Hilfsspannung mit einstellbarer Frequenz beaufschlagbar sind. Eine derartige Ausbildung einer Läuferwicklung erweist sich als baulich bzw. konstruktiv aufwändiger, besitzt jedoch in bestimmten Einsatzszenarien Vorteile bezüglich der Dosierung von
- 35 Anlaufmoment bzw. -ström. Im vorliegenden Einsatzszenario findet diese Möglichkeit

keine Anwendung, da die eigentliche Schleifringeinrichtung hier nur für den Start verwendet wird.

5 Ein Schleifringläufermotor, wie er erfindungsgemäß zum Einsatz kommt, weist bei einer Nenndrehzahl einen Nennstrom auf. Vorteilhafterweise ist dabei der Anlassstrom des Schleifringläufermotors auf höchstens den 1,1-fachen Wert des Nennstroms begrenzt. Der Anlassstrom liegt also höchstens 10% über dem Nennstrom, kann jedoch auch in Abhängigkeit des Verdichteranlaufmomentes und der Hochlaufzeit auf noch niedrigere Werte bis auf den 0,5 fachen Motornennstrom sinnvoll begrenzt
10 werden. Dies stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber bekannten Hauptverdichtereinheiten von HAP-Luftzerlegungsanlagen dar, bei denen, wie erwähnt, der Anlassstrom bis zum Vier- bis Achtfachen des Nennstroms beträgt.

Die Erfindung kann insbesondere bei Hauptverdichtereinheiten mit hoher Leistung zum
15 Einsatz kommen. Insbesondere eignet sich die vorliegende Erfindung für Hauptverdichtereinheiten mit einer Nennleistung von 1 bis 25 MW, insbesondere von 6 bis 12,5 MW, von 11,5 bis 19 MW oder von 18 bis 25 MW.

Wie bereits erwähnt, werden Hauptverdichtereinheiten, wie sie in der erwähnten
20 Leistungsklasse zum Einsatz kommen, typischerweise mit vier bis sechs Verdichtungsstufen realisiert. Die Erfindung ermöglicht einen Antrieb eines derartigen Verdichters mit einer gemeinsamen Welle, ohne dass durch die erhöhte Stromaufnahme beim Anlassen die eingangs erläuterten negativen Effekte auftreten.

25 Sowohl der Motorwirkungsgrad als auch der Leistungsfaktor eines erfindungsgemäß eingesetzten Schleifringläufermotors sind über einen Leistungsbereich von ca. 65 - 100% der Motornennleistung gleichbleibend gut basierend auf den sich ergebenden Optimierungsmöglichkeiten. Ein erfindungsgemäß eingesetzter Schleifringläufermotor kann dabei in besonders vorteilhafter Weise zum Antrieb einer Hauptverdichtereinheit
30 zum Einsatz kommen, die mit Laufrädern unterschiedlicher Laufradgrößen ausgestattet werden kann. Beispielsweise sind hierbei vier Laufradgrößen verwendbar; die entsprechenden Laufräder sind gegeneinander austauschbar. Hieraus ergeben sich unterschiedliche elektrische Leistungsanforderungen an den elektrischen Antrieb, die durch einen erfindungsgemäß eingesetzten Schleifringläufermotor deutlich besser als
35 durch einen herkömmlichen asynchronen Kurzschlussläufermotor bedient werden

können. Damit kann einundderselbe erfindungsgemäß eingesetzte Schleifringläufermotor für Hauptverdichtereinheiten und damit Luftzerlegungsanlagen unterschiedlicher Leistungsklassen eingesetzt werden.

- 5 Wie erläutert, eignet sich ein erfindungsgemäß eingesetzter Schleifringläufermotor insbesondere für die hier in Frage kommenden Hauptverdichtereinheiten, weil diese ein hohes Anfahrmoment sowie sehr hohe Massenträgheitsmomente aufweisen. Das Massenträgheitsmoment einer entsprechenden Hauptverdichtereinheit liegt beispielsweise beim bis zu Vierzigfachen des Motorträgheitsmoments. Das
- 10 Anfahrmoment beträgt z.B. 25 - 70% oder 25 - 50% des Motornennmoments. Das maximal zur Verfügung stehende Anfahrmoment entspricht dem Motornennmoment bei maximal dem 1,1-fachen Motornennstrom.

- Ein besonderer Vorteil ergibt sich aus der Verwendung eines erfindungsgemäß
- 15 eingesetzten Schleifringläufermotors auch daraus, dass sich über den gezielt veränderbaren Anlasswiderstand die Hochlaufzeit der Hauptverdichtereinheit sowie das Durchlaufen kritischer Drehzahlen bzw. Drehzahlbereiche während des Hochlaufs gezielt steuern lassen. Hierdurch können insbesondere Belastungen des Verdichters (z.B. durch Vibrationen in diesen kritischen Drehzahlbereichen) während des
- 20 Hochlaufs reduziert werden.

- Insbesondere eignet sich die Verwendung eines erfindungsgemäß eingesetzten Schleifringläufermotors für die eingangs erläuterten Verfahren, die mittels Innenverdichtung arbeiten, also für solche Verfahren, die zur Bereitstellung zumindest
- 25 eines flüssigen Luftprodukts mittels eines Innenverdichtungsverfahrens eingerichtet sind. Derartige Verfahren benötigen eine erhöhte Kältemenge, weil das entnommene flüssige Luftprodukt nicht zur Rückgewinnung von Kälte zur Verfügung steht.

- Eine vorteilhafte Luftzerlegungsanlage weist ferner einen Hauptwärmetauscher, eine
- 30 erste Entspannungsmaschine und ein Entspannungsventil auf, und ist dafür eingerichtet, einen ersten Anteil der Gesamtluftmenge in dem Hauptwärmetauscher abzukühlen, in der ersten Entspannungsmaschine zu entspannen und in die Hochdrucksäule einzuspeisen. Eine derartige Luftzerlegungsanlage ist ferner dazu eingerichtet, einen zweiten Anteil der Gesamtluftmenge nacheinander in dem
- 35 Hauptwärmetauscher abzukühlen, in einem Entspannungsventil zu entspannen und in

die Hochdrucksäule einzuspeisen. Die Entspannung des ersten Anteils der Einsatzluftmenge in der Entspannungsmaschine kann dazu verwendet werden, einen Turbinenbooster zu betreiben, so dass die hier frei werdende mechanische Leistung sinnvoll genutzt werden kann. Eine derartige Luftzerlegungsanlage ist insbesondere
5 unter Bezugnahme auf die beigefügte Figur 1 noch näher erläutert.

Der "Hauptwärmetauscher" kann aus einem oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, beispielsweise aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken. Ein Hauptwärmetauscher dient zur
10 Abkühlung der Anteile der Gesamtluftmenge im indirekten Wärmetausch mit Rückströmen aus dem Destillationssäulensystem bzw. zur Verdampfung bei der Innenverdichtung.

Der Begriff "Entspannungsmaschine" umfasst jede Maschine zur arbeitsleistenden Entspannung eines Prozessstroms, beispielsweise eines der Anteile der Gesamtluftmenge. Bevorzugt werden die Entspannungsmaschinen bei der vorliegenden Erfindung jedoch durch die grundsätzlich aus dem Bereich der Kryotechnik bekannten Turboexpander bzw. Expansionsturbinen gebildet.

Ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung davon die Rede, dass Anteile der Gesamtluftmenge in einem Hauptwärmetauscher "abgekühlt" und/oder "erwärmt" werden, bedeutet dies, dass entsprechende Anteile der Gesamtluftmenge den Wärmetauscher zumindest über eine gewisse Fließstrecke durchlaufen. Die Abkühlung bzw. Erwärmung muss dabei nicht im gesamten Umfang des durch den
20 Wärmetauscher bereitgestellten Temperaturgradienten erfolgen, entsprechende Anteile können vielmehr auch nur teilweise abgekühlt bzw. erwärmt werden.

In entsprechender Weise werden die Anteile in den verwendeten Entspannungsmaschinen bzw. weiteren Entspannungseinrichtungen wie
30 Entspannungsventilen nicht notwendigerweise vollständig (d.h. auf Umgebungsdruck) entspannt, sondern ggf. nur in einem gewissen Umfang (teilentspannt).

Eine erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage umfasst vorteilhafterweise auch eine zweite Entspannungsmaschine und ist dafür eingerichtet, einen dritten Anteil der Gesamtluftmenge auf einen Druck zu entspannen, der geringer ist als der
35

Betriebsdruck, für den die Hochdrucksäule eingerichtet ist. Hierdurch wird das eingangs erwähnte Konzept realisiert, das umfasst, die im Hauptverdichter verdichtete Luftmenge von der Prozessluftmenge zu entkoppeln. Der auf den genannten Druck entspannte dritte Anteil der Gesamtluftmenge kann beispielsweise erneut der

5 Verdichtereinheit zugeführt und dort erneut verdichtet werden.

Ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, das mit einer zuvor erläuterten Luftzerlegungsanlage durchgeführt wird, ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung. Ein derartiges Verfahren profitiert von den erläuterten Vorteilen, auf die daher ausdrücklich

10 verwiesen wird. Gleiches gilt für die erfindungsgemäße Verwendung eines Schleifringläufermotors.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gegenüber dem Stand der Technik näher erläutert.

15

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

20

Figur 2 zeigt eine Hauptverdichtereinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

Ausführliche Beschreibung der Figuren

25

In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage schematisch in Form eines Anlagendiagramms dargestellt. Die zur Innenverdichtung eingerichtete Luftzerlegungsanlage ist insgesamt mit 100 bezeichnet. Sie kann mit einer Hauptverdichtereinheit 2 wie zuvor erläutert und in der Figur 2 detaillierter gezeigt ausgestattet sein.

30

Es sei an dieser Stelle betont, dass die vorliegende Erfindung nicht auf den Einsatz bei Luftzerlegungsanlagen 100 in der hier dargestellten spezifischen Ausführungsform beschränkt ist, sondern grundsätzlich bei unterschiedlichsten HAP-Verfahren zum Einsatz kommen kann. Die Figur 1 dient somit vornehmlich der Erläuterung der

Einbindung der in der Figur 2 schematisch gezeigten Hauptverdichtereinheit 2 in einen Gesamtzusammenhang einer Luftzerlegungsanlage 100.

5 Eine Gesamtluftmenge atmosphärischer Luft (AIR) wird über ein Filter 1 von der Hauptverdichtereinheit 2 angesaugt und dort auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet, der bei einem HAP-Verfahren, wie es hier zum Einsatz kommt, zumindest 4 bar höher ist als der Betriebsdruck einer Hochdrucksäule (siehe unten). Die Hauptverdichtereinheit 2 ist in der Figur 1 stark vereinfacht dargestellt. Zu den weiteren Details der Hauptverdichtereinheit 2 sei insbesondere auf die obigen Erläuterungen
10 und auf Figur 2 verwiesen.

Nach Durchströmen eines Nachkühlers 3 und eines hier nicht näher erläuterten Abscheiders 4 zum Abscheiden von Wasser (H₂O) wird die verdichtete Luft einer Reinigungsvorrichtung 5 zugeführt, die ein Paar von mit Adsorptionsmaterial,
15 vorzugsweise Molekularsieb, gefüllten Behältern aufweist. Die gereinigte Luft verlässt die Reinigungsvorrichtung 5 als Strom a.

Der Strom a wird in der Luftzerlegungsanlage 100 auf herkömmliche Weise zunächst in einem ersten Nachverdichter 11 und anschließend in einem zweiten Nachverdichter 21
20 nachverdichtet. Der erste Nachverdichter 11 und der zweite Nachverdichter 21 sind jeweils mit einer ersten Entspannungsmaschine 12 bzw. einer zweiten Entspannungsmaschine 22 mechanisch gekoppelt, beispielsweise jeweils über eine gemeinsame Welle. Stromab des ersten Nachverdichters 11 und des zweiten Nachverdichters 21 sind jeweils Nachkühler 13 bzw. 23 angeordnet. Stromab des
25 zweiten Nachverdichters 21 bzw. des Nachkühlers 23 wird der Strom a, also die Gesamtluftmenge, in einen Teilstrom b und in einen Teilstrom c aufgeteilt. Die Aufteilung kann jedoch auch an anderer Stelle erfolgen.

Der Teilstrom b und der Teilstrom c werden in einem Hauptwärmetauscher 6
30 abgekühlt. Die Abkühlung erfolgt vorzugsweise auf unterschiedliche Temperaturen, so dass der Teilstrom b dem Hauptwärmetauscher 6 bei einer Zwischentemperatur entnommen und damit "teilabgekühlt" wird und der Teilstrom c den Hauptwärmetauscher 6 bis zu dessen kaltem Ende durchläuft.

Nach der Entnahme des Teilstroms b aus dem Hauptwärmetauscher 6 wird dieser der ersten Entspannungsmaschine 12 zugeführt und dort auf einen Zwischendruck entspannt. Der Zwischendruck liegt geringfügig oberhalb eines Betriebsdrucks einer Hochdrucksäule 71 eines Destillationssäulensystems 7, das unten näher erläutert wird.

5

Der weiterhin mit b bezeichnete und auf den Zwischendruck entspannte Teilstrom wird einem Abscheider 8 zugeführt, von dessen Sumpf eine flüssige Fraktion als ein Strom d abgezogen werden kann. Der Strom d kann (vgl. Verknüpfungspunkt A, beispielsweise 0% bis 15% des Stroms b) in eine Niederdrucksäule 72 des Destillationssäulensystems 7 eingespeist werden.

10

Eine gasförmige Fraktion vom Kopf des Abscheiders 8 kann als Strom e abgezogen und erneut in einen Teilstrom f und einen Teilstrom g aufgeteilt werden. Der Teilstrom f wird in die Hochdrucksäule 71 des Destillationssäulensystems 7 eingespeist, wie unten näher erläutert. Der Teilstrom g wird in dem Hauptwärmetauscher 6 erwärmt und in der zweiten Entspannungsmaschine 22 auf einen Enddruck, beispielsweise Atmosphärendruck, entspannt. Der entspannte Teilstrom g kann anschließend in dem Hauptwärmetauscher 6 weiter erwärmt und mit weiteren Strömen vereinigt, zumindest teilweise in die Atmosphäre (ATM) abgeblasen und/oder einem Verdunstungskühler zugeführt werden.

15

20

Der Teilstrom c wird nach dem Durchlaufen des Hauptwärmetauschers 6 über ein Entspannungsventil 9 entspannt und ebenfalls bei entsprechenden Druck in die Hochdrucksäule 71 des Destillationssäulensystems 7 eingespeist.

25

Bei dem Destillationssäulensystem 7 handelt es sich im dargestellten Beispiel um ein Destillationssäulensystem 7 mit einer klassischen Linde-Doppelsäule, die die Hochdrucksäule 71 und die Niederdrucksäule 72 als bauliche Einheit umfasst. Alternativ dazu ist der Einsatz der Erfindung auch in Destillationssäulensystemen 7 möglich, bei denen eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule getrennt voneinander angeordnet sind. Die Hochdrucksäule 71 und die Niederdrucksäule 72 sind über einen Hauptkondensator 73 wärmetauschend miteinander verbunden. Die Betriebs- bzw. Trenndrücke - jeweils am Kopf - betragen beispielsweise 4,5 bis 6,5 bar, vorzugsweise etwa 5,0 bar in der Hochdrucksäule und 1,2 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,3 bar in der Niederdrucksäule. Im dargestellten Beispiel sind

30

35

ferner eine geteilte Rohargonsäule 74, 75 und eine Reinargonsäule 76 vorgesehen, die Erfindung kann jedoch auch in Anlagen ohne eine entsprechende Argongewinnung zum Einsatz kommen.

- 5 Flüssiger Rohsauerstoff wird als Strom h vom Sumpf der Hochdrucksäule 71 abgezogen, in einem Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt und zu einem Teil in einem Sumpfverdampfer 78 der Reinargonsäule 76 weiter abgekühlt. Ein anderer Teil kann an dem Sumpfverdampfer 78 vorbeigeleitet werden. Ist keine Argongewinnung vorgesehen, kann der Strom h auch direkt an einer Zwischenstelle in die
10 Niederdrucksäule 72 überführt werden.

- Anschließend strömt ein Teil des Rohsauerstoffs des Stroms h in den Verdampfungsraum eines Kopfkondensators der Rohargonsäule 75, ein anderer Teil in den Verdampfungsraum eines Kopfkondensators der Reinargonsäule 76. Der in den
15 Kopfkondensatoren einerseits verdampfte und andererseits flüssig verbliebene Anteil des Rohsauerstoffs wird der Niederdrucksäule 72 in Form der Ströme i und j an geeigneten Zwischenstellen zugeführt. Wie erwähnt kann, wenn keine Argongewinnung vorgesehen ist, der Rohsauerstoff des Stroms h auch direkt an diesen oder entsprechenden Zwischenstellen eingespeist werden.

- 20 Gasförmiger Stickstoff vom Kopf der Hochdrucksäule 71 wird zu einem ersten Teil als Strom k zum kalten Ende des Hauptwärmetauschers 6 geleitet, dort auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und kann als Dichtgas (Sealgas, SG) für die verwendeten Verdichter der Anlage eingesetzt werden.

- 25 Der restliche gasförmige Stickstoff vom Kopf der Hochdrucksäule 71 wird als Strom l dem Hauptkondensator 73 zugeführt und dort mindestens teilweise kondensiert. Der dabei erzeugte flüssige Stickstoff kann zu einem Teil als Rücklauf auf die Hochdrucksäule 71 aufgegeben werden. Ein anderer Teil wird als Strom m dem
30 Unterkühlungsgegenströmer 77 zugeführt, dort unterkühlt und zum Kopf der Niederdrucksäule 72 geleitet. Dort kann ein Teil als Strom n zur Bereitstellung eines Flüssigstickstoffprodukts (LIN) abgezogen werden. Das Flüssigstickstoffprodukt kann beispielsweise in einem Tank eingelagert werden.

Unmittelbar oberhalb des Sumpfes der Niederdrucksäule 72 kann gasförmiger Sauerstoff als Strom o entnommen und, gegebenenfalls nach Vereinigung mit einem Strom p (Unreinstickstoff), der ebenfalls der Niederdrucksäule 72 entnommen und in dem Unterkühlungsgegenströmer 77 erwärmt wird, in einem Hauptwärmetauscher 6 angewärmt werden. Die weitere Verwendung der Ströme o und p entspricht beispielsweise jener des erläuterten Stroms g.

Ein flüssiger Sauerstoffstrom q aus dem Sumpf der Niederdrucksäule 72 kann mittels einer Pumpe 79 druckerhöht und als Strom r zumindest teilweise in dem Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt, in einer Flüssigproduktmenge aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeleitet und einem Flüssigtank (LOX) zugeleitet werden. Ein anderer Teil des mittels der Pumpe 79 druckerhöhten Sauerstoffstroms q aus dem Sumpf der Niederdrucksäule 72 kann als Strom s in einer Gasproduktmenge im Hauptwärmetauscher 6 verdampft (beziehungsweise bei überkritischem Druck pseudo-verdampft), auf Umgebungstemperatur angewärmt und anschließend als gasförmiges Druckprodukt (GOX-IC) abgezogen werden.

Gasförmiger Stickstoff kann als Strom t vom Kopf der Niederdrucksäule 72 abgezogen und im Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt werden. Der Strom t kann nach Erwärmung im Hauptwärmetauscher 6 in einem Verdichter (ohne Bezeichnung) extern verdichtet und als gasförmiger Druckstickstoff (GAN-EC) bereitgestellt werden.

An einer Zwischenstelle, dem sogenannten Argonübergang, kann in der dargestellten Anlage der Niederdrucksäule 72 ein argonhaltiger Strom u entnommen und dem unteren Teil 74 der Rohargonsäule 74, 75 unmittelbar über dem Sumpf zugeführt werden. Sumpfflüssigkeit des unteren Teils 74 der Rohargonsäule 74, 75 kann als Strom v in die Niederdrucksäule 72 zurückgeleitet werden.

Der untere Teil 74 und der obere Teil 75 der zweigeteilten Rohargonsäule 74, 75 können über Leitungen w und x und entsprechende Pumpen und Ventile (ohne Bezeichnung) miteinander gekoppelt sein. Die zweigeteilte Rohargonsäule 74, 75 kann auch als eine Säule realisiert sein.

Die Kopfkondensatoren des oberen Teils 75 der Rohargonsäule 74, 75 und der Reinargonsäule 76 können beispielsweise als Rücklaufkondensatoren oder als

Badkondensatoren ausgebildet sein. Der Rohargonsäule 75 kann im dargestellten Beispiel am oberen Ende der Rücklaufpassagen des Kopfkondensators, der hier als Rücklaufkondensator gezeigt ist, über einen seitlichen Header ein Rohargonstrom y gasförmig entnommen und der Reinargonsäule 76 an einer geeigneten Zwischenstelle zugeleitet werden.

Die Sumpfflüssigkeit der Reinargonsäule 76 kann zu einem Teil in dem Sumpfverdampfer 78 verdampft werden, wobei der dabei erzeugte Dampf als aufsteigendes Gas in der Reinargonsäule 76 genutzt werden kann. Der Rest kann der Reinargonsäule 76 als flüssiger Reinargonproduktstrom z entnommen werden. Das flüssige Reinargon (LAR) kann in einen Tank überführt werden. Zumindest ein Teil des Reinargons kann flüssig auf Druck gebracht, in den Hauptwärmetauscher 6 verdampft und als gasförmiges Druckprodukt (LAR IC) abgegeben werden (vgl. die rechte Kammer des Hauptwärmetauschers 6, sogenannte Argoninnenverdichtung).

Figur 2 zeigt eine Hauptverdichtereinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms. Die Hauptverdichtereinheit ist, wie in der Figur 1, insgesamt mit 2 bezeichnet.

Wie herkömmliche Hauptverdichtereinheiten 2 umfasst die Hauptverdichtereinheit 2 gemäß der Ausführungsform der Erfindung einen elektrischen Antrieb 210 und eine Gruppe von Verdichterstufen, die hier insgesamt mit 220 bezeichnet ist.

Die Hauptverdichtereinheit 2 weist im dargestellten Beispiel sechs Verdichterstufen auf. Wie eingangs erläutert, können entsprechende Hauptverdichtereinheiten jedoch auch mit einer geringeren oder größeren Anzahl an Verdichterstufen ausgebildet sein. Jede der Verdichterstufen umfasst im dargestellten Beispiel jeweils einen Verdichter 221 und einen Nachkühler 222 (nur an einer Verdichterstufe mit Bezugszeichen versehen). Die spezifische Ausgestaltung kann hierbei unterschiedlich zu dem dargestellten Beispiel sein. Die über den Filter 1 angesaugte atmosphärische Luft AIR kann beispielsweise auch nacheinander durch mehrere Verdichter 221 geführt und erst anschließend in einem Nachkühler 222 nachgekühlt werden. Der Nachkühler 3 kann auch entfallen, bzw. kann einer der Nachkühler 222 der Gruppe 220 von Verdichterstufen die Funktion des Nachkühlers 3 übernehmen. An beliebiger Stelle zwischen den jeweiligen Verdichterstufen der Gruppe 220 von Verdichterstufen können

weitere Luftströme zugespeist werden, wobei es sich beispielsweise um einen Luftstrom handeln kann, der zuvor auf Atmosphärendruck entspannt wurde. Dies kann beispielsweise der Strom g aus Figur 1 sein.

5 Der elektrische Antrieb 210 der Verdichtereinheit 2 ist gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung als besonderer Schleifringläufermotor 210 ausgebildet. Im dargestellten Beispiel handelt es sich um einen dreiphasigen Schleifringläufermotor 210. Grundsätzlich sind jedoch auch Schleifringläufermotoren 210 mit anderer Phasenzahl bekannt. Der Schleifringläufermotor 210 umfasst einen Stator 211 und einen Rotor
10 212.

Der Stator 211 kann entsprechend einem Stator eines Kurzschlussläufermotors ausgebildet sein. Er wird über entsprechende Phasenanschlüsse U, V und W bestromt. Eine hierzu verwendete Kommutierungsschaltung ist nicht gezeigt. Der Läufer 212
15 umfasst im dargestellten Beispiel eine mit geeigneten Anlasswiderständen R versehene und von außen beeinflussbare Läuferwicklung.

Im dargestellten Beispiel ist die Läuferwicklung des Läufers 212 als Dreiphasenwicklung aufgebaut. Die Wicklungen sind vorzugsweise im Stern, in
20 anderen Ausführungsformen im Dreieck, geschaltet. Der Sternpunkt der Wicklungen ist im Inneren des Läufers 212 angeordnet. Alternativ kann auch der Sternpunkt über einen Schleifring nach außen geführt werden. Die Wicklungsenden, hier mit K, L und M bezeichnet, sind an Schleifringen angeschlossen, an welchen als Stromabnehmer geeignete Bürsten anliegen können. Das Material der Bürsten ist vorzugsweise für den
25 Anlassbetrieb optimiert und braucht nicht auf eine Dauerbelastung ausgelegt sein.

Figur 2 zeigt in sehr schematischer Ansicht eine Schleifringkurzschließvorrichtung 214, über die ein Kurzschlussring in den Rotor eingeschoben bzw., genauer gesagt, die Läuferwicklung des Rotors 212 kurzgeschlossen werden kann. Ebenfalls sehr
30 schematisch dargestellt ist eine Bürstenabhebevorrichtung 215, mittels derer die Bürsten des Schleifringläufermotors von den Schleifringen abgehoben werden können. Das Anfahren des Motors wird erfindungsgemäß derart gesteuert, dass bei nicht aktivierter Bürstenabhebevorrichtung 215 (die schematisch dargestellten Schalter sind geschlossen) und bei nicht eingeschobenem Kurzschlussring der Anfahrwiderstand R
35 (die Anlasswiderstände für die Läuferwicklung) zur Reduzierung des Anfahrstromes

kontrolliert verringert wird. Sobald der Widerstand R in etwa auf Null absinkt ist, wird die Schleifringkurzschlievorrichtung 214 aktiviert, das heißt die Läuferwicklung des Rotors 212 wird kurzgeschlossen. Anschließend wird die Bürstenabhebevorrichtung 215 aktiviert, das heißt die Bürsten werden von den Schleifringen abgehoben
5 (schematisch dargestellte Schalter werden geöffnet). Im regulären Betrieb (Motor läuft mit Nenndrehzahl) sind die Bürsten abgehoben und der Rotor ist kurzgeschlossen. Die hier dargestellte Betriebsweise des erfindungsgemäß eingesetzten Schleifringläufermotors 210 ist für die Erfindung allgemein gültig und nicht auf das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt.

10

Um einen einfacheren Zugang zu den Bürsten an den Anschlüssen K , L und M zu ermöglichen, sind die Schleifringe in einem vom eigentlichen Motorgehäuse getrennten Gehäuse untergebracht. Dies ermöglicht eine einfachere Wartung der Schleifringe und der Bürsten. Brstenabrieb wird auf diese Weise vom eigentlichen Motor ferngehalten.

15

Die Wartung eines entsprechenden Schleifringläufermotors 210 umfasst im Wesentlichen den Austausch abgenutzter Bürsten und die Reinigung. Da die Bürsten hier jedoch nur während des Anlassbetriebs aufliegen und danach abgehoben werden, sind der Austausch und die Reinigung auf ein Minimum reduziert. Die Wartungsintervalle sind damit gegenüber jenen vergleichbarer

20

Kurzschlusslufermotoren nicht verlängert.

ber die Anlasswiderstände R sind die Anschlüsse K , L und M mit einem Anschlusspunkt 213 verbunden. Der Widerstandswert der Anlasswiderstände R wird dabei nach dem Anschaltzeitpunkt, d.h. beim Anlaufen des Schleifringläufermotors
25 210, kontinuierlich verringert, bis die Anschlüsse K , L und M bei der Nenndrehzahl des erfindungsgemäß optimierten Schleifringläufermotors 210 über den Kurzschlussring kurzgeschlossen werden können. Dies erfolgt, wie erwähnt mittels der Schleifringkurzschlievorrichtung 214.

30

Der Antrieb der Verdichter 221 der Gruppe 220 von Verdichterstufen erfolgt über eine gemeinsame Welle, die hier schematisch mit 230 veranschaulicht ist.

Patentansprüche

1. Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Destillationssäulensystem (7), das
zumindest eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) umfasst, und
5 einer Hauptverdichtereinheit (2), die dafür eingerichtet ist, eine Gesamtluftmenge,
die der Luftzerlegungsanlage (100) insgesamt zugeführt wird, auf einen Druck zu
verdichten, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, für den die
Hochdrucksäule (71) eingerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Hauptverdichtereinheit (2) einen Schleifringläufermotor (210) aufweist, der über
10 eine Schleifringkurzschließvorrichtung (214) verfügt, um die Läuferwicklung des
Läufers (21 2) des Schleifringläufermotors (210) nach dem Anlaufen des Motors
kurzzuschließen, und weiterhin über eine Bürstenabhebevorrichtung (215), um
anschließend die Bürsten des Schleifringläufermotors (210) von den Schleifringen
des Schleifringläufermotors (21 0) abzuheben.
15
2. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 1, bei der die Läuferwicklung des
Läufers (21 2) des Schleifringläufermotors (210) erste Anschlüsse (K, L, M)
aufweist, die über einstellbare Anlasswiderstände (R) miteinander verbindbar sind.
- 20 3. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei der der
Schleifringläufermotor (210) einen Nennstrom bei einer Nenndrehzahl aufweist,
wobei ein Anlassstrom des Schleifringläufermotors (210) auf den 0,5-fachen bis
höchstens den 1,1-fachen Wert des Nennstroms begrenzt ist.
- 25 4. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der der
Schleifringläufermotor (210) eine Nennleistung von 1 bis 25 MW aufweist.
5. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der die
Hauptverdichtereinheit (2) 4 bis 6 Verdichterstufen aufweist.
30
6. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 5, bei der die Verdichterstufen der
Hauptverdichtereinheit (2) dafür eingerichtet sind, mit austauschbaren Laufrädern
unterschiedlicher Größe ausgestattet zu werden.

7. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der die Hauptverdichtereinheit (2) ein Anfahrmoment von 25 - 70% eines Nennmoments des Schleifringläufermotors (21 0) aufweist.
- 5 8. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, die zur Bereitstellung zumindest eines flüssigen Luftprodukts mittels eines Innenverdichtungsverfahrens eingerichtet ist.
- 10 9. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, die ferner einen Hauptwärmetauscher (6), eine erste Entspannungsmaschine (12) und ein Entspannungsventil (8) aufweist und dafür eingerichtet ist, einen ersten Anteil der Gesamtluftmenge in dem Hauptwärmetauscher (6) abzukühlen, in der ersten Entspannungsmaschine (22) zu entspannen und in die Hochdrucksäule (71) einzuspeisen und einen zweiten Anteil der Gesamtluftmenge in dem
- 15 Hauptwärmetauscher (6) abzukühlen, in dem Entspannungsventil (8) zu entspannen und in die Hochdrucksäule (71) einzuspeisen.
- 20 10. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 9, die ferner eine zweite Entspannungsmaschine (22) aufweist und dafür eingerichtet ist, einen dritten Anteil der Gesamtluftmenge auf einen Druck zu entspannen, der geringer ist als der Betriebsdruck, für den die Hochdrucksäule (71).
- 25 11. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Destillationssäulensystem (7), das zumindest eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) aufweist, und einer Hauptverdichtereinheit (2) verwendet wird, wobei eine Gesamtluftmenge, die in dem Verfahren insgesamt verwendet wird, in einer Hauptverdichtereinheit (2) auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet wird, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, bei dem die Hochdrucksäule (71) betrieben wird, **dadurch**
- 30 **gekennzeichnet**, dass die Hauptverdichtereinheit (2) mit einem Schleifringläufermotor (210) angetrieben wird, wobei der Schleifringläufermotor (21 0) derart betrieben wird, dass die Läuferwicklung des Läufers (21 2) des Schleifringläufermotors (210) nach dem Anlaufen des Motors kurzgeschlossen wird und anschließend die Bürsten des Schleifringläufermotors (21 0) von den
- 35 Schleifringen des Schleifringläufermotors (21 0) abgehoben werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 verwendet wird.
- 5 13. Verwendung eines Schleifringläufermotors (210) in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12 und/oder in einer Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zum Antrieb der Hauptverdichtereinheit (2) der Luftzerlegungsanlage (100).

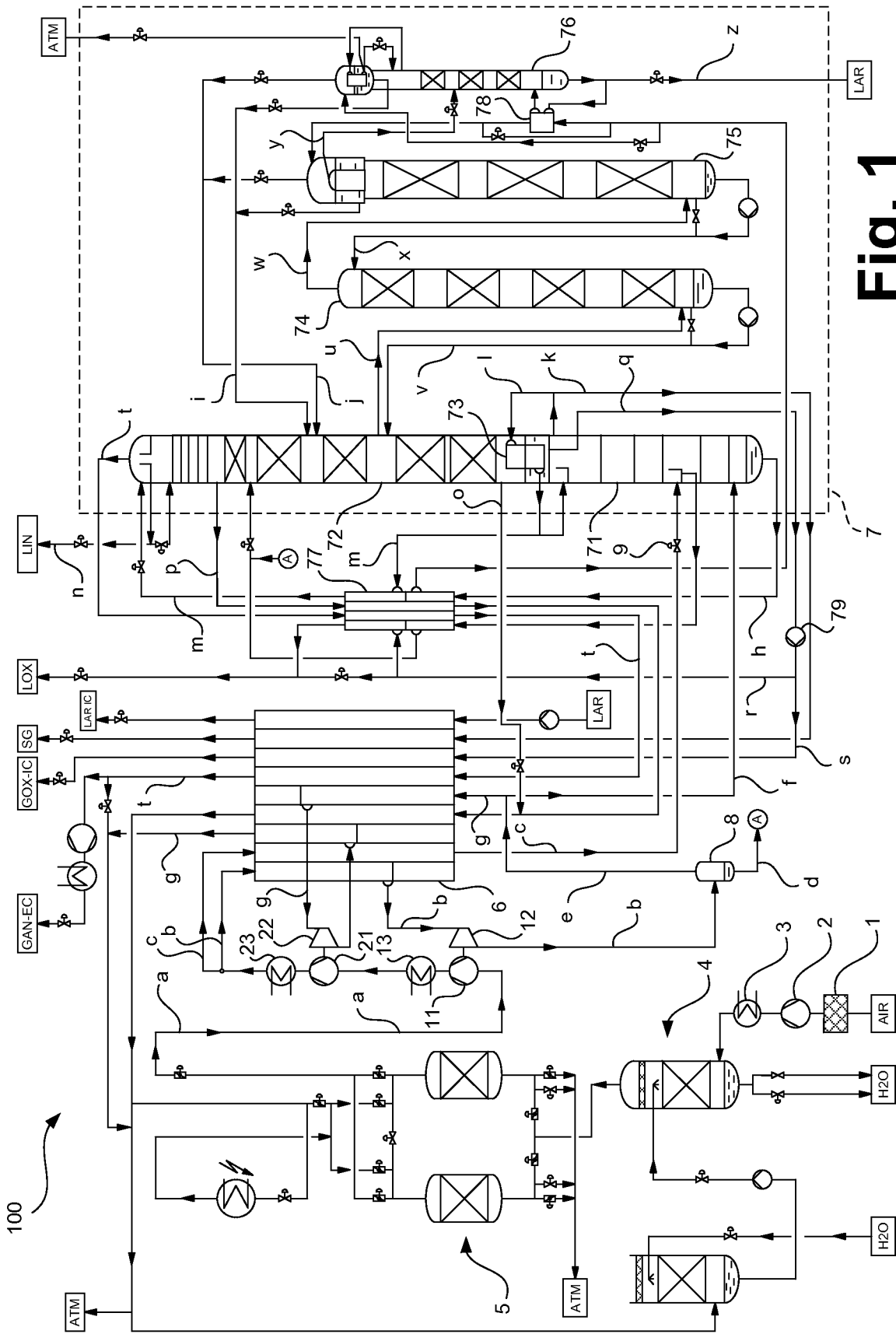


Fig. 1

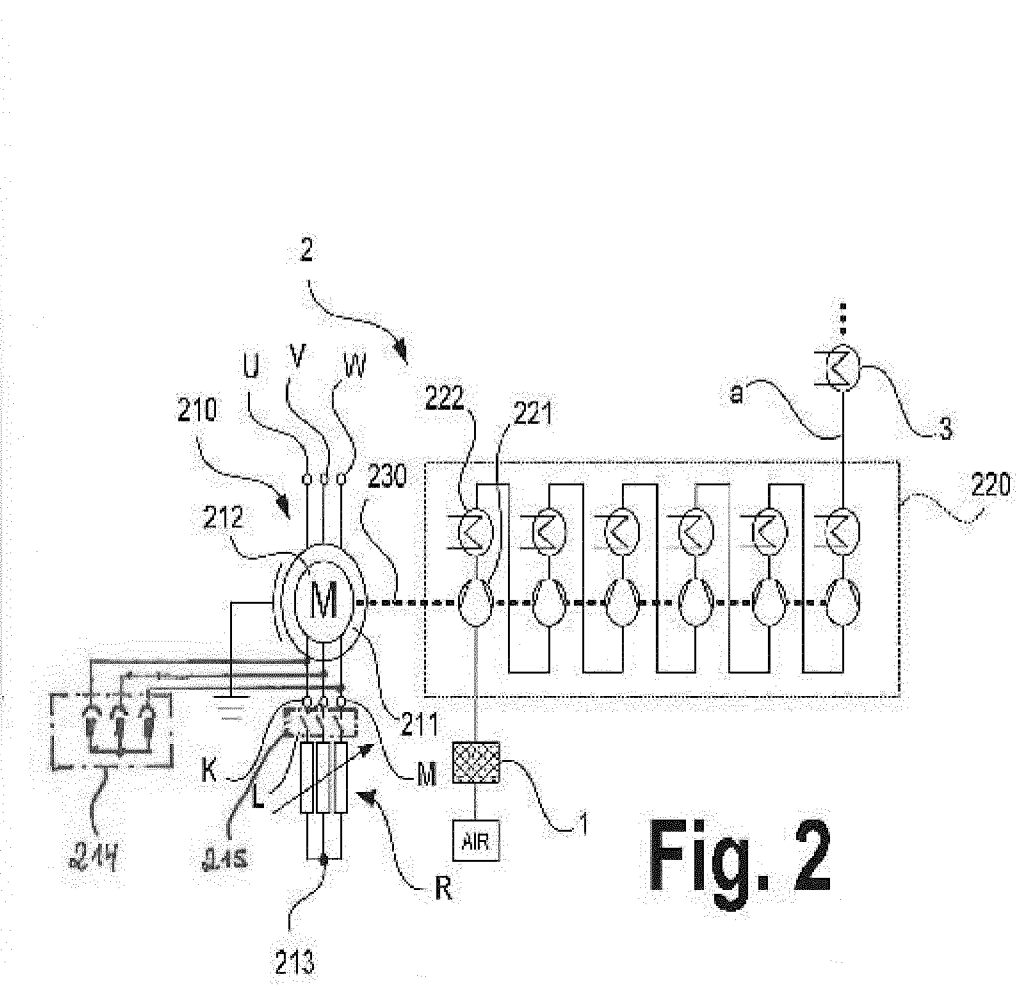


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/059483

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F25J3/04

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) onto both national Classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (Classification System followed by Classification Symbols)

F25J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal , WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
Y	DE 10 2007 014643 AI (LINDE AG [DE]) 20 September 2007 (2007-09-20) cited in the application paragraphs [0024] , [0027] ; figure 1 -----	1-13
Y	Anonymous : "Schleifringläufermotor - wiki-pedia", 2 May 2013 (2013-05-02) , XP055126001 , Retrieved from the Internet: URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schleifringläufermotor&oldid=118123345 [retrieved on 2014-06-30] page 3 - page 4 ----- -/- .	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 June 2014

Date of mailing of the international search report

08/07/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schopfer, Georg

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/059483

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
Y	Anonymous : "Sl i p Ri ng Inducti on Motor Advantages Di sadvantages and Appl i cati ons ! El ectri cal Intervi ew Questi ons & Answers" , , 13 December 2011 (2011-12-13) , XP055103638, Retri eved from the Internet: URL: http://el ectri cal questi onsgui de.bl ogsp ot.de/2011/12/sl i p-ri ng-i nducti on-motor-ad vantages .html [retri eved on 2014-02-21] page 1	1-13
Y	----- EP 0 144 848 A2 (BBC BROWN BOVERI & CI E [CH]) 19 June 1985 (1985-06-19) paragraphs [0002] , [0003] -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/059483

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102007014643 AI	20-09-2007	NONE	

EP 0144848 A2	19-06-1985	DE 3344808 AI	13-06-1985
		EP 0144848 A2	19-06-1985

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/059483

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F25J3/04

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F25J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal , WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2007 014643 AI (LINDE AG [DE]) 20. September 2007 (2007-09-20) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0024] , [0027] ; Abbildung 1 -----	1-13
Y	Anonymous : "Schleifringläufermotor - wikipedi a", 2. Mai 2013 (2013-05-02) , XP055126001 , Gefunden im Internet: URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schleifringläufermotor&oldid=118123345 [gefunden am 2014-06-30] Seite 3 - Seite 4 ----- -/-	1-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Juni 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/07/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schopfer, Georg

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	Anonymous: "Slip Ring Induction Motor Advantages Disadvantages and Applications ! Electrical Interview Questions & Answers" , , 13. Dezember 2011 (2011-12-13) , XP055103638, Gefunden im Internet: URL: http://electricalquestionsgui.de/blogspot.de/2011/12/slip-ring-induction-motor-advantages.html [gefunden am 2014-02-21] Seite 1	1-13
Y	----- EP 0 144 848 A2 (BBC BROWN BOVERI & CIE [CH]) 19. Juni 1985 (1985-06-19) Absätze [0002] , [0003] -----	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/059483

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102007014643 AI	20-09-2007	KEINE	
EP 0144848 A2	19-06-1985	DE 3344808 AI	13-06-1985
		EP 0144848 A2	19-06-1985