

(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
09. November 2017 (09.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/190917 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04D 25/06 (2006.01) F04D 29/057 (2006.01)
F04D 27/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/058602

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. April 2017 (11.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 207 493.8
02. Mai 2016 (02.05.2016) DE

(71) Anmelder: ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE). BD KOMPRESSOR GMBH [DE/DE]; Justus-Kilian-Straße 1, 35457 Lollar (DE).

(72) Erfinder: SCHNIEDERTOENS, Thomas; Elisabeth-Kranz-Str. 8, 71640 Ludwigsburg (DE). KLINK, Simon; Kleiststrasse 19, 70794 Filderstadt (DE). VIERECKEL, Martin; Franz-Lehar-Weg 1, 75428 Illingen

(DE). GIESSELMANN, Nils; Beinsteiner Str. 42/4, 71334 Waiblingen (DE).

(74) Anwalt: BEE, Joachim; Robert Bosch GmbH, Wernerstr. 51, 70469 Stuttgart (DE).

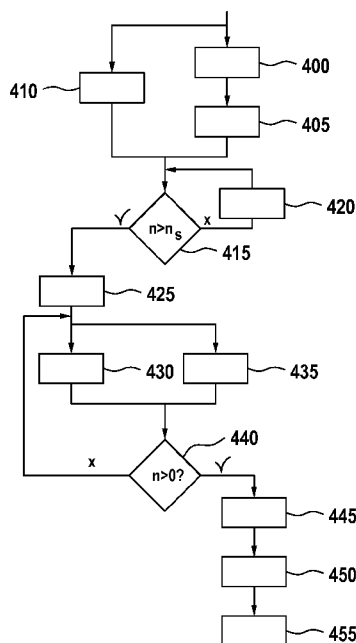
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A HEAT PUMP CIRCUIT WITH AN ELECTRICAL MACHINE OF A COMPRESSOR SYSTEM, AND HEAT PUMP CIRCUIT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES WÄRMEPUMPENKREISLAUFS MIT EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE EINES VERDICHTERSYSTEMS UND WÄRMEPUMPENKREISLAUF

Fig. 6



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a compressor system, and to a compressor system, wherein a compressor rotor of the compressor system is driven with a predefined rotational speed by the electrical machine, wherein the electrical machine is switched to free-running operation, wherein in free-running operation the compressor rotor of the compressor system runs out and the rotational speed is reduced compared to the predefined rotational speed, wherein the rotational speed of the compressor rotor is detected, wherein the rotational speed is compared to a setpoint rotational speed, wherein in the event of the rotational speed being below the setpoint rotational speed the electric machine is switched to short circuit operation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Verdichtersystems und ein Verdichtersystem, wobei ein Verdichterrotor des Verdichtersystems mit einer vordefinierten Drehzahl von der elektrischen Maschine angetrieben wird, wobei die elektrische Maschine in einen Freilaufbetrieb geschaltet wird, wobei im Freilaufbetrieb der Verdichterrotor des Verdichtersystems ausläuft und die Drehzahl gegenüber der vordefinierten Drehzahl reduziert wird, wobei die Drehzahl des Verdichterrotors erfasst wird, wobei die Drehzahl mit einer Sollzahl verglichen wird, wobei bei Unterschreiten der Sollzahl durch die Drehzahl die elektrische Maschine in einen Kurzschlussbetrieb geschaltet wird.

WO 2017/190917 A1

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 3)*

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zur Steuerung eines Wärmepumpenkreislaufs mit einer elektrischen
Maschine eines Verdichtersystems und Wärmepumpenkreislauf

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Wärmepumpenkreislaufs gemäß Patentanspruch 1 und einen Wärmepumpenkreislauf gemäß Patentanspruch 7.

15

Stand der Technik

Es ist ein Verdichtersystem bekannt, wobei das Verdichtersystem einen Verdichter mit einem Verdichterroter und eine elektrische Maschine umfasst. Die elektrische Maschine treibt den Verdichterroter an. Um das Verdichtersystem abzuschalten, wird die elektrische Maschine stromlos geschaltet, sodass der Verdichterroter ausläuft.

20

Offenbarung der Erfindung

25

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Steuerung eines Wärmepumpenkreislaufs und einen verbesserten Wärmepumpenkreislauf bereitzustellen.

30

Diese Aufgabe wird mittels eines Verfahrens gemäß Patentanspruch 1 und eines Wärmepumpenkreislaufs gemäß Patentanspruch 7 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

35

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass ein verbessertes Verfahren zur Steuerung eines Wärmepumpenkreislaufs mit einem Verdichtersystem mit einer elektrischen Maschine dadurch bereitgestellt werden kann, dass ein

- 2 -

Verdichterrotor des Verdichtersystems mit einer vordefinierten Drehzahl von der elektrischen Maschine angetrieben wird, wobei die elektrische Maschine in einen Freilaufbetrieb geschaltet wird, wobei im Freilaufbetrieb der Verdichterrotor des Verdichtersystems ausläuft, wobei die Drehzahl des Verdichterrotors erfasst wird, wobei die Drehzahl mit einer Solldrehzahl verglichen wird, wobei bei
5 Unterschreiten der Solldrehzahl durch die Drehzahl die elektrische Maschine in einen Kurzschlussbetrieb geschaltet wird.

Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass der Verdichterrotor schneller zum Stillstand gebracht wird, als wenn der Verdichterrotor nur ausläuft. Ferner wird
10 eine Zeit, in denen ein Fluidlager im Gleitbetrieb betrieben wird, reduziert, sodass eine mechanische Reibungsarbeit im Fluidlager reduziert ist. Dadurch wird ein Verschleiß des Fluidlagers vermieden.

In einer weiteren Ausführungsform wird nach Stillstand des Verdichterrotors die elektrische Maschine stromlos geschaltet und vorzugsweise der Kurzschlussbetrieb aufgehoben.
15

In einer weiteren Ausführungsform wird oberhalb der Solldrehzahl der Verdichterrotor fluiddynamisch gelagert und/oder wobei unterhalb der Solldrehzahl der Verdichterrotor gleitgelagert wird.
20

In einer weiteren Ausführungsform wird zeitlich zwischen dem Unterschreiten der Solldrehzahl durch die Drehzahl und dem Kurzschließen der elektrischen Maschine eine Druckdifferenz zwischen einer Eingangsseite des Verdichters und einer Ausgangsseite reduziert, vorteilhafterweise aufgehoben. Dadurch wird ein mögliches Verdrehen des Verdichterrotors im Stillstand, insbesondere wenn die elektrische Maschine stromlos geschaltet ist, vermieden.
25

In einer weiteren Ausführungsform wird eine Winkelposition eines Maschinenrotors der elektrischen Maschine, mit der der Maschinenrotor zum Stillstand kommt, relativ zu einem Maschinenstator der elektrischen Maschine ermittelt, wobei bei einem zeitlich auf den Stillstand des Maschinenrotors der elektrischen Maschine folgenden Anlaufvorgang des Maschinenrotors der elektrischen Maschine die elektrische Maschine in Abhängigkeit der ermittelten
30
35

Winkelposition angesteuert wird. Dadurch kann der Anlaufvorgang besonders schnell durchgeführt werden.

5 In einer weiteren Ausführungsform wird im Kurzschlussbetrieb eine Endstufe einer Steuerschaltung des Steuergeräts vollständig in den Kurzschluss geschaltet. Alternativ wird im Kurzschlussbetrieb wenigstens ein erstes Schaltelement, das mit einem positiven Versorgungsspannungspotential verbunden ist, ausgeschaltet und wenigstens ein zweites Schaltelement, das mit einem negativen Versorgungsspannungspotential verbunden ist, eingeschaltet.
10 Alternativ wird im Kurzschlussbetrieb wenigstens ein erstes Schaltelement, das mit einem positiven Versorgungsspannungspotential verbunden ist, eingeschaltet und wenigstens ein zweites Schaltelement, das mit einem negativen Versorgungsspannungspotential verbunden ist, ausgeschaltet.

15 In einer weiteren Ausführungsform weist der Wärmepumpenkreislauf einen ersten Wärmetauscher, einen zweiten Wärmetauscher, ein Wärmeträgermedium und ein Steuergerät auf. Das Verdichtersystem umfasst einen Verdichter und eine elektrische Maschine. Der Verdichter umfasst einen Verdichterrotor und die elektrische Maschine einen Maschinenrotor. Der Verdichterrotor ist
20 drehmomentschlüssig mit dem Maschinenrotor verbunden. Der zweite Wärmetauscher ist fluidisch mit einer Eingangsseite des Verdichters verbunden. Der erste Wärmetauscher ist fluidisch mit einer Ausgangsseite des Verdichters verbunden. Der Verdichterrotor ist ausgebildet, das Wärmeträgermedium zwischen dem ersten Wärmetauscher und dem zweiten Wärmetauscher im
25 Kreislauf zu fördern. Das Steuergerät ist ausgebildet, den Wärmepumpenkreislauf wie oben beschrieben zu steuern.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verdichtersystem eine Lagereinrichtung, wobei die Lagereinrichtung den Verdichterrotor drehbar um
30 eine Drehachse lagert. Die Lagereinrichtung umfasst wenigstens ein als Fluidlager ausgebildetes Lagerelement. Dadurch kann der Verdichterrotor besonders reibungsarm drehbar gelagert werden.

In einer weiteren Ausführungsform ist das Lagerelement vorzugsweise ein
35 fluiddynamisches Fluidlager, insbesondere ein gasdynamisches Fluidlager. Das

Lagerelement weist eine Grenzdrehzahl auf. Oberhalb der Grenzdrehzahl ist ein Berührungskontakt zwischen einer rotierenden Lagerfläche des Lagerelements und einer stationären Lagerfläche aufgehoben. Die Solldrehzahl entspricht der Grenzdrehzahl oder die Solldrehzahl ist größer die Grenzdrehzahl. Dadurch kann
5 eine mechanische Reibung beim Abschalten im Lagerelement beim Abschalten des Verdichtersystems reduziert werden, sodass ein mechanischer Verschleiß des Lagerelements reduziert ist. Insbesondere kann hierbei die mechanische Reibarbeit im Lagerelement auf 20 % gegenüber einem Auslaufen des Verdichterrotors ohne Kurzschließen der elektrischen Maschine reduziert
10 werden.

In einer weiteren Ausführungsform ist der Verdichter als Turbokompressor ausgebildet, wobei die Solldrehzahl einen Wert aufweist, wobei der Wert in einem Bereich von 15.000 bis 60.000 U/min, vorzugsweise in einem Bereich von
15 20.000 bis 40.000 U/min, liegt.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Dabei zeigen:

20 Figur 1 eine schematische Darstellung eines Wärmepumpenkreislaufs;

Figur 2 einen Längsschnitt durch eine beispielhafte konstruktive Ausgestaltung eines Verdichtersystem des Wärmepumpenkreislaufs;

25 Figur 3 einen Querschnitt entlang einer in Figur 2 gezeigten Schnittebene A-A durch eine elektrische Maschine des Verdichtersystems;

Figur 4 einen Querschnitt entlang einer in Figur 2 gezeigten Schnittebene B-B durch eine Lagereinrichtung des Verdichtersystems;

30 Figur 5 einen schematischen Schaltplan eines Steuerschaltung eines Steuergeräts des Wärmepumpenkreislaufs;

35 Figur 6 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb des Wärmepumpenkreislaufs;

Figur 7 ein Diagramm einer Drehzahl eines Verdichterrotors aufgetragen über der Zeit;

5 Figur 8 ein Diagramm einer Rotationsenergie eines Rotors des Verdichtersystems aufgetragen über der Zeit;

Figur 9 ein Diagramm eines Phasenstromverlaufs aufgetragen über der Zeit;

10 Figur 10 ein Diagramm eines Stromverlaufs aufgetragen über der Zeit; und

Figur 11 ein Diagramm eines Rotorwinkels der elektrischen Maschine aufgetragen über der Zeit.

15 Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Wärmepumpenkreislaufs 10.

Der Wärmepumpenkreislauf 10 umfasst ein Verdichtersystem 15, ein Steuergerät 20, einen ersten Wärmetauscher 25, einen zweiten Wärmetauscher 30 und eine Drossel 35.

20

Das Verdichtersystem 15 weist eine elektrische Maschine 40 und einen Verdichter 45 auf. Die elektrische Maschine 40 dient dazu, den Verdichter 45 anzutreiben. Der Verdichter 45 ist als Turbomaschine ausgebildet.

25

Der Verdichter 45 weist eine Eingangsseite 50 und eine Ausgangsseite 55 auf. Die Ausgangsseite 55 des Verdichters 45 ist mittels einer ersten fluidischen Verbindung 60 mit einer Eingangsseite des ersten Wärmetauschers 25 verbunden. Ausgangsseitig ist der erste Wärmetauscher 25 mittels einer zweiten fluidischen Verbindung 65 mit der Drossel 35 verbunden. Die Drossel 35 ist
30 mittels einer dritten fluidischen Verbindung 70 mit einer Eingangsseite des zweiten Wärmetauschers 30 verbunden. Eine Ausgangsseite des zweiten Wärmetauschers 30 ist die Eingangsseite 50 des Verdichters 45 mittels einer vierten fluidischen Verbindung 75 verbunden. Ferner umfasst der Wärmepumpenkreislauf 10 ein Wärmeträgermedium 80. Das

Wärmeträgermedium 80 kann beispielsweise Propan, Butan und/oder CO₂ aufweisen.

Das Steuergerät 20 weist eine Schnittstelle 90, eine Steuereinrichtung 95 und einen Speicher 100 auf. Im Speicher 100 ist vorzugsweise als vordefinierter Schwellenwert eine Solldrehzahl n_s des Verdichterrotors 130 abgelegt. Besonders von Vorteil ist hierbei, wenn die Solldrehzahl n_s einen Wert aufweist, der in einem Bereich von 15.000 bis 60.000 U/min, vorzugsweise in einem Bereiche von 20.000 bis 40.000 U/min liegt.

Die Schnittstelle 90 ist mittels einer ersten elektrischen Verbindung 105 mit der Steuereinrichtung 95 verbunden. Mittels einer zweiten elektrischen Verbindung 110 ist der Speicher 100 mit der Steuereinrichtung 95 verbunden. Die Schnittstelle 90 ist mittels einer dritten elektrischen Verbindung 115 mit der elektrischen Maschine 40 verbunden. Ferner umfasst das Steuergerät 20 einen Drehzahlsensor 120. Der Drehzahlsensor 120 ist am Verdichter 45 angeordnet. Der Drehzahlsensor 120 ist mittels einer vierten elektrischen Verbindung 125 mit der Schnittstelle 90 des Steuergeräts 20 verbunden.

Der Verdichter 45 fördert das Wärmeträgermedium 80 von der Eingangsseite 50 hin zu der Ausgangsseite 55 und verdichtet dabei das Wärmeträgermedium 80. Das Wärmeträgermedium 80 wird über die erste fluidische Verbindung 60 zum ersten Wärmetauscher 25 gefördert. Der erste Wärmetauscher 25 dient dabei als Verdampfer und nimmt dabei Wärme W_1 , beispielsweise aus einer Umgebung 85, auf. Das Wärmeträgermedium 80 wird über die zweite fluidische Verbindung 65 zur Drossel 35 geführt. An der Drossel 35 wird ein Druck des Wärmeträgermediums 80 reduziert. Das Wärmeträgermedium 80 strömt mit reduziertem Druck über die dritte fluidische Verbindung 70 zum zweiten Wärmetauscher 30. Der zweite Wärmetauscher 30 dient als Kondensator. Dabei gibt das Wärmeträgermedium 80 Wärme W_2 ab. Die abgegebene Wärme W_2 kann beispielsweise zum Beheizen eines Gebäudes dienen. Auch kann damit beispielsweise ein weiteres Wärmeträgermedium, beispielsweise in einem Pufferspeicher eines Heizsystems, mittels des zweiten Wärmetauschers 30 erwärmt werden. Das Wärmeträgermedium 80 wird über die vierte fluidische Verbindung 75 wieder zurück zur Eingangsseite 50 des Verdichters 45 geführt.

Figur 2 zeigt einen Längsschnitt durch eine beispielhafte konstruktive Ausgestaltung des in Figur 1 gezeigten Verdichtersystems 15. Der Verdichter 45 ist in der Ausführungsform beispielhaft als Radialverdichter ausgebildet.

5 Selbstverständlich ist auch eine andere konstruktive Ausgestaltung des Verdichters 45 denkbar. So ist beispielsweise auch denkbar, dass der Verdichter 45 als Axialverdichter ausgebildet ist.

10 Der Verdichter 45 weist einen Verdichterrotor 130 auf. Der Verdichterrotor 130 ist drehbar um eine Drehachse 135 gelagert. Die Eingangsseite 50 ist bezogen auf die Drehachse 135 dabei radial innenseitig angeordnet, während hingegen die Ausgangsseite 55 des Verdichters 45 radial außenseitig bezogen auf die Drehachse 135 angeordnet ist.

15 Die elektrische Maschine 40 weist einen Maschinenrotor 140 und einen Maschinenstator 145 auf. Der Maschinenstator 145 ist dabei drehfest. Der Maschinenrotor 140 ist drehmomentschlüssig mittels einer Koppelwelle 150 beispielhaft mit dem Verdichterrotor 130 gekoppelt und drehbar um die Drehachse 135 gelagert. Selbstverständlich ist auch denkbar, dass zwischen
20 dem Maschinenrotor 140 und dem Verdichterrotor 130 beispielsweise eine Kupplung und/oder eine Übersetzungseinrichtung oder andere Vorrichtungen vorgesehen sind, um den Verdichterrotor 130 mit dem Maschinenrotor 140 zu koppeln. Auch kann auf die Koppelwelle 150 verzichtet werden.

25 Ferner umfasst das Verdichtersystem 15 eine Lagereinrichtung 155. Die Lagereinrichtung 155 weist ein erstes Lagerelement 160, ein zweites Lagerelement 165 und ein drittes Lagerelement 170 auf. Das erste Lagerelement 160 ist als Axiallager ausgebildet. Das zweite und dritte Lagerelement 165, 170 sind als Radiallagerelement ausgebildet. Dabei dient das erste Lagerelement 160
30 dazu eine axiale Position des Verdichterrotors 130, des Maschinenrotors 140 und der Koppelwelle 150 festzulegen. Das zweite und dritte Lagerelement 165, 170 lagern den Verdichterrotors 130, den Maschinenrotors 140 und die Koppelwelle 150 drehbar um die Drehachse 135.

In der Ausführungsform sind alle Lagerelemente 160, 165, 170 als fluiddynamische Fluidlager, vorzugsweise als dynamische Gaslager, ausgebildet. Selbstverständlich ist auch denkbar, dass nur eines der Lagerelemente 160, 165, 170 als fluiddynamisches Lager ausgebildet ist. Durch die Ausgestaltung des Lagerelements 160, 165, 170 als fluiddynamisches Fluidlager kann die Lagerung des Verdichterrotors 130 und des Maschinenrotors 140 besonders reibungsarm, insbesondere bei hoher Drehzahl ausgeführt werden. In der Ausführungsform sind die Lagerelemente 160, 165, 170 an der Koppelwelle 150 angeordnet. Auch ist eine andere Anordnung der Lagerelemente 160, 165, 170 an anderen Positionen z.B. am Verdichterrotor 130 und/oder am Maschinenrotor 140 denkbar.

Figur 3 zeigt einen Querschnitt entlang einer in Figur 2 gezeigten Schnittebene A-A durch die in Figur 2 gezeigte elektrische Maschine 40 des Verdichtersystems 15. Die elektrische Maschine 40 ist in der Ausführungsform beispielhaft dreiphasig ausgebildet. Beispielsweise kann die elektrische Maschine 40 als Synchronmotor, Asynchronmotor oder Reluktanzmaschine ausgeführt sein.

Der Maschinenstator 145 weist beispielhaft mehrere in Umfangsrichtung versetzt angeordnete Wicklungen 175, 180, 185 auf. Die Wicklungen 175, 180, 185 sind mit einem Anschluss 190 verbunden. Dabei ist jede Wicklung 175, 180, 185 über den Anschluss mit einer fünften, sechsten und siebten elektrischen Verbindung 186, 187, 188 mit der Schnittstelle 90 verbunden. Die erste Wicklung 175 ist beispielsweise mit einer ersten Phase U, die zweite Wicklung 180 mit einer zweiten Phase V und die dritte Wicklung 185 beispielhaft mit einer dritten Phase W verbunden.

Der Maschinenrotor 140 weist in der Ausführungsform eine vierte Wicklung 195 auf, die über einen weiteren Anschluss (nicht dargestellt) mit der Schnittstelle 90 elektrisch verbunden ist. Die vierte Wicklung 195 wird im Betrieb der elektrischen Maschine 40 dabei derart bestromt, dass die vierte Wicklung 195 ein permanentes Magnetfeld 196 bereitstellt.

Bezogen auf die Ausrichtung (in Figur 3 mittels eines Südpols S und eines Nordpols N des Magnetfelds 196 des permanenten Magnetfelds des

Maschinenrotors 140 zu einer vordefinierten Position P des Maschinenstator 145 weist dieser einen Rotorwinkel θ auf.

Figur 4 zeigt einen Querschnitt entlang einer in Figur 2 gezeigten Schnittebene B-B durch das dritte Lagerelement 170 der Lagereinrichtung 155 des Verdichtersystems 15. Das dritte Lagerelement 170 wird dabei exemplarisch erläutert. Die Erläuterungen sollen hierbei auch für das erste und/oder zweite Lagerelement 160, 165 gelten.

Das dritte Lagerelement 170 weist an einer inneren Umfangsfläche eine erste drehfest angeordnete Lagerfläche 200 und an einer äußeren Umfangsfläche der Koppelwelle 150 eine zweite Lagerfläche 205 auf. Die zweite Lagerfläche 205 ist dabei auf einer Kreisbahn um die Drehachse 135 verlaufend angeordnet. Die erste Lagerfläche 200 verläuft dabei um eine Kreisbahn um eine Lagerachse 210. Die Drehachse 135 ist dabei exzentrisch zur Lagerachse 210 angeordnet. Dabei ist die Drehachse 135 in Schwerkraftrichtung unterhalb der Lagerachse 210 angeordnet.

Im Betrieb des Verdichtersystems 15 rotiert die zweite Lagerfläche 205 um die Drehachse 135. Die zweite Lagerfläche 205 versetzt das Wärmeträgermedium 80 im dritten Lagerelement 170 in Umfangsrichtung in Rotation. In dem dritten Lagerelement 170 ist eine Abstützkraft F_A die parallel in Schwerkraftrichtung abzustützen ist und eine Dämpfungskraft F_D , die senkrecht zu Abstützkraft F_A ausgerichtet ist abzustützen.

Aufgrund eines Aufstaus eines Fluids, beispielsweise des Wärmeträgermediums 80, in Drehrichtung sich verjüngenden Spalts 215 unterhalb der zweiten Lagerfläche 205 wird dabei die entgegen der Schwerkraftrichtung wirkende Lagerkraft F_L und die senkrecht zur Lagerkraft F_L wirkende Tangentialkraft F_T durch einen Druckpolster 220 des Wärmeträgermediums 80 im Spalt 215 aufgebaut.

Oberhalb einer Grenzdrehzahl n_G des dritten Lagerelements 170 ist das Druckpolster 220 stark genug die gegen die Schwerkraftrichtung wirkende Lagerkraft F_L kurzzeitig größer ist als die Abstützkraft F_A ist, so dass ein

Berührkontakt zwischen der ersten und der zweiten Lagerfläche 200, 205 aufgehoben wird. Oberhalb der Grenzdrehzahl n_G ist der Spalt 215 unterhalb der Drehachse 135 mit zunehmender Drehzahl der zweiten Lagerfläche 205 breiter ausgebildet. Mit zunehmender Breite des Spaltes 215 nimmt die Lagerkraft F_L bis
5 sich ein Gleichgewichtszustand einstellt und die Lagerkraft F_L gleich der Abstützkraft F_A ist. Die Drehachse 135 nähert sich dabei der Lagerachse 210 von unten her an. Aufgrund der abzustützensden Abstützkraft F_A über die zweite Lagerfläche 205 ist die Drehachse 135 jedoch nie oberhalb der Lagerachse 210 angeordnet.

10 Durch die Rotation um die Drehachse 135 wirkt ferner die senkrecht zur Abstützkraft F_A wirkende Tangentialkraft F_T . Die Tangentialkraft F_T wird durch die Dämpfungskraft F_D aufgehoben, sodass, bezogen senkrecht zur
15 Schwerkraftrichtung, die zweite Lagerfläche 205 etwa mittig zur ersten Lagerfläche 200 angeordnet ist. Je nach Drehzahl n der zweiten Lagerfläche 205 ist der Spalt 215 unterschiedlich breit ausgebildet.

20 Unterhalb der Grenzdrehzahl n_G ist die Lagerkraft F_L kleiner der über das dritte Lagerelement 170 abzustützensden Abstützkraft F_A , sodass die zweite Lagerfläche 205 einen Berührkontakt mit der ersten Lagerfläche 200 aufweist. Unterhalb der Grenzdrehzahl n_G wird somit die Koppelwelle 150 im Lagerelement 165, 170 gleitgelagert.

25 Figur 5 zeigt einen schematischen Schaltplan einer Steuerschaltung 300 des Steuergeräts 20. Die Steuerschaltung 300 weist eine Endstufe 305, einen Gleichrichter 310 und einen Netzanschluss 315 auf. Der Netzanschluss 315 ist mit dem Gleichrichter 310 elektrisch verbunden. Der Gleichrichter 310 stellt eine positive Versorgungsspannung $T+$ und eine negative Versorgungsspannung $T-$ bezogen auf einen Massepunkt 320 bereit. Zwischen dem negativen
30 Versorgungsspannungspotential $T-$ und dem positiven Versorgungsspannungspotential $T+$ kann ein parallel zum Gleichrichter 310 geschalteter Zwischenkreiskondensator 321 vorgesehen sein.

35 Die Endstufe 305 umfasst die Schaltelemente 325a bis 325f in Form von Leistungsschaltern, welche mit einzelnen Phasen U, V, W der elektrischen

Maschine 40, verbunden sind. Die Phasen U, V, W sind entweder gegen das positive Versorgungsspannungspotential T+ oder das negative Versorgungsspannungspotential T- geschaltet. Die mit dem positiven Versorgungsspannungspotential T+ verbundenen Schaltelemente 325a bis 325c werden dabei auch als „High-Side-Schalter“ und die mit dem negativen Versorgungsspannungspotential T- verbundenen Schaltelemente 325d bis 325f als „Low-Side-Schalter“ bezeichnet. Die Schaltelemente 325a bis 325f können beispielsweise als Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) oder als Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) ausgeführt sein. Die Endstufe 305 umfasst ferner mehrere Freilaufdioden 330a bis 330f, welche jeweils parallel zu einem der Schaltelemente 325a bis 325f angeordnet sind. Die Schaltelemente 325a und 325d, 325b und 325e sowie 325c und 325f bilden jeweils eine Halbbrücke 335a, 335b bzw. 335c, welche jeweils einer der Phasen U, V, W der elektrischen Maschine 40 zugeordnet sind.

Die Endstufe 305 bestimmt Leistung und Betriebsart der elektrischen Maschine 40 und wird über die Steuereinrichtung 95 über die Schnittstelle 90 angesteuert. Die elektrische Maschine 40 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel dreiphasig ausgeführt, kann aber auch weniger oder mehr als drei Phasen aufweisen. Dementsprechend kann auch die Steuerschaltung 300 auch weniger oder mehr als drei Halbbrücken 335 umfassen.

In jedem Halbbrücke 335a, 335b, 335c ist an dem dem positiven Versorgungsspannungspotential T+ abgewandten Ausgang, also am Emitterausgang, ein Stromsensor 340a, 340b, 340c vorgesehen. Dabei ist jeder Stromsensor 340a, 340b, 340c jeweils einer Phase U, V, W zugeordnet. Der Stromsensor 340a, 340b, 340c kann beispielsweise in Form eines Stromdurchflusswandlers oder eines Messwiderstands oder auch im Halbleiter des Schalters implementiert sein. Der Stromsensor 340a, 340b, 340c ist ausgebildet, den Strom oder zumindest eine dem Strom charakteristische Größe, der zwischen den Wicklungen 175, 180, 185 und den Schaltelementen 325a bis 325f fließt, zu erfassen. Der Stromsensor 340a, 340b, 340c ist mit der Schnittstelle 90 des Steuergeräts 20 verbunden. Der Stromsensor 340a, 340b, 340c stellt in Abhängigkeit des jeweils für eine Phase U, V, W erfassten Stroms

ein entsprechendes Signal der Schnittstelle 90 und über die Schnittstelle 90 der Steuereinrichtung 95 bereit.

5 Die Steuereinrichtung 95 steuert über die Schnittstelle 90 die Schaltelemente 325a bis 325f derart an, dass die Wicklungen 175, 180, 185 ein Drehfeld in der elektrischen Maschine 40 erzeugen, wobei mittels der Intensität des Drehfelds und Frequenz des Drehfelds der Maschinenrotor 140 um die Drehachse 135 ein Drehmoment erzeugt und den Verdichterrotor 130 antreibt. Das Drehfeld bzw. die Ansteuerung der einzelnen Wicklungen 175, 180, 185 über die Halbbrücken 10 335a, 335b, 335c kann mittels Pulsweitenmodulation erfolgen.

Figur 6 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens des Wärmepumpenkreislaufs 10. Figur 7 zeigt ein Diagramm einer Drehzahl n des Verdichterrotors 130 aufgetragen über der Zeit t . Figur 8 zeigt ein Diagramm einer Rotationsenergie E_{rot} aufgetragen über der Zeit. Figur 9 zeigt ein Diagramm eines Verlaufs eines Strom I_U, I_V, I_W aufgetragen über der Zeit t . Figur 10 zeigt ein Diagramm des Stroms I_U der Phase U aufgetragen über der Zeit t . Figur 11 zeigt ein Diagramm eines Rotorwinkels des Maschinenrotors 140 gegenüber dem Maschinenstator 145 der elektrischen Maschine 40 aufgetragen über der Zeit t .

20 In einem ersten Verfahrensschritt 400 steuert die Steuereinrichtung 95 die elektrische Maschine 40 derart an das die elektrische Maschine 40 den Verdichterrotor 130 mit einer vordefinierten Drehzahl n_V vorzugsweise konstant über ein vordefiniertes Zeitintervall antrieb. Die vordefinierte Drehzahl n_V ist dabei, vorzugsweise um wenigstens einen Faktor 1,5, größer als die 25 Grenzdrehzahl n_G der Lagerelemente 160, 165, 170, sodass die Lagereinrichtung 155 fluiddynamisch die Koppelwelle 150 und somit auch den Maschinenrotor 140 und den Verdichterrotor 130 lagert. Dadurch sind Reibungsverluste über die Lagereinrichtung 155 besonders gering. In diesem Betriebszustand wird der 30 Wärmepumpenkreislauf 10 wie in Figur 1 beschrieben betrieben.

Um den Wärmepumpenkreislauf 10 zu deaktivieren, wird in einem zweiten Verfahrensschritt 405 über die Steuereinrichtung 95 die Endstufe 305 derart geschaltet, dass die elektrische Maschine 40 in einem Freilaufbetrieb betrieben 35 wird. Dazu werden die Schaltelemente 325a bis 325f alle geöffnet, sodass die

Wicklungen 175, 180, 185 vom Netzanschluss 315 elektrisch getrennt sind. Dabei rotieren der Verdichterrotor 130 und der Maschinenrotor 140 weiter. Aufgrund einer inneren Reibung in der Lagereinrichtung 155 und der durch den Verdichter 45 geleisteten Verdichterarbeit am Wärmeträgermedium 80 zur Förderung des Wärmeträgermediums 80 von der Eingangsseite 50 hin zur Ausgangsseite 55 fällt die Drehzahl n des Verdichterrotors 130 in einem ersten Zeitintervall 600 (vgl. Figur 7) nach Stromlosschaltung der Wicklungen 175, 180, 185 ab.

Parallel zum ersten und zweiten Verfahrensschritt 400, 405 erfasst die Steuereinrichtung 95 in einem dritten Verfahrensschritt 410 die Drehzahl n des Verdichterrotors 130 mittels des Drehzahlsensors 120 erfasst.

In einem vierten Verfahrensschritt 415, der auf den zweiten Verfahrensschritt 405 und den dritten Verfahrensschritt 410 folgt, vergleicht die Steuereinrichtung 95 die erfasste Drehzahl n mit der Solldrehzahl n_s . Überschreitet die Drehzahl n die Solldrehzahl n_s , wird mit einem fünften Verfahrensschritt 420 fortgefahren. Unterschreitet die Drehzahl n die Solldrehzahl n_s wird mit einem sechsten Verfahrensschritt 425 fortgefahren.

Im fünften Verfahrensschritt 420 wird ein vordefiniertes Zeitintervall abgewartet. Das vordefinierte Zeitintervall kann beispielsweise einer Taktfrequenz der Steuereinrichtung 95 entsprechen. Auch ist denkbar, dass im Speicher 100 das vordefinierte Zeitintervall abgelegt ist.

Nach dem fünften Verfahrensschritt 420 fährt die Steuereinrichtung 95 mit dem vierten Verfahrensschritt 415 fort.

Im sechsten Verfahrensschritt 425, also wenn die Drehzahl n kleiner der Solldrehzahl n_s ist, steuert die Steuereinrichtung 95 den Verdichter 45 derart an, dass der Verdichter 45 einen Druck des Wärmeträgermediums 80 zwischen der Eingangsseite 50 und der Ausgangsseite 55 reduziert. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass im Verdichter 45 auf Grundlage eines Steuersignals der Steuereinrichtung 95 ein Bypass geöffnet wird, der die Eingangsseite 50 mit der Ausgangsseite 55 verbindet.

In einem siebten Verfahrensschritt 430, der auf den sechsten Verfahrensschritt 425 erfolgt, schaltet die Steuereinrichtung 95 die Endstufe 305 in einen Kurzschlussbetrieb. Dazu werden die Schaltelemente 325a bis 325f geschlossen. Die vierte Wicklung 195 für das Magnetfeld wird weiter bestromt. Durch die Drehung des Maschinenrotors 140 wird in den ersten bis dritten Wicklungen 175, 180, 185 ein Strom I_U , I_V , I_W induziert. Der induzierte Strom I_U , I_V , I_W wird über die Schaltelemente 325a bis 325f kurzgeschlossen. Der jeweils in den Wicklungen 175, 180, 185 fließende induzierte Strom I_U , I_V , I_W erzeugt ein über weiteres Magnetfeld ein Kurzschlussdrehmoment M , das gegen die Drehbewegung des Maschinenrotors 140 wirkt und somit den Maschinenrotor 140, den Verdichterroter 130 und die Koppelwelle 150 abbremst.

In der Ausführungsform werden im siebten Verfahrensschritt 430 gleichzeitig alle Schaltelemente 325a bis 325f eingeschaltet. Selbstverständlich ist auch denkbar, dass alle High-Side-Schalter 325a bis 325c ausgeschaltet sind, während gleichzeitig alle Low-Side-Schalter 325d bis 325f eingeschaltet sind. In diesem Fall erfolgt der Kurzschlussmodus ausschließlich über die Low-Side-Schalter 325d bis 325f. Alternativ ist auch denkbar, dass alle High-Side-Schalter 325a bis 325c aller Motorphasen eingeschaltet werden, während gleichzeitig alle Low-Side-Schalter 325d bis 325f aller Motorphasen ausgeschaltet werden. In diesem Fall erfolgt der Kurzschluss über die High-Side-Schalter 325a bis 325c.

Das Diagramm von Figur 7 zeigt einen ersten Graphen 500, einen zweiten Graphen 505 und einen dritten Graphen 510. Der erste Graph 500 zeigt einen Drehzahlverlauf des Verdichterroters 130 bei einem Auslaufen des Verdichterroters 130 in einem Schaltzustand der Steuerschaltung 300, wie sie im zweiten Verfahrensschritt 405 erfolgt und die Wicklungen 175, 180, 185 nicht kurzgeschlossen werden. Dabei fällt die Drehzahl n langsam über eine Zeit t in einem zweiten Zeitintervall 605 hinweg ab. Ab Unterschreiten der Grenzdrehzahl n_G durch die Drehzahl n wird ist das Druckpolster 220 des Wärmeträgermediums 80 im Lagerelement 160, 165, 170 zu schwach, um einen Berührkontakt der zweiten Lagerfläche 205 mit der ersten Lagerfläche 200 zu verhindern. Dadurch gleitet die zweite Lagerfläche 205 auf der ersten Lagerfläche 200 in einem dritten Zeitintervall 610. Dies führt zu einem erhöhten Verschleiß der Lagerflächen 200,

205. Ferner wird die Rotationsenergie E_{rot} durch Reibung im Lagerelement 160, 165, 170 abgebaut.

Um eine besonders gute fluiddynamische Lagerung über das Lagerelement 160, 165, 170 zu gewährleisten, weist das Lagerelement 160, 165, 170 eine besonders geringe Fertigungstoleranz auf. Die Toleranz des Lagerelements 160, 165, 170 wird durch mechanischen Verschleiß, insbesondere im Betrieb des Lagerelements 160, 165, 170 unterhalb der Grenzdrehzahl n_G , verschlissen.

Der zweite Graph 505 und auch der dritte Graph 510 zeigen einen Drehzahlverlauf der Drehzahl n über der Zeit nach Schalten der Steuerschaltung 300 in den Kurzschlussbetrieb (siebter Verfahrensschritt 430). Durch den Kurzschlussbetrieb wird die Drehzahl n sehr schnell gegenüber dem ersten Graphen 500 in einem vierten Zeitintervall 615 reduziert. Insbesondere wird ein großer Teil der Rotationsenergie E_{rot} gegenüber einem Auslaufenlassen des Verdichterrotors 130 (wie beim ersten Graphen 500) in Wärmeenergie über die Wicklungen 175, 180, 185 und die Schaltelemente 325a bis 325f abgebaut. Je nach Wert der Grenzdrehzahl n_G ist das vierte Zeitintervall unterschiedlich lang. Der schnellere Abbau der Rotationsenergie E_{rot} gegenüber dem Auslaufenlassen des Verdichterrotors 130 ist in Figur 8 mit einem vierten Graph 515 (Kurzschlussbetrieb) und das Auslaufen des Verdichterrotors 130 mit einem fünften Graph 520 gezeigt.

Dadurch wird ein Verschleiß des Lagerelements 160, 165, 170 vermieden. Ferner ist hierbei von Vorteil, wenn die Solldrehzahl n_S einen Wert aufweist, der deutlich größer, vorzugsweise um einen Faktor 2 größer ist, als die Grenzdrehzahl n_G des Lagerelements 160, 165, 170. Auf diese Weise wird ein zuverlässiges und schnelles Abbremsen des Verdichterrotors 130 gewährleistet.

Das Kurzschlussdrehmoment M lässt sich allgemein mit der allgemeinen Spannungsgleichung der elektrischen Maschine 40 bestimmen: $U = R \cdot I + \frac{d\psi}{dt}$ mit $U=0$ im Kurzschlussbetrieb und $R \cdot I \ll \frac{d\psi}{dt}$, sodass gilt: $\frac{d\psi}{dt} = 0$, woraus folgt, dass ψ konstant ist. Dabei ist U eine Spannung der elektrischen Maschine

40, R ein Widerstand der elektrischen Maschine 40 und ψ der magnetischer Fluss ist.

Somit ergibt sich für das Kurzschlussdrehmoment M:

5 $P=M \cdot \Omega=R \cdot I^2$, daraus folgt $M = \frac{R \cdot I^2}{\Omega}$ mit P einer Leistung der elektrischen

Maschine 40 und Ω Kreisfrequenz des Maschinenrotors 140.

10 Ferner wird vorzugsweise parallel zum siebten Verfahrensschritt 430 in einem achten Verfahrensschritt 435 der in den Wicklungen 175, 180, 185 induzierte Strom I_U, I_V, I_W durch den Stromsensor 340a, 340b, 340c erfasst (vgl. Figur 9, Figur 10). Die Steuereinrichtung 95 ermittelt auf Grundlage des erfassten induzierten Stroms I_U, I_V, I_W den Rotorwinkel θ des Maschinenrotors 140 gegenüber dem Maschinenstator 145 (vgl. Figur 11). Selbstverständlich ist auch denkbar, dass der Rotorwinkel θ andersartig bestimmt wird, beispielsweise
15 mittels eines Hall-Sensors.

In den Figur 10 sind die Ströme I_U, I_V, I_W beim Abbremsvorgang über die Zeit dargestellt. In Figur 10 ist exemplarisch mit durchgezogener Linie der aus den Strömen I_U, I_V, I_W ermittelte Gesamtstrom I dargestellt. Mit strichlierter Linie ist ein ermittelte Stromverlauf aus dem Strom I_U, I_V, I_W dargestellt. In Figur 11 ist aus dem ermittelten Stromverlauf basierend auf Figur 10 der ermittelte Rotorwinkel Θ dargestellt.

25 In einem neunten Verfahrensschritt 440 überprüft die Steuereinrichtung 95, ob die erfasste Drehzahl n größer 0 ist und ob der Verdichterrotor 130 somit rotiert. Ist dies nicht der Fall, fährt die Steuereinrichtung 95 weiter mit dem siebten und achten Verfahrensschritt 430, 435 fort. Ist die Drehzahl n des Verdichterrotors 130 gleich 0, so fährt die Steuereinrichtung 95 mit einem zehnten Verfahrensschritt 445 fort.

30 Im zehnten Verfahrensschritt 445 schaltet die Steuereinrichtung 95 alle Schaltelemente 325a bis 325f aus und hebt den Kurzschlussbetrieb auf. Dabei ist von Vorteil wenn die Steuereinrichtung 95 ein weiteres vordefiniertes Zeitintervall abwartet. Dies hat den Vorteil, dass vor Aufheben des Kurzschlussbetrieb im
35 Stillstand ein Wiederanlaufen des Verdichterrotors 130 bei ungünstigen

Bedingungen, insbesondere bei einem Druck zwischen der Eingangsseite 50 und der Ausgangsseite 55 des Verdichters 45, zuverlässig durch das im Kurzschlussbetrieb erzeugte Kurzschlussmoment der elektrischen Maschine 140 vermieden werden kann.

5

In einem elften Verfahrensschritt 450 ermittelt die Steuereinrichtung 95 auf Grundlage des im achten Verfahrensschritt 435 erfassten Rotorwinkel θ beim Abbremsen einen Stillstandsrotorwinkel θ_s des Maschinenrotors 140 mit dem dieser zum Stillstand kam. Der Stillstandrotorwinkel θ_s wird im Speicher 100 abgelegt.

10

Soll das Verdichtersystem 15 des Wärmepumpenkreislaufs 10 wieder angefahren werden, berücksichtigt die Steuereinrichtung 95 in einem zwölften Verfahrensschritt 460 bei Ansteuern der Schaltelemente 325a bis 325f den im Speicher 100 abgelegten Stillstandrotorwinkel θ_s , um durch eine entsprechende Ansteuerung der Schaltelemente 325a bis 325f ein zum Stillstandrotorwinkel θ_s entsprechendes Drehfeld zum Anfahren des Maschinenrotors 140 zu erzeugen. Dadurch kann ein Einschwingen des Maschinenrotors 140 auf das Drehfeld vermieden werden und ein Startvorgang der elektrischen Maschine 40 zum Hochfahren des Verdichtersystems 15 verkürzt werden. Dadurch wird eine Gleitreibung innerhalb der Lagereinrichtung 155 besonders kurz gehalten.

15

20

Es wird darauf hingewiesen, dass die in Figur 6 beschriebenen Verfahrensschritte 400 bis 460 selbstverständlich auch in einer anderen Reihenfolge durchgeführt werden können. Auch ist denkbar, dass zusätzliche Verfahrensschritte vorgesehen sind oder dass auf einen Teil der Verfahrensschritte 400 bis 460 verzichtet wird.

25

5 Ansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Verdichtersystems (15) eines Wärmepumpenkreislaufs (10),
 - wobei ein Verdichterroter (130) des Verdichtersystems (15) mit einer vordefinierten Drehzahl (n_v) von einer elektrischen Maschine (40) angetrieben wird,
 - wobei die elektrische Maschine (40) in einen Freilaufbetrieb geschaltet wird,
 - wobei im Freilaufbetrieb der Verdichterroter (130) des Verdichtersystems (15) ausläuft,
 - wobei die Drehzahl (n) des Verdichterröters (130) erfasst wird,
 - wobei die Drehzahl (n) mit einer Solldrehzahl (n_s) verglichen wird,
 - wobei bei Unterschreiten der Solldrehzahl (n_s) durch die Drehzahl (n) die elektrische Maschine (40) in einen Kurzschlussbetrieb geschaltet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
 - wobei nach Stillstand des Verdichterröters (130) die elektrische Maschine (40) stromlos geschaltet wird und vorzugsweise der Kurzschlussbetrieb aufgehoben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
 - wobei oberhalb der Solldrehzahl (n_s) der Verdichterroter (130) fluiddynamisch gelagert wird,
 - und/oder wobei unterhalb der Solldrehzahl (n_s) der Verdichterroter (130) gleitgelagert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

- wobei zeitlich zwischen dem Unterschreiten der Solldrehzahl (n_s) durch die Drehzahl (n) und dem Kurzschließen der elektrischen Maschine (40)
 - eine Druckdifferenz zwischen einer Eingangsseite (50) des Verdichters (45) und einer Ausgangsseite (55) des Verdichters (45) reduziert, vorzugsweise aufgehoben, wird.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei eine Winkelposition (θ) eines Maschinenrotors (140) der elektrischen Maschine (40), mit der der Maschinenrotor (140) zum Stillstand kommt, relativ zu einem Maschinenstator (145) der elektrischen Maschine (40) ermittelt wird,
 - wobei bei einem zeitlich auf den Stillstand des Maschinenrotors (140) der elektrischen Maschine (40) folgenden Anlaufvorgang(des Maschinenrotors (140) der elektrischen Maschine (40) die elektrische Maschine (40) in Abhängigkeit der ermittelten Winkelposition (θ) angesteuert wird.
- 10
- 15
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei im Kurzschlussbetrieb eine Endstufe (305) einer Steuerschaltung (300) des Steuergeräts (20) vollständig in den Kurzschluss geschaltet wird,
 - oder
 - wobei im Kurzschlussbetrieb wenigstens ein erstes Schaltelement (325a, 325b, 325c) der Steuerschaltung (300), das mit einem positiven Versorgungsspannungspotential ($T+$) verbunden ist, ausgeschaltet und wenigstens ein zweites Schaltelement (325d, 325e, 325f), das mit einem negativen Versorgungsspannungspotential ($T-$) verbunden ist, eingeschaltet wird,
 - oder
 - wobei im Kurzschlussbetrieb wenigstens ein erstes Schaltelement (325a, 325b, 325c), das mit einem positiven Versorgungsspannungspotential ($T+$) verbunden ist, eingeschaltet und wenigstens ein zweites Schaltelement (325d, 325e, 325f), das mit
- 20
- 25
- 30

- 20 -

einem negativen Versorgungsspannungspotential (T-) verbunden ist, ausgeschaltet wird.

7. Wärmepumpenkreislauf (10)

- 5
- mit einem ersten Wärmetauscher (25), einem zweiten Wärmetauscher (30), einem Verdichtersystem (15), einem Wärmeträgermedium (80) und einem Steuergerät (20),
 - wobei das Verdichtersystem (15) einen Verdichter (45) und eine elektrische Maschine (40) umfasst,
 - 10 – wobei der Verdichter (45) einen Verdichterrotor (130) und die elektrische Maschine (40) einen Maschinenrotor (140) umfasst,
 - wobei der Verdichterrotor (130) drehmomentschlüssig mit dem Maschinenrotor (140) verbunden ist,
 - wobei der zweite Wärmetauscher (30) fluidisch mit einer
 - 15 Eingangsseite (50) des Verdichters (45) verbunden ist,
 - wobei der erste Wärmetauscher (25) fluidisch mit einer Ausgangsseite (55) des Verdichters (45) verbunden ist,
 - wobei der Verdichterrotor (130) ausgebildet ist, das
 - 20 Wärmeträgermedium (80) im Kreislauf zwischen dem ersten Wärmetauscher (25) und dem zweiten Wärmetauscher (30) zu fördern,
 - wobei das Steuergerät (20) ausgebildet ist, den Wärmepumpenkreislauf (10) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zu steuern.

25

8. Wärmepumpenkreislauf (10) nach Anspruch 7,

- wobei das Verdichtersystem (15) eine Lagereinrichtung (155) umfasst,
- wobei die Lagereinrichtung (155) den Verdichterrotor (130) drehbar um eine Drehachse (135) lagert,
- 30 – wobei die Lagereinrichtung (155) wenigstens ein als Fluidlager ausgebildetes Lagerelement (160, 165, 170) umfasst.

9. Wärmepumpenkreislauf (10) nach Anspruch 7 oder 8,

- wobei das Lagerelement (160, 165, 170) vorzugsweise ein fluiddynamisches Fluidlager, insbesondere ein gasdynamisches Fluidlager ist,
 - 5 – wobei das Lagerelement (160, 165, 170) eine Grenzdrehzahl (n_G) aufweist,
 - wobei oberhalb der Grenzdrehzahl (n_G) ein Berührungskontakt zwischen einer rotierenden Lagerfläche (205) des Lagerelements (160, 165, 170) und einer stationären Lagerfläche (200) aufgehoben ist,
 - 10 – wobei die Solldrehzahl (n_S) der Grenzdrehzahl (n_G) entspricht oder die Solldrehzahl (n_S) größer der Grenzdrehzahl (n_G) ist.
10. Wärmepumpenkreislauf (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- wobei der Verdichter (45) als Turbokompressor ausgebildet ist,
 - und/oder wobei die Solldrehzahl (n_S) einen Wert aufweist,
 - 15 – wobei der Wert in einem Bereich von 15.000 bis 60.000 U/min, vorzugsweise in einem Bereich von 20.000 bis 40.000 U/min, liegt.

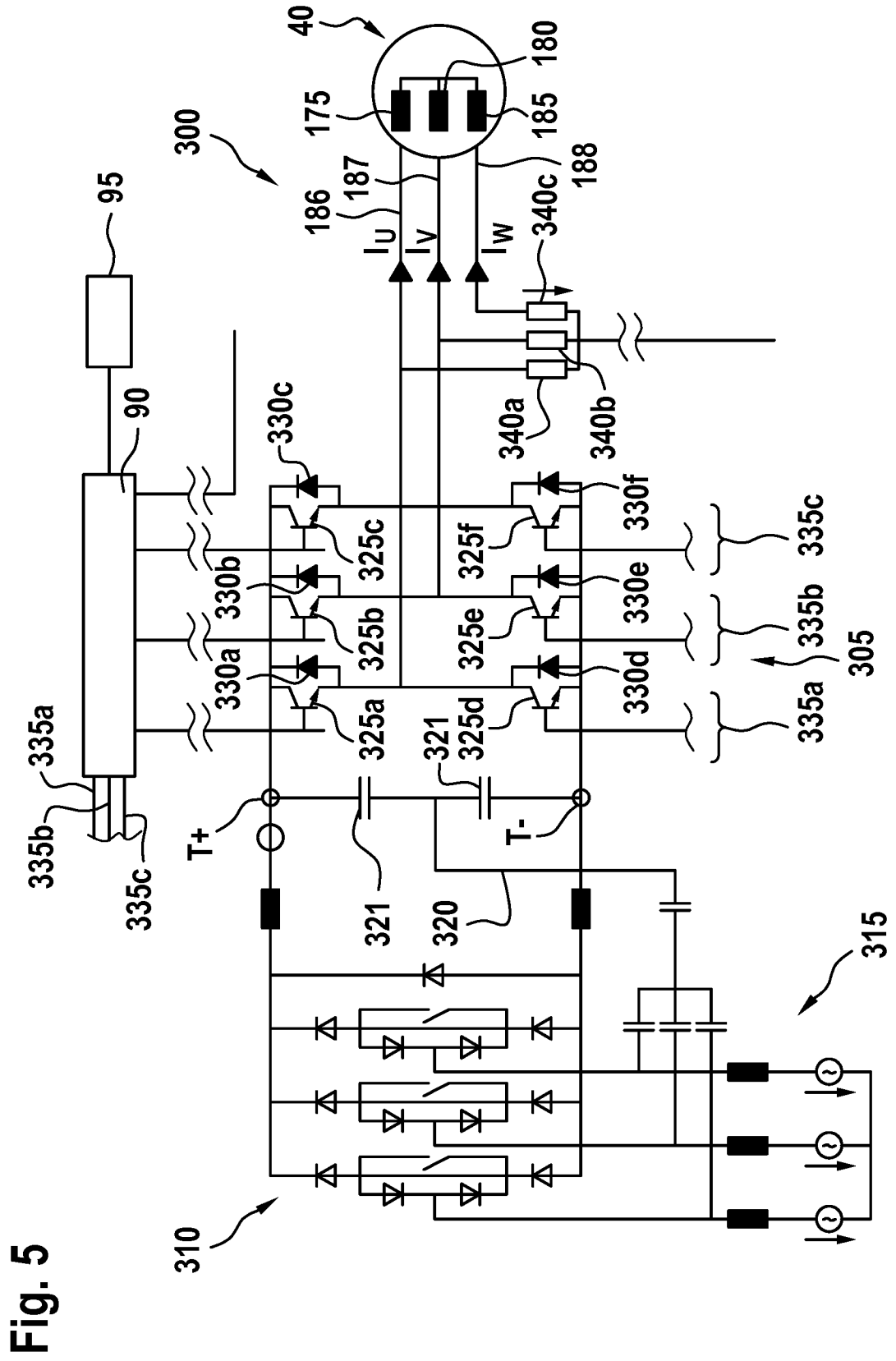


Fig. 5

Fig. 6

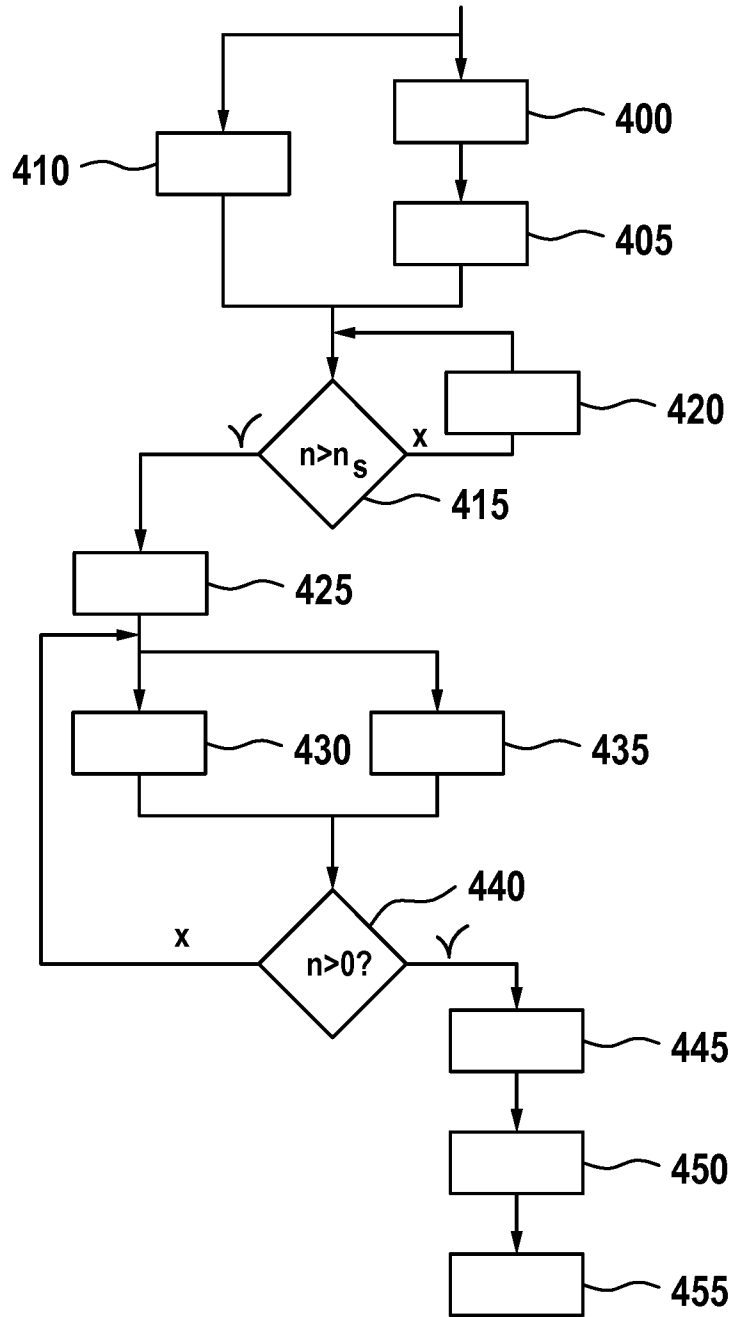


Fig. 7

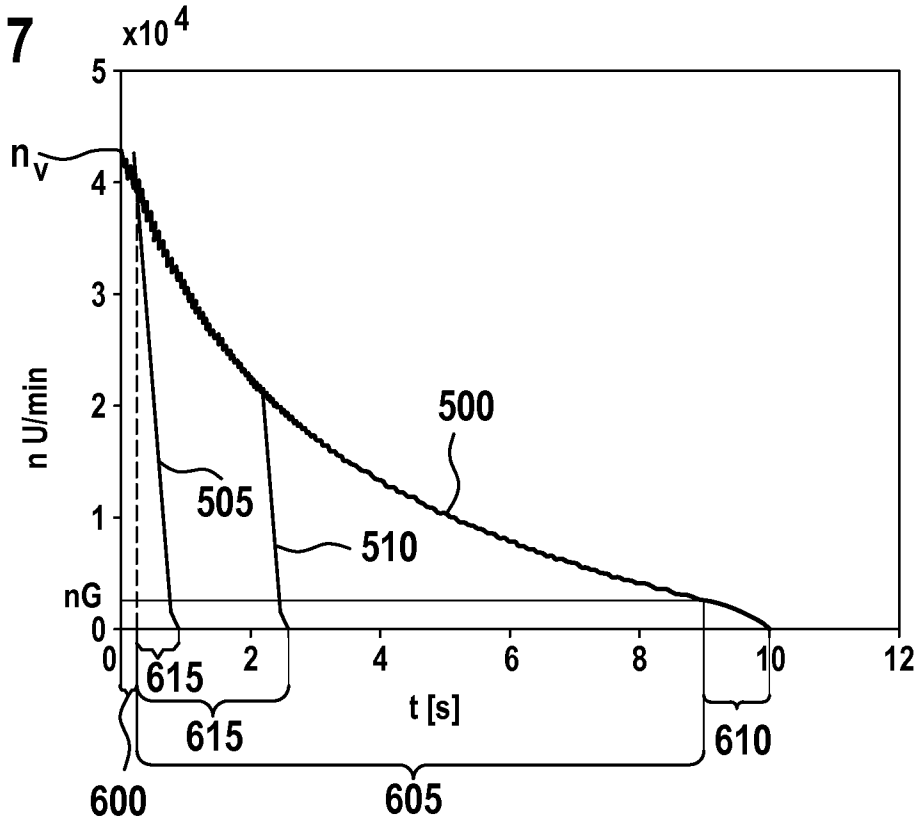


Fig. 8

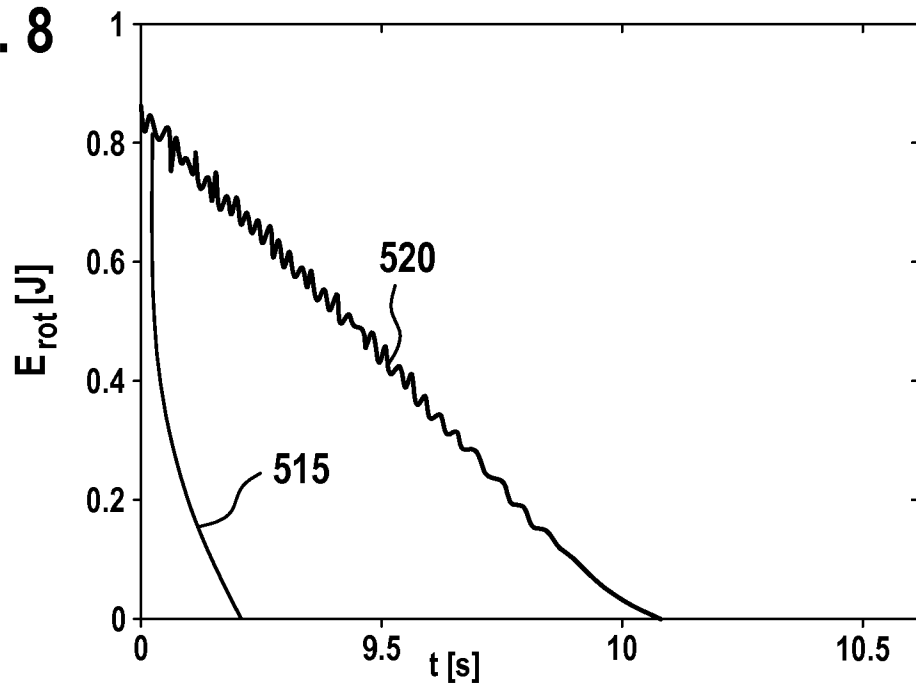


Fig. 9

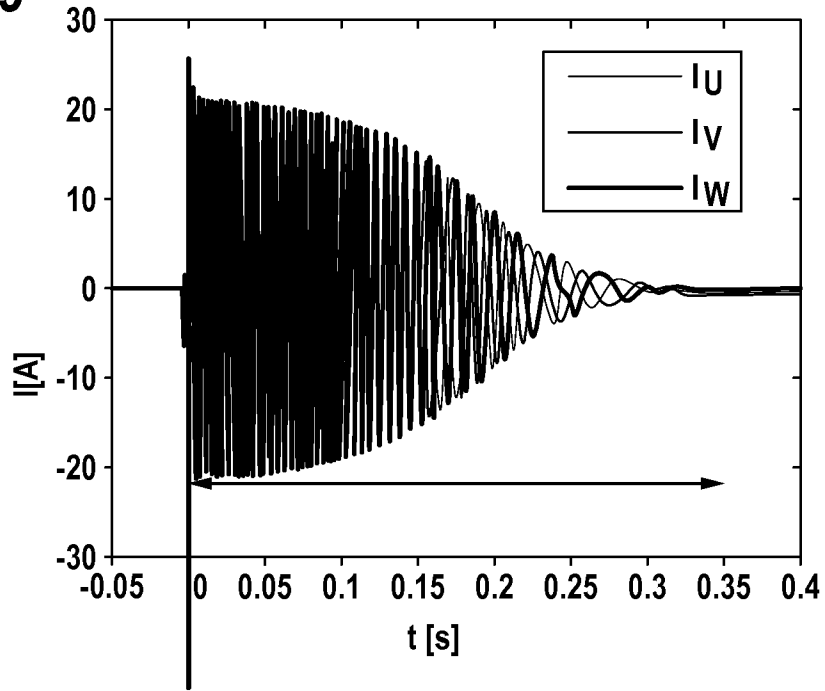
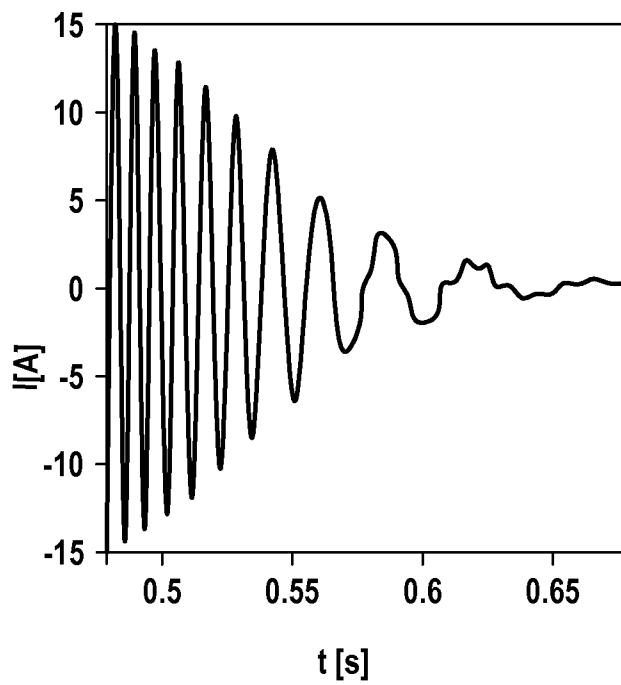
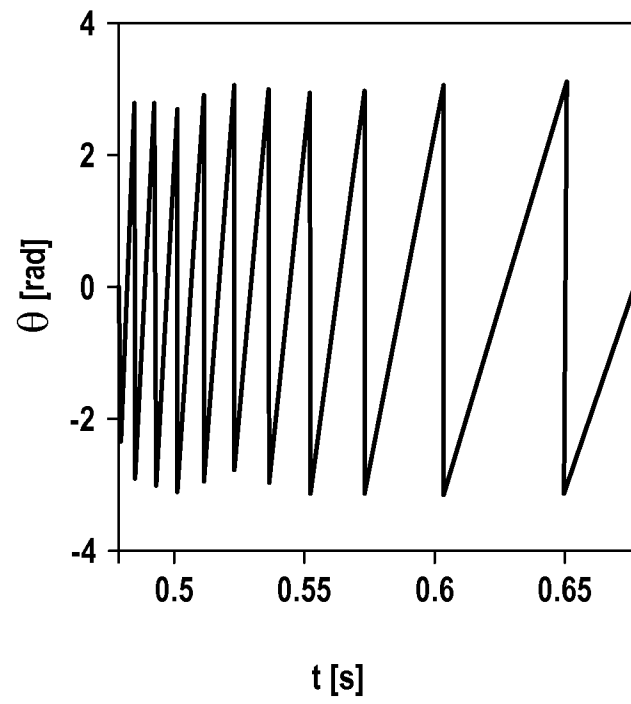


Fig. 10



7 / 7

Fig. 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058602

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F04D25/06 F04D27/02 F04D29/057
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F04D
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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2014 217005 A1 (BSH HAUSGERÄTE GMBH [DE]) 3 March 2016 (2016-03-03)	1,2,5-7
Y	abstract paragraph [0001] - paragraph [0046] figures	3,4,8-10
Y	----- US 5 897 299 A (FUKUNAGA TSUYOSHI [JP]) 27 April 1999 (1999-04-27)	3,4,8-10
A	abstract column 2, line 19 - column 12, line 25 figures	1,2,5-7
A	----- WO 99/05779 A1 (ZEXEL CORP [JP]; TAKEKAWA YORIYUKI [JP]; TAKAGI NOBUKAZU [JP]; KAWASAK) 4 February 1999 (1999-02-04) abstract figures 1-7	1-10
	----- -/--	

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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 July 2017	Date of mailing of the international search report 21/07/2017
---	--

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 Kolby, Lars
--	---------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058602

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/110685 A1 (HILD THOMAS [DE]) 15 May 2008 (2008-05-15) abstract paragraph [0013] - paragraph [0014] figures -----	1-10
A	EP 2 921 709 A1 (TOYOTA JIDOSHOKKI KK [JP]) 23 September 2015 (2015-09-23) paragraph [0004] - paragraph [0005] paragraph [0064] - paragraph [0065] figures -----	1-10
A	JP 2014 171370 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18 September 2014 (2014-09-18) figures -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/058602

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102014217005 A1	03-03-2016	CN 106575930 A	19-04-2017
		DE 102014217005 A1	03-03-2016
		EP 3186879 A1	05-07-2017
		WO 2016030250 A1	03-03-2016

US 5897299 A	27-04-1999	CN 1154157 A	09-07-1997
		CN 1338575 A	06-03-2002
		EP 0775830 A1	28-05-1997
		JP H08312582 A	26-11-1996
		KR 100393653 B1	01-11-2003
		US 5897299 A	27-04-1999
		WO 9637707 A1	28-11-1996

WO 9905779 A1	04-02-1999	JP H1146494 A	16-02-1999
		WO 9905779 A1	04-02-1999

US 2008110685 A1	15-05-2008	DE 102007052831 A1	29-05-2008
		US 2008110685 A1	15-05-2008

EP 2921709 A1	23-09-2015	EP 2921709 A1	23-09-2015
		JP 2015178866 A	08-10-2015
		US 2015267717 A1	24-09-2015

JP 2014171370 A	18-09-2014	JP 6004970 B2	12-10-2016
		JP 2014171370 A	18-09-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F04D25/06 F04D27/02 F04D29/057 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F04D		
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2014 217005 A1 (BSH HAUSGERÄTE GMBH [DE]) 3. März 2016 (2016-03-03)	1,2,5-7
Y	Zusammenfassung Absatz [0001] - Absatz [0046] Abbildungen	3,4,8-10
Y	----- US 5 897 299 A (FUKUNAGA TSUYOSHI [JP]) 27. April 1999 (1999-04-27)	3,4,8-10
A	Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 19 - Spalte 12, Zeile 25 Abbildungen	1,2,5-7
A	----- WO 99/05779 A1 (ZEXEL CORP [JP]; TAKEKAWA YORIYUKI [JP]; TAKAGI NOBUKAZU [JP]; KAWASAK) 4. Februar 1999 (1999-02-04) Zusammenfassung Abbildungen 1-7	1-10
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
13. Juli 2017		21/07/2017
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 Kolby, Lars

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2008/110685 A1 (HILD THOMAS [DE]) 15. Mai 2008 (2008-05-15) Zusammenfassung Absatz [0013] - Absatz [0014] Abbildungen -----	1-10
A	EP 2 921 709 A1 (TOYOTA JIDOSHOKKI KK [JP]) 23. September 2015 (2015-09-23) Absatz [0004] - Absatz [0005] Absatz [0064] - Absatz [0065] Abbildungen -----	1-10
A	JP 2014 171370 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18. September 2014 (2014-09-18) Abbildungen -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/058602

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014217005 A1	03-03-2016	CN 106575930 A	19-04-2017
		DE 102014217005 A1	03-03-2016
		EP 3186879 A1	05-07-2017
		WO 2016030250 A1	03-03-2016

US 5897299 A	27-04-1999	CN 1154157 A	09-07-1997
		CN 1338575 A	06-03-2002
		EP 0775830 A1	28-05-1997
		JP H08312582 A	26-11-1996
		KR 100393653 B1	01-11-2003
		US 5897299 A	27-04-1999
		WO 9637707 A1	28-11-1996

WO 9905779 A1	04-02-1999	JP H1146494 A	16-02-1999
		WO 9905779 A1	04-02-1999

US 2008110685 A1	15-05-2008	DE 102007052831 A1	29-05-2008
		US 2008110685 A1	15-05-2008

EP 2921709 A1	23-09-2015	EP 2921709 A1	23-09-2015
		JP 2015178866 A	08-10-2015
		US 2015267717 A1	24-09-2015

JP 2014171370 A	18-09-2014	JP 6004970 B2	12-10-2016
		JP 2014171370 A	18-09-2014
