

(19)



(11)

**EP 3 889 435 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**03.08.2022 Patentblatt 2022/31**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**F04D 15/00<sup>(2006.01)</sup>**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**F04D 15/0077; F04D 15/0066**

(21) Anmeldenummer: **20167993.3**

(22) Anmeldetag: **03.04.2020**

**(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER KREISELPUMPE IM TURBINENFALL**

METHOD FOR OPERATING A CENTRIFUGAL PUMP DRIVEN IN TURBINE MODE

PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE CENTRIFUGE EN CAS D'OPERATION EN MODE DE TURBINE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**06.10.2021 Patentblatt 2021/40**

(73) Patentinhaber: **WILO SE**

**44263 Dortmund (DE)**

(72) Erfinder: **Heinrich, Klaus**

**44263 Dortmund (DE)**

(74) Vertreter: **Cohausz Hannig Borkowski Wißgott**

**Patentanwaltskanzlei GbR**

**Schumannstraße 97-99**

**40237 Düsseldorf (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**DE-A1-102016 003 738 US-A1- 2020 088 152**

**EP 3 889 435 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines von einem Frequenzumrichter gespeisten Elektromotors einer Kreiselpumpe in einem Turbinenfall, wobei die Kreiselpumpe wenigstens ein Laufrad aufweist, das vom Elektromotor in einem Normalbetrieb zur bestimmungsgemäßen Förderung eines flüssigen Mediums von einer Saugseite zu einer Druckseite der Kreiselpumpe in Vorwärtsrichtung mit einer positiven Drehzahl antreibbar ist, und wobei im Turbinenfall das Medium die Kreiselpumpe unter Antreiben des Laufrads in Rückwärtsrichtung mit negativer Drehzahl von der Druckseite zur Saugseite durchströmt. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Kreiselpumpenaggregat umfassend einen Elektromotor mit einem Frequenzumrichter und eine diesen ansteuernde Regelung, und eine von dem Elektromotor angetriebene Kreiselpumpe mit wenigstens einem Laufrad, das im Normalbetrieb des Elektromotors zur bestimmungsgemäßen Förderung eines flüssigen Mediums von der Saugseite zur Druckseite der Kreiselpumpe in Vorwärtsrichtung mit positiver Drehzahl dreht. Die DE 10 2016 003738 A1 offenbart ein solches Verfahren zum Betreiben einer Kreiselpumpe im Turbinenfall.

**[0002]** Zum Antreiben einer Kreiselpumpe arbeitet der Elektromotor im motorischen Betrieb. Das bedeutet, dass der Leistungsfluss von der elektrischen Seite des Elektromotors zur hydraulischen Seite der Pumpe gerichtet ist. Der Elektromotor, genauer gesagt sein Stator, wird dabei derart bestromt, dass ein positives Drehmoment auf den Rotor wirkt, welches die Motorwelle in eine Rotationsrichtung beschleunigt, so dass sie eine positive Drehzahl besitzt. Im motorischen Betrieb haben Drehmoment und Drehzahl somit dasselbe Vorzeichen. Für welche Drehrichtung dies der Fall ist, ist eine Frage der Definition. So kann die positive Drehrichtung mit dem Uhrzeigersinn identisch oder ihm entgegengesetzt sein.

**[0003]** Demgegenüber kann bei Kreiselpumpen auch ein generatorischer Betrieb ihres Antriebsmotors vorliegen. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass das Drehmoment und die Drehzahl entgegengesetzte Vorzeichen haben. Der Leistungsfluss ist in diesem Fall von der hydraulischen Seite der Pumpe zur elektrischen Seite des Elektromotors. Eine bewusste Anwendung des generatorischen Betriebs liegt beispielsweise beim elektrischen Abbremsen vor, das bei Traktionsantrieben üblich ist und auch bei Pumpen eingesetzt werden kann. Dabei wird, wenn die Motorwelle dreht, elektrisch ein Drehmoment entgegengesetzt zur Drehrichtung der Motor- bzw. Pumpenwelle erzeugt, um die Drehzahl schnell zu reduzieren. Die durch dieses Abbremsen erzeugte elektrische Energie muss allerdings auf irgendeine Weise zwischengespeichert werden, ins Versorgungsnetz zurückgespeist werden, an das der Elektromotor angeschlossen ist, oder vernichtet werden. Um dies zu erreichen, muss die Antriebselektronik des Elektromotors entsprechend ausgebildet sein, was sie aufwändig und teuer macht.

**[0004]** Neben einer bewussten Anwendung des generatorischen Betriebs, kann ein solcher Betrieb auch ungewollt vorliegen, nämlich dann, wenn die Kreiselpumpe für einen normalen Betrieb eingeschaltet, d.h. der Stator zur Erzeugung eines positiven Drehmoments bestromt wird, die Motorwelle jedoch bereits in die zur Richtung des Drehmoments entgegengesetzte Richtung dreht, weil die Kreiselpumpe passiv angetrieben wird. Das Drehmoment wirkt dann ebenfalls als Bremsmoment und reduziert die negative Drehzahl auf null, wobei die Motorwelle anschließend wieder beschleunigt wird, jedoch in gleicher positiver Richtung, wie das Drehmoment wirkt.

**[0005]** Eine Eigenschaft des elektrischen Generatorbetriebs ist bei Kreiselpumpen somit, dass die Kreiselpumpe zum Zeitpunkt des elektrischen Einschaltens ihres Elektromotors (Start), d.h. beim Bestromen des Stators, bereits passiv angetrieben wird, das Laufrad also bereits mit einer passiven Drehzahl dreht. Ein passives Antreiben des Laufrads im unbestromten Zustand des Elektromotors kann durch das flüssige Medium verursacht werden, das in die Kreiselpumpe strömt. Dies kann beispielsweise passieren aufgrund von thermodynamischen Ausgleichsvorgängen wie z.B. bei einer Schwerkraftheizung, aufgrund einer anderen Pumpe im hydraulischen System, aufgrund eines Potentialgefälles wie es in offenen Systemen vorkommt, einer nicht oder ungenügend schließenden Rückschlagklappe oder aufgrund der Trägheit des Mediums bei einem schnell aufeinander folgendes Ein- und Ausschalten der Kreiselpumpe der Fall sein.

**[0006]** Erfolgt die passive Drehung entgegengesetzt zur positiven Drehrichtung im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb, wird von einem Turbinenbetrieb oder Turbinenfall gesprochen. Da bei Elektromotoren mit permanentmagnetischem Rotor in jeder der beiden Drehrichtungen eine Spannung im unbestromten Stator induziert wird, wird auch der Fall, dass die passive Drehung in Richtung der positiven Drehrichtung im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb ist, als ein Generatorbetrieb oder Generatorfall bezeichnet.

**[0007]** Der Start der Kreiselpumpe im Generatorfall ist in der Regel unkritisch, da die Pumpe bereits in die vorgesehene Drehrichtung dreht. Es kann lediglich vorkommen, dass eine Solldrehzahl nicht eingestellt werden kann, wenn diese niedriger als die passive Drehzahl ist. Die Kreiselpumpe müsste dazu abgebremst und die notwendige Bremsenergie abgeführt werden. Dies ist nicht unbedingt ein Fehlerfall.

**[0008]** Bei einem Start des Normalbetriebs aus dem Turbinenfall heraus, d.h. einem Einschalten der Pumpe im Turbinenfall, wird die Drehrichtung der Kreiselpumpe dagegen umgekehrt. Hier muss die komplette kinetische Energie der Kreiselpumpe zunächst abgebaut werden. Dies ist bei Frequenzumrichter gespeisten Elektromotoren kritisch, wenn der Zwischenkreis des Frequenzumrichters die Energie nicht aufnehmen und die Energie auch nicht vernichtet oder ans Versorgungsnetz abgegeben werden kann. Die Spannung im Zwischenkreis steigt

dann schnell auf unzulässige Werte an und kann diesen zerstören. Ein Turbinenfall vor dem Start stellt in der Regel einen fehlerhaften Zustand der Kreiselpumpe dar, der meist unerkannt bleibt und zu Schäden am Frequenzumrichter oder anderen elektrischen Teilen des Elektromotors führen kann.

**[0009]** Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben des Elektromotors der Kreiselpumpe bereitzustellen, das das Risiko von Schäden am Frequenzumrichter oder anderen elektrischen Teilen des Elektromotors beim Einschalten der Kreiselpumpe in einem Turbinenfall minimiert. Zudem ist es Aufgabe der Erfindung, ein Kreiselpumpenaggregat bereitzustellen, das eingerichtet ist, dieses Verfahren auszuführen.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und das Kreiselpumpenaggregat mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben und werden nachfolgend erläutert.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, dass der Elektromotor nach dem Einschalten der Kreiselpumpe im Turbinenfall mit einem negativen Drehmoment derart angetrieben wird, dass die Drehzahl des Laufrads betraglich gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ist. Analog wird vorgeschlagen, dass die Regelung des Kreiselpumpenaggregats eingerichtet ist, den Elektromotor im Turbinenfall mit einem negativen Drehmoment derart anzutreiben, dass die Drehzahl des Laufrads betraglich gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ist. Mit anderen Worten wird die Kreiselpumpe bewusst in falscher Drehrichtung betrieben. Dies bewirkt, dass trotz des vorliegenden Turbinenfalls der Elektromotor motorisch betrieben wird, da das Drehmoment und die Drehzahl gleichgerichtet sind und die Motorwelle nicht abgebremst wird. Zwar bildet dieser Betrieb weiterhin einen Fehlerfall, solange der Turbinenfall vorliegt. Jedoch muss keine kinetische Energie abgebaut werden und eine Beschädigung des Frequenzumrichters oder anderer elektrischer Bauteile wird für die Dauer des bestehenden Turbinenfalls vermieden.

**[0012]** Sinnvollerweise wird vor der Bestromung des Stators des Elektromotors geprüft, ob der Turbinenfall vorliegt. Dies kann beispielsweise aus der Messung der in wenigstens zwei Statorwicklungen rückinduzierten Spannung festgestellt werden. Aus der Phasenlage dieser beiden Statorspannungen im Vergleich zu einander ergibt sich die Drehrichtung der Motorwelle bzw. des Laufrads. Liegt der Turbinenfall vor, wird der Elektromotor gemäß der erfindungsgemäßen Betriebsweise angesteuert. Liegt kein Turbinenfall vor, wird der Elektromotor im Normalbetrieb betrieben.

**[0013]** Damit die Drehzahl des Laufrads betraglich gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ist bzw. wird, kann einer Drehzahlregelung des Elektromotors ein entsprechender negativer Sollwert vorgegeben werden. Sofern dieser Sollwert gleich oder in etwa der turbinenfallbedingten negativen Drehzahl

entspricht, kann die aktuelle Drehzahl aus der Messung der in wenigstens einer Statorwicklung rückinduzierten Spannung bestimmt werden. Aus der Frequenz dieser Statorspannung kann die Drehzahl ermittelt werden. Es ist allerdings auch möglich, die Drehzahl ohne Messung der Spannung aus Regelgrößen und einem Modell des Elektromotors zu bestimmen.

**[0014]** Es ist allerdings von Vorteil, wenn die Solldrehzahl größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl gewählt wird, weil hierdurch der Effekt des Turbinenfalls reduziert oder bestenfalls sogar kompensiert werden kann. Dies liegt an der Tatsache, dass das Laufrad einer Kreiselpumpe unabhängig von seiner Geometrie und der Geometrie des Pumpengehäuses in Folge der Beschleunigung des Mediums in radialer Richtung stets radial außen am Laufrad einen Druck aufbaut. Sofern das zu fördernde Medium von der Druckseite der Pumpe in die das Laufrad beherbergende Pumpenkammer einströmt, wird durch eine negative Drehzahl, die betraglich höher ist, als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl, somit ein Druck druckseitig aufgebaut, der dem einströmenden Medium entgegenwirkt und dessen Strömungsgeschwindigkeit reduziert.

**[0015]** Optimalerweise kann als Drehzahlswert die maximale negative Drehzahl des Elektromotors gewählt werden, d.h. das Drehmoment derart eingestellt werden, dass der Elektromotor mit maximaler negativer Drehzahl dreht. Mit dieser Maßnahme wirkt das Laufrad den Turbineneffekt maximal entgegen und kann nach einiger Zeit, abhängig von der Laufradgeometrie und Pumpenkammergeometrie, den zuvor turbinenfallbedingt negativen Förderstrom der Kreiselpumpe umkehren, so dass die Strömung ordnungsgemäß von der Saugseite zur Druckseite gerichtet ist.

**[0016]** Der Betrieb des Elektromotors mit einer negativen Drehzahl, die betraglich größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ist, ermöglicht es, von der Betriebsweise des Elektromotors im fehlerhaften Turbinenbetrieb in den Normalbetrieb überzugehen, ohne den Zwischenkreis des Frequenzumrichters zu überfordern, wie nachfolgend verdeutlicht wird.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens kann der Elektromotor nach einer zeitlichen Dauer ausgeschaltet oder abgebremst, und anschließend die sich dann ergebende Drehzahl ausgewertet werden. Anschließend wird der Elektromotor wieder eingeschaltet und mit einem positiven Drehmoment angesteuert, sobald die Drehzahl betraglich einen Minimalwert erreicht oder erreicht hat oder wenn die Ableitung der Drehzahl betraglich einen Grenzwert unterschreitet. Durch das Ausschalten oder Abbremsen verliert das Laufrad stetig an Geschwindigkeit, wobei die Drehzahl nach einiger Zeit wieder auf die turbinenfallbedingte negative Drehzahl zurückkehren würde. Ist jedoch der negative Förderstrom zuvor auf einen positiven Wert umgekehrt worden, so sinkt aufgrund der Massenträgheit des Mediums die Drehzahl auf einen Wert, der betraglich niedriger ist, als die turbinenfallbedingte negative Dreh-

zahl. Dies hat den Vorteil, dass bessere Startkonditionen für den Normalbetrieb vorliegen, weil weniger Bremsenergie abgebaut werden muss, um die Motorwelle bzw. das Laufrad von der negativen, falschen Drehrichtung auf null abzubremsen und anschließend in die positive Drehrichtung des Normalbetriebs wieder zu beschleunigen.

**[0018]** Das Ausschalten des Elektromotors kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die Kreiselpumpe komplett stromlos geschaltet, d.h. von einer Netzspannung getrennt wird. Das Ausschalten kann alternativ derart erfolgen, dass die Versorgungsspannung des Frequenzumrichters abgeschaltet wird. Andere Teile einer Steuer- und Regelungselektronik der Kreiselpumpe können in diesem Fall weiter elektrische versorgt sein. Gemäß einer weiteren Alternative kann das Ausschalten durch eine Abschaltung von Steuersignalen erfolgen, die einen Wechselrichter des Frequenzumrichters ansteuern, genauer gesagt dessen Halbleiterschalter. Der Elektromotor wird somit nicht mehr bestromt. Mit anderen Worten wird eine Modulation, z.B. eine Pulsweitenmodulation (PWM) unterbrochen, die durch periodische Steuersignale für den Wechselrichter, insbesondere für die Halbleiterschalter, gebildet wird. Gemäß einer weiteren Alternative kann das Ausschalten des Elektromotors dadurch erfolgen, dass der Elektromotor zwar bestromt wird, jedoch nur derart, dass kein Drehmoment erzeugt wird. Dies ist z.B. bei einer feldorientierten Regelung möglich, indem die sogenannte drehmomentbildende Stromkomponente  $i_q$  auf null eingestellt wird.

**[0019]** Die Ansteuerung des Elektromotors mit einem positiven Drehmoment kann vorzugsweise im oder kurz vor dem Umkehrpunkt der Drehzahl erfolgen, d.h. wenn die Drehzahl den betraglich minimalen Wert erreicht, bevor sie wieder in Richtung turbinenfallbedingte negativer Drehzahl betraglich ansteigt. Denn im Umkehrpunkt ist die kinetische Energie des Motors minimal. Es muss zum einen die kinetische Energie des Laufrades abgebaut werden. Diese ist minimal bei Erreichen des Minimums. Zum anderen muss aber auch gegen das in negative Richtung beschleunigende Moment des Mediums gearbeitet werden. Anfangs hilft das Medium beim Abbremsen mit, beim Umkehrpunkt beschleunigt es jedoch schon wieder. Diese zusätzliche Bremsenergie kann durch das zeitliche Integral dieses Bremsmomentes vom Anfang des aktiven Bremsens bis zum Stillstand berechnet werden. Es ist deshalb vorteilhaft, den Elektromotor bereits kurz vor dem Umkehrpunkt der Drehzahl mit einem positiven Drehmoment anzusteuern, d.h. bereits vor dem Umkehrpunkt mit dem Bremsen anzufangen, um die Abbremsphase zeitlich zu verkürzen.

**[0020]** Das positive Drehmoment kann alternativ unmittelbar nach dem Erreichen des Umkehrpunkts bzw. Minimalwerts oder bereits vor dem Erreichen angelegt werden. Um einen Zeitpunkt für das Anlegen des Drehmoments vor dem Erreichen des Minimalwerts zu bestimmen, kann die Ableitung der Drehzahl gebildet, d.h. die Steigung der Drehzahl betrachtet und mit einem

Grenzwert verglichen werden. Wird dieser Grenzwert unterschritten, steht das Erreichen der minimalen Drehzahl kurz bevor, so dass das positive Drehmoment angelegt werden kann.

**[0021]** Geeigneterweise ist die Dauer bis zum Ausschalten des Elektromotors mindestens so bemessen, dass innerhalb dieser Dauer der Förderstrom stationär werden kann. In diesem Fall ist die Wassersäule auf dem Laufrad nahezu vollständig durchbeschleunigt.

**[0022]** Vorzugsweise wird das positive Drehmoment angelegt, indem der Drehzahlregelung des Elektromotors eine positive Solldrehzahl vorgegeben wird.

**[0023]** Ein Abbremsen kann durch zumindest eine der folgenden Maßnahmen erfolgen:

- Ansteuerung des Elektromotors mit einem geringen positiven drehmomentbildenden Statorstrom ( $i_q$ ), und / oder
- Ansteuerung des Elektromotors mit einem erhöhten Magnetisierungsstrom (Leerlaufstrom) des Statorstroms ( $i_d$ ), da der Magnetisierungsstrom Kupferverluste bewirkt.

**[0024]** Zusätzlich kann bei der Ansteuerung des Elektromotors mit einem positiven drehmomentbildenden Statorstrom ( $i_q$ ) ein Bremswiderstand im Frequenzumrichter aktiviert werden, wenn die Zwischenkreisspannung einen Grenzwert überschreitet. Dies bewirkt eine Energievernichtung über dem Bremswiderstand durch ohmsche Verluste.

**[0025]** Der Elektromotor des Kreiselpumpenaggregats ist vorzugsweise ein elektronisch kommutierter, insbesondere vektor geregelter, permanentmagnetischer Synchronmotor.

**[0026]** Die Kreiselpumpe kann einstufig sein, d.h. ein einziges Laufrad aufweisen, oder mehrstufig sein, d.h. zwei oder mehr Laufräder hintereinander aufweisen.

**[0027]** In einer Ausführungsvariante des Kreiselpumpenaggregats kann das Laufrad am Ende der Motorwelle des Elektromotors montiert sein. Gemäß einer anderen Ausführungsvariante des Kreiselpumpenaggregats kann das Laufrad am Ende einer Pumpenwelle montiert sein, die mechanisch starr oder über eine Kupplung mit der Motorwelle verbunden ist.

**[0028]** In einer Ausführungsvariante des Kreiselpumpenaggregats ist das Laufrad drehrichtungsoptimiert. Das bedeutet, dass das Laufrad Schaufeln aufweist, die entlang ihrer radialen Erstreckung gekrümmt sind. Hierdurch besitzt die Kreiselpumpe eine Vorzugslaufrichtung, welche per Definition der positiven Drehrichtung der Kreiselpumpe entspricht. Entsprechend ist die entgegengesetzte Drehrichtung als negative Drehrichtung definiert. Eine solche Vorzugslaufrichtung kann auch durch die Geometrie der Pumpenkammer gegeben sein, beispielsweise im Falle einer spiralförmigen Pumpenkammer. Dementsprechend ist im normalen Motor-/Pumpenbetrieb auch das Drehmoment in positiver Drehrichtung positiv.

**[0029]** Der Frequenzumrichter kann den an sich bekannten, klassischen Aufbau haben, nämlich eingangsseitig einen Gleichrichter, motorseitig einen Wechselrichter, und zwischen dem Gleichrichter und dem Wechselrichter einen Gleichspannungszwischenkreis aufweisen, der durch wenigstens einen Kondensator gebildet ist, an dem eine Zwischenkreisspannung anliegt. Vorzugsweise ist allerdings die Kapazität des Zwischenkreises kleiner als üblich, insbesondere kleiner als  $1\mu\text{F}$  pro Watt der Umrichterleistung. Beispielsweise ist die Kapazität kleiner als  $100\mu\text{F}$ , vorzugsweise kleiner als  $20\mu\text{F}$ , insbesondere kleiner als  $10\mu\text{F}$ . Vorzugsweise kann bei dem Zwischenkreis ein oder können mehrere Folienkondensatoren eingesetzt werden, die schneller reagieren und aufgrund der höheren Strombelastbarkeit robuster sind, als konventionelle Elektrolytkondensatoren. Aus diesem Grund und da Letztere teurer sind, kann der Frequenzumrichter mit einem oder mehreren Folienkondensatoren preiswerter und strombelastbarer ausgeführt werden. Man spricht in diesem Fall auch von einem "schlanken Zwischenkreis", der jedoch die Eigenschaft hat, dass er kaum Bremsenergie aufnehmen kann. Diesem Umstand trägt die hier beschriebene Erfindung Rechnung.

**[0030]** Weitere Merkmale, Vorteile und Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der Pumpenanordnung, in der das Verfahren implementiert ist, werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der beigefügten Figuren erläutert.

**[0031]** Es sei darauf hingewiesen, dass im Rahmen der vorliegenden Beschreibung die Begriffe "aufweisen", "umfassen" oder "beinhalten" keinesfalls das Vorhandensein weiterer Merkmale ausschließen. Ferner schließt die Verwendung des unbestimmten Artikels bei einem Gegenstand nicht dessen Plural aus.

**[0032]** Die Bezugszeichen behalten von einer zur anderen Figur ihre Bedeutung. Identische Bezugszeichen bezeichnen identische oder zumindest wirkungsgleiche Elemente. Es zeigen:

- Fig. 1: eine schematische Darstellung des Querschnitts durch ein Pumpengehäuse mit Laufrad einer Kreiselpumpe  
 Fig. 2: eine schematische Darstellung zweier parallel betreibbarer Kreiselpumpen  
 Fig. 3: eine beispielhafte Darstellung zweier Drehzahlverläufe und eines Förderstromverlaufs einer Kreiselpumpe bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens

**[0033]** Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung des Querschnitts durch ein spiralförmiges Pumpengehäuse 11 einer Kreiselpumpe 2, in dem ein Laufrad 12 mit gekrümmten Schaufeln 13 angeordnet ist. Das Laufrad 12 saugt im Normalbetrieb ein zu förderndes Medium axial an und beschleunigt es in radialer Richtung, so dass im Radseitenraum zwischen Laufrad 12 und Pumpengehäuse 11 ein Druck entsteht, infolgedessen das Medium

an der Druckseite 10 des Pumpengehäuses 11 aus diesem herausgefördert wird. Aufgrund der Spiralförmigkeit des Pumpengehäuses 11 liegt dessen Ausgang tangential zum Radseitenraum. Diese Tatsache sowie die gekrümmten Schaufeln 13 definieren die positive Drehrichtung bzw. Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  des Laufrads 12 im Normalbetrieb, die in dem Beispiel gemäß Figur 1 entgegen den Uhrzeigersinn gerichtet ist.

**[0034]** Anhand von Figur 2 wird nachfolgend das erfindungsgemäße Problem verdeutlicht. Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung zweier parallel betreibbarer Kreiselpumpenaggregate 2, 2a, wobei für das erfindungsgemäße Verfahren das linke Kreiselpumpenaggregat 2 im Fokus steht. Es umfasst einen nicht dargestellten Elektromotor mit Frequenzumrichter und eine diesen ansteuernde Regelung 6, und eine von dem Elektromotor angetriebene Kreiselpumpe 2 mit wenigstens einem Laufrad 12, das vom Elektromotor in einem Normalbetrieb zur bestimmungsgemäßen Förderung eines flüssigen Mediums von einer Saugseite 9 zu einer Druckseite 10 der Kreiselpumpe 2 in Vorwärtsrichtung mit positiver Drehzahl antreibbar ist. Der Frequenzumrichter weist eingangsseitig, d.h. zum speisenden Versorgungsnetz hin, einen Gleichrichter, motorseitig einen Wechselrichter, und zwischen dem Gleichrichter und dem Wechselrichter einen Gleichspannungszwischenkreis auf, der durch wenigstens einen Kondensator gebildet ist, an dem eine Zwischenkreisspannung anliegt. Der Gleichspannungszwischenkreis ist schlank ausgeführt. Er besitzt eine Kapazität kleiner als  $10\mu\text{F}$  und ist durch einen oder mehrere Folienkondensatoren gebildet.

**[0035]** Die Regelung 6 ist eingerichtet, den Elektromotor in einem Turbinenfall, in dem das Medium die Kreiselpumpe 2 unter Antreiben des Laufrads 12 in eine Rückwärtsrichtung mit negativer Drehzahl von der Druckseite 10 zur Saugseite 9 durchströmt, mit einem negativen Drehmoment derart anzutreiben, dass die Drehzahl des Laufrads 12 betragsmäßig gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl  $n_1$  ist. Außerdem ist die Regelung 6 eingerichtet, den Elektromotor nach einer zeitlichen Dauer auszuschalten oder abzubremesen und die Drehzahl auszuwerten, und den Elektromotor wieder einzuschalten und mit einem positiven Drehmoment anzusteuern, sobald die Drehzahl betragsmäßig einen Minimalwert  $n_{\text{min}}$  erreicht oder erreicht hat oder wenn die Ableitung der Drehzahl betragsmäßig einen Grenzwert unterschreitet. Dies wird nachfolgend veranschaulicht.

**[0036]** Es wird der Fall betrachtet, dass eine erste Kreiselpumpe 2a eingeschaltet, die andere Kreiselpumpe 2 ausgeschaltet ist. Dies kann z.B. bei einer Hosenrohranwendung der Fall sein. Es kann vorkommen, dass ein Rückflussverhinderer 3a am Verbindungspunkt der beiden Druckseiten 10 der Kreiselpumpen 2, 2a entweder nicht installiert oder defekt ist. In diesem Fall würde ein Teil des Förderstroms der eingeschalteten ersten Pumpe 2a in die zweite Pumpe 2 fließen und diese von der Druckseite 10 zur Saugseite 9, d.h. gegenüber dem Normal-

betrieb rückwärts, durchfließen. Mit anderen Worten ist der Volumenstrom durch die zweite Pumpe 2a negativ. Hierdurch wird das Laufrad 12 angetrieben, und zwar in die negative Drehrichtung bezogen auf den Normalbetrieb bzw. die Vorzugsorientierung, die die Kreiselpumpe 2 hat. Auf der Saugseite 9 der zweiten Pumpe 2a würde der Volumenstrom austreten und von der ersten Pumpe 2 wieder angesaugt werden, so dass ein sogenannter hydraulischer Kurzschluss vorliegt.

**[0037]** Das Laufrad 12 wird so lange vom Förderstrom der ersten Pumpe 2a in negativer Drehrichtung beschleunigt, bis sich ein stationärer Betrieb der beiden Pumpen 2, 2a einstellt. Das Laufrad 12 dreht dann mit der turbinenfallbedingten negative Drehzahl  $n_1$ , siehe Figur 3.

**[0038]** In diesem Fall entspricht die Differenz des durch die beiden Pumpen 2, 2a jeweils erzeugten Differenzdrucks  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  den Druckverlusten der Rohrleitungen in dem Kreis, der aus den beiden Pumpen 2, 2a gebildet wird. Hierbei ist zu erkennen, dass die Turbinendrehzahl umso höher sein muss, je weiter die gemeinsame Druckleitung 5 durch einen Schieber geschlossen wird, da der Summenvolumenstrom  $Q_{ges} = Q_1 + Q_2$  bei einem vollständig geschlossenen Schieber, d.h.  $Q_{ges} = 0$ , dazu führt, dass der gesamte Förderstrom  $Q_1$  der ersten Pumpe 2a durch die zweite Pumpe 2 strömt,  $Q_1 = -Q_2$ . Wenn ein Teil des Flusses als Summenvolumenstrom  $Q_{ges}$  abfließt, sorgen die zusätzlichen Druckverluste der ersten Pumpe 2a für einen geringeren Differenzdruck über der zweiten Pumpe 2 und damit für eine geringere Drehzahl.

$$\Delta p_1 - \Delta p_2 = k_1 Q_1^2 - k_2 Q_2^2$$

**[0039]** Wenn die zweite Pumpe 2 normal gestartet werden soll, muss die kinetische Energie  $\left(\frac{1}{2} J \Omega^2\right)$  der zweiten Pumpe 2 sowie die kinetische Energie  $\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$  des durch zweite Pumpe 2 strömenden Fluids abgebaut werden,

$W = \frac{1}{2} J \Omega^2 + \frac{1}{2} m v^2$ . Dabei kann es vorkommen, dass diese Energie nicht durch elektrische Verluste und/ oder Speicherung im Zwischenkreis des Frequenzumrichters des Elektromotors aufgenommen werden kann. Ein Turbinenstart ist dann nicht möglich oder würde den Frequenzumrichter zerstören.

**[0040]** Dieses Problem wird durch das erfindungsgemäße Verfahren behoben.

**[0041]** Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist zum Betreiben eines von einem Frequenzumrichter gespeisten Elektromotors der zweiten Kreiselpumpe 2 in einem Turbinenfall, d.h. wenn das Medium die Kreiselpumpe 2 unter Antreiben des Laufrads (2 in Rückwärtsrichtung mit negativer Drehzahl  $n_1$  von der Druckseite 10

zur Saugseite 9 durchströmt, vorgesehen, dass der Elektromotor nach dem Einschalten der Kreiselpumpe 2 im Turbinenfall mit einem negativen Drehmoment derart angetrieben wird, dass die Drehzahl des Laufrads betragsmäßig gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl  $n_1$  ist. Der Elektromotor wird somit motorisch betrieben, so dass keine Energie in den Zwischenkreis des Frequenzumrichters zurückgespeist werden muss.

**[0042]** Dies ist in dem Kurvendiagramm in Figur 3 veranschaulicht. Die darin abgebildete durchgezogene Linie zeigt die Drehzahl  $n_{tur}(t)$  im Turbinenfall über der Zeit  $t$  an. Die punktierte Linie zeigt den Volumenstrom  $Q_2(t)$  durch die zweite Kreiselpumpe 2 über der Zeit  $t$  dar. Die turbinenfallbedingte Drehzahl  $n_1$  liegt hier im ausgeschalteten Zustand der zweiten Pumpe 2 exemplarisch bei ca. -1600 U/min und der negative Volumenstrom  $Q_2$  bei ca. -6,5 m<sup>3</sup>/h. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird die Pumpe 2 eingeschaltet und ihr Elektromotor mit einem negativen Drehmoment betrieben, so dass die Drehzahl des Laufrads 12 auf die betragsmäßig höhere Drehzahl  $n_2 = -2600$  U/min beschleunigt wird, die zum Zeitpunkt  $t_2$  erreicht ist. Vorzugsweise ist diese negative Drehzahl  $n_2$  die negative Maximaldrehzahl  $n_{max}$  des Elektromotors. Für diese Beschleunigung ist nur ein motorischer Betrieb des Elektromotors notwendig, da sowohl die Drehzahl als auch das Drehmoment ein negatives Vorzeichen haben.

**[0043]** Hierdurch wird der Volumenstrom  $Q_2$  der zweiten Pumpe 2 außerdem betragsmäßig verringert, im veranschaulichten Idealfall sogar zu positiven Werten umgedreht, so dass der Volumenstrom  $Q_2$  zum Zeitpunkt  $t_3$  etwa +4m<sup>3</sup>/h erreicht hat. Dies ist dadurch bedingt, dass eine Kreiselpumpe/ Radialpumpe wie in Figur 1 dargestellt, unabhängig von der Drehrichtung aufgrund der nach außen wirkenden Zentrifugalkraft immer einen positiven Differenzdruck zwischen Saugseite 9 und Druckseite 10 erzeugt. Der Idealfall ist allerdings abhängig von den Druckverhältnissen im hydraulischen Kreis, insbesondere dem Differenzdruck der zweiten Pumpe 2 und dem hydraulischen Widerstand des angeschlossenen Kreises. In der Momentengleichung  $M_{ges} = M_{mot} + M_{reib} + M_{Hyd}$  gilt:  $M_{mot} < 0$ ,  $M_{reib} > 0$ ,  $M_{Hyd} > 0$ , wobei  $M_{mot}$  das Motormoment,  $M_{reib}$  das Reibmoment und  $M_{Hyd}$  das hydraulische Moment ist. Hier ist entscheidend, dass sich das Vorzeichen des Hydraulischen Momentes ändert, weil der Motor den Betrag der Drehzahl der Pumpe über den Betrag der passiven Drehzahl erhöht hat.

**[0044]** Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, dass der Elektromotor nach einer zeitlichen Dauer  $t_4 - t_3$ , vorzugsweise wenn ein stationärer Zustand des Volumenstrom  $Q_2$  erreicht ist, ausgeschaltet wird. Dies ist in Figur 3 zum Zeitpunkt  $t_3$  der Fall. Das Ausschalten kann durch Stromlosschalten der Kreiselpumpe, Abschalten der Versorgungsspannung des Frequenzumrichters, Abschaltung von Steuersignalen des Wechselrichters oder durch Bestromen des Elektromotors derart, dass der Motor kein Drehmoment erzeugt erfolgen.

Dies bewirkt, dass das Motormoment null wird ( $M_{\text{mot}} = 0$ ), wobei in diesem Fall die Pumpe sehr schnell in positive Drehrichtung beschleunigt wird, da das Reibmoment  $M_{\text{reib}}$  und das hydraulische Moment  $M_{\text{Hyd}}$  zunächst in die gleiche Richtung weiterwirken. Dabei sinken die Beschleunigungsmomente, aufgrund des fallenden Betrags der Drehzahl. In Figur 3 ist dies durch einen steilen Anstieg der Drehzahl  $n_{\text{tur}}(t)$  für  $t > t_4$  der Fall.

**[0045]** Wenn nun nichts weiter gemacht werden würde, wird sich nach einer Zeit der stationäre Betrieb, der auch vor dem Start der Pumpe 2 vorlag, wieder einstellen. Jedoch wird die Pumpe 2 in der Drehzahl überschwingen und sich dem stationären Betrieb von oben nähern, da sich der Volumenstrom  $Q_2$  erst wieder auf den ursprünglichen Wert umkehren muss. Solange dies nicht geschehen ist, wird sich eine größere Drehzahl ergeben. Dies zeigt die Drehzahlkurve  $n_{\text{tur}}(t)$  für  $t > t_5$ .

**[0046]** Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist jedoch vorgesehen, dass nach dem Ausschalten des Elektromotors zum Zeitpunkt  $t_4$  die Drehzahl ausgewertet und der Elektromotor wieder eingeschaltet und mit einem positiven Drehmoment angesteuert wird, sobald die Drehzahl betraglich einen Minimalwert  $n_{\text{min}}$  erreicht oder erreicht hat oder wenn die Ableitung der Drehzahl betraglich einen Grenzwert unterschreitet. Dies realisiert ein Reversieren der zweiten Kreiselpumpe 2 aus dem ursprünglichen Turbinenbetrieb in den motorischen Normalbetrieb mit minimalem Abbau kinetischer Energie. Es ergibt sich dann ein Drehzahlverlauf  $n_{\text{rev}}(t)$ , wie er in Figur 3 beispielhaft als gestrichelte Linie dargestellt ist.

**[0047]** In diesem Beispiel wird die Ableitung der Drehzahl, d.h. deren Steigung, für den Zeitpunkt des Wiedereinschaltens des Elektromotors berücksichtigt. Das Kriterium ist, dass die Steigung unter einen vorbestimmten Grenzwert fällt. Dies ist zum Zeitpunkt  $t_5$  der Fall, d.h. bevor die Drehzahl ihren Minimalwert erreicht. Zu diesem Zeitpunkt ist die Drehzahl auf ca. -600 U/min abgefallen. In diesem Zustand sind die Bedingungen für einen Start der Pumpe 2 günstiger, da die kinetische Energie

$\left(\frac{1}{2} J \Omega^2\right)$  der Pumpe 2 und die kinetische Energie

$\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$  des Fluids geringer sind, als im ursprünglichen stationären Betrieb. Anders ausgedrückt, ist die abzubauenende kinetische Energie, um von dieser Drehzahl -600 U/min auf null zu kommen, deutlich geringer als sie zuvor bei der turbinenfallbedingten negativen Drehzahl  $n_1$  war. Es muss also weniger

**[0048]** Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist werden, was die Verwendung eines schlanken Zwischenkreises ermöglicht oder unkritisch macht. Infolge des positiven Drehmoments wird die Motorwelle bzw. das Laufrad auf die Drehzahl  $n_3$  beschleunigt. Es sei angemerkt, dass der Verlauf des Volumenstroms  $Q_2(t)$  in Figur 3 diese Drehzahlbeschleunigung nicht berücksichtigt, da dieser Verlauf zur Drehzahlkurve  $n_{\text{tur}}(t)$  gehört.

**[0049]** Es sei noch angemerkt, dass es je nach Trägheit des Mediums und der Pumpe vorkommen kann, dass die Drehzahl in den positiven Bereich überschwingt. Sobald der Bereich der positiven Drehzahl erreicht wurde, wird für die positive Beschleunigung nur noch Motorischer Betrieb benötigt.

**[0050]** Es sei darauf hingewiesen, dass die vorstehende Beschreibung lediglich beispielhaft zum Zwecke der Veranschaulichung gegeben ist und den Schutzbereich der Erfindung keineswegs einschränkt, welcher ausschließlich durch die Ansprüche festgelegt ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines von einem Frequenzumrichter gespeisten Elektromotors einer Kreiselpumpe (2) in einem Turbinenfall, wobei die Kreiselpumpe (2) wenigstens ein Laufrad (12) aufweist, das vom Elektromotor in einem Normalbetrieb zur bestimmungsgemäßen Förderung eines flüssigen Mediums von einer Saugseite (9) zu einer Druckseite (10) der Kreiselpumpe (2) in Vorwärtsrichtung mit positiver Drehzahl dreht, und wobei im Turbinenfall das Medium die Kreiselpumpe (2) unter Antreiben des Laufrads (12) in Rückwärtsrichtung mit negativer Drehzahl ( $n_1$ ) von der Druckseite (10) zur Saugseite (9) durchströmt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektromotor nach dem Einschalten der Kreiselpumpe (2) im Turbinenfall mit einem negativen Drehmoment derart angetrieben wird, dass die Drehzahl des Laufrads betraglich gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ( $n_1$ ) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Turbinenfall aus der Messung der in wenigstens zwei Statorwicklungen rückinduzierten Spannung festgestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahl aus der Messung der in wenigstens einer Statorwicklung rückinduzierten Spannung bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drehmoment derart eingestellt wird, dass der Elektromotor mit maximaler negativer Drehzahl ( $n_2$ ) dreht.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektromotor nach einer zeitlichen Dauer ausgeschaltet oder abgebremst wird und die Drehzahl ausgewertet wird, und dass der Elektromotor mit einem positiven Drehmoment angesteuert wird, sobald die Drehzahl betraglich einen Minimalwert ( $n_{\text{min}}$ ) erreicht oder erreicht hat oder wenn die Ableitung der Drehzahl be-

traglich einen Grenzwert unterschreitet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausschalten des Elektromotors durch Stromlosschalten der Kreiselpumpe, Abschalten der Versorgungsspannung des Frequenzumrichters, Abschaltung von Steuersignalen, die einen Wechselrichter des Frequenzumrichters ansteuern, oder durch Bestromen des Elektromotors derart erfolgt, dass der Motor kein Drehmoment erzeugt. 5
7. Kreiselpumpenaggregat umfassend einen Elektromotor mit einem Frequenzumrichter und einer diesen steuernden Regelung (6), und eine von dem Elektromotor angetriebene Kreiselpumpe (2) mit wenigstens einem Laufrad (12), das vom Elektromotor in einem Normalbetrieb zur bestimmungsgemäßen Förderung eines flüssigen Mediums von einer Saugseite (9) zu einer Druckseite (10) der Kreiselpumpe (2) in Vorwärtsrichtung mit positiver Drehzahl antreibbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung (6) eingerichtet ist, den Elektromotor in einem Turbinenfall, in dem das Medium die Kreiselpumpe (2) unter Antreiben des Laufrads (12) in eine Rückwärtsrichtung mit negativer Drehzahl von der Druckseite (10) zur Saugseite (9) durchströmt, mit einem negativen Drehmoment derart anzutreiben, dass die Drehzahl des Laufrads (12) betraglich gleich oder größer als die turbinenfallbedingte negative Drehzahl ( $n_1$ ) ist. 10 15 20 25
8. Kreiselpumpenaggregat nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung (6) eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6 auszuführen. 25
9. Kreiselpumpenaggregat nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Laufrad (12) drehrichtungsoptimiert ist. 30
10. Kreiselpumpenaggregat nach Anspruch 7, 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das der Elektromotor ein elektronisch kommutierter, insbesondere vektorgeregelter, permanentmagnetischer Synchronmotor ist. 35 40 45
11. Kreiselpumpenaggregat nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Frequenzumrichter eingangsseitig einen Gleichrichter, motorseitig einen Wechselrichter, und zwischen dem Gleichrichter und dem Wechselrichter einen Gleichspannungszwischenkreis aufweist, der durch wenigstens einen Kondensator gebildet ist, an dem eine Zwischenkreisspannung anliegt, wobei die Kapazität des Gleichspannungszwischenkreises kleiner als  $100\mu\text{F}$ , vorzugsweise kleiner als  $20\mu\text{F}$ , insbesondere kleiner als  $10\mu\text{F}$  ist. 50 55

## Claims

1. Method for the operation of an electric motor, supplied by a frequency converter, for a centrifugal pump (2) in a power recovery turbine, in which the centrifugal pump (2) has at least one impeller (12) driven by the electric motor, rotating in the forward direction with a positive rotational speed in normal operation for the intended delivery of a liquid medium from a suction side (9) to a pressure side (10) of the centrifugal pump (2), and in which the medium flows through the centrifugal pump from the pressure side (10) to the suction side (9) in power recovery mode (2), driving the impeller (12) in the reverse direction with a negative rotational speed ( $n_1$ ), **characterised by** the electric motor, after activation of the centrifugal pump (2) in the power recovery turbine, being driven with a negative torque so that the rotational speed of the impeller is equal to or greater than the negative rotational speed ( $n_1$ ) in power recovery mode. 5 10 15 20 25
2. Method according to claim 1, **characterised by** power recovery mode being determined from the measurement of the reverse induced voltage in at least two stator windings. 25
3. Method according to claim 1 or 2, **characterised by** the rotational speed being determined from the measurement of the reverse induced voltage in at least one stator winding. 30
4. Method according to claim 1, 2 or 3, **characterised by** the torque being set so that the electric motor rotates at the maximum negative rotational speed ( $n_2$ ). 35
5. Method according to one of the preceding claims, **characterised by** the electric motor being turned off or braked after a period of time and the rotational speed being evaluated, and the electric motor being controlled with a positive torque as soon as the rotational speed reaches or has reached a defined minimum value ( $n_{\min}$ ) or when the derived rotational speed falls below a defined limit value. 40 45
6. Method according to claim 5, **characterised by** the electric motor being turned off by cutting power to the centrifugal pump, turning off the supply voltage to the frequency converter, turning off control signals that control an inverter of the frequency converter, or by supplying current to the electric motor so that the motor does not produce any torque. 50
7. Centrifugal pump assembly comprising an electric motor with a frequency converter and a controller (6) regulating the same, and a centrifugal pump (2) driven by the electric motor with at least one impeller 55

(12) that can be driven by the electric motor in the forward direction with a positive rotational speed in normal operation for the intended delivery of a liquid medium from a suction side (9) to a pressure side (10) of the centrifugal pump (2), **characterised by** the controller (6) being configured to drive the electric motor in a power recovery turbine, in which the medium flows through the centrifugal pump (2) from the pressure side (10) to the suction side (9), driving the impeller with a negative torque (12) in a reverse direction with a negative rotational speed, so that the rotational speed of the impeller (12) is equal to or greater than the negative rotational speed ( $n_1$ ) in power recovery mode.

8. Centrifugal pump assembly according to claim 7, **characterised by** the controller (6) being configured to carry out the method according to one of the claims 2 through 6.
9. Centrifugal pump assembly according to claim 7 or 8, **characterised by** the impeller (12) being optimised for the direction of rotation.
10. Centrifugal pump assembly according to claim 7, 8 or 9, **characterised by** electronic commutation of the electric motor, notably being a vector controlled, permanent magnet synchronous motor.
11. Centrifugal pump assembly according to one of the claims 7 through 10, **characterised by** the frequency converter having a rectifier on the input side, an inverter on the motor side, and a direct current voltage intermediate circuit between the rectifier and the inverter, formed by at least one capacitor to which the intermediate circuit voltage is applied, in which the capacity of the direct current voltage intermediate circuit is less than  $100\mu\text{F}$ , preferably less than  $20\mu\text{F}$ , in particular less than  $10\mu\text{F}$ .

## Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un moteur électrique d'une pompe centrifuge (2) alimenté par un convertisseur de fréquence dans un cas de turbine, sachant que la pompe centrifuge (2) présente au moins un rotor (12) entraîné, en fonctionnement normal, par le moteur électrique dans le sens vers l'avant avec une vitesse de rotation positive pour le refoulement conforme d'un milieu liquide d'un côté aspiration (9) vers un côté refoulement (10) de la pompe centrifuge (2), et sachant que dans le cas de turbine, le fluide traverse la pompe centrifuge (2) en entraînant le rotor (12) en sens inverse avec une vitesse de rotation négative ( $n_1$ ) du côté refoulement (10) vers le côté aspiration (9), **caractérisé en ce que** le moteur électrique est entraîné, après la mise en marche de la

pompe centrifuge (2) dans le cas de turbine, avec un couple de rotation négatif de telle manière que la vitesse de rotation du rotor est égale ou supérieure à la vitesse de rotation négative ( $n_1$ ) liée au cas de turbine.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le cas de turbine est déterminé à partir de la mesure de la tension réinduite dans au moins deux enroulements du stator.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la vitesse de rotation est déterminée à partir de la mesure de la tension réinduite dans au moins un enroulement du stator.
4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le couple de rotation est réglé de telle manière que le moteur électrique tourne avec une vitesse de rotation négative maximal ( $n_2$ ).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le moteur est arrêté ou freiné après une certaine période et que la vitesse de rotation est évaluée, et que le moteur électrique est commandé avec un couple positif dès que la vitesse de rotation atteint ou a atteint une valeur minimale ( $n_{\min}$ ) en valeur absolue ou si la dérivée de la vitesse est inférieure en valeur absolue à une valeur limite.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'arrêt du moteur électrique s'effectue en coupant le courant de la pompe centrifuge, la tension d'alimentation du convertisseur de fréquence, les signaux de commande commandant un onduleur du convertisseur de fréquence, ou en alimentant le moteur électrique de telle sorte que le moteur ne génère pas de couple.
7. Groupe motopompe centrifuge comprenant un moteur électrique avec un convertisseur de fréquence et une régulation (6) commandant celui-ci, et une pompe centrifuge (2) entraînée par le moteur électrique avec au moins un rotor (12) pouvant être entraînée par le moteur électrique, en fonctionnement normal, dans le sens vers l'avant avec une vitesse de rotation positive pour le refoulement conforme d'un milieu liquide d'un côté aspiration (9) à un côté refoulement (10) de la pompe centrifuge (2), **caractérisé en ce que** la régulation (6) est configurée pour entraîner le moteur électrique avec un couple négatif dans un cas de turbine, dans lequel le fluide traverse la pompe centrifuge (2) en entraînant le rotor (12) dans un sens inverse avec une vitesse de rotation négative du côté refoulement (10) vers le côté aspiration (9), de telle sorte que la vitesse de rotation du rotor (12) est égale ou supérieure à la

vitesse de rotation négative ( $n_1$ ) liée au cas de turbine.

8. Groupe motopompe centrifuge selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la régulation (6) est configurée pour exécuter le procédé selon l'une des revendications 2 à 6. 5
9. Groupe motopompe centrifuge selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que** le rotor (12) est optimisé pour le sens de rotation. 10
10. Groupe motopompe centrifuge selon la revendication 7, 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le moteur électrique est un moteur synchrone à aimant permanent à commutation électronique, en particulier à régulation vectorielle. 15
11. Groupe motopompe centrifuge selon l'une des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que** le convertisseur de fréquences présente côté entrée un redresseur, côté moteur un onduleur, et entre le redresseur et l'onduleur un circuit intermédiaire de tension continue formé par au moins un condensateur auquel est appliquée une tension de circuit intermédiaire, la capacité du circuit intermédiaire à tension continue étant inférieure à 100  $\mu\text{F}$ , de préférence inférieure à 20  $\mu\text{F}$ , et en particulier inférieure à 10  $\mu\text{F}$ . 20  
25

30

35

40

45

50

55

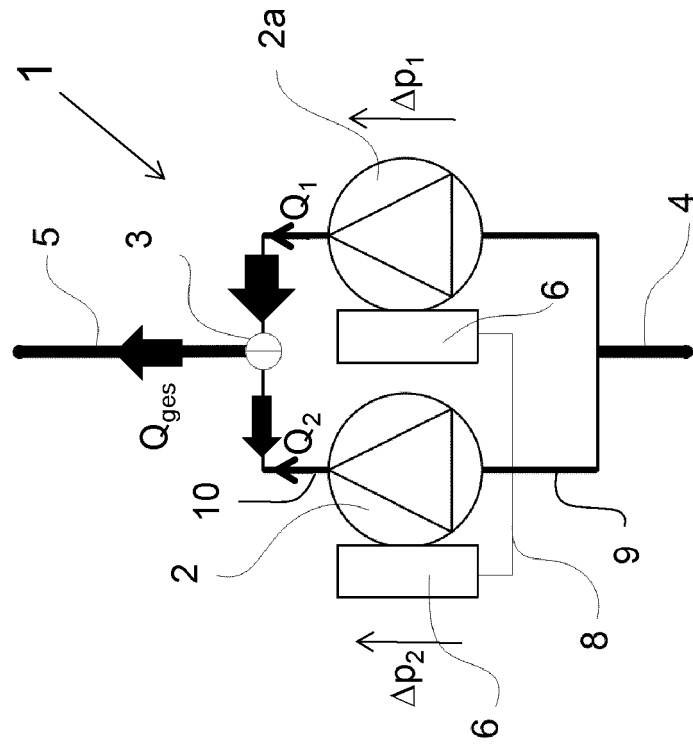


Fig. 2

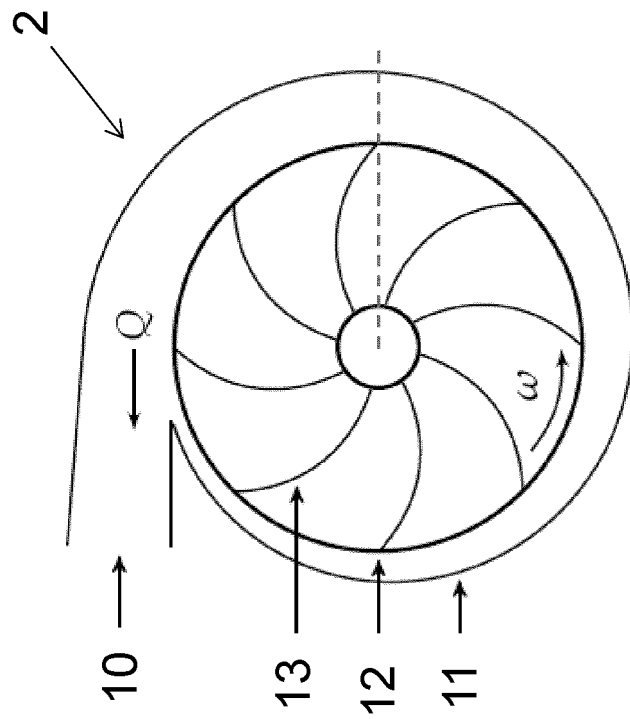


Fig. 1

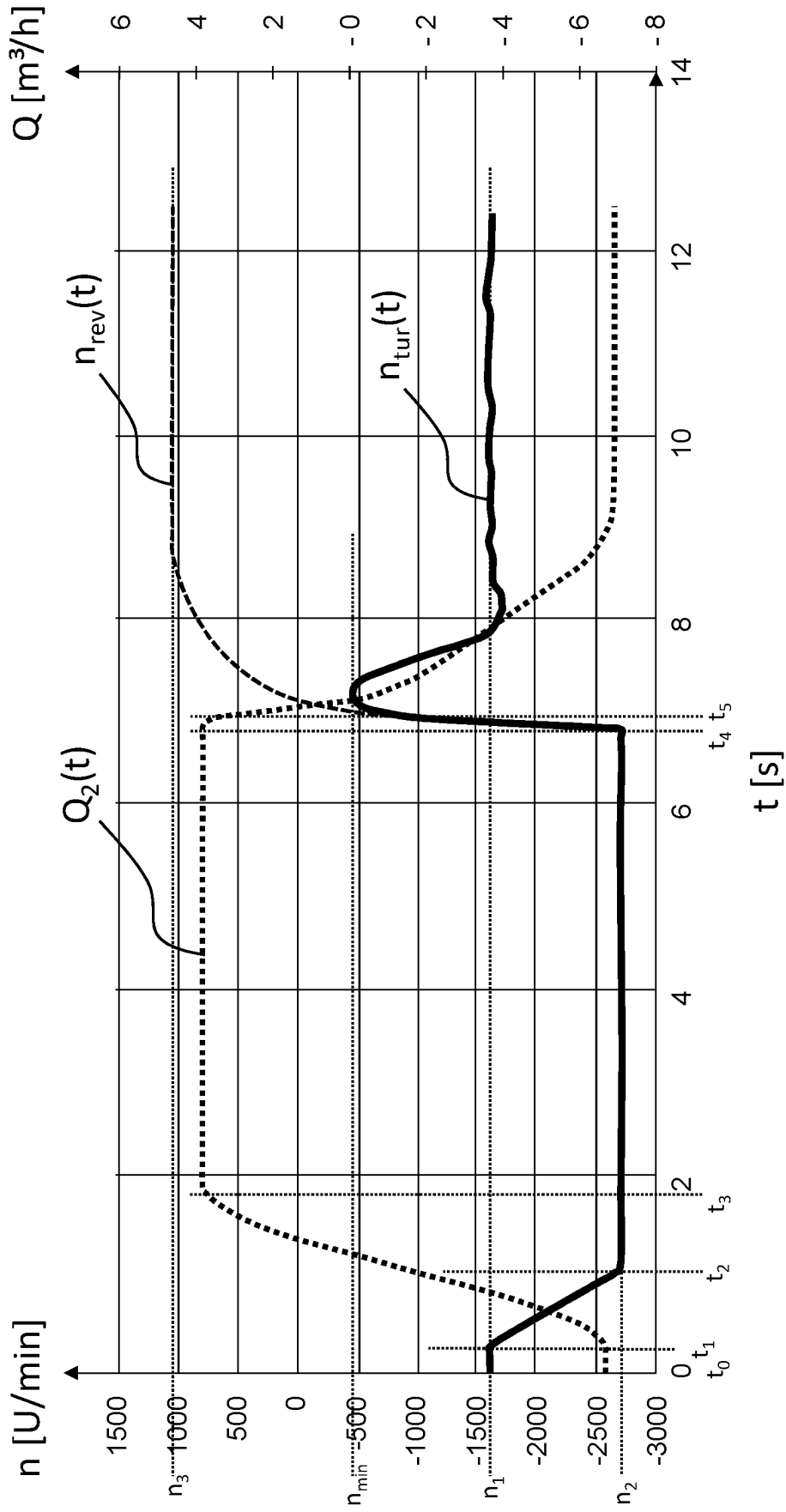


Fig. 3

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102016003738 A1 [0001]