

(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
22. Oktober 2020 (22.10.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/212330 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F04D 15/00 (2006.01) *F04D 29/66* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/060432

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. April 2020 (14.04.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 002 826.0
18. April 2019 (18.04.2019) DE

(71) Anmelder: **KSB SE & CO. KGAA** [DE/DE]; Johann-Klein-Straße 9, 67227 Frankenthal (DE).

(72) Erfinder: **ECKL, Martin**; c/o KSB SE & Co. KGaA Johann-Klein-Straße 9, 67227 Frankenthal (DE). **SCHULLERER, Joachim**; Uhlandstraße 4, 76764 Rheinzabern (DE).

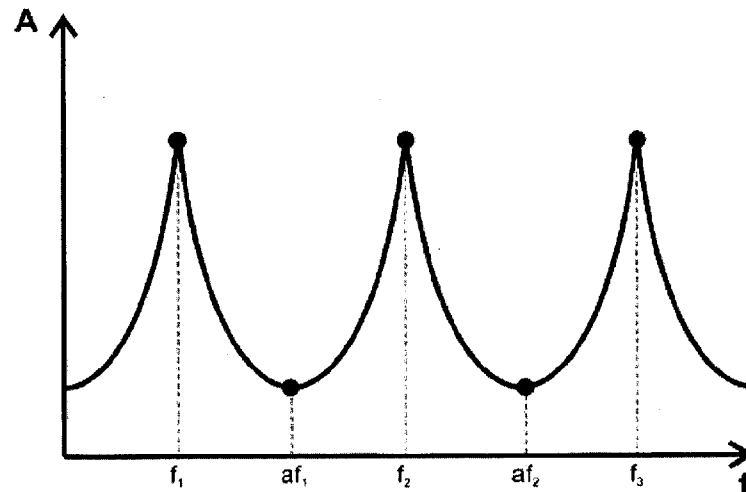
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: METHOD FOR PREVENTING VIBRATION IN PUMPS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SCHWINGUNGSVERMEIDUNG IN PUMPEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for preventing or reducing mechanical vibrations of a pump, in particular a centrifugal pump, during pump operation, wherein a frequency converter and a pump control are provided and the pump control detects at least one signal of a pump operation parameter and investigates signal fluctuations in order to detect mechanical vibrations occurring in the pump, and modifies the pump speed by means of the frequency converter in order to reduce a vibration detected.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermeidung bzw. Reduzierung von mechanischen Schwingungen einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe, während des Pumpenbetriebs, wobei ein Frequenzumrichter sowie eine Pumpensteuerung vorgesehen sind und die Pumpensteuerung wenigstens ein Signal eines Pumpenbetriebsparameters erfasst und auf Signalschwingungen untersucht, um auftretende mechanische Schwingungen der Pumpe zu erkennen, und zur Reduzierung einer erkannten Schwingung die Pumpendrehzahl mittels des Frequenzumrichters ändert.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/212330 A1

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

Verfahren zur Schwingungsvermeidung in Pumpen

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermeidung bzw. Reduzierung von mechanischen Schwingungen während des Betriebs einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe.

15

Mechanische Schwingungen in Kreiselpumpen führen zu erhöhtem Verschleiß und unerwünschter Geräuschentwicklung im Betrieb. Die Ursachen für Schwingungen können vielfältig sein. Ursächlich können fremderregte Schwingungen, bspw. aufgrund der Rotation des Pumpenlaufrades, oder aber freie Schwingungen aufgrund der Eigenfrequenzen der eingebauten Pumpe sein.

20

Freie Schwingungen treten besonders bei Feststoffpumpen in Erscheinung. Feststoffpumpen sind Kreiselpumpen zum Transport von Fördermedien mit stark abrasiven Feststoffteilen, zum Beispiel Aufschwemmungen von Schlacke, Kohle oder Erz im Bergbau. Vereinzelt kann das Fördermedium auch Steine oder andere starre Elemente enthalten, die im Pumpenbetrieb beim Auftreffen auf die Pumpenstruktur Stöße erzeugen können, die zu einer Anregung der freien Schwingungen der Pumpe führen. Dieser Effekt tritt vermehrt auch bei Pumpen für den Abwasserbereich auf.

25

30

Ein besonders ungünstiger Fall liegt vor, wenn die Umlauffrequenz des Laufrades, d. h. die eingestellte Pumpendrehzahl, auf die Eigenfrequenz der eingebauten Pumpe fällt oder einem ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz entspricht. In diesem Fall

kommt es zu Resonanzschwingungen, d.h. die beiden Schwingungsursachen verstärken sich gegenseitig. Ähnlich problematisch ist es, wenn die eingestellte Umlauffrequenz des Laufrades mit der Rohrleitungsresonanz der Förderanlage zusammenfällt.

5 Ein solcher Resonanzfall ist exemplarisch in Figur 1 dargestellt. Diese Figur zeigt den Frequenzgang einer betriebsbereit eingebauten Kreiselpumpe. Die Eigenfrequenzen, bei denen das System frei schwingt, haben die Frequenzwerte f_1 , f_2 , f_3 . Der Frequenzgang, d.h. die Lage der Eigenfrequenzen f_1 , f_2 , f_3 ist abhängig vom konkreten Pumpenaufbau, der gewählten Einbaulage, den verwendeten Materialien sowie verbauten Lagern. Ist die mittels des Frequenzumrichters eingestellte Umlauffrequenz des Pumpenrades identisch zu oder beträgt stattdessen ein ganzzahliges Vielfaches einer der dargestellten Eigenfrequenzen f_1 , f_2 , f_3 , so wird das System durch die fremderregte Rotation des Laufrades angeregt und es kommt zu einer verstärkten Resonanzschwingung der Pumpe. Liegt die Umlauffrequenz des Laufrades stattdessen im Bereich einer der hier eingezeichneten Antiresonanzen af_1 , af_2 , ist dieser Effekt minimal und es kommt zu
10
15 keiner oder einer nur sehr kleinen Schwingung.

Die Idee der vorliegenden Anmeldung baut auf der vorstehenden Erkenntnis auf und schlägt ein Verfahren vor, das durch gezielte Maßnahmen während des Pumpenbetriebs die Gefahr für das Auftreten möglicher Schwingungen, insbesondere Resonanzen auf ein Minimum reduziert.
20

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausführungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.
25

Für die Ausführung des Verfahrens ist der Einsatz eines Frequenzumrichters zur Drehzahländerung der Pumpe maßgeblich. Es spielt dabei jedoch keine Rolle, ob ein solcher Frequenzumrichter in die Pumpe integriert, am Pumpengehäuse angebaut oder aber separat von der Pumpe installiert ist. Selbiges gilt für die Pumpensteuerung zur Verfahrensausführung, die integraler Bestandteil der Pumpe sein kann, jedoch auch als separate Einheit zur Pumpe, gegebenenfalls in Verbindung mit einem separaten Frequenzumrichter installiert sein kann.
30

Die erfindungsgemäße Lösung der vorliegenden Anmeldung besteht darin, bei einer Pumpe mit Frequenzumrichter durch eine Pumpensteuerung die Drehzahl während des Pumpenbetriebs derart zu variieren, dass mechanische Schwingungen der Pumpe
5 möglichst optimal reduziert werden. Ein weiterer Kernaspekt der Erfindung besteht auch darin, dass die Pumpe ihre vorhandenen Eigenfrequenzen im Betrieb durch geeignete Signalauswertung eigenständig identifiziert um basierend auf dieser Erkenntnis die eingestellte Pumpendrehzahl optimal anpassen zu können.

10 Die Pumpe benötigt demzufolge nicht bereits vorab erzeugte und in der Pumpe hinterlegte Informationen zu ihrem Frequenzgang, sondern kann diesen stattdessen im Betrieb selbständig ermitteln. Hierfür zeichnet die Pumpe ein Signal während des Pumpenbetriebs auf, das einen Pumpenbetriebsparameter charakterisiert, der durch auftretende mechanische Schwingungen beeinflusst wird. Das aufgezeichnete Signal wird
15 nachfolgend durch die Pumpe auf das Vorliegen etwaiger Schwingungen, insbesondere Resonanzschwingungen untersucht. Im Nachgang wird durch geeignete Drehzahländerung eine solche Schwingung reduziert.

Im aufgezeichneten Signal lassen sich insbesondere Signalschwankungen identifizieren, die durch mechanische Schwingungen der Pumpe bedingt sind. Durch eine passende Drehzahländerung wird die Amplitude der identifizierten Schwingungsfrequenz(en) des Signals reduziert. Gemäß vorteilhafter Ausführung des Verfahrens wird daher das Frequenzspektrum des aufgezeichneten Signals betrachtet. Es ist vorteilhaft,
20 wenn das Signal mittels Transformation, insbesondere mittels Fast-Fourier-Transformation, zunächst in sein Frequenzspektrum transformiert wird, um so die entsprechenden Frequenzwerte und zugehörigen Amplituden auftretender Signalschwingungen zu identifizieren.
25

Als geeignetes Betriebssignal für die Identifizierung etwaiger Schwingungen erweist sich der oder die Motorströme des Pumpenantriebs. Die Stromwerte liegen dem verwendeten Frequenzumrichter ohnehin vor, so dass keine weitere Sensorik benötigt
30

wird. Da sich mechanische Schwingungen des Pumpensystems durch magnetische Induktion auch in den Motorwicklungen des Pumpenantriebs und dementsprechend im Strom des Motors abbilden, wirkt der Motor folglich wie ein effektiver und jederzeit verfügbarer Sensor. Durch entsprechende Stromanalyse können sodann mechanische Schwingungen des Pumpensystems hinreichend genau identifiziert werden. Diese Möglichkeit besteht unabhängig vom verwendeten Motortyp des elektrischen Pumpenantriebs.

Als alternativer oder zusätzlicher Betriebsparameter für die Ermittlung des Frequenzgangs der Pumpe eignet sich bspw. der Pumpendruck, insbesondere der Enddruck der Pumpe. Auch hier bilden sich mechanische Schwingungen im Signalverlauf ab. Der Enddruck der Pumpe kann beispielsweise mittels vorhandenen Drucksensors ermittelt werden und per Signaltransformationen, insbesondere Fast-Fourier-Transformation in sein Frequenzspektrum transformiert werden.

Für die Signalerfassung muss jedoch nicht zwingend ein passender Sensor bereitgehalten werden. Alternativ kann bspw. mittels Betriebspunktschätzung der vorliegende Pumpendruck rechnerisch bestimmt werden. Ein mögliches Verfahren hierzu ist in der DE102018200651 offenbart, deren Inhalt an dieser Stelle vollumfänglich einbezogen wird.

Gemäß einer möglichen Ausführungsform kann das Verfahren iterativ mit variierender Pumpendrehzahl ausgeführt werden, um beispielsweise diejenige Pumpendrehzahl zu identifizieren, bei der die Amplitude einer identifizierten Schwingung möglichst minimal wird. Die Pumpe analysiert also nach erfolgter Drehzahländerung erneut das Frequenzspektrum des wiederholt aufgezeichneten Signals und prüft, ob die Variation der Drehzahl zu einer Abnahme der entsprechenden Amplitude geführt hat.

Die iterative Ausführung der Verfahrensschritte kann eine willkürlich bzw. zufällige oder aber kontrollierte Drehzahländerung vorsehen. Vergrößert sich die Amplitude bspw., so wird die zwischen zwei Iterationen erfolgte Drehzahländerung rückgängig gemacht, an-

denfalls beibehalten. Denkbar ist es ebenfalls, einen bestimmten Drehzahlbereich vollständig abzufahren und nachfolgend die Drehzahl mit der geringsten Amplitude für den Pumpenbetrieb einzustellen.

5 Alternativ ist der Einsatz geeigneter Methoden und Algorithmen zur Identifizierung eines lokalen oder globalen Amplitudenminimums mit zugehöriger Drehzahl. Vorstellbar sind ein Intervallhalbierungsverfahren und/oder ein Optimierungsverfahren, wie bspw. ein Active-Set-Verfahren und/oder Newton-Verfahren, um möglichst schnell die passende Drehzahl zu ermitteln, die zu einem Amplitudenminimum führt. Vorstellbar ist auch ein
10 genetischer Algorithmus, der zwar vergleichsweise langsam ist, dafür jedoch eine Identifizierung eines globalen Minimums des Frequenzgangs ermöglicht.

Die Einstellung der Drehzahl bzw. deren Variation während der Verfahrenssiterationen hängt auch davon ab, welche Betriebsbedingungen beispielsweise durch den Pumpen-
15 betreiber vorgegeben sind. Denkbar ist es beispielsweise, dass der Pumpenbetreiber eine konstante Pumpendrehzahl bzw. nur einen kleinen Toleranzbereich für Drehzahländerungen vorgibt. Während der Verfahrenssiterationen erfolgt eine Drehzahlvariation dann nur innerhalb des zuvor definierten Toleranzbereiches. In einem solchen Fall genügt meist eine iterative Verfahrensausführung, bei der alle oder zumindest ein Teil der
20 erlaubten Drehzahlen gefahren werden, um das entsprechende Amplitudenminimum für diesen Bereich zu ermitteln.

Ist hingegen vom Betreiber keine Vorgabe zu einem zulässigen Drehzahlbereich gemacht worden, d.h. es kann stattdessen der volle, technisch mögliche Drehzahlbereich
25 der Pumpe ausgeschöpft werden, ist es zweckmäßig, wenn das Verfahren auf eine der vorgenannten Methoden zur Identifizierung der passenden Drehzahl zurückgreift.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann das Verfahren jedoch nicht nur zur Reduzierung auftretender Schwingungen dienen, sondern die erfindungsgemäße Ermittlung des Frequenzgangs eignet sich ebenfalls zur Pumpenüberwachung, um beispielsweise Verschleiß oder etwaige Schäden an der Pumpenmechanik
30 frühzeitig detektieren zu können. Wie bereits vorstehend ausführlich dargelegt wurde,

besteht ein Kernaspekt der Erfindung darin, den Frequenzgang der Pumpe zu ermitteln. Dieser hängt im Wesentlichen von der Pumpenkonstruktion, deren Einbaulage, den verwendeten Materialien sowie verbauter Lagerkomponenten ab. Eine Änderung einer dieser Faktoren, bspw. durch Verschleiß oder Materialschäden, führt zu einer Änderung
5 des Frequenzgangs der Pumpe. Die Pumpe speichert daher vorzugsweise den ermittelten Frequenzgang und überwacht diesen durch laufende wiederholende Messungen auf Frequenzverschiebungen der identifizierten maßgeblichen Frequenzen. Wird eine solche Frequenzabweichung erkannt, ist dies ein Indiz für eine Verschleißerscheinung oder einen Pumpenschaden. Die Pumpe kann dann eine entsprechende Warnmeldung
10 erzeugen oder eine geeignete Maßnahme ergreifen.

Durch weitere Untersuchung der Frequenzänderung lässt sich zudem zwischen Verschleiß und Schaden unterscheiden. Üblicherweise führt Verschleiß zu einer schleichenden Änderung des Frequenzgangs, während ein Pumpenschaden, bspw. Lager-
15 schaden oder Laufradbruch eine schlagartige Änderung des Frequenzgangs nach sich zieht. Die Pumpe berücksichtigt daher bei ihrer Auswertung die zeitliche Komponente der detektierten Änderung um zwischen Verschleiß und Schaden zu differenzieren. Auch der Grad der Änderung kann einbezogen werden.

20 Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die vorliegende Erfindung zudem eine Pumpe, bevorzugt eine Kreiselpumpe, besonders bevorzugt eine Abwasser- oder Feststoff- oder Versorgungspumpe, mit internem oder externem Frequenzumrichter und einer internen oder externen Pumpensteuerung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dementsprechend ist eine solche Pumpe durch dieselben Vorteile und
25 Eigenschaften gekennzeichnet, wie sie bereits vorstehend anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens ausführlich dargelegt wurden. Auf eine wiederholende Beschreibung wird aus diesem Grund verzichtet.

Zudem wird durch die Anmeldung die erfindungsgemäße Verwendung einer Pumpe,
30 insbesondere einer Kreiselpumpe als Abwasserpumpe, Feststoffpumpe oder Versorgungspumpe vorgeschlagen. Das erfindungsgemäße Minimieren von auftretenden me-

chanischen Schwingungen ist gerade bei Abwasser oder Feststoffpumpen von besonderer Bedeutung, sodass die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei solchen Pumpentypen weitreichende Vorteile mit sich bringt.

5 Weitere Vorteile und Eigenschaften der Erfindung sollen nachfolgend anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1: einen möglichen Frequenzgang einer installierten und betriebsbereiten Kreiselpumpe,

10

Fig. 2: ein Zeitdiagramm eines periodischen Signals und

Fig. 3: das berechnete Frequenzspektrum des Zeitsignals aus Figur 2.

15 Die Erfindung gemäß der vorliegenden Anmeldung beschreibt ein Verfahren, um unerwünschte Schwingungsverstärkungen im Resonanzfall im Betrieb einer Pumpe, insbesondere einer Feststoff-, Abwasser oder sonstigen Versorgungspumpe mittels Frequenzumrichter gezielt zu vermeiden. Der Grundstein für die gezielte Vermeidung dieser Resonanzschwingungen ist, dass solche Resonanzfälle zunächst von der Pumpensteue-

20 rung erkannt werden müssen, möglichst jedoch ohne die Pumpe mit einer speziellen Sensorik wie Beschleunigungssensoren nachrüsten zu müssen. Es spricht jedoch nichts dagegen, die Pumpe dennoch mit zusätzlichen Sensoren, bspw. Beschleunigungssensoren auszustatten, wodurch die Genauigkeit des Verfahrens gegebenenfalls gesteigert werden kann.

25

Da die mechanischen Schwingungen eine Folge der Wechselwirkung aus konstruktivem Aufbau und Motorkraft sind, lassen sich diese mechanischen Schwingungen auch als Überlagerung in den Antriebsströmen des Pumpenstroms des Pumpenantriebs erkennen. Da hier die Intensität der einzelnen überlagerten Schwingungen von Interesse

30 ist, erfolgt die Auswertung der Motorströme durch Analyse des Frequenzspektrums des aufgezeichneten Motorsignals, das die Pumpensteuerung durch Ausführung der Fast-Fourier-Transformation (FFT) erhält.

Diese Vorgehensweise lässt sich kurz anhand der Darstellungen der Figuren 2, 3 veranschaulichen. Figur 2 zeigt ein Zeitdiagramm eines aufgezeichneten Signals, das hier der Einfachheit halber durch eine Überlagerung von drei Sinussignalen mit unterschiedlicher Frequenz generiert wurde. Durch Anwendung der FFT kann das Zeitsignal nun in seine harmonischen Anteile zerlegt werden und es ergibt sich das in Figur 3 dargestellte Frequenzamplitudenspektrum, aus dem sich erwartungsgemäß die einzelnen Frequenzen der Sinussignale herauslesen lassen.

10 Durch FFT der Motorströme kann die Pumpe demzufolge mechanische Schwingungen erkennen, die sich im aufgezeichneten Motorstrom abbilden. Im nachfolgenden Schritt versucht die Pumpe bzw. die Pumpensteuerung dann, die Pumpendrehzahl so einzustellen, dass die resultierende Umlauffrequenz des Laufrades nicht auf eine Eigenfrequenz der Pumpe bzw. ein Vielfaches einer solchen Eigenfrequenz fällt. Dazu wird die
15 Drehzahl zunächst variiert und in einem weiteren Schritt erneut eine Spektrumsanalyse des aktuell aufgezeichneten Motorstroms bei geänderter Drehzahl durchgeführt. Ist die Amplitude der auftretenden Stromschwingung kleiner geworden, so ist dies ein Indiz dafür, dass durch die Drehzahlvariation die mechanische Schwingung erfolgreich reduziert werden konnte. Das Verfahren wird nun iterativ ausgeführt, um einen möglichst kleinen
20 Amplitudenwert der auftretenden Schwankungen im Stromsignal zu erzielen. Das Auffinden der idealen Drehzahl kann prinzipiell nach zwei Szenarien ausgeführt werden:

Szenario 1: Die erforderliche Umlauffrequenz unterliegt festen Anforderungen.

Gemäß Szenario 1 darf die Umlauffrequenz nur einen bestimmten Wert haben. Dies
25 kann energetische Gründe haben oder aber der Einsatzzweck erfordert eine bestimmte (feste) Drehzahl. In diesem Fall definiert der Pumpenbediener in der Pumpensteuerung einen Toleranzwert, um den die Umlauffrequenz maximal vom Sollwert abweichen darf, so z. B. ± 3 Hz. Die Pumpensteuerung variiert dann die Drehzahl innerhalb des erlaubten Toleranzbereichs und findet iterativ diejenige Drehzahl heraus, bei der die Schwingungsamplitude minimal ist. Oft reichen hier schon sehr geringe Variationen aus, um
30 die Eigenfrequenz des Systems zu verlassen und damit die auftretenden mechanischen Schwingungen zu minimieren.

Szenario 2: Es gibt keine besonderen Anforderungen an die Umlauffrequenz.

Wenn es keine prozessseitigen Anforderungen an die Umlauffrequenz gibt, kann die Pumpensteuerung nach Belieben die Pumpendrehzahl ändern. Dies ermöglicht eine gezielte Suche einer Antiresonanz, und die Einstellung der finalen Betriebsdrehzahl der Pumpe auf diese Antiresonanz. Der einfachste Weg (und dadurch der mit geringsten Speicher- und Prozessanforderungen) zur Ermittlung der passenden Drehzahl (Antiresonanz) aus dem verfügbaren Drehzahlbereich basiert auf Bisektion. Schneller und effektiver sind mathematische Optimierungsverfahren, wie beispielsweise die „Active-Set Methode“ oder das „Newton-Verfahren“. Ein globales Optimum lässt sich auch mittels eines genetischen Algorithmus zuverlässig bestimmen.

Alternativ oder ergänzend zu den Motorströmen kann auch das Signal des Enddrucks der Pumpe untersucht werden, in dem analog zum Motorstrom auch hier mittels Fast Fourier-Transformation das Frequenzspektrum analysiert und auf entsprechende Resonanzfrequenzen hin ausgewertet wird. Der Enddruck kann beispielsweise mit einem Drucksensor der Pumpe oder aber mittels Betriebspunktschätzung berechnet werden.

Um die Signalqualität zu erhöhen, können beide Signale (Enddruck und Motorstrom) auch mittels Sensordatenfusion zusammengeführt werden. Ist dies nicht möglich, können Strom- und Drucksignale auch einzeln ausgewertet werden. Für die Sensorfusion können beispielsweise die einzelnen Signalwerte wie oben dargestellt ausgewertet und dann mittels Gewichtung zusammengeführt werden. Vorstellbar ist es ebenso, Frequenzbereiche zu definieren, in denen die Einzelergebnisse der separat ausgewerteten Signale unterschiedlich gewichtet werden. Bspw. wird das Ergebnis der Auswertung der Motorströme für Frequenzbereiche zwischen 10 und 200 Hz herangezogen, während das Ergebnis der Enddruckauswertung für höhere Frequenzen berücksichtigt wird.

Ein besonderer Vorteil des hier vorgestellten Verfahrens besteht darin, dass die Pumpe selbst ihre Eigenfrequenzen finden kann und daher kein mathematisches Prozessmodell, welches aufwändig zu entwickeln wäre, erforderlich ist. Die Hauptanwendung des hier vorgestellten Verfahrens ist die Vermeidung bzw. Reduzierung von Schwingungen,

um Verschleiß und Geräusche während des Pumpenbetriebs zu reduzieren. Darüber hinaus kann das Verfahren aber auch einen Beitrag zur Verschleiß- sowie Schadensüberwachung liefern und bei Beschädigungen den Anwender warnen.

5 Verschleißüberwachung

Bei dem vorgestellten Verfahren wird permanent der Frequenzgang der eingebauten Pumpe überwacht. Dieser ist jedoch, wie oben erwähnt, abhängig von der Konstruktion der Pumpe, von der Einbaulage, den Materialien sowie den Lagerungen. Eine Änderung des Frequenzgangs ist also in jedem Fall ein Hinweis darauf, dass sich eine oder
10 mehrere dieser Größen verändert haben, beispielsweise aufgrund von Verschleiß. Diese Information kann dann für die Verschleißüberwachung eingesetzt werden, beispielsweise auch in Kombination mit der Lösung aus der DE 10 2018 200 651, auf die an dieser Stelle ausdrücklich Bezug genommen wird. Eine Kombination dieser beiden Vorgehensweisen ermöglicht es, den Verschleißzustand präziser zu bewerten.

15

Warnung vor Schäden

Im Gegensatz zum Verschleiß, der zu einer sehr langsamen Änderung des Frequenzgangs führt, würde ein Pumpenschaden den Frequenzgang schlagartig und deutlich verändern. Ein Schaden kann, neben vielen anderen, ein Lager- oder Laufradbruch
20 sein. Durch die schnelle Änderung des Frequenzgangs kann die Pumpensteuerung Verschleiß und Schäden sicher separieren und im Falle eines Schadens eine Warnung an den Betreiber ausgeben.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Vermeidung bzw. Reduzierung von mechanischen Schwingungen einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe, während des Pumpenbetriebs, wobei ein Frequenzumrichter sowie eine Pumpensteuerung vorgesehen sind und die Pumpensteuerung wenigstens ein Signal eines Pumpenbetriebsparameters erfasst und auf Signalschwingungen untersucht, um auftretende mechanische Schwingungen der Pumpe zu erkennen, und zur Reduzierung einer erkannten Schwingung die Pumpendrehzahl mittels des Frequenzumrichters ändert.
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Frequenzspektrum des erfassten Signals per Fast Fourier-Transformation berechnet wird.
15
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein untersuchtes Signal dem Motorstrom des Pumpenantriebs entspricht.
20
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein untersuchtes Signal dem hydraulischen Enddruck der Pumpe entspricht, wobei der Enddruck vorzugsweise sensorisch mittels eines Drucksensors ermittelt und/oder durch Schätzung des Betriebspunktes der Pumpe bestimmt wird.
25
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren iterativ mit variierender Pumpendrehzahl ausgeführt wird, um diejenige Pumpendrehzahl zu identifizieren, bei der die Amplitude der erkannten
30

mechanischen Schwingung im Frequenz-Amplitudenspektrum minimal ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpendrehzahl innerhalb eines definierbaren Toleranzbereiches variiert wird.

5

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren iterativ mit beliebig variierender Drehzahl durchgeführt wird, um wenigstens eine Antiresonanz der Pumpe zu identifizieren und die Pumpe in dieser Antiresonanz zu betreiben.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl per Intervallhalbierungsverfahren und/oder Optimierungsverfahren, insbesondere per Active Set Verfahren und/oder Newton-Verfahren, und/oder mittels genetischem Algorithmus variiert wird.

15

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Frequenzen identifizierter Resonanzschwingungen gespeichert werden und das Verfahren wiederholt ausgeführt wird, um Frequenzänderungen identifizierter Resonanzschwingungen zu erkennen.

20

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpe anhand detektierter Frequenzänderungen ein Materialverschleiß der Pumpe und/oder etwaige Schäden an der Pumpenstruktur feststellen kann.

25

11. Pumpenanordnung, bevorzugt in Kreiselpumpenbauweise, besonders bevorzugt eine Abwasser- oder Feststoff- oder Versorgungspumpe, mit Frequenzumrichter und einer Pumpensteuerung konfiguriert zur Ausführung des Verfahrens gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

30

12. Verwendung einer Pumpenanordnung gemäß Anspruch 11 als Abwasserpumpe oder Feststoffpumpe oder Versorgungspumpe.

Fig. 1

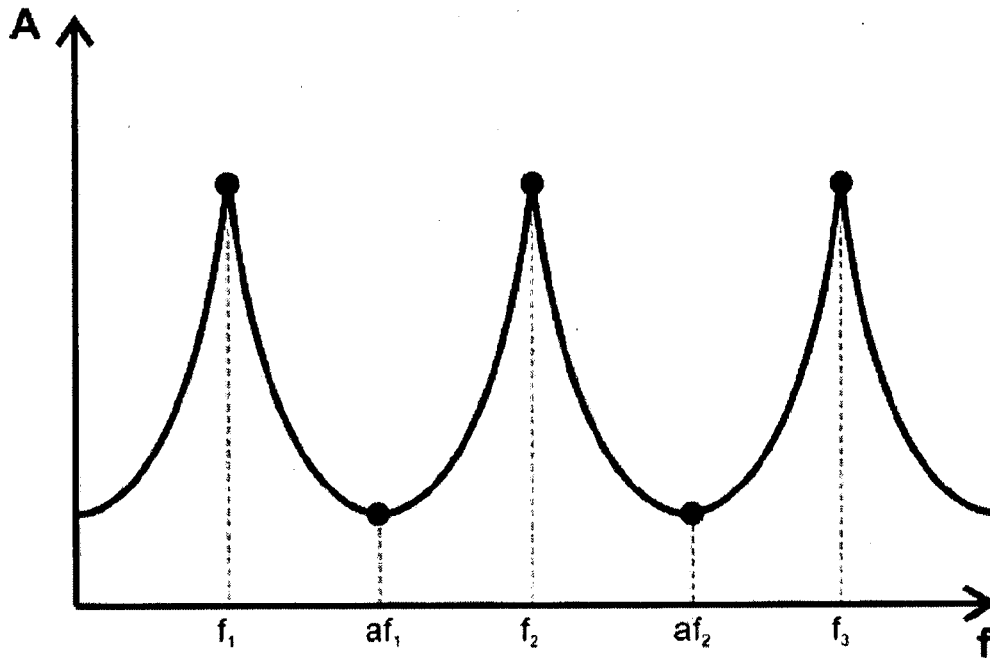


Fig. 2

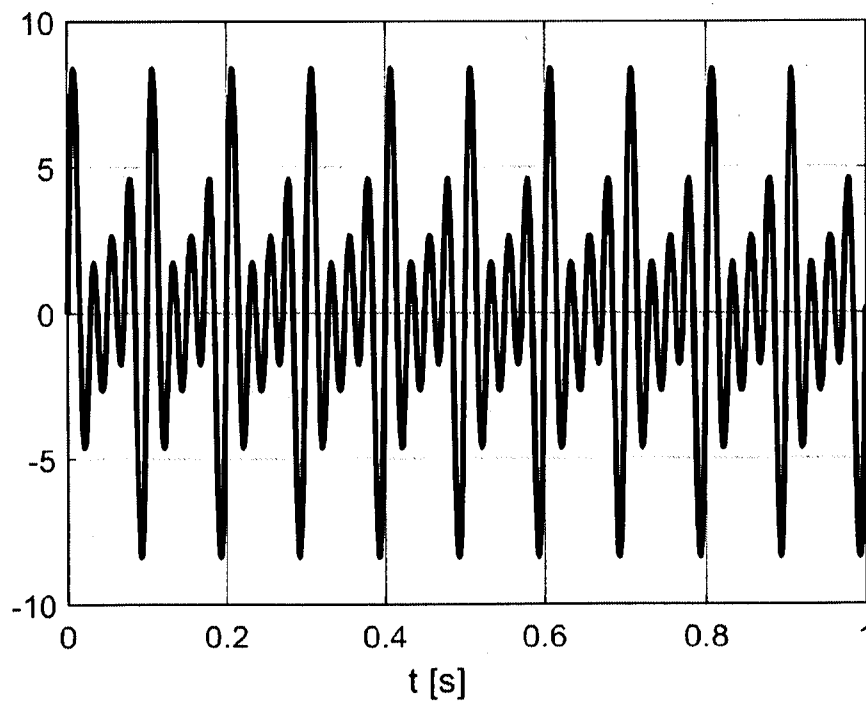
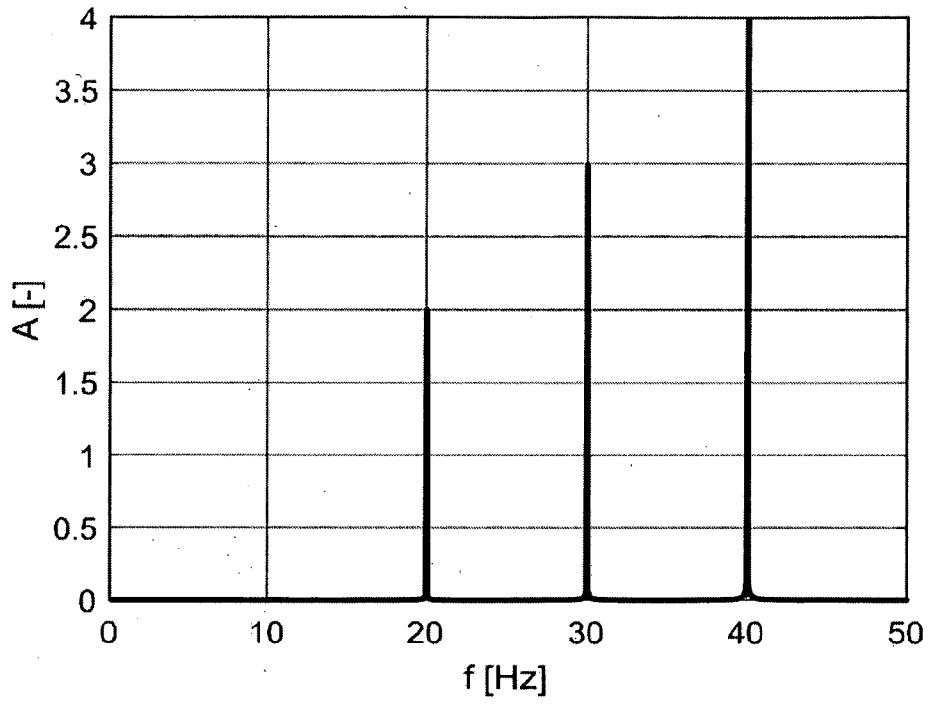


Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/060432

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F04D 15/00</i> (2006.01)i; <i>F04D 29/66</i> (2006.01)i 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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2006266913 A1 (MCCOY ROBERT [US] ET AL) 30 November 2006 (2006-11-30) paragraphs [0002], [0006], [00-8], [0016] - [0018], [0021] figures 1, 2	1-12
Y	US 2004199480 A1 (UNSWORTH PETER J [GB] ET AL) 07 October 2004 (2004-10-07) paragraphs [0005], [0008] - [0011], [0053], [0062], [0064] figures 1-20	1-3,5-12
Y	DE 10334817 A1 (BOSCH REXROTH AG [DE]) 10 March 2005 (2005-03-10) paragraphs [0010], [0011], [0029], [0035] - [0037] figures 1-7	4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 June 2020		Date of mailing of the international search report 25 June 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer De Tobel, David Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2020/060432

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2006266913	A1	30 November 2006	US	2006266913	A1	30 November 2006
				WO	2006127939	A2	30 November 2006
US	2004199480	A1	07 October 2004	US	6757665	B1	29 June 2004
				US	2004199480	A1	07 October 2004
				US	2006071666	A1	06 April 2006
DE	10334817	A1	10 March 2005	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F04D15/00 F04D29/66
 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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2006/266913 A1 (MCCOY ROBERT [US] ET AL) 30. November 2006 (2006-11-30) Absätze [0002], [0006], [00-8], [0016] - [0018], [0021] Abbildungen 1, 2 -----	1-12
Y	US 2004/199480 A1 (UNSWORTH PETER J [GB] ET AL) 7. Oktober 2004 (2004-10-07) Absätze [0005], [0008] - [0011], [0053], [0062], [0064] Abbildungen 1-20 -----	1-3,5-12
Y	DE 103 34 817 A1 (BOSCH REXROTH AG [DE]) 10. März 2005 (2005-03-10) Absätze [0010], [0011], [0029], [0035] - [0037] Abbildungen 1-7 -----	4



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Juni 2020

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

25/06/2020

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

De Tobel, David

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/060432

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006266913 A1	30-11-2006	US 2006266913 A1 WO 2006127939 A2	30-11-2006 30-11-2006
US 2004199480 A1	07-10-2004	US 6757665 B1 US 2004199480 A1 US 2006071666 A1	29-06-2004 07-10-2004 06-04-2006
DE 10334817 A1	10-03-2005	KEINE	