

(19)



(11)

EP 2 433 010 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
23.09.2015 Patentblatt 2015/39

(51) Int Cl.:
F04D 15/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10717116.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/055621

(22) Anmeldetag: **27.04.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/133425 (25.11.2010 Gazette 2010/47)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BETRIEBSPUNKTBESTIMMUNG EINER ARBEITSMASCHINE**

METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING AN OPERATING POINT OF A WORK MACHINE

PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION D'UN POINT DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE DE TRAVAIL

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **20.05.2009 DE 102009022107**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.03.2012 Patentblatt 2012/13

(73) Patentinhaber: **KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal (DE)**

(72) Erfinder:
• **EMDE, Christoph 34537 Bad Wildungen (DE)**
• **LAUE, Stefan 67269 Grünstadt (DE)**
• **SILOVIC, Marjan 67227 Frankenthal (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 2 946 049 DE-A1- 19 618 462

EP 2 433 010 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 zur Bestimmung eines Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors, wobei eine von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung und/oder deren Fördermenge einen Betriebspunkt charakterisiert, ein oder mehrere betriebspunktabhängige Messgrößen der Arbeitsmaschine durch ein oder mehrere Sensoren erfasst werden und die Messwerte während eines Betriebs der Arbeitsmaschine ausgewertet und/oder gespeichert werden. Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Überwachung eines Betriebspunktes. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Um einen sicheren und effizienten Betrieb einer Arbeitsmaschine zu gewährleisten, muss deren Betriebspunkt bekannt sein.

[0003] Beim Betrieb einer Pumpenanordnung, insbesondere einer Kreiselpumpenanordnung, bestehend aus Pumpe und diese antreibende Asynchronmaschine, ist häufig eine Aussage über deren Betriebspunkt erforderlich. Der Betriebspunkt einer Strömungsarbeitsmaschine, insbesondere einer Kreiselpumpe, auf deren Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie oder Q-H-Kennlinie, ist insbesondere durch deren Förderstrom, nachfolgend auch Fördermenge genannt, charakterisiert. Zu dessen Ermittlung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Er kann über die Messung des Förderstroms oder durch eine Druckmessung bestimmt werden. Bei Letzterer wird üblicherweise die Differenz des Druckes zwischen Druck- und Saugseite der Pumpe gemessen. Die Förderhöhe wird als Quotient aus Druckdifferenz, Dichte und Erdbeschleunigung abgeschätzt. Bei Wasser als Förderfluid entspricht eine Druckdifferenz von 1 bar einer Förderhöhe von ca. 10 Metern. Weiterhin wird ein Betriebspunkt einer Kreiselpumpe durch eine elektrische Messung bestimmt, wobei aus einer Strom- und Spannungsmessung die abgegebene Motorleistung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Motors berechnet wird.

[0004] Eine direkte Messung der Fördermenge erfordert gewöhnlich magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte. Eine indirekte Bestimmung der Fördermenge auf rechnerischem Wege ist mit zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden. Wird eine Fördermenge beispielsweise aus den Werten einer Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie, einer Q-H-Kennlinie, bei dem die Förderhöhe H über den Förderstrom aufgetragen ist oder einer Förderstrom-Leistungs-Kennlinie, einer Q-P-Kennlinie, bei dem die Leistung P über den Förderstrom Q aufgetragen ist, abgeleitet, so ist dies schwierig oder gar unmöglich in denjenigen Fällen, in denen eine flache oder eine nicht stetig steigende Q-H-Kennlinie oder Q-P-Kennlinie vorliegt. Soll die Fördermenge mit gemessenen Drücken aus der Q-H-Kennlinie einer Kreiselpumpe bestimmt werden, so muss die Q-H-Kennlinie eindeutig sein, also jedem H-Wert genau ein Q-Wert zuordenbar sein. In der Praxis ist diese Bedingung oft nicht erfüllt. Q-H-Kennlinien sind entweder zu flach oder gar uneindeutig. Selbiges Problem besteht auch, wenn der Förderstrom Q mittels einer gemessenen Leistungsaufnahme aus der Förderstrom-Leistungs-Kennlinie, der Q-P-Kennlinie, bestimmt werden soll. Auch der Verlauf der Q-P-Kennlinie ist oft flach oder gar uneindeutig.

[0005] Durch die WO 2005/064167 A1 ist eine Kombination vorstehender Verfahren bekannt. Diese bedingt einen erheblichen messtechnischen Aufwand, da sowohl der Differenzdruck der Pumpe als auch eine elektrische Leistung gemessen werden muss.

[0006] Die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Motor-Pumpenaggregats ist in der Praxis mit einigem Aufwand verbunden. Die Wirkleistungsmessung erfolgt in einem Schaltschrank, beansprucht dort Platz, insbesondere für die Messung des Motorstroms durch Stromwandler, und bedingt einen Montageaufwand, der durch eine Elektrofachkraft zu leisten ist.

[0007] Eine Anordnung und ein Verfahren zur Bestimmung der Leistung und/oder des Moments von Induktionsmotoren ist in der DD 258 467 A1 beschrieben. Ein berührungsloser Schalter ist am Rotor eines Induktionsmotors zur Erfassung eines oder mehrerer Impulse pro Umdrehung der Motorwelle angeordnet und eine Impulsformerstufe zur Erfassung der Synchrondrehzahl aus der Netzfrequenz ist zwischen Netz und einem Mikrorechner geschaltet. Zusätzlich weist die Anordnung eine Einrichtung zur Erfassung der Temperatur des Motors und einen Mikrorechner auf, in dem alle Messdaten erfasst und zur Regelung des weiteren Prozessablaufes ausgewertet werden. Die Leistung und/oder das Moment des Induktionsmotors wird aus der Zeit einer oder mehrerer Perioden der Motordrehzahl und einer oder mehrerer Perioden der Synchrondrehzahl ermittelt. Die Leistung und/oder das Moment des Induktionsmotors wird ermittelt durch das Zählen der Impulse der Motorwelle innerhalb einer sogenannten Torzeit, die durch eine oder mehrere Perioden der Synchrondrehzahl festgelegt ist. Zur Ermittlung der Leistung und/oder des Moments findet die "Kloss'sche Gleichung" Anwendung. Das Verfahren erfordert mehrere Eingangsgrößen, darunter auch die Synchrondrehzahl, die aus elektrischen Messgrößen bestimmt wird. Zusätzlich müssen die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur des Motors korrigiert werden, was eine vorherige messtechnische Ermittlung und Speicherung von benötigten Korrekturfaktoren pro Motortyp bedingt. Diese Anordnung ist aufwändig gestaltet. In der industriellen Praxis hat sich diese Methode als nicht geeignet erwiesen. Besonders nachteilig, wie auch bei einer konventionellen Messung der Wirkleistungsaufnahme eines Asynchronmotors durch Wirkleistungsmessgeräte und Stromwandler, ist die Installation einer solchen Anordnung durch eine Elektrofachkraft unbedingt erforderlich.

[0008] Durch die DE 10 2006 049 440 A1 ist ein Verfahren zur Erkennung eines Betriebszustandes einer Pumpe, insbesondere einer Fliehkraft- oder Verdrängungspumpe, in einer Pumpenanlage bekannt. Das Verfahren und dessen

Vorrichtung dienen, im Vergleich zu einem gespeicherten Normalzustand, einer Erkennung eines fehlerhaften Betriebszustandes einer Pumpe, Pumpenanlage und hydraulischen Anlage. Ein Drucksensor erfasst den zeitlichen Druckverlauf im Fördermedium. Ein berechneter Kennwert charakterisiert die Pulsation des Druck- und/oder Strömungsverlaufs in einem Berechnungs-Zeitintervall. Durch Vergleich des berechneten Kennwertes mit mindestens einem vorgegebenen Kennwert oder mit einem von diesem begrenzten Kennwertbereich, wobei der vorgegebene Kennwert oder der durch diesen begrenzte Kennwertbereich einem interessierenden Betriebszustand der Pumpe entspricht, wird der Betriebszustand ermittelt und ausgegeben. Bei einem Diagnosegerät mit angeschlossenem Drucksensor und einem zusätzlichen Schwingungssensor wird aus dem Drucksensorsignal die Drehzahl der Pumpe ermittelt und dem Schwingungssensor bereitgestellt. Die Gründe dafür werden nicht offenbart. Weder die Drehzahlinformation noch irgendwelche anderen Größen liefern eine Aussage darüber, in welchem Betriebspunkt auf einer Q-H- bzw. Q-P-Kennlinie und/oder bei welcher aufgenommenen Leistung die Pumpe betrieben wird. Mit diesem Verfahren werden nur Abweichungen von vorher ermittelten und gespeicherten Referenzwerten angezeigt.

[0009] Die DE 196 18 462 A1 offenbart ein weiteres Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen eines extrinsischen Leistungsparameters einer energieumwandelnden Vorrichtung wie den Volumen- oder Massendurchfluß durch eine motorangetriebene Kreiselpumpe, bei dem fortlaufend eine betriebszustandsabhängige intrinsische Größe ermittelt wird.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, durch die eine wenig aufwändige und zuverlässige Bestimmung und gegebenenfalls Überwachung des aktuellen Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors möglich ist.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Betriebspunkt ohne die Verwendung von elektrischen Messgrößen des antreibenden Asynchronmotors bestimmt wird, dass aus einer mechanischen Messgröße Druck, Differenzdruck, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall, mittels einer Signalanalyse, insbesondere einer Frequenzanalyse, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz ermittelt wird, wobei daraus die Drehzahl der Antriebsmaschine ermittelt wird und aus der schlupfbedingten Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors der Betriebspunkt bestimmt wird.

[0012] Der Betriebspunkt wird erfindungsgemäß ohne eine Verwendung von elektrischen Messgrößen bestimmt. Stattdessen wird aus dem Signalverlauf einer gemessenen mechanischen Messgröße eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz ermittelt, insbesondere die Drehklangfrequenz der Arbeitsmaschine. Nachfolgend wird vereinfachend von Drehklangfrequenz gesprochen. Diese ergibt sich aus dem Produkt von Drehzahl und einer Anzahl von schwingungsanregenden Strukturen eines oszillierenden oder rotierenden Bauteils, insbesondere die Schaufelanzahl eines Pumpenlaufrades. Daraus wird die Drehzahl der Antriebsmaschine ermittelt und unter Zuhilfenahme von gespeicherten Daten die von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung, nachfolgend auch Wellenleistung genannt, und/oder deren Fördermenge bestimmt. Als mechanische Messgrößen sind Druck, insbesondere der Druck auf der Druckseite einer Kreiselpumpe, Differenzdruck, insbesondere der Differenzdruck zwischen Saug- und Druckseite einer Kreiselpumpe, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall, insbesondere einer oder verursacht durch eine Kreiselpumpe, oder dergleichen geeignet. Der Betriebspunkt der Arbeitsmaschine kann aus einer einzigen, nicht elektrischen Messgröße ermittelt werden. Durch den Verzicht auf elektrische Messgrößen ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Betriebspunktbestimmung vergleichsweise kostengünstig und mit einfachstem Installationsaufwand durchführbar.

[0013] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die aufgenommene Leistung der Arbeitsmaschine durch folgende Schritte bestimmt wird:

- Bestimmung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors, insbesondere durch vorgegebene Motorparameter Bemessungsleistung und Bemessungsdrehzahl, gegebenenfalls synchrone Drehzahl, Kippmoment, Kippdrehzahl oder Kippschlupf.
- Bestimmung der aufgenommenen Leistung oder des Drehmomentes des Motors aus ermittelter Antriebsdrehzahl und Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors.

[0014] Notwendige Parameter zur Bestimmung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors werden aus den Typenschilddaten eines Asynchronmotors abgeleitet, beispielsweise ergibt sich das Bemessungs- oder Nenndrehmoment M_N aus dem Quotienten von Bemessungsleistung des Asynchronmotors P_{2N} und Nenndrehzahl n_N zu:

$$M_N = \frac{P_{2N}}{\omega_N} = \frac{P_{2N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} \quad (1)$$

[0015] Bei bekanntem Kippmoment M_K und/oder Kippschlupf s_K des Asynchronmotors wird mit der Kloss'schen Gleichung

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (2)$$

[0016] die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, n-M-Kennlinie des Asynchronmotors abgebildet. Mit dem Schlupf s des Asynchronmotors

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (3)$$

ergibt sich der Verlauf der n-M-Kennlinie zu

$$M(n) = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{n_0 - n}{n_0 - n_k} + \frac{n_0 - n_k}{n_0 - n}} \quad (4)$$

mit der Kippdrehzahl n_k

$$n_k = n_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\left(\frac{M_k \cdot n_0 - n_N}{M_N \cdot n_0} \right)^2 - \left(\frac{n_0 - n_N}{n_0} \right)^2} + \frac{M_k \cdot n_0 - n_N}{M_N \cdot n_0} \right) \quad (5)$$

[0017] Alternativ kann im Betriebsbereich der Arbeitsmaschine die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Asynchronmotors als Gerade durch die Punkte $(M_N; n_N)$, gegeben durch Nennmoment M_N bei Nenndrehzahl n_N , und $(M = 0; n_0)$, gegeben durch Drehmoment M gleich Null bei synchroner Drehzahl n_0 , angenähert werden. Es ergibt sich dann folgende, angenäherte oder vereinfachte Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, n-M-Kennlinie, des Asynchronmotors, deren Verlauf durch folgende Formel beschrieben ist:

$$M(n) = M_N \cdot \frac{n - n_0}{n_N - n_0} \quad (6)$$

[0018] Die Bestimmung der von der Arbeitsmaschine aufgenommenen Leistung erfolgt aus der zuvor ermittelten Antriebsdrehzahl, nachfolgend auch Wellendrehzahl genannt, und der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, der n-M-Kennlinie des Motors. Dieser Zusammenhang Wellenleistung P_2 zu Drehmoment M und Drehzahl n ist durch die Gleichung

$$P_2 = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad (7)$$

gegeben. Erfindungsgemäß wird der Betriebspunkt einer Arbeitsmaschine, insbesondere einer Pumpe, charakterisiert durch deren aufgenommene Leistung, ermittelt. Dies erfolgt mit vorhandenen, an einer Pumpe angeordneten Sensoren.

[0019] Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht bei einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe, als Arbeitsmaschine die Ermittlung von deren Fördermenge aus deren Antriebsdrehzahl vor. Aus dem Signalverlauf einer nicht elektrischen Messgröße wird die Drehklangfrequenz mittels Signalanalyse, insbesondere Frequenzanalyse, beispielsweise durch eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) oder eine Autokorrelation ermittelt. Daraus wird die Antriebsdrehzahl ermittelt. Im Beispiel einer Kreiselpumpe als Arbeitsmaschine ergibt sich die Drehzahl als dem Quotient aus Drehklangfrequenz f_D und Schaufelzahl z des Laufrades:

$$n = \frac{f_D}{z} \tag{8}$$

5
 [0020] Mittels der Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit können Wellenleistung und/oder Fördermenge aus der Drehzahl bestimmt werden. Auf eine Messung elektrischer Größen wird verzichtet, wodurch sich der Aufwand für die Durchführung der Betriebspunktbestimmung gegenüber einer herkömmlichen Betriebspunktbestimmung auf Basis einer elektrischen Wirkleistungsmessung erheblich reduziert. Ebenso besteht gegenüber einer direkten Messung der Fördermenge, beispielsweise mittels Ultraschall-Durchflussmesstechnik oder magnetisch-induktiver Durchflussmesstechnik, ein erheblicher Kostenvorteil, da die verwendeten mechanischen Messgrößen Druck, Differenzdruck, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall günstiger erfasst und verarbeitet werden.

10
 [0021] Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, dass die Fördermenge der Pumpe aus der aus der Antriebsdrehzahl ermittelten aufgenommenen Leistung oder Wellenleistung bestimmt wird. Aus der Antriebsdrehzahl oder Wellendrehzahl wird zunächst wie zuvor beschrieben unter Zuhilfenahme der bekannten n-M-Kennlinie oder einer daraus ableitbaren n-P-Kennlinie gemäß Formel (7) die Wellenleistung der Pumpe ermittelt. In einem nachfolgenden Schritt wird aus der Wellenleistung mittels einer abgespeicherten Q-P-Kennlinie die Fördermenge Q der Pumpe ermittelt.

15
 [0022] Die Fördermenge der Pumpe kann aus Parametern des Motors, die eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors beschreiben, sowie aus Parametern der Pumpe, die eine Förderstrom-Leistungs-Kennlinie beschreiben, und der Antriebsdrehzahl bestimmt werden. Eine Q-P-Kennlinie ist beispielsweise in Form einer Parametertabelle mit mehreren Stützpunkten (Index $_1$ bis $_i$) beschreibbar. Während der Betriebspunktbestimmung nutzt das Verfahren eine solche vorab gespeicherte Tabelle, um die Fördermenge aus der Wellenleistung zu bestimmen:

25

Fördermenge Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	...	Q _i
Wellenleistung P ₂	P _{2,1}	P _{2,2}	P _{2,3}	...	P _{2,i}

[0023] Die Tabelle kann zusätzlich Stützpunkte für die jeweilige Drehzahl beinhalten, womit eine direkte Förderstrombestimmung aus der ermittelten Drehzahl möglich wird.

30
 [0024] Insbesondere bei uneindeutigen Bereichen der Q-P-Kennlinie kann zur weiteren Verbesserung des Verfahrens zusätzlich die Förderhöhe oder der Differenzdruck zur Bestimmung der Fördermenge der Pumpe herangezogen werden. Weiterhin kann bei der Bestimmung des Betriebspunktes sowohl eine Berücksichtigung der Q-P-Kennlinie als auch der Q-H-Kennlinie stattfinden. Dazu können beispielsweise Quotientenwerte P₂/H abgespeichert werden:

35

Fördermenge Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	...	Q _i
Wellenleistung P ₂	P _{2,1}	P _{2,2}	P _{2,3}	...	P _{2,i}
Förderhöhe H	H ₁	H ₂	H ₃	...	H _i
Quotient P ₂ /H	P _{2,1} /H ₁	P _{2,2} /H ₂	P _{2,2} /H ₂	...	P _{2,i} /H _i

40
 [0025] Ebenfalls ist vorgesehen, die Fördermenge der Kreiselpumpe aus einer Kennlinie, die die lastabhängige Drehzahländerung über der Fördermenge der Pumpe darstellt, zu bestimmen. Eine solche Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie kann aus einer Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors in Verbindung mit einer Förderstrom-Leistungs-Kennlinie berechnet werden.

45

Fördermenge Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	...	Q _i
Wellenleistung P ₂	P _{2,1}	P _{2,2}	P _{2,3}	...	P _{2,i}
Drehzahl n	n ₁	n ₂	n ₃	...	n _i

50
 [0026] Alternativ kann auch ohne Kenntnis von Q-P- und Q-H-Kennlinie eine Kennlinie zur Bestimmung der Fördermenge aus der lastabhängigen Drehzahländerung bestimmt werden. Dazu können in einem Testlauf der Pumpe, der beispielsweise bei einer Inbetriebnahme erfolgt, in mehreren Betriebspunkten mit bekannter Fördermenge, darunter beispielsweise Q₀, d.h. Förderstrom gleich Null, und Q_{max}, d. h. maximal zulässigem Förderstrom, die jeweilige Betriebsdrehzahl ermittelt und gespeichert werden. Daraus ergibt sich nachfolgend allgemein dargestellte Parametertabelle:

55

Fördermenge Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	...	Q _i
---------------	----------------	----------------	----------------	-----	----------------

(fortgesetzt)

Drehzahl n n_{-1} n_{-2} n_{-3} ... n_i

5 **[0027]** Alternativ ist es möglich, dass während des regulären Betriebs der Pumpe "lernend" Drehzahlen ermittelt und gespeichert werden. So wird bei einer Kreiselpumpe mit einer Q-P-Kennlinie, bei der P proportional mit Q streng monoton ansteigt, wie beispielsweise bei den meisten Pumpen mit Radialrad, die größte auftretende Drehzahl der kleinsten auftretenden Leistungsaufnahme und dem kleinsten Förderstrom zugeordnet, gegebenenfalls bei geschlossenem Ventil also Nullförderstrom. Verringert sich die Drehzahl im Betrieb wieder, so wird auf einen gestiegenen Förderstrom geschlossen. Somit wird über die Betriebsdauer einer Kreiselpumpe ein Betriebsbereich in den Grenzen von (Q_{min}' ; n_{max}') und (Q_{max}' ; n_{min}'), die im untersuchten Betriebszeitraum auftreten, erlernt, ohne dass dazu konkrete Werte für Q gemessen oder ermittelt werden. Die erlernten Grenzwerte werden zur Einordnung des jeweils gegenwärtigen Förderstroms der Kreiselpumpe zwischen minimalem und maximalem im untersuchten Betriebszeitraum aufgetretenen Förderstrom Q_{min}' und Q_{max}' verwandt.

15 **[0028]** Nach dieser Ausgestaltung wird ebenfalls die Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors verwendet. Die Erfindung nutzt dabei die Erkenntnis, dass diese eine auswertbare Drehzahländerung über den Förderstrombereich bewirkt. Mit einer solchen Kennlinie, die üblicherweise für eine Pumpe nicht dokumentiert ist, kann die Fördermenge der Kreiselpumpe direkt aus der Drehzahl ermittelt werden.

20 **[0029]** Besonders zuverlässig ist ein Verfahren, wonach die Antriebsdrehzahl oder Wellendrehzahl zur Bestimmung des Betriebspunktes der Pumpe, insbesondere der Kreiselpumpe, aus Messwerten von ein oder mehreren Drucksensoren ermittelt wird. Zweckmäßig ist dabei, dass die Drucksensoren zur dynamischen Messung von Drücken, insbesondere von pulsierenden Drücken, geeignet sind. Der durch die Wellenleistung und/oder Fördermenge charakterisierte Betriebspunkt der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe, wird also alleine aus Messwerten von ein oder mehreren Drucksensoren ermittelt. An einer Kreiselpumpe kommen ein oder mehrere Drucksensoren zum Einsatz, um den Saug- und/oder Enddruck einer Kreiselpumpe zu erfassen. Drucksensoren, wenngleich zur Messung statischer Drücke vorgesehen, sind ebenfalls meist geeignet zur dynamischen Messung von Drücken. Tests haben gezeigt, dass Standard-Drucksensoren Drücke dynamisch und ungedämpft bis zu einem Frequenzbereich von ca. 1 kHz erfassen. Solche Drucksensoren sind in der Lage, innerhalb einer Kreiselpumpe auftretende pulsierende Drücke zu erfassen. Das erfindungsgemäße Verfahren erzielt für viele Anwendungen bei Verwendung von nur einem Drucksensor auf der Druckseite der Pumpe eine ausreichende Genauigkeit. Zusätzlich kann ein Drucksensor auf der Saugseite der Pumpe vorgesehen werden. Ebenfalls ist vorgesehen einen Pumpendifferenzdruck zwischen Druck- und Saugseite der Pumpe, erhältlich durch einen Differenzdrucksensor, auszuwerten. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann der Betriebspunkt kostengünstig ohne die Verwendung von zusätzlichen Sensoren alleine aus einem oder mehreren Drucksensorsignalen bestimmt werden.

25 **[0030]** Eine andere Ausgestaltung sieht vor, dass die Antriebsdrehzahl zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors aus Messwerten von ein oder mehreren Körperschall- und/oder Luftschallsensoren ermittelt wird. Dabei können die Körperschall- und/oder Luftschallsensoren an der Arbeitsmaschine und/oder am diese antreibenden Asynchronmotor angeordnet sein. Die Sensoren können auch im Umfeld der Arbeitsmaschine angeordnet sein. In jedem Fall wird aus Signalen der Sensoren, die mechanische Messgrößen erfassen, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz erfasst, woraus die Drehzahl der Arbeitsmaschine ermittelt wird. Und daraus wird unter Verwendung der Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors der Betriebspunkt ermittelt.

30 **[0031]** Ein ermittelter Betriebspunkt kann nach der Erfindung daraufhin überwacht werden, ob sich dieser innerhalb oder außerhalb eines vorgegebenen, zulässigen Bereichs befindet. Anhand eines außerhalb eines vorgegebenen Bereichs befindlichen Betriebspunktes wird ein fehlerhafter Betriebszustand, insbesondere Über- oder Unterlast, der Arbeitsmaschine und/oder des Asynchronmotors erkannt. Durch eine Überwachung oder Auswertung der Leistungsaufnahme einer Kreiselpumpe kann beispielsweise auf einen Betrieb bei Teillast oder einen Betrieb im Optimum geschlossen werden. Bei Verwendung von Körperschall oder Luftschall als Messgröße kann auch ein Trockenlauf der Kreiselpumpe detektiert werden. Versuche haben gezeigt, dass die erfindungsgemäße Detektion einer Überlast eines Asynchronmotors zuverlässig und robust funktioniert. Bei einer im Vergleich zu einer dokumentierten und parametrisierten Leistungsaufnahme erhöhten Leistungsaufnahme kann auf Überlast der Pumpe oder des Motors geschlossen werden. Zwar kann Ursache für eine vermeintlich erhöhte Leistungsaufnahme auch eine versorgungsseitige Unterspannung sein, was zu einem erhöhten Schlupf führt. In einem solchen Fall ist die Diagnose Überlast für das Aggregat, bestehend aus Pumpe und Motor dennoch zutreffend, da bei Unterspannung und somit erhöhtem Schlupf die Stromaufnahme des Motors erhöht ist. Dieser Einfluss ist dann signifikant, wenn die Netzspannung außerhalb der Toleranzen liegt, und beispielsweise um mehr als 10 % unterhalb der Nennspannung liegt. In einem solchen Fall würde bei Nenndrehzahl $n = n_N$ auf Nennleistung $P_2 = P_{2N}$ geschlossen, obwohl die tatsächlich aufgenommene Leistung unterhalb der Nennleistung liegt. Sinkt die Drehzahl weiter ab, d.h. $n < n_N$, so wird auf Überlastung der Pumpe oder des Motors geschlossen, was korrekt ist,

da die stromproportionalen Verluste, insbesondere die Rotorverluste des Asynchronmotors ansteigen, was zur übermäßigen Erwärmung des Motors beiträgt.

[0032] Bei einer Vorrichtung zur Bestimmung eines Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors, die mit ein oder mehreren Eingängen zur Erfassung von betriebspunktabhängigen Messgrößen versehen ist, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Vorrichtung einen Datenspeicher für technologische Daten der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors aufweist und aus einer mechanischen Messgröße Druck, Differenzdruck, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall mittels einer Signalanalyse, insbesondere einer Frequenzanalyse, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz ermittelt, daraus die Drehzahl der Antriebsmaschine ermittelt und daraus unter Verwendung der schlupfbedingten Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors den Betriebspunkt aus nicht elektrischen Messgrößen, ohne die Verwendung von elektrischen Messgrößen des antreibenden Asynchronmotors, bestimmt und gegebenenfalls überwacht.

[0033] In dem Datenspeicher können Motorparameter, die die Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors beschreiben, und/oder andere technologische Daten der Arbeitsmaschinenanordnung abgespeichert sein. Auf diese kann während des Betriebs der Arbeitsmaschine zwecks Bestimmung des Betriebspunktes zugegriffen werden. Eine Erfassung von elektrischen Messgrößen durch die Vorrichtung ist nicht notwendig. Die Vorrichtung kann aus einem einzigen Messsignal, beispielsweise einem Drucksensorsignal, den Betriebspunkt der Arbeitsmaschine bestimmen.

[0034] Nach einer Ausgestaltung der Erfindung bestimmt die Vorrichtung die aufgenommene Leistung der Arbeitsmaschine durch folgende Schritte:

- Bestimmung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors, insbesondere durch vorgegebene Motorparameter Bemessungsleistung und Bemessungsdrehzahl, gegebenenfalls synchrone Drehzahl, Kippmoment, Kippdrehzahl oder Kippschlupf
- Bestimmung der aufgenommenen Leistung oder des Drehmomentes des Motors aus der Antriebsdrehzahl und der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors.

[0035] Bei einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe, als Arbeitsmaschine ist es vorgesehen, dass die Ermittlung einer Fördermenge der Pumpe aus der Antriebsdrehzahl erfolgt. An der Pumpe werden lediglich mechanische Messgrößen erfasst. Aus der ermittelten Drehklangfrequenz wird die Antriebs- oder Wellendrehzahl der Pumpe ermittelt.

[0036] Gegenüber einer direkten Messung der Fördermenge beispielsweise mittels Ultraschall-Durchflussmesstechnik oder magnetisch-induktiver Durchflussmesstechnik besteht ein erheblicher Kostenvorteil. Auch gegenüber einer Ermittlung der Fördermenge auf Basis einer elektrischen Wirkleistungsmessung sind Aufwand und Kosten minimiert.

[0037] Die Vorrichtung kann an der Pumpe, an deren Antriebsmotor oder in deren Umfeld angeordnet sein und/oder mit der Pumpe oder deren Antriebsmotor integriert ausgeführt sein.

[0038] Die Vorrichtung kann die Fördermenge der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe, aus der aus der Antriebsdrehzahl oder Wellendrehzahl ermittelten aufgenommen Leistung oder Wellenleistung bestimmen.

[0039] Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, dass die Vorrichtung die Fördermenge der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe, aus Parametern des Motors, die eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors beschreiben, sowie aus Parametern der Pumpe, die eine Förderstrom-Leistungs-Kennlinie beschreiben, und der Antriebsdrehzahl oder Wellendrehzahl bestimmt.

[0040] Ebenso gut ist es vorgesehen, dass die Vorrichtung die Fördermenge der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe, direkt aus einer Kennlinie, die die lastabhängige Drehzahländerung über der Fördermenge der Pumpe darstellt, bestimmt. Eine solche Kennlinie kann durch Testläufe ermittelt und in dem Datenspeicher gespeichert sein, so dass sie während des Betriebs der Kreiselpumpe abrufbar ist. Hier wird gleichwohl die Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors verwendet, die zu einer Drehzahlveränderung über den Förderstrombereich führt. Daraus kann der durch die von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung und/oder deren Fördermenge charakterisierte Betriebspunkt besonders einfach bestimmt werden.

[0041] Ideal ist es, wenn die Vorrichtung mindestens einen Anschluss für einen Drucksensor aufweist und aus Messwerten eines angeschlossenen Drucksensors die Antriebsdrehzahl oder Wellendrehzahl zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine ermittelt. Drucksensoren zur Erfassung statischer Drücke sind ebenfalls im Stande, dynamische Druckschwankungen zu erfassen. Solche Drucksensoren sind ohnehin an vielen Pumpen angebracht, insbesondere um deren Enddruck zu erfassen. Übliche Einrichtungen zur Erfassung von Signalen von Drucksensoren mittels Analogeingängen beispielsweise an Speicherprogrammierbaren Steuerungen oder an Frequenzumrichtern ermöglichen in der Regel die Nutzung von gefilterten, d.h. in der Dynamik bedämpften Messwerten. Zur Erfassung des erfindungsgemäß interessierenden dynamischen Drucksignalanteils sind solche Eingänge zu langsam und unempfindlich. Hochdynamische Eingänge von Messeinrichtungen, die in der Lage sind Signalanteile in Frequenzbereichen von einigen Kilohertz zu erfassen, sind in der industriellen Praxis zumeist nicht robust genug und außerdem teuer.

[0042] Die Vorrichtung nach der Erfindung unterscheidet sich von den erwähnten industriell Üblichen, dadurch, dass sie eine Erfassung des pulsierenden Anteils eines Drucksignals bei gleichzeitig hoher Dynamik ermöglicht. Dadurch ist

eine genaue Bestimmung der Frequenz des pulsierenden Druckanteils in einem interessierenden Frequenzbereich gewährleistet. Zweckmäßigerweise besitzt die Vorrichtung einen Eingang für Signalanteile bis zu ca. 500 Hz, wobei eine Grenzfrequenz für einen EingangsfILTER entsprechend höher liegt.

[0043] Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, dass der für eine bestimmte Pumpe interessierende Frequenzbereich ein kleiner, durch untere und obere Drehklangfrequenz f_{D_min} beziehungsweise f_{D_max} begrenzter Ausschnitt des gesamten gemessenen Frequenzbereichs ist. Eine Auswertung kann damit entsprechend selektiv und genau erfolgen. In einem Beispiel einer Kreiselpumpe ist der interessierende Frequenzbereich vorgegeben durch die Grenzen von unterer und oberer Drehklangfrequenz f_{D_min} beziehungsweise f_{D_max} bei bekannter Schaufelzahl z :

$$f_{D_min} = n_{min} \cdot z \quad \text{und} \quad f_{D_max} = n_{max} \cdot z \quad (9, 10)$$

[0044] Dabei sind minimale Drehzahl n_{min} und maximale Drehzahl n_{max} aus Parametern des die Kreiselpumpe antreibenden Asynchronmotors bekannt. Vereinfacht kann die minimale Drehzahl aus n_N berechnet werden, beispielsweise

$$n_{min} = 0,95 \cdot n_N \quad (11).$$

[0045] Und/oder die maximale Drehzahl kann als

$$n_{max} = n_0 \quad (12)$$

angenommen werden.

[0046] Mit der Wirkungsgradoptimierung von Asynchronmotoren geht die Minimierung des Schlupfes als Abweichung der Wellendrehzahl von der synchronen Drehzahl einher. IEC-Normmotoren mit einer Nennleistung von 22 kW und größer haben üblicherweise einen Nennschlupf von unter 2%, bei größeren Leistungen ist der Schlupf noch geringer und kann sogar unter 1 % liegen. Daraus folgt, dass minimale und maximale Drehzahl und minimale und maximale Drehklangfrequenz sehr dicht beieinander liegen können. Um aus der Drehklangfrequenz einen Betriebspunkt bestimmen zu können, muss diese sehr exakt bestimmt werden. Die Vorrichtung verfügt daher erfindungsgemäß über eine Signalverarbeitungseinheit, die eine genaue Bestimmung der Drehklangfrequenz, vorzugsweise mit einer Genauigkeit von 1/10 Hertz oder von wenigen 1/100 Hertz, durchführt. Dies wird mittels einer sehr hohen Abtastfrequenz und/oder durch ein entsprechend langes Abtastintervall erreicht.

[0047] Dabei ist die Amplitude des pulsierenden Druckanteils relativ gering. In einem konkreten Beispiel beträgt die Amplitude des pulsierenden Signalanteils weniger als 1% des Drucks. Die Vorrichtung löst den Messbereich des Drucksignals entsprechend hoch auf, so dass die Druckpulsation trotz der geringen Amplitude nach Analog-Digital-Wandlung einwandfrei auswertbar ist, d.h. die Drehklangfrequenz bestimmt werden kann. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht so eine zuverlässige Betriebspunktbestimmung einer Pumpe.

[0048] Alternativ und/oder zusätzlich kann die Vorrichtung mindestens einen Anschluss für einen Körperschall- und/oder Luftschallsensor aufweisen und aus Messwerten eines angeschlossenen Körperschall- und/oder Luftschallsensors die Antriebsdrehzahl zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors ermitteln.

[0049] Zur Erfassung von Betriebspunktabhängigen Schallmessgrößen ist die Vorrichtung zweckmäßigerweise mit einem Mikrofon verbindbar oder weist ein integriertes Mikrofon auf.

[0050] Dabei ist es von Vorteil, wenn die Vorrichtung ein Telefon, insbesondere ein Mobiltelefon, zur Erfassung der Betriebsgeräusche der Arbeitsmaschine und zur Betriebspunktbestimmung und/oder -überwachung ist. Eine solche Vorrichtung nutzt das erfindungsgemäße Verfahren. Dazu kann in einem Datenspeicher der Vorrichtung ein Programmablauf gespeichert sein, der von einer in der Vorrichtung befindlichen Recheneinheit abgearbeitet werden kann.

[0051] Die Vorrichtung kann auch räumlich getrennt von der Arbeitsmaschine deren Betriebspunkt bestimmen und gegebenenfalls überwachen. Dabei ist es vorgesehen, dass die Vorrichtung Telekommunikationsmittel, insbesondere ein Telefon oder Mobiltelefon und ein Telekommunikationsnetz nutzt, um die Betriebspunktbestimmung und/oder -überwachung an einem anderen Ort als dem Betriebsort der Arbeitsmaschine durchzuführen. Die Telekommunikationsmittel dienen dabei als Signalerfassungs- und/oder -übertragungsmittel. Beispielsweise kann ein Mobiltelefon mittels eines eingebauten Mikrofons Körperschall- und/oder Luftschallsignale einer Arbeitsmaschine erfassen und mittels Telekommunikationsnetz an eine von der Arbeitsmaschine räumlich getrennte Vorrichtung zur Betriebspunktbestimmung und/oder -überwachung übermitteln.

[0052] Die Erfindung ist mit Vorteil verwendbar bei einer Kreiselpumpenanordnung bestehend aus mindestens einer

Kreiselpumpe mit einer Welle und einem die Welle antreibenden Asynchronmotor und mit ein oder mehreren Sensoren zur Erfassung von betriebspunktabhängigen Messgrößen. Die Vorrichtung kann an der Kreiselpumpe angeordnet sein und/oder in die Kreiselpumpe und/oder den Asynchronmotor integriert sein. Auch eine Anordnung im Umfeld der Kreiselpumpenanordnung oder eine räumlich getrennte Anordnung ist vorgesehen.

5 **[0053]** Ausführungsbeispiele der Erfindungen sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen die

Figur 1a eine Q-H-Kennlinie einer Kreiselpumpe, die

10 Figur 1b eine Q-P-Kennlinie einer Kreiselpumpe, die

Figur 2 eine allgemeine, schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die

15 Figur 3 eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte eines ersten Verfahrens zur Bestimmung eines Betriebspunktes, die

Figur 4a einen Druckverlauf am Austritt einer Kreiselpumpe, die

20 Figur 4b den Druckverlauf in einer Detailansicht, die

Figur 5a eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Asynchronmotors, die

25 Figur 5b eine vereinfachte Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Asynchronmotors in dessen Betriebsbereich, die

Figuren 6a, 6b daraus abgeleitete n-P-Kennlinien des Asynchronmotors, die

30 Figur 7 eine schematische Darstellung eines alternativen Verfahrens unter Verwendung einer lastabhängigen Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie, die

Figur 8 eine lastabhängige Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie, die

Figur 9 eine schematische Darstellung eines kombinierten Verfahrens zur Betriebspunktbestimmung, die

35 Figur 10 eine Kreiselpumpenanordnung mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Betriebspunktbestimmung aus einer gemessenen Druckpulsation, die

40 Figur 11 eine Kreiselpumpenanordnung mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Betriebspunktbestimmung in Form eines Mobiltelefons, und die

Figur 12 eine weitere Anordnung mit einer Vorrichtung, die ein Mobiltelefon und ein Telekommunikationsnetz nutzt, um die Betriebspunktbestimmung an einem anderen Ort als dem Betriebsort der Kreiselpumpe durchzuführen.

45 **[0054]** Die Figur 1 a zeigt eine Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie 2, eine sogenannte Q-H-Kennlinie, einer Kreiselpumpe. Aus einer zwischen Druck- und Saugseite der Kreiselpumpe gemessenen Druckdifferenz kann gemäß dem Stand der Technik eine Förderhöhe H der Pumpe ermittelt und der Betriebspunkt der Kreiselpumpe über die Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie 2 bestimmt werden. Eine solche Betriebspunktbestimmung ist aber unzureichend in einem Bereich kleinerer Förderströme, in dem die Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie 2 uneindeutig oder instabil ist. Eine solche instabile Kennlinie bewirkt, dass bei bestimmten gemessenen Druckdifferenzen zu einer bestimmten Förderhöhe H zwei Förderstromwerte 3, 4 existieren. Somit kann nicht eindeutig auf eine Fördermenge Q(H) der Kreiselpumpe geschlossen werden.

50 **[0055]** Fig. 1b zeigt eine Förderstrom-Leistungs-Kennlinie 10, eine sogenannte Q-P-Kennlinie, einer Kreiselpumpe. Die hier gezeigte Förderstrom-Leistungs-Kennlinie 10 ist eindeutig, so dass mit der Information über die Leistungsaufnahme der Pumpe eine Aussage bezüglich der Fördermenge Q(P) der Pumpe und damit über deren Betriebspunkt möglich ist. Die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Kreiselpumpenaggregats ist in der Praxis mit einigem Aufwand verbunden, denn diese erfolgt in einem Schaltschrank und bedingt einen Montageaufwand, der durch eine Elektrofachkraft zu leisten ist. Sowohl die Q-H-Kennlinie 2, als auch die Q-P-Kennlinie 10 sind typischerweise für

eine bestimmte Kreiselpumpe dokumentiert.

[0056] Fig. 2 zeigt eine allgemeine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens 21, bei dem der Betriebspunkt einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors ohne die Verwendung von elektrischen Messgrößen des antreibenden Asynchronmotors bestimmt wird. Nach einer Erfassung 22 einer mechanischen Messgröße wird in einem Schritt 23 aus der Messgröße mittels einer Signalanalyse, insbesondere Frequenzanalyse, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz, eine Drehklangfrequenz f_D ermittelt. Daraus wird in einem nächsten Schritt 24 die Drehzahl n der Antriebsmaschine ermittelt. Und in einem weiteren Schritt 25 wird der durch die von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung, hier mit P_2 bezeichnet, und/oder deren Fördermenge Q charakterisierte Betriebspunkt bestimmt. Erfindungsgemäß wird dazu die schlupfbedingte Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des die Arbeitsmaschine antreibenden Asynchronmotors verwendet. Der so bestimmte Betriebspunkt steht in Schritt 29 zur weiteren Verarbeitung und/oder Anzeige zur Verfügung.

[0057] Die Fig. 3 zeigt eine schematische, im Vergleich zu Fig. 2 detailliertere Darstellung der Verfahrensschritte eines Verfahrens 21 zur Bestimmung eines Betriebspunktes. Gezeigt ist ein Verfahren 21 zur Bestimmung eines Förderstroms oder einer Fördermenge Q aus einer gemessenen Druckpulsation oder einem gemessenen Körperschall oder Luftschall über ein gespeichertes Motormodell und eine Pumpenkennlinie. Die zur Durchführung der einzelnen Verfahrensschritte notwendigen Parameter können in einem Datenspeicher 30 abgespeichert bzw. hinterlegt sein und stehen zur Durchführung der einzelnen Verfahrensschritte zur Verfügung. Die erforderlichen Motorparameter abgegebene Bemessungs- oder Nennleistung P_{2N} und Nenndrehzahl n_N , sowie die optionalen Motorparameter Netzfrequenz f , Polpaarzahl p oder synchrone Drehzahl n_0 bilden dabei ein Motormodell, das zweckmäßigerweise in einem ersten Teil 31 des Datenspeichers 30 abgelegt ist. Die synchrone Drehzahl n_0 kann auch aus Netzfrequenz f und Polpaarzahl p bestimmt werden oder aus der Nenndrehzahl n_N als zu dieser nächst größeren theoretisch möglichen Synchrodrehzahl (beispielsweise 3600 min^{-1} , 3000 min^{-1} , 1800 min^{-1} , 1500 min^{-1} , 1200 min^{-1} , 1000 min^{-1} , 900 min^{-1} , 750 min^{-1} , 600 min^{-1} oder 500 min^{-1}) abgeleitet werden. Sofern bekannt kann optional das Kippmoment M_k des Motors abgespeichert werden. Weiterhin kann eine minimale Drehzahl n_{\min} und eine maximale Drehzahl n_{\max} abgespeichert werden. In einem zweiten Teil 32 des Datenspeichers 30 ist eine Förderstrom-Leistungs-Kennlinie, eine Q-P-Kennlinie, einer Kreiselpumpe abgespeichert. Diese ist gegeben durch mehrere (i) Stützwerte $(P_{2_1}; Q_{_1}), (P_{2_1}; Q_{_2}), \dots (P_{2_i}; Q_{_i})$. Ebenfalls ist die Schaukelzahl z des Laufrades der Kreiselpumpe verfügbar. Während des Betriebs einer Arbeitsmaschine werden in einem Schritt 22 Messwerte einer mechanischen Messgröße erfasst. In einem Verfahrensschritt 23 wird nun beispielsweise in den Grenzen von $f_{D\min} = n_{\min} \cdot z$ gemäß Formel (9) und $f_{D\max} = n_{\max} \cdot z$ gemäß Formel (10) mittels einer Signalanalyse aus den Signalpulsationen die Drehklangfrequenz f_D ermittelt. In einem weiteren Verfahrensschritt 24 wird aus der Drehklangfrequenz f_D und der Schaukelzahl z die momentane Antriebsdrehzahl der Pumpe ermittelt. Es gilt:

$$n = \frac{f_D}{z} \tag{8}$$

[0058] Aus der so ermittelten Antriebsdrehzahl n wird in einem nächsten Verfahrensschritt 25 die vom Motor abgegebene Leistung P_2 ermittelt. Dabei gilt:

$$P_2 = \omega \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \tag{7}$$

wobei

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{n_0 - n}{n_0 - n_k} + \frac{n_0 - n_k}{n_0 - n}} \tag{4}$$

[0059] Die vom Motor abgegebene Leistung P_2 entspricht der Wellenleistung der Pumpe. Somit kann in einem nächsten Verfahrensschritt 26 unter Zuhilfenahme der Q-P-Kennlinie der Pumpe deren Fördermenge Q bestimmt werden. Aus der Messgröße und deren Signalpulsation wird durch das Verfahren der Betriebspunkt der Arbeitsmaschine, hier eine Kreiselpumpe, ohne die Messung von elektrischen Messgrößen bestimmt.

[0060] In Fig. 4a ist in Abhängigkeit einer Zeit t ein Signalverlauf eines Druckes $p(t)$ dargestellt, der am Austritt einer

Kreiselpumpe während eines Betriebs der Kreiselpumpe gemessen wurde. Es ist zu erkennen, dass der Druck sich in etwa auf einem gleich bleibenden, konstanten Niveau bewegt.

[0061] Fig. 4b zeigt diesen Druckverlauf $p(t)$ in einer Detailansicht. Es ist erkennbar, dass im Signalverlauf von $p(t)$ Druckpulsationen vorhanden sind. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass diese Druckpulsationen durch handelsübliche Drucksensoren zur Messung eines statischen Druckes erfasst werden können. Solche Drucksensoren sind ohnehin an vielen Pumpen angebracht, insbesondere um deren Enddruck zu erfassen. Ein solcher Drucksensor erfasst einen pulsierenden Anteil des Drucksignals. Die Frequenz des pulsierenden Druckanteils, die Drehklangfrequenz f_D , ergibt sich aus dem Kehrwert der Periodendauer T . Das erfindungsgemäße Verfahren bestimmt die Frequenz des pulsierenden Druckanteils in einem interessierenden Frequenzbereich. Der interessierende Frequenzbereich ist bei bekannter Schaufelzahl z vorgegeben durch die Grenzen von unterer und oberer Drehklangfrequenz f_{D_min} und f_{D_max} . Es gilt:

$$f_{D_min} = n_{min} \cdot z \quad \text{und} \quad f_{D_max} = n_{max} \cdot z \quad (9, 10)$$

[0062] Darin sind n_{min} eine minimale Drehzahl und n_{max} eine maximale Drehzahl des die Kreiselpumpe antreibenden Asynchronmotors. Diese sind entweder bekannt oder können vereinfacht berechnet werden, beispielsweise durch

$$n_{min} = 0,95 \cdot n_N \quad \text{bzw.} \quad (11)$$

$$n_{max} = n_0 \quad (12),$$

wobei n_0 die synchrone Drehzahl darstellt. Zur genauen Bestimmung der Drehklangfrequenz innerhalb des interessierenden Frequenzbereichs wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren eine genaue Bestimmung der Drehklangfrequenz vorzugsweise mit einer Genauigkeit von einem Zehntel Hertz oder sogar von wenigen Hundertstel Hertz durchgeführt. Dies wird entweder mittels einer sehr hohen Abtastfrequenz und/oder durch ein entsprechend langes Abtastintervall erreicht. Die Drehklangfrequenz f_D wird mittels Signalanalyse, insbesondere Frequenzanalyse, beispielsweise durch eine Fast-FourierTransformation (FFT) oder eine Autokorrelationsanalyse ermittelt. Aus der Drehklangfrequenz f_D lässt sich, wie bereits dargelegt, die Antriebsdrehzahl n der Kreiselpumpe oder des diese antreibenden Antriebsmotors ermitteln.

[0063] Die Figuren Fig. 5a und 5b dienen der Erläuterung des Verfahrensschrittes 25. Fig. 5a zeigt eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie $M(n)$, nachfolgend auch n - M -Kennlinie genannt, eines Asynchronmotors. Bei einer solchen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie $M(n)$ wird das Drehmoment M über der Drehzahl n des Asynchronmotors aufgetragen. Diese an sich für einen Asynchronmotor bekannte und typische Kennlinie zeigt den Bemessungs- oder Nennbetriebspunkt eines Asynchronmotors bei einem Punkt (M_N, n_N) bei Nenndrehmoment M_N und Nenndrehzahl n_N , hier eingekreist. Bei der synchronen Drehzahl n_0 ist das Drehmoment des Asynchronmotors gleich 0. Formelmäßig ergibt sich das Drehmoment $M(n)$ zu

$$M(n) = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{n_0 - n}{n_0 - n_k} + \frac{n_0 - n_k}{n_0 - n}} \quad (4)$$

[0064] Fig. 6 a zeigt eine daraus abgeleitete Drehzahl-Leistungs-Kennlinie oder n - P -Kennlinie des Asynchronmotors mit

$$P_2(n) = \frac{4 \cdot \pi \cdot n \cdot M_k}{\frac{n_0 - n}{n_0 - n_k} + \frac{n_0 - n_k}{n_0 - n}} \quad (13)$$

[0065] Die zur Berechnung der Kennlinie $M(n)$ bzw. $P_2(n)$ erforderlichen Motorparameter sind dabei aus Typenschilddaten eines Asynchronmotors ableitbar. Dabei ist es von besonderem Vorteil, wenn alleine aus den Typenschilddaten Bemessungsleistung P_{2N} und Bemessungsdrehzahl n_N der Verlauf der n - P -Kennlinie bestimmt wird. Aus diesen beiden,

üblicherweise auf jedem Asynchronmotor auf dessen Typenschild ersichtlichen Parametern lässt sich die synchrone Drehzahl n_0 ableiten. Das Kippmoment M_k ist üblicherweise aus Herstellerangaben bekannt oder kann überschlägig auf ein geeignetes Vielfaches, beispielsweise auf das Dreifache, des Nennmomentes gesetzt werden. Die Kippdrehzahl n_k kann gemäß Formel (5) berechnet werden.

[0066] Im Betriebsbereich einer Arbeitsmaschine kann die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Asynchronmotors aus Fig. 5a als Gerade durch die Punkte $(M_N; n_N)$, gegeben durch Nenndrehmoment M_N bei Nenndrehzahl n_N , und $(M = 0; n_0)$, gegeben durch Drehmoment $M = 0$ bei synchroner Drehzahl n_0 , angenähert werden. Es ergibt sich folgende vereinfachte Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie, n-M-Kennlinie des Asynchronmotors:

$$M(n) = M_N \cdot \frac{n - n_0}{n_N - n_0} \quad (6)$$

[0067] Diese angenäherte oder vereinfachte Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ist in Fig. 5b und die daraus abgeleitete vereinfachte Drehzahl-Leistungs-Kennlinie in Fig. 6b dargestellt:

$$P_2(n) = P_{2N} \cdot \frac{n - n_0}{n_N - n_0} \quad (15)$$

[0068] In beiden Fällen, mit vereinfachter linearer n-P-Kennlinie gemäß Formel (15) oder unter Verwendung der Kloss'schen Formel abgeleiteter n-P-Kennlinie gemäß Formel (13), ist aus der Antriebsdrehzahl n in einem Verfahrensschritt 25 die von einer Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung $P_2(n)$ bestimmbar.

[0069] Mit Kenntnis der aufgenommenen Leistung P_2 der Arbeitsmaschine und unter Verwendung der Q-P-Kennlinie kann die Fördermenge Q in einem Verfahrensschritt 26 bestimmt werden.

[0070] Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung eines alternativen, erfindungsgemäßen Verfahrens 21 unter Verwendung einer lastabhängigen Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie oder n-Q-Kennlinie. Bei diesem Verfahren ist in einem Datenspeicher 33 die Schaufelzahl z sowie eine lastabhängige Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie $n(Q)$, gegeben durch mehrere (i) Stützwerte $(n_{-1}; Q_{-1})$, $(n_{-2}; Q_{-2})$, ... $(n_{-j}; Q_{-j})$, gespeichert. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass eine auswertbare Drehzahländerung über den Förderstrombereich existiert. Eine solche lastabhängige Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie kann während eines regulären Betriebs der Pumpe lernend ermittelt und gespeichert werden. Alternativ kann in einem Testlauf der Pumpe, der beispielsweise bei einer Inbetriebnahme der Pumpe erfolgt, für mehrere Betriebspunkte mit bekannter Fördermenge, darunter beispielsweise Q_0 , Q_{max} , die jeweilige Betriebsdrehzahl ermittelt und gespeichert werden. Wiederum erfolgt in dem in Fig. 7 dargestellten Verfahren eine Erfassung 22 einer Messgröße und über die Verfahrensschritte 23 und 24 wird die Antriebsdrehzahl n der Arbeitsmaschine ermittelt. In dem in Fig. 7 gezeigten Verfahren wird nun in einem Verfahrensschritt 27 unter Zuhilfenahme der Stützwerte $(n_{-1}; Q_{-1})$, $(n_{-2}; Q_{-2})$, ... $(n_{-j}; Q_{-j})$ die momentane Fördermenge Q ermittelt. Somit kann die Fördermenge Q der Kreiselpumpe direkt aus der Drehzahl n ermittelt werden. Eine solche lastabhängige Drehzahl-Förderstrom-Kennlinie, die üblicherweise für eine Pumpe nicht dokumentiert ist, ist in Fig. 8 gezeigt.

[0071] Fig. 9 zeigt ein kombiniertes Verfahren zur Bestimmung von Q , das eine Betriebspunktbestimmung, sowohl aus der Förderhöhe H und aus der Leistung P_2 durchführt. Auch bei diesem Verfahren wird die Druckpulsation des druckseitigen Druckes p_2 zur Bestimmung der Wellenleistung P_2 und der Fördermenge Q benutzt. Das Verfahren enthält wiederum die bereits in Fig. 3 beschriebenen Verfahrensschritte 23, 24 und 25. In einem Datenspeicher 30 sind wiederum die bereits in Fig. 3 beschriebenen Parameter sowie die Q-P-Kennlinie abgespeichert. Zusätzlich ist die Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie, die Q-H-Kennlinie, der Kreiselpumpe, abgelegt. Dazu wird die Stütztabelle für die Q-P-Kennlinie um entsprechende Förderhöhenwerte H_{-1} , H_{-2} ... H_{-j} ergänzt.

[0072] Zur Bestimmung der Fördermenge Q wird in einem Verfahrensschritt 28 die Fördermenge nach einem kombinierten Verfahren aus Förderstrom-Förderhöhen-Kennlinie und Förderstrom-Leistungs-Kennlinie der Kreiselpumpe bestimmt. Somit ist die Betriebspunktbestimmung genauer und zuverlässiger durchführbar. Die benötigte Förderhöhe H wird in einem Verfahrensschritt 15 aus Enddruck p_2 und Saugdruck p_1 berechnet.

[0073] Fig. 10 zeigt eine Kreiselpumpenanordnung 50, bei der eine Kreiselpumpe 51 über eine Welle 53 mit einem Asynchronmotor 52 verbunden ist, der die Kreiselpumpe 51 antreibt. Dazu wird der Asynchronmotor 52 von einer Netzzuleitung 54 gespeist. Der Asynchronmotor 52 weist ein Typenschild 55 mit charakteristischen Kenngrößen des Asynchronmotors 52 auf. An einem Druckstutzen 56 der Kreiselpumpe 51 ist ein Drucksensor 57 zur Messung des druckseitigen Druckes oder Enddruckes der Kreiselpumpe 51 angeordnet. Der Drucksensor 57 ist über eine Leitung 58 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 61 verbunden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung 61 wertet die Messsignale

des Drucksensors 57 aus und bestimmt den Betriebspunkt der Arbeitsmaschine 51. Sie nutzt dazu das erfindungsgemäße Verfahren. Zur Durchführung des Verfahrens genügen als charakteristische Kenngrößen des Asynchronmotors die Typenschilddaten Nennleistung P_{2N} und die Nenndrehzahl n_N . Alle anderen Motorparameter sind daraus ableitbar oder berechenbar. Die Vorrichtung 61 hat einen zur Erfassung der Drucksignale geeigneten Anschluss oder Signaleingang 62. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, den Signaleingang 62 für Signalanteile bis zu 500 Hz auszulegen. Ein solcher Eingang ist kostengünstiger als ein hochdynamischer Eingang, der Signale im Frequenzbereich von einigen Kilohertz erfassen kann, und bietet die Möglichkeit einer ausreichend schnellen und empfindlichen Signalerfassung. Weiterhin besitzt die Vorrichtung 61 eine Signalverarbeitungseinheit 64, die die Drehklangfrequenz f_D in einer ausreichenden Genauigkeit ermittelt. Die Signalverarbeitungseinheit 64 ist in der Lage, die Drehklangfrequenz mit einer Genauigkeit von einem Zehntel Hertz oder von wenigen Hundertstel Hertz zu bestimmen. Sie verfügt über eine hohe Abtastfrequenz und/oder über entsprechend lange Abtastintervalle. Das in der Vorrichtung 61 ablaufende Verfahren wird von einer Recheneinheit 65 gesteuert und koordiniert. Weiterhin weist die Vorrichtung 61 eine Anzeige- und/oder Bedieneinheit 66 auf. An der Vorrichtung kann ein, hier nicht dargestellter, weiterer Drucksensoranschluss vorgesehen sein, der beispielsweise zur Erfassung eines Pumpensaugdruckes dient. Darüber hinaus kann die Vorrichtung weitere, hier nicht dargestellte Signaleingänge und/oder eine serielle Busschnittstelle, beispielsweise zum Ein- oder Auslesen von Parametern, aufweisen.

[0074] Fig. 11 zeigt eine Kreiselpumpenanordnung, bestehend aus Kreiselpumpe 51 und Asynchronmotor 52, und eine Vorrichtung zur Betriebspunktbestimmung in Form eines Mobiltelefons 71. Diese bestimmt den Betriebspunkt der Kreiselpumpe 51 aus dem von der Kreiselpumpe 51 übertragenen Luftschall. Dazu weist das Mobiltelefon 71 ein integriertes Mikrofon 72 auf. Das Mobiltelefon 71 nutzt in diesem Ausführungsbeispiel das erfindungsgemäße Verfahren. Dazu kann in einem - hier nicht dargestellten - Datenspeicher des Mobiltelefons 71 ein entsprechender Programmablauf gespeichert sein, der von einer in dem Mobiltelefon befindlichen - hier nicht dargestellten Recheneinheit - abgearbeitet wird.

[0075] Die Vorrichtung kann auch, wie in Fig. 12 dargestellt, räumlich getrennt von einer Arbeitsmaschine deren Betriebspunkt bestimmen. In Fig. 12 ist die gleiche Kreiselpumpenanordnung wie in Fig. 11, bestehend aus Kreiselpumpe 51 und Asynchronmotor 52, gezeigt. Ein Mobiltelefon 71 mit integriertem Mikrofon 72 erfasst an einem durch gestrichelte Linie kenntlich gemachten Betriebsort 78 der Kreiselpumpe 51 und des Asynchronmotors 52 die Betriebsgeräusche der Arbeitsmaschine 51. Das Mobiltelefon 71 erfasst dazu die Luftschallsignale der Arbeitsmaschine 51. Eine Vorrichtung 61 zur Betriebspunktbestimmung ist räumlich getrennt von der Arbeitsmaschine 51 angeordnet, an einem Ort 79, an dem die Betriebspunktbestimmung durchgeführt wird. Die Vorrichtung 61 nutzt Telekommunikationsmittel, die als Signalübertragungsmittel dienen, um die Betriebspunktbestimmung räumlich getrennt von der Arbeitsmaschine 51 durchzuführen. Die vom Mobiltelefon 71 erfassten Luftschallsignale der Kreiselpumpe 51 werden mittels Telekommunikationsnetz 77 an die Vorrichtung 61 übertragen oder übermittelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors, wobei eine von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung und/oder deren Fördermenge einen Betriebspunkt charakterisiert, ein oder mehrere betriebspunktabhängige Messgrößen der Arbeitsmaschine durch ein oder mehrere Sensoren erfasst werden und die Messwerte während eines Betriebs der Arbeitsmaschine ausgewertet und/oder gespeichert werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Betriebspunkt ohne die Verwendung von elektrischen Messgrößen des antreibenden Asynchronmotors bestimmt wird, dass aus einer mechanischen Messgröße Druck, Differenzdruck, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall, mittels einer Signalanalyse, insbesondere einer Frequenzanalyse, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz ermittelt wird, wobei daraus die Drehzahl (n) der Antriebsmaschine ermittelt wird und aus der schlupfbedingten Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors (52) der Betriebspunkt bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aufgenommene Leistung (P_2) der Arbeitsmaschine durch folgende Schritte bestimmt wird:

- Bestimmung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52), insbesondere durch vorgegebene Motorparameter Bemessungsleistung (P_{2N}) und Bemessungsdrehzahl (n_N), gegebenenfalls synchrone Drehzahl (n_0), Kippmoment (M_k), Kippdrehzahl (n_k) oder Kippschlupf (s_k).

- Bestimmung der aufgenommenen Leistung (P_2) oder des Drehmomentes (M) des Motors (52) aus ermittelter Antriebsdrehzahl (n) und Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52).

EP 2 433 010 B1

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Pumpe, insbesondere einer Kreiselpumpe (51), als Arbeitsmaschine die Ermittlung einer Fördermenge (Q) der Pumpe aus deren Antriebsdrehzahl (n) erfolgt.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fördermenge (Q) der Pumpe aus der aus der Antriebsdrehzahl (n) ermittelten aufgenommenen Leistung (P_2) bestimmt wird.
- 10 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fördermenge (Q) der Pumpe aus Parametern des Motors (52), die eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52) beschreiben, sowie aus Parametern der Pumpe, die eine Förderstrom-Leistungs-Kennlinie (10) beschreiben, und der Antriebsdrehzahl (n) bestimmt wird.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fördermenge (Q) der Kreiselpumpe (51) aus einer Kennlinie, die die lastabhängige Drehzahländerung über der Fördermenge (Q) der Pumpe darstellt, bestimmt wird.
- 20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antriebsdrehzahl (n) zur Bestimmung des Betriebspunktes der Pumpe, insbesondere der Kreiselpumpe (51), aus Messwerten von ein oder mehreren Drucksensoren (57) ermittelt wird.
- 25 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antriebsdrehzahl (n) zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors (52) aus Messwerten von ein oder mehreren Körperschall- und/oder Luftschallsensoren ermittelt wird.
- 30 9. Verfahren zur Überwachung des nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ermittelten Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand eines außerhalb eines vorgegebenen Bereichs befindlichen Betriebspunktes ein fehlerhafter Betriebszustand, insbesondere als Über- oder Unterlast, der Arbeitsmaschine und/oder des Asynchronmotors (52) erkannt wird.
- 35 10. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung eines Betriebspunktes einer Arbeitsmaschine und/oder eines diese antreibenden Asynchronmotors, wobei die von der Arbeitsmaschine aufgenommene Leistung und/oder deren Fördermenge einen Betriebspunkt charakterisiert, mit ein oder mehreren Eingängen zur Erfassung von betriebspunktabhängigen Messgrößen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) einen Datenspeicher (30, 33) für technologische Daten der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors aufweist und aus einer mechanischen Messgröße Druck, Differenzdruck, Kraft, Vibration, Körperschall oder Luftschall mittels einer Signalanalyse, insbesondere einer Frequenzanalyse, eine zum Drehklang der Arbeitsmaschine linear proportionale Frequenz ermittelt, daraus die Drehzahl (n) der Arbeitsmaschine ermittelt und aus der schlupfbedingten Drehzahl-Drehmoment-Abhängigkeit des Asynchronmotors (52) den Betriebspunkt aus nicht elektrischen Messgrößen bestimmt und gegebenenfalls überwacht.
- 40 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aufgenommene Leistung der Arbeitsmaschine durch folgende Schritte bestimmt ist:
 - 45 - Bestimmung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52), insbesondere durch vorgegebene Motorparameter Bemessungsleistung (P_{2N}) und Bemessungsdrehzahl (n_N), gegebenenfalls synchrone Drehzahl (n_0), Kippmoment (M_k), Kippdrehzahl (n_k) oder Kippschlupf (s_k)
 - Bestimmung der aufgenommenen Leistung (P_2) oder des Drehmomentes (M) des Motors (52) aus der Antriebsdrehzahl (n) und der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52).
- 50 12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Arbeitsmaschine eine Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe (51), ist und die Betriebspunktbestimmung die Ermittlung einer Fördermenge (Q) der Pumpe aus der Antriebsdrehzahl (n) beinhaltet.
- 55 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) die Fördermenge (Q) der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe (51), aus der aus der Antriebsdrehzahl (n) ermittelten aufgenommenen Leistung (P_2) bestimmt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) die Fördermenge (Q)

der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe (51), aus Parametern des Motors (52), die eine Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie ($M(n)$) des Motors (52) beschreiben, sowie aus Parametern der Pumpe, die eine Förderstrom-Leistungskennlinie (10) beschreiben, und der Antriebsdrehzahl (n) bestimmt.

- 5 15. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) die Fördermenge (Q) der Pumpe, insbesondere Kreiselpumpe (51), aus einer Kennlinie, die die lastabhängige Drehzahländerung über der Fördermenge (Q) der Pumpe darstellt, bestimmt.
- 10 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) mindestens einen Signaleingang (62) für einen Drucksensor (57) aufweist und aus Messwerten eines angeschlossenen Drucksensors (57) die Antriebsdrehzahl (n) zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine ermittelt.
- 15 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) mindestens einen Signaleingang für einen Körperschall- und/oder Luftschallsensor aufweist und aus Messwerten eines angeschlossenen Körperschall- und/oder Luftschallsensors die Antriebsdrehzahl (n) zur Bestimmung des Betriebspunktes der Arbeitsmaschine und/oder des diese antreibenden Asynchronmotors (52) ermittelt.
- 20 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15 oder 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zur Erfassung von betriebspunktabhängigen Messgrößen mit einem Mikrofon (72) verbindbar ist oder ein integriertes Mikrofon (72) aufweist.
- 25 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein Telefon, insbesondere ein Mobiltelefon (71), zur Erfassung der Betriebsgeräusche der Arbeitsmaschine und zur Betriebspunktbestimmung und/oder-Überwachung ist.
- 30 20. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (61) Telekommunikationsmittel, insbesondere ein Telefon oder Mobiltelefon (71) und ein Telekommunikationsnetz (77) nutzt, um die Betriebspunktbestimmung und/oder -Überwachung an einem anderen Ort (79) als dem Betriebsort (78) der Arbeitsmaschine durchzuführen.

Claims

- 35 1. Method for determining an operating point of a work machine and/or of an asynchronous motor driving the latter, a power input of the work machine and/or its delivery rate characterizing an operating point, one or more operating point-dependent measurement variables of the work machine being detected by one or more sensors, and the measurement values being evaluated and/or stored while the work machine is in operation, **characterized in that** the operating point is determined without the use of electrical measurement variables of the driving asynchronous motor, and **in that** a frequency linearly proportional to the rotational sound of the work machine is determined from a mechanical measurement variable, namely pressure, differential pressure, force, vibration, solid-borne noise or airborne noise, by means of signal analysis, in particular frequency analysis, the rotational speed (n) of the drive machine being determined from this, and the operating point being determined from the slip-induced rotational speed/torque dependence of the asynchronous motor (52).
- 40
- 45 2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the power input (P_2) of the work machine is determined by means of the following steps:
- determination of the rotational speed/torque characteristic curve ($M(n)$) of the motor (52), in particular by means of stipulated motor parameters, namely design power (P_{2N}) and design rotational speed (n_N), if appropriate synchronous rotational speed (n_0), pull-out torque (M_k), pull-out rotational speed (n_k) or pull-out slip (s_k).
 - determination of the power input (P_2) or torque (M) of the motor (52) from the determined drive rotational speed (n) and rotational speed/torque characteristic curve ($M(n)$) of the motor (52).
- 50
- 55 3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that**, in the case of a pump, in particular a centrifugal pump (51), as a work machine, a delivery rate (Q) of the pump is determined from its drive rotational speed (n).
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the delivery rate (Q) of the pump is determined from the power input (P_2) determined from the drive rotational speed (n).

- 5
- 6
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
5. Method according to Claim 3 or 4, **characterized in that** the delivery rate (Q) of the pump is determined from parameters of the motor (52), which describe a rotational speed/torque characteristic curve (M(n)) of the motor (52), and also from parameters of the pump, which describe a delivery flow/power characteristic curve (10), and from the drive rotational speed (n).
 6. Method according to Claim 3, **characterized in that** the delivery rate (Q) of the centrifugal pump (51) is determined from a characteristic curve which represents the load-dependent rotational speed change against the delivery rate (Q) of the pump.
 7. Method according to one of Claims 3 to 6, **characterized in that** the drive rotational speed (n) is determined from measurement values of one or more pressure sensors (57) for the purpose of determining the operating point of the pump, in particular the centrifugal pump (51).
 8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the drive rotational speed (n) is determined from measurement values of one or more solid-borne noise and/or airborne noise sensors for the purpose of determining the operating point of the work machine and/or of the asynchronous motor (52) driving the latter.
 9. Method for monitoring the operating point, determined according to one of Claims 1 to 8, of a work machine and/or of an asynchronous motor driving the latter, **characterized in that** a faulty operating state, in particular overload or underload, of the work machine and/or of the asynchronous motor (52) is detected on the basis of an operating point which is located outside a stipulated range.
 10. Device for determining and/or monitoring an operating point of a work machine and/or of an asynchronous motor driving the latter, the power input of the work machine and/or its delivery rate characterizing an operating point, with one or more inputs for the detection of operating point-dependent measurement variables, **characterized in that** the device (61) has a data store (30, 33) for technological data of the work machine and/or of the asynchronous motor driving the latter, and determines a frequency linearly proportional to the rotational sound of the work machine from a mechanical measurement variable, namely pressure, differential pressure, force, vibration, solid-borne noise or airborne noise, by means of signal analysis, in particular frequency analysis, determines the rotational speed (n) of the drive machine from this, and determines and, if appropriate, monitors the operating point from non-electrical measurement variables from the slip-induced rotational speed/torque dependence of the asynchronous motor (52).
 11. Device according to Claim 10, **characterized in that** the power input of the work machine is determined by means of the following steps:
 - determination of the rotational speed/torque characteristic curve (M(n)) of the motor (52), in particular by means of stipulated motor parameters, namely design power (P_{2N}) and design rotational speed (n_N), if appropriate synchronous rotational speed (n_0), pull-out torque (M_k), pull-out rotational speed (n_k) or pull-out slip (s_k)
 - determination of the power input (P_2) or torque (M) of the motor (52) from the drive rotational speed (n) and the rotational speed/torque characteristic curve (M(n)) of the motor (52).
 12. Device according to Claim 10 or 11, **characterized in that** the work machine is a pump, in particular a centrifugal pump (51), and operating point determination involves determining a delivery rate (Q) of the pump from the drive rotational speed (n).
 13. Device according to Claim 12, **characterized in that** the device (61) determines the delivery rate (Q) of the pump, in particular centrifugal pump (51), from the power input (P_2) determined from the drive rotational speed (n).
 14. Device according to Claim 12 or 13, **characterized in that** the device (61) determines the delivery rate (Q) of the pump, in particular centrifugal pump (51), from parameters of the motor (52), which describe a rotational speed/torque characteristic curve (M(n)) of the motor (52), and also from parameters of the pump, which describe a delivery flow/power characteristic curve (10), and from the drive rotational speed (n).
 15. Device according to Claim 12, **characterized in that** the device (61) determines the delivery rate (Q) of the pump, in particular a centrifugal pump (51), from a characteristic curve which represents the load-dependent rotational speed change against the delivery rate (Q) of the pump.
 16. Device according to one of Claims 10 to 15, **characterized in that** the device (61) has at least one signal input (62)

for a pressure sensor (57) and from measurement values of a connected pressure sensor (57) determines the drive rotational speed (n) for the purpose of determining the operating point of the work machine.

- 5 17. Device according to one of Claims 10 to 15, **characterized in that** the device (61) has at least one signal input for a solid-borne noise and/or airborne noise sensor and from measurement values of a connected solid-borne noise and/or airborne noise sensor determines the drive rotational speed (n) for the purpose of determining the operating point of the work machine and/or of the asynchronous motor (52) driving the latter.
- 10 18. Device according to one of Claims 10 to 15 or 17, **characterized in that** the device is connectable to a microphone (72) or has an integrated microphone (72) for the detection of operating point-dependent measurement variables.
19. Device according to Claim 18, **characterized in that** the device is a telephone, in particular a mobile telephone (71), for detecting the operating noises of the work machine and for determining and/or monitoring an operating point.
- 15 20. Device according to Claim 18, **characterized in that** the device (61) uses telecommunication means, in particular a telephone or mobile telephone (71) and a telecommunication network (77), in order to carry out the determination and/or monitoring of an operating point at a location (79) other than the operating location (78) of the work machine.

20 **Revendications**

1. Procédé de détermination d'un point de fonctionnement d'une machine de travail et/ou d'un moteur asynchrone entraînant celle-ci, pour lequel une puissance absorbée par la machine de travail et/ou le débit de celle-ci caractérise un point de fonctionnement, une ou plusieurs valeurs de mesure de la machine de travail, dépendant du point de
25 fonctionnement, sont saisies par un ou plusieurs capteurs et les valeurs de mesure sont évaluées et/ou mémorisées pendant un fonctionnement de la machine de travail
caractérisé en ce que
le point de fonctionnement est déterminé sans l'utilisation des valeurs de mesure électriques du moteur asynchrone entraînant, **en ce qu'**à partir d'une valeur de mesure mécanique, pression, pression différentielle, force, vibrations,
30 bruit structural ou bruit aérien, au moyen d'une analyse de signaux, en particulier d'une analyse de fréquence, on détermine une fréquence linéairement proportionnelle au son de rotation de la machine de travail, pour lequel la vitesse de rotation (n) de la machine de travail est déterminée à partir de celle-ci et le point de fonctionnement est déterminé à partir de la fonction Vitesse de rotation-Couple du moteur asynchrone (52), conditionnée par le glissement.
- 35 2. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** la puissance absorbée (P_2) de la machine de travail est déterminée par les phases suivantes :
- détermination de la courbe Vitesse de rotation-Couple ($M(n)$) du moteur (52), en particulier par les paramètres du moteur préalablement définis : puissance assignée (P_{2N}) et vitesse de rotation assignée (n_N), le cas échéant vitesse de rotation synchrone (n_0), couple de décrochage (M_k), vitesse de rotation au décrochage (n_k) ou glissement au décrochage (S_k).
- détermination de la puissance absorbée (P_2) ou du couple (M) du moteur (52) à partir de la vitesse d'entraînement déterminée (n) et de la courbe Vitesse de rotation-Couple ($M(n)$) du moteur (52).
- 45 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** pour une pompe, en particulier pour une pompe centrifuge (51), en tant que machine de travail, la détermination d'un débit (Q) de la pompe a lieu à partir de sa vitesse d'entraînement (n).
- 50 4. Procédé selon la revendication 3 **caractérisé en ce que** le débit (Q) de la pompe est déterminé à partir de la puissance absorbée (P_2) définie à partir de la vitesse d'entraînement (n).
5. Procédé selon la revendication 3 ou 4 **caractérisé en ce que** le débit (Q) de la pompe est déterminé à partir des paramètres du moteur (52) qui décrivent une courbe Vitesse de rotation-Couple ($M(n)$) du moteur (52) ainsi qu'à partir des paramètres de la pompe qui décrivent une courbe Débit-Puissance (10) et de la vitesse d'entraînement (n).
- 55 6. Procédé selon la revendication 3 **caractérisé en ce que** le débit (Q) de la pompe centrifuge (51) est déterminé à partir d'une courbe qui représente la variation de vitesse sur le débit (Q) de la pompe, en fonction de la charge.

EP 2 433 010 B1

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6 **caractérisé en ce que** la vitesse d'entraînement (n) pour la détermination du point de fonctionnement de la pompe, en particulier de la pompe centrifuge (51), est déterminée à partir des valeurs de mesure d'un ou plusieurs capteurs de pression (57).
- 5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 **caractérisé en ce que** la vitesse d'entraînement (n) pour la détermination du point de fonctionnement de la machine de travail et/ou du moteur asynchrone (52) entraînant celle-ci, est déterminée à partir de valeurs de mesure d'un ou plusieurs capteurs de bruit structural et/ou bruit aérien.
- 10 9. Procédé pour la surveillance du point de fonctionnement d'une machine de travail et/ou d'un moteur asynchrone entraînant celle-ci selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 **caractérisé en ce qu'**à l'aide d'un point de fonctionnement se trouvant à l'extérieur d'une zone préalablement définie, on peut identifier un état de fonctionnement défectueux, en particulier en tant que surcharge ou sous-charge, de la machine de travail et/ou du moteur asynchrone (52).
- 15 10. Dispositif pour la détermination et/ou la surveillance d'un point de fonctionnement d'une machine de travail et/ou d'un moteur asynchrone entraînant celle-ci, pour lequel la puissance absorbée par la machine de travail et/ou le débit de celle-ci caractérise un point de fonctionnement avec une ou plusieurs entrées pour la saisie de valeurs de mesure dépendant du point de fonctionnement, **caractérisé en ce que** le dispositif (61) comporte une mémoire de données (30, 33) pour les données technologiques de la machine de travail et/ou du moteur asynchrone qui entraîne celle-ci et à partir d'une valeur de mesure mécanique, pression, pression différentielle, force, vibrations, son structural ou son aérien, au moyen d'une analyse de signaux,
- 20 en particulier d'une analyse de fréquence, détermine une fréquence linéairement proportionnelle au son de rotation de la machine de travail et détermine à partir de celle-ci la vitesse de rotation (n) de la machine de travail et détermine et le cas échéant surveille à partir de la fonction Vitesse de rotation-Couple conditionnée par le glissement du moteur asynchrone (52), le point de fonctionnement à partir de valeurs de mesure non électriques.
- 25 11. Dispositif selon la revendication 10 **caractérisé en ce que** la puissance absorbée de la machine de travail est déterminée par les phases suivantes :
- 30 - détermination de la courbe Vitesse de rotation-Couple (M(n)) du moteur (52), en particulier par les paramètres du moteur préalablement définis : puissance assignée (P_{2N}) et vitesse de rotation assignée (n_N), le cas échéant vitesse de rotation synchrone (n_0), couple de décrochage (M_k), vitesse de rotation au décrochage (n_k) ou glissement au décrochage (S_k).
- 35 - détermination de la puissance absorbée (P_2) ou du couple (M) du moteur (52) à partir de la vitesse d'entraînement (n) et de la courbe Vitesse de rotation-Couple (M(n)) du moteur (52).
12. Dispositif selon la revendication 10 ou 11 **caractérisé en ce que** la machine de travail est une pompe, en particulier une pompe centrifuge (51) et la détermination du point de fonctionnement contient la détermination d'un débit (Q) de la pompe à partir de la vitesse d'entraînement (n).
- 40 13. Dispositif selon la revendication 12 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) détermine le débit (Q) de la pompe, en particulier de la pompe centrifuge (51), à partir de la puissance absorbée (P_2) définie à partir de la vitesse d'entraînement (n).
- 45 14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) détermine le débit (Q) de la pompe, en particulier de la pompe centrifuge (51) à partir des paramètres du moteur (52), qui décrivent une courbe Vitesse de rotation-Couple (M(n)) du moteur (52) ainsi qu'à partir des paramètres de la pompe qui décrivent une courbe Débit-Puissance (10) et de la vitesse d'entraînement (n).
- 50 15. Dispositif selon la revendication 12 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) détermine le débit (Q) de la pompe, en particulier de la pompe centrifuge (51) à partir d'une courbe qui représente la variation de vitesse sur le débit (Q) de la pompe, en fonction de la charge.
- 55 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 15 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) comporte au moins une entrée de signaux (62) pour un capteur de pression (57) et détermine la vitesse d'entraînement (n) à des fins de déterminer le point de fonctionnement de la machine de travail à partir des valeurs de mesure d'un capteur de pression (57) connecté.

EP 2 433 010 B1

5 17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 15 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) comporte au moins une entrée de signaux pour un capteur de bruit structural et/ou de bruit aérien et détermine la vitesse d'entraînement (n) à des fins de déterminer le point de fonctionnement de la machine de travail et/ou du moteur asynchrone (52) entraînant celle-ci, à partir de valeurs de mesure d'un capteur de bruit structural et/ou de bruit aérien connecté.

10 18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 15 ou 17 **caractérisé en ce que** le dispositif destiné à la saisie des valeurs de mesure en fonction du point de fonctionnement peut être relié à un microphone (72) ou comporte un microphone (72) intégré.

15 19. Dispositif selon la revendication 18 **caractérisé en ce que** le dispositif est un téléphone, en particulier un téléphone mobile (71), destiné à la saisie des bruits de fonctionnement de la machine de travail et à la détermination et/ou surveillance du point de fonctionnement.

20 20. Dispositif selon la revendication 18 **caractérisé en ce que** le dispositif (61) utilise des moyens de télécommunication, en particulier un téléphone ou téléphone mobile (71) et un réseau de télécommunication (77) pour effectuer la détermination et/ou surveillance du point de fonctionnement dans un autre endroit (79) que le lieu de fonctionnement (78) de la machine de travail.

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1a

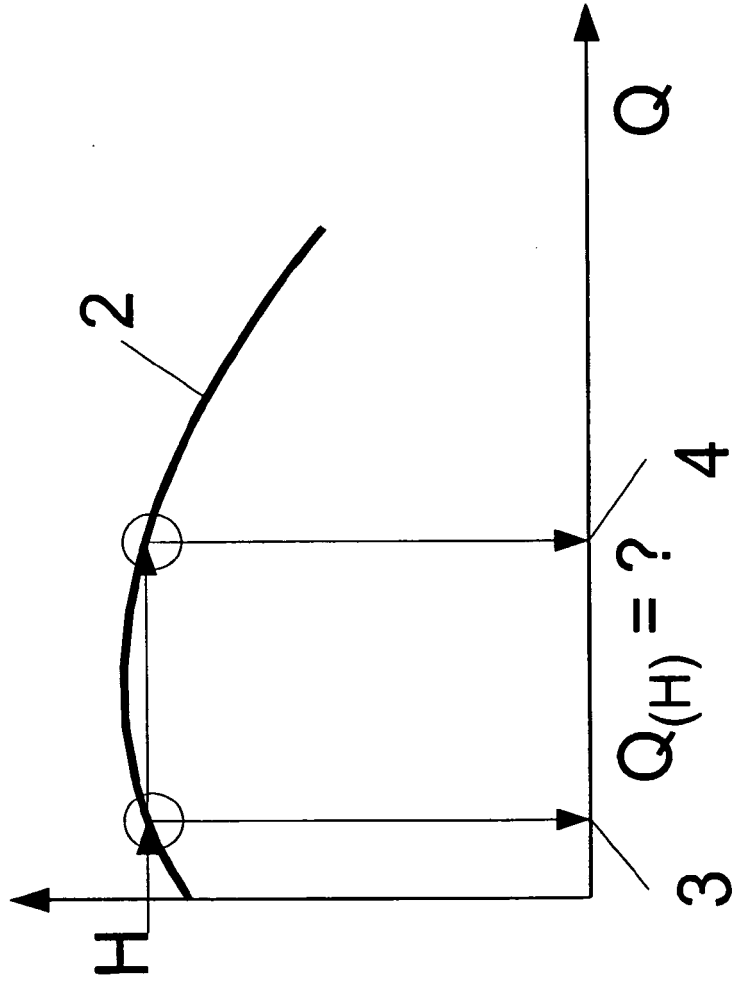
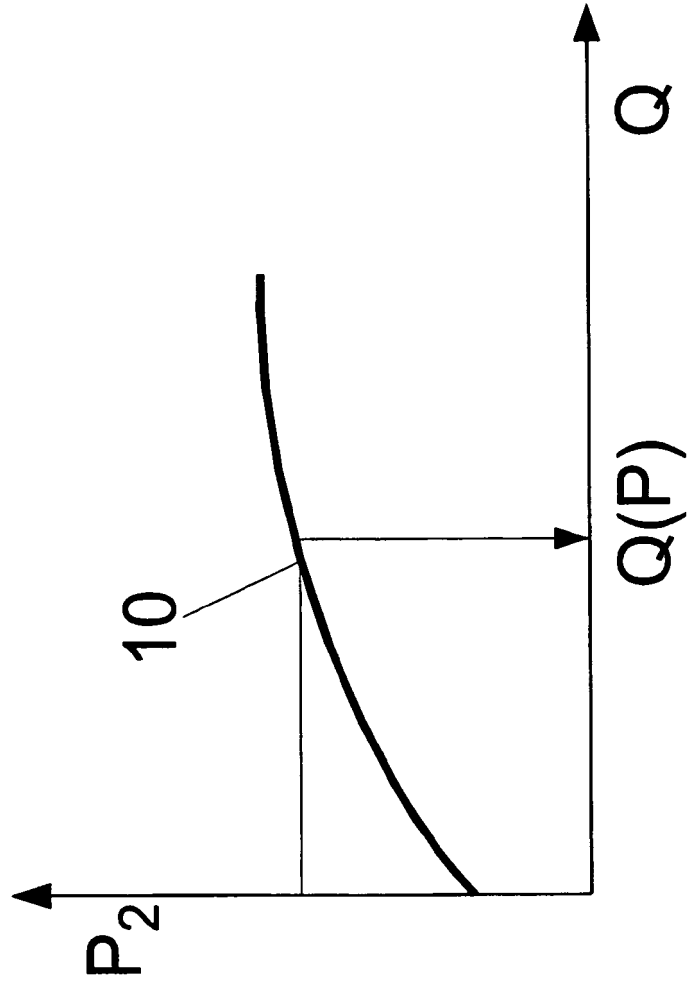


Fig. 1b



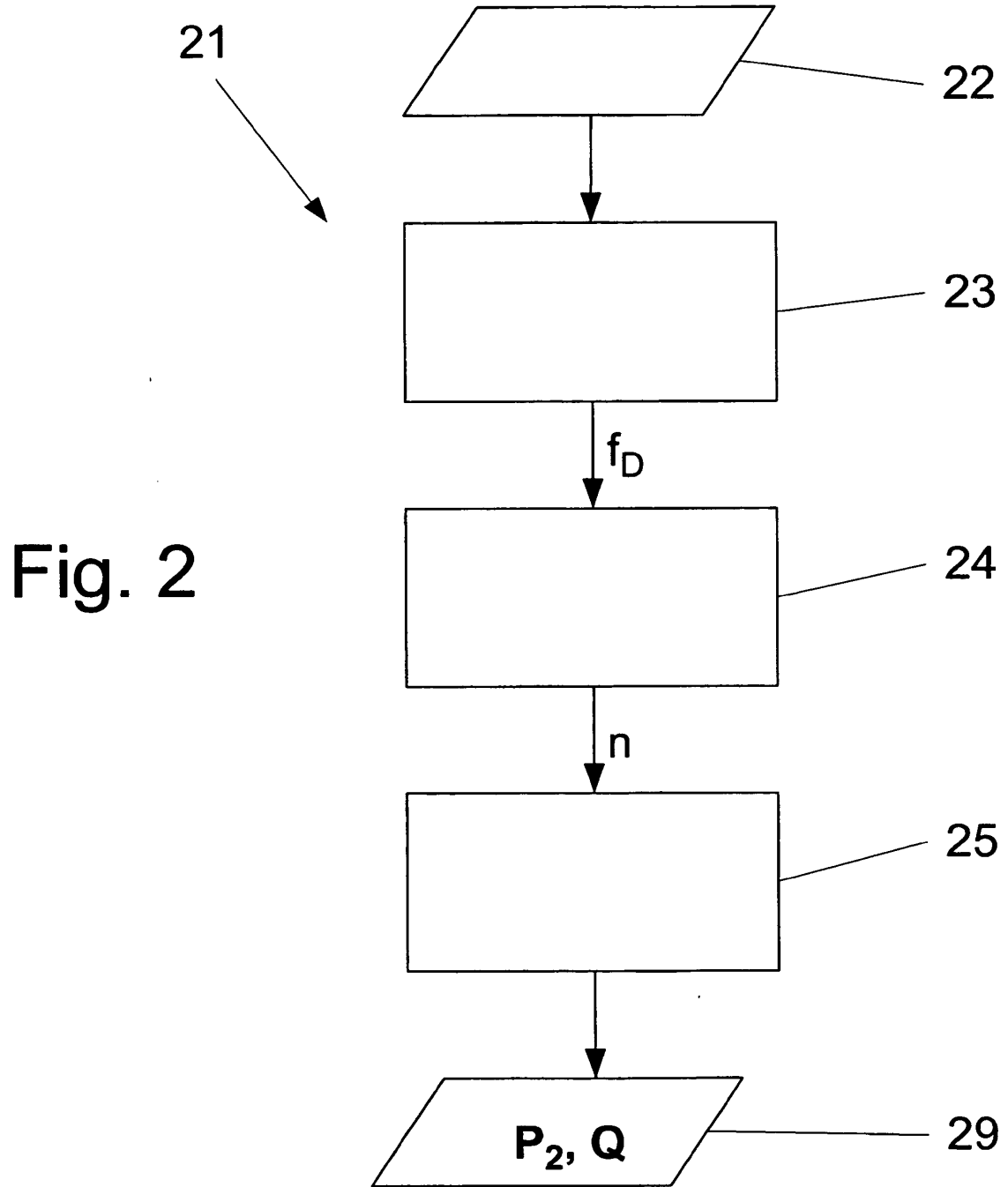


Fig. 3

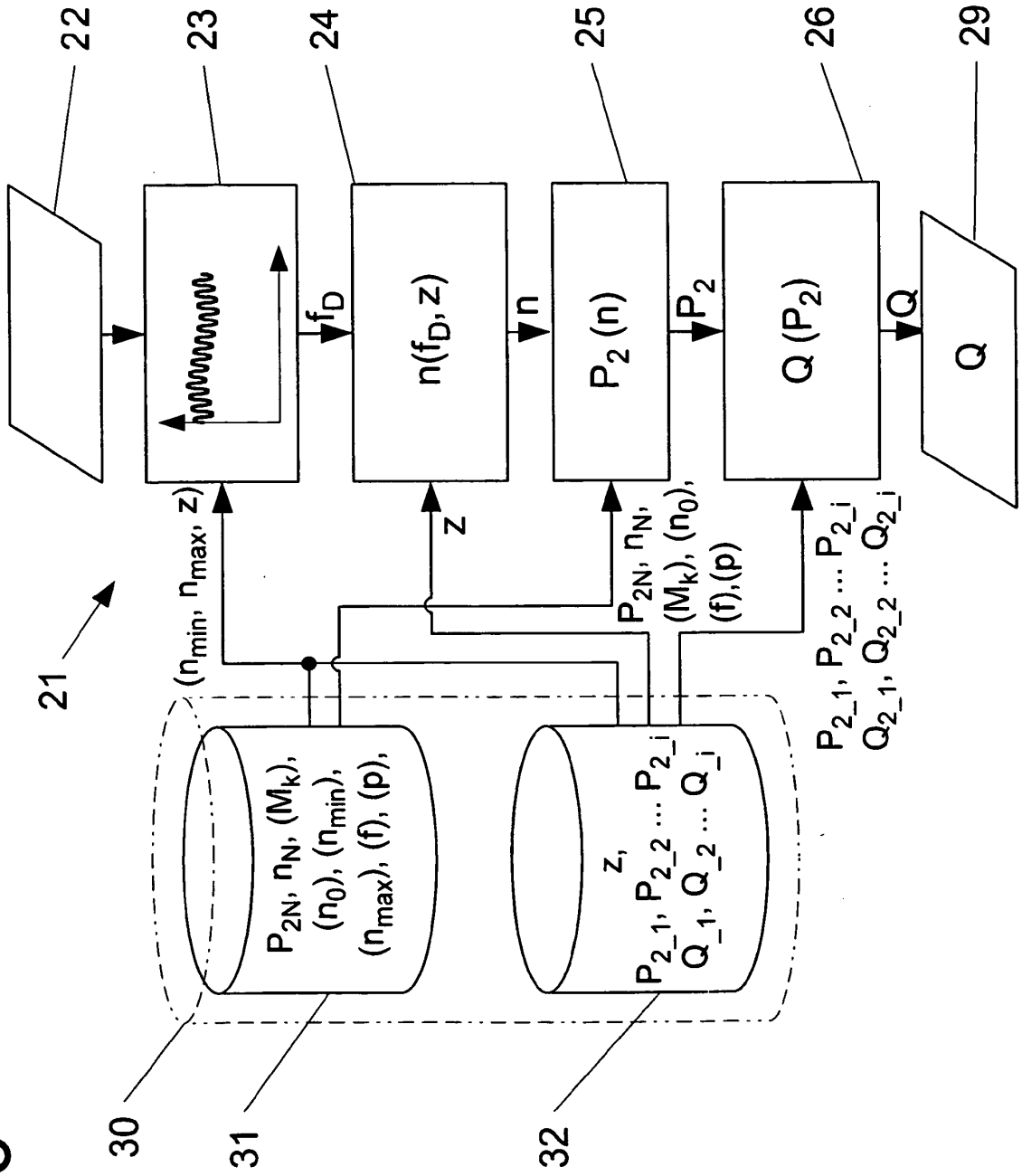


Fig. 4a

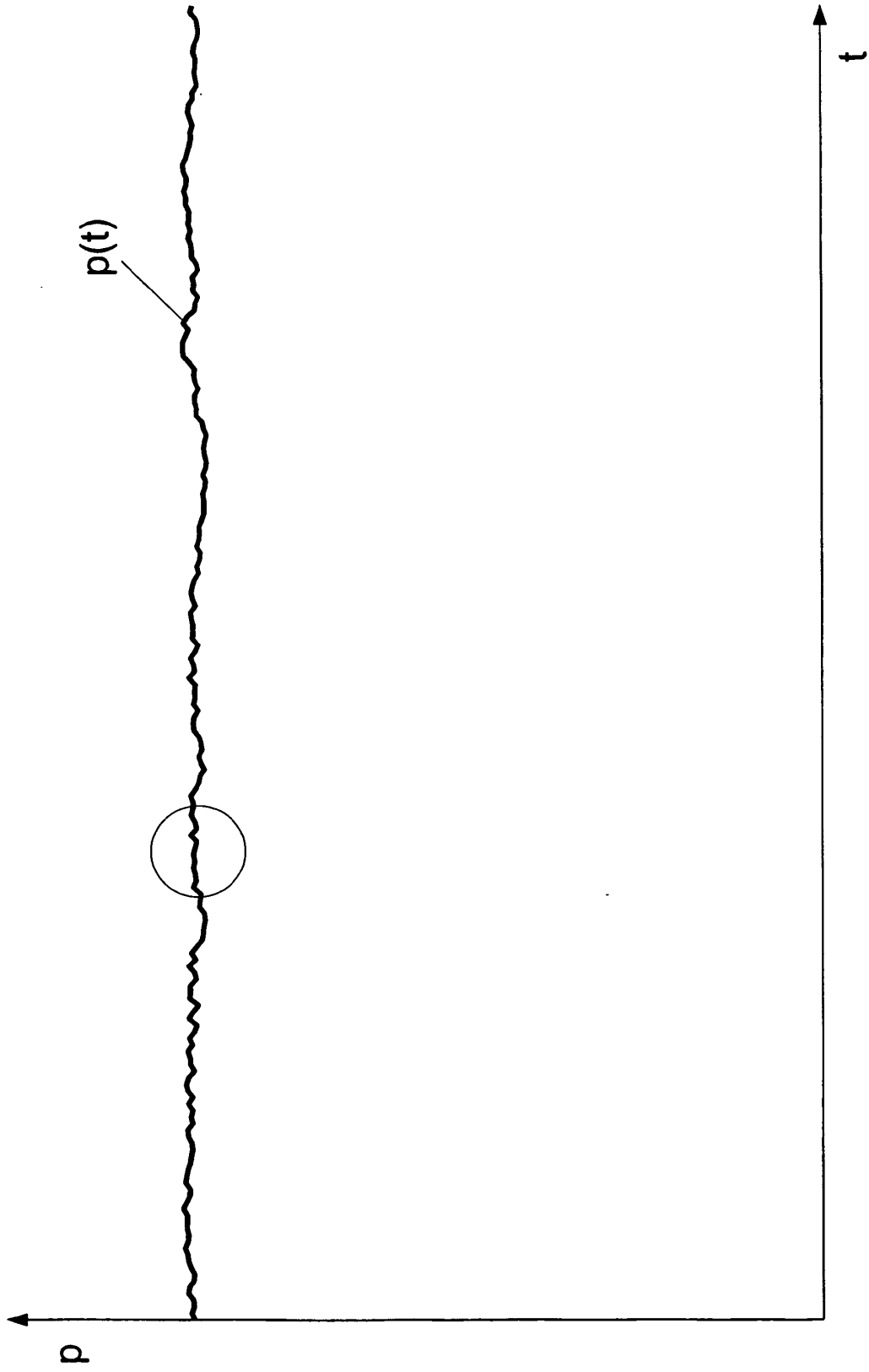


Fig. 4b

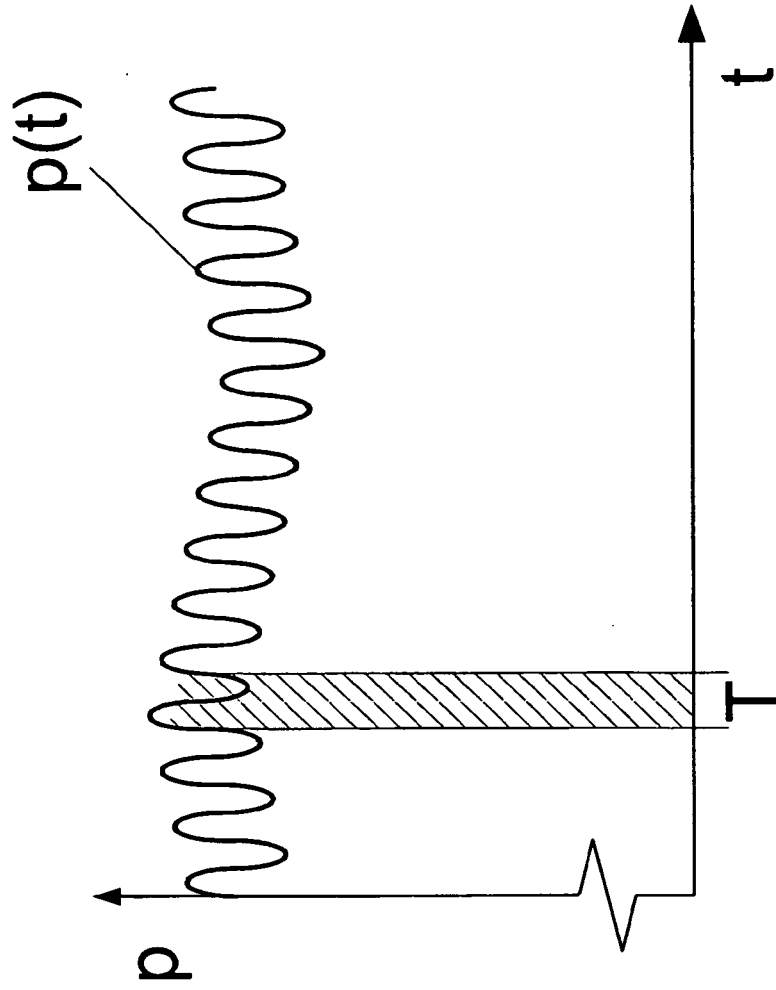


Fig. 5a

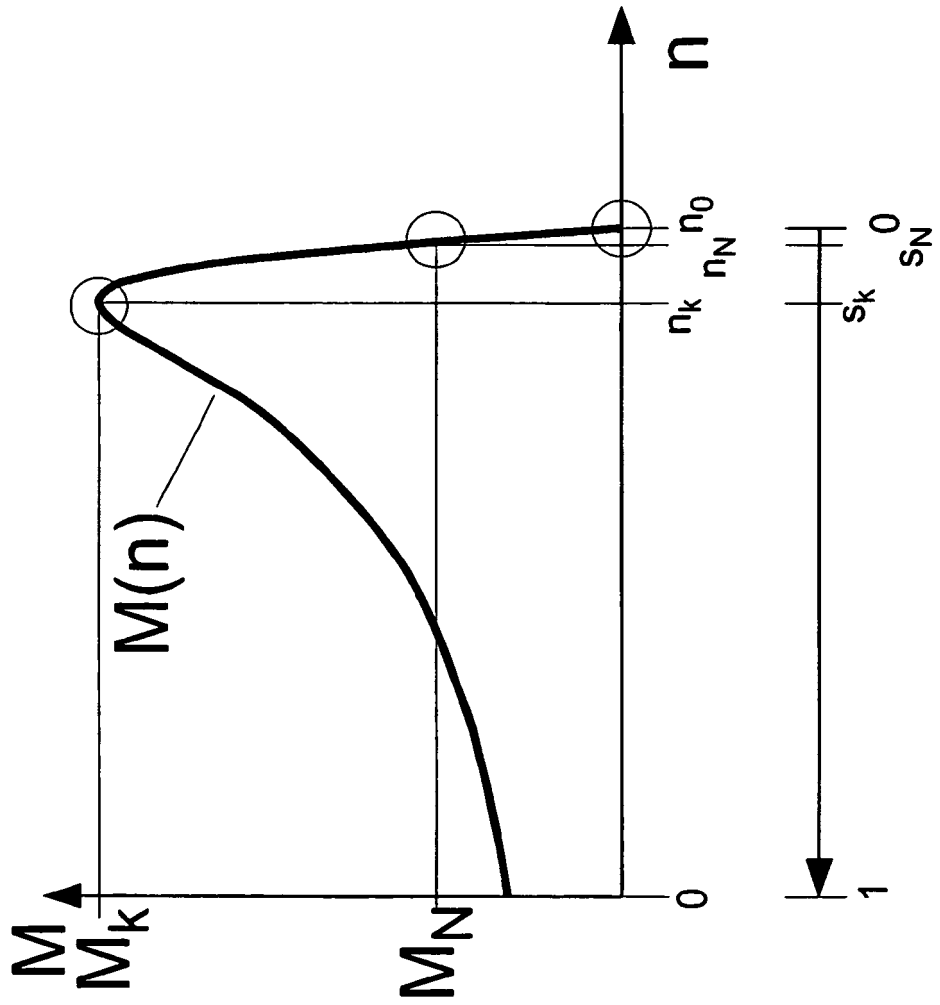


Fig. 5b

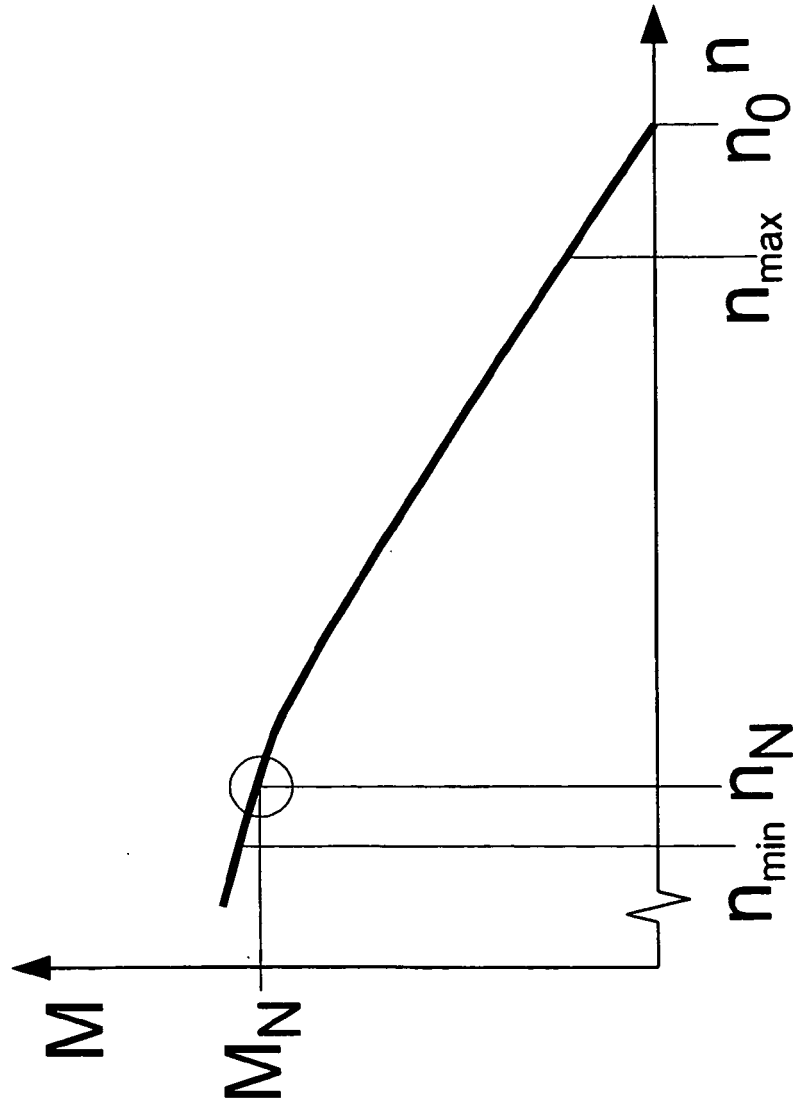


Fig. 6a

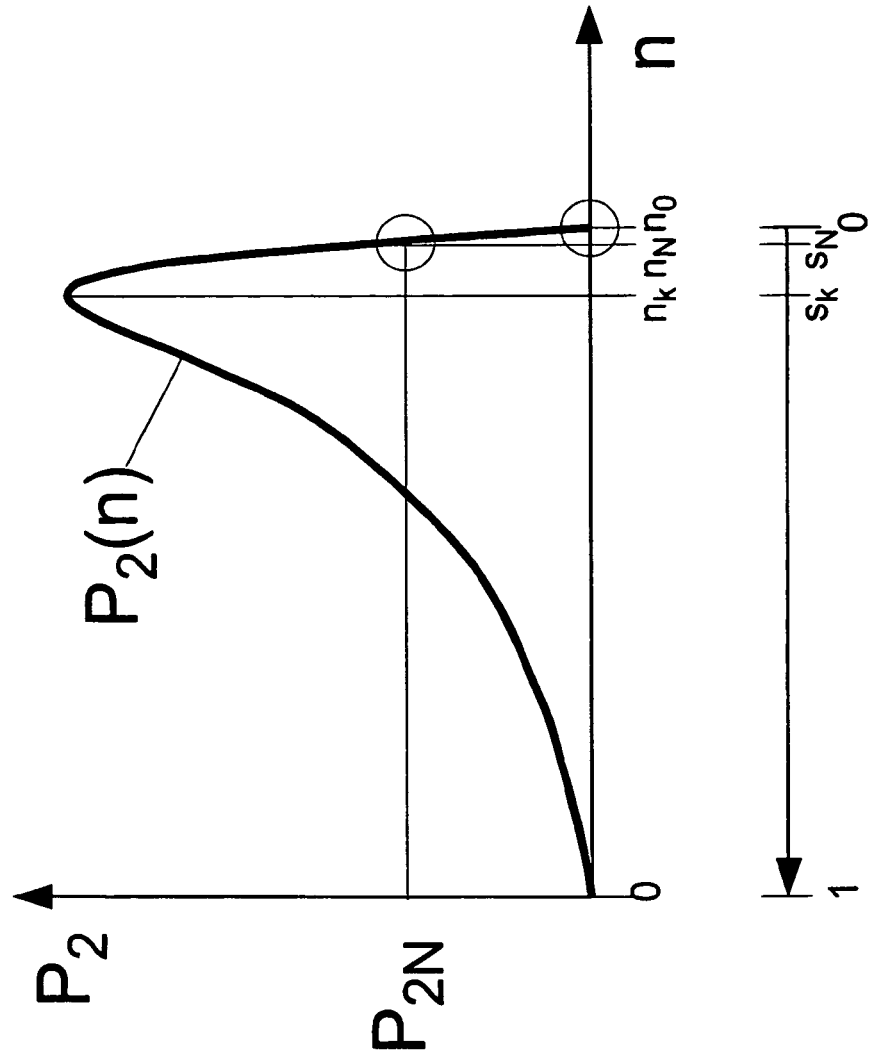


Fig. 6b

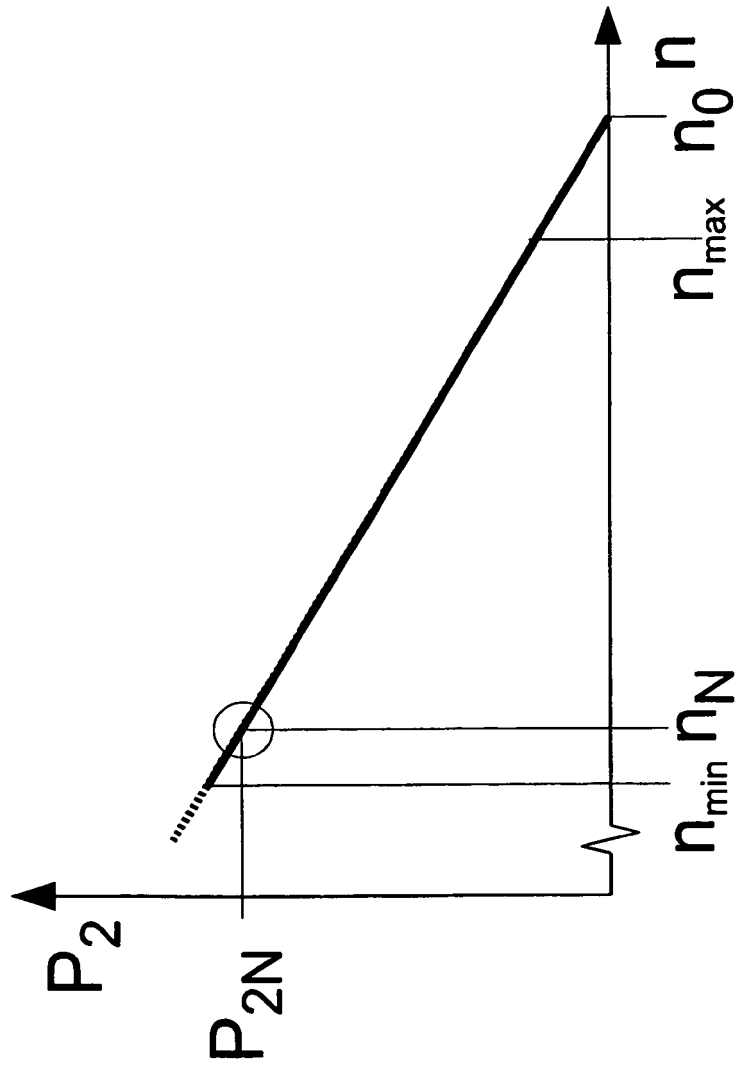


Fig. 7

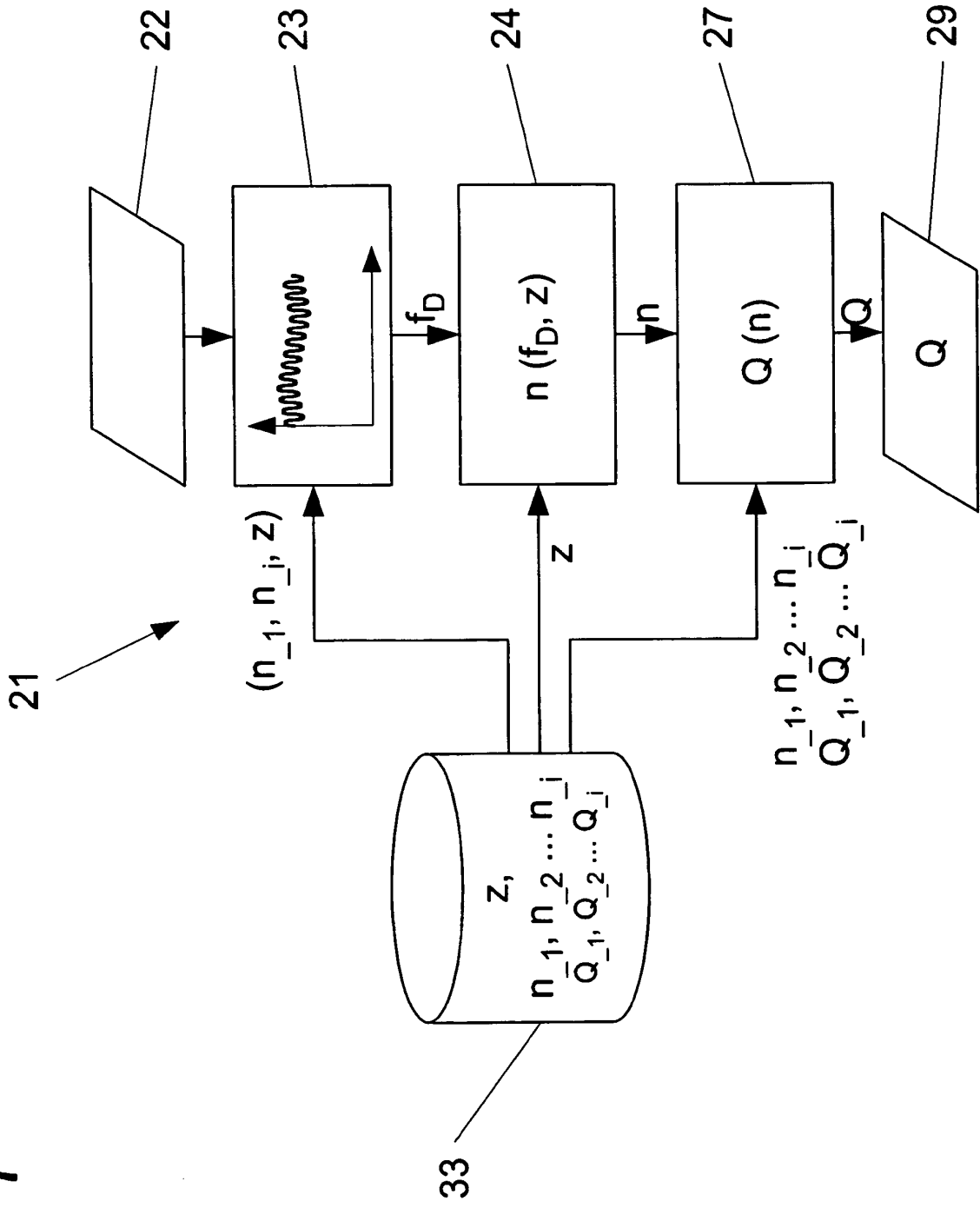


Fig. 8

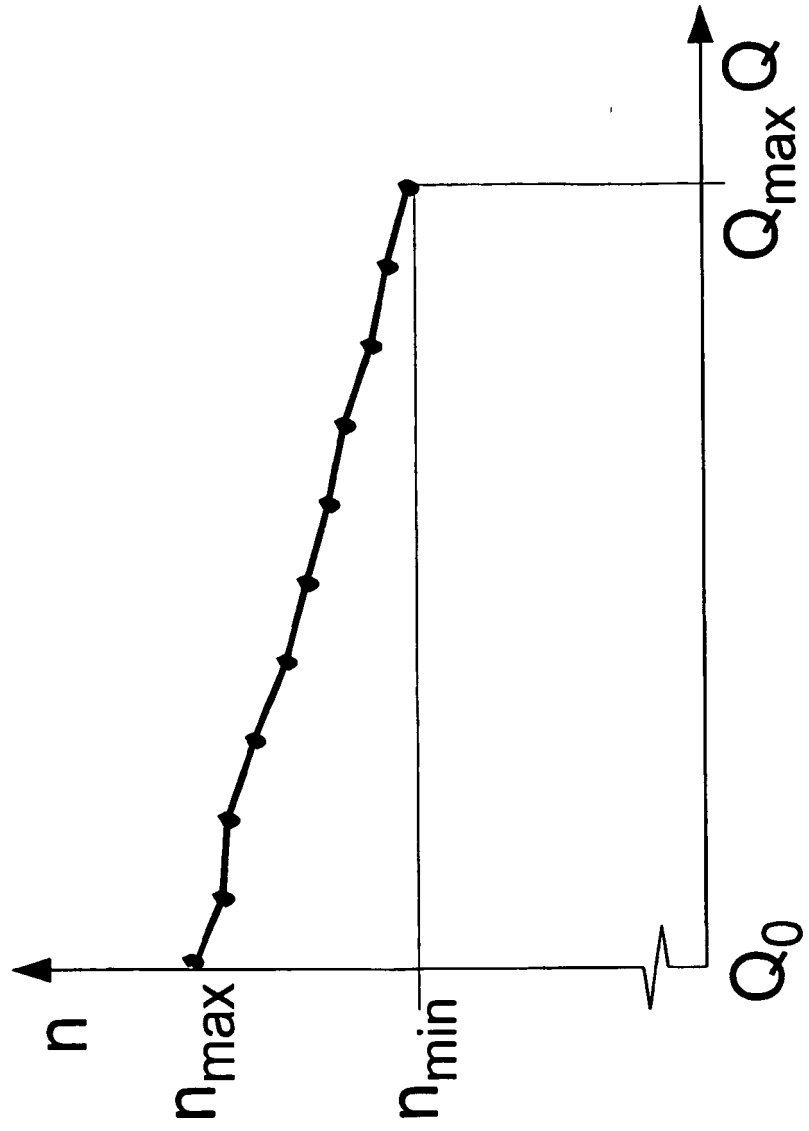


Fig. 9

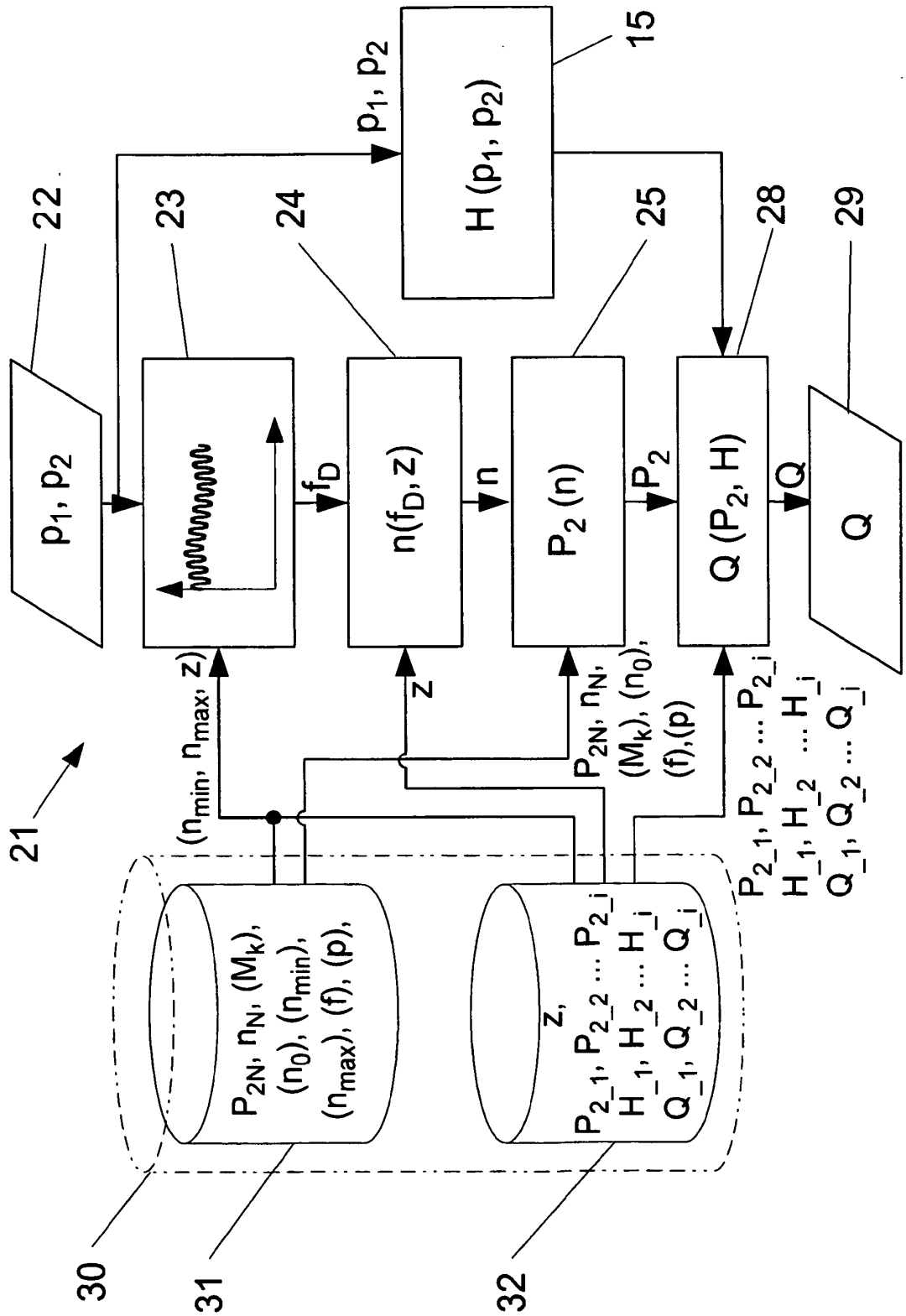


Fig. 10

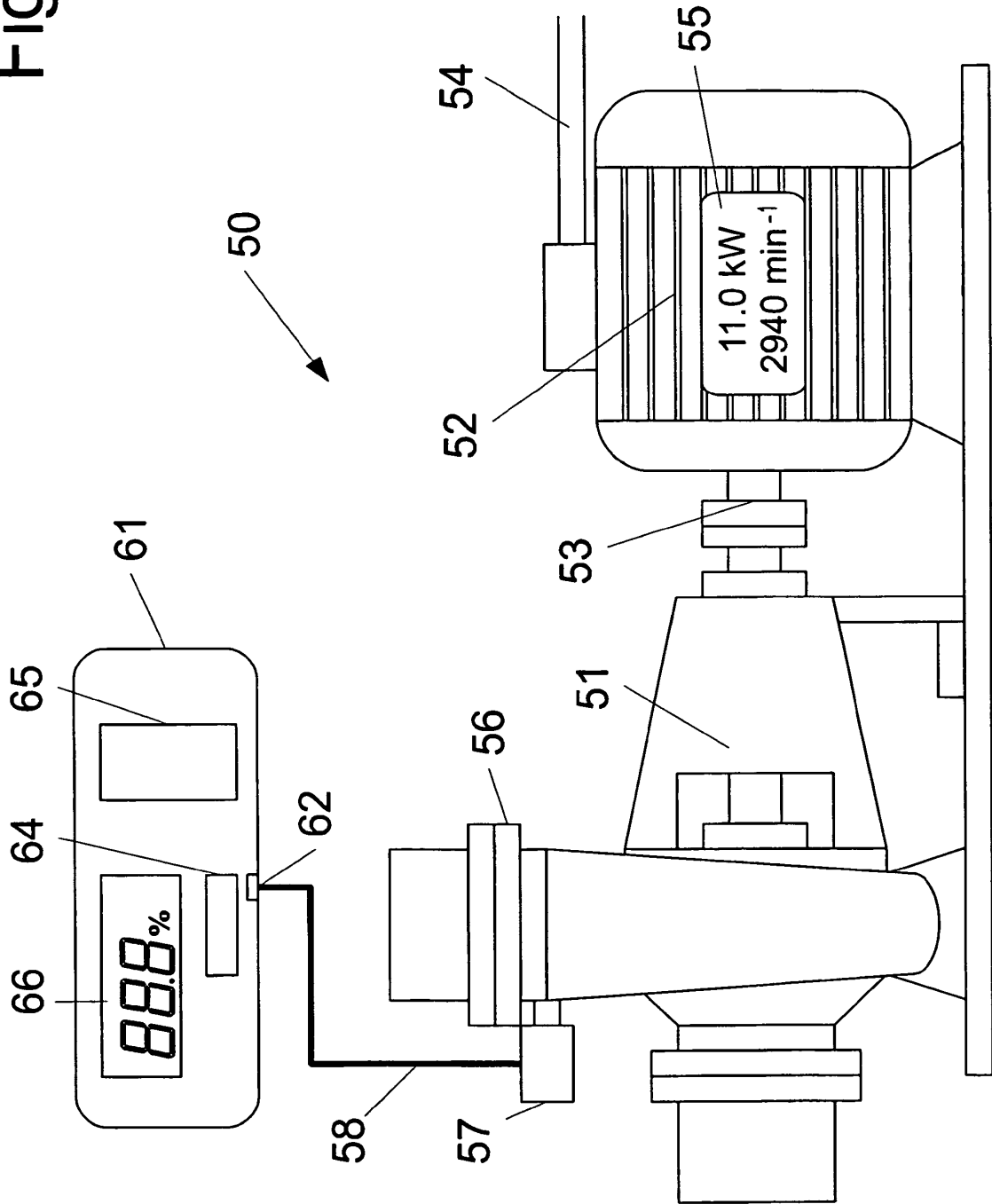


Fig. 11

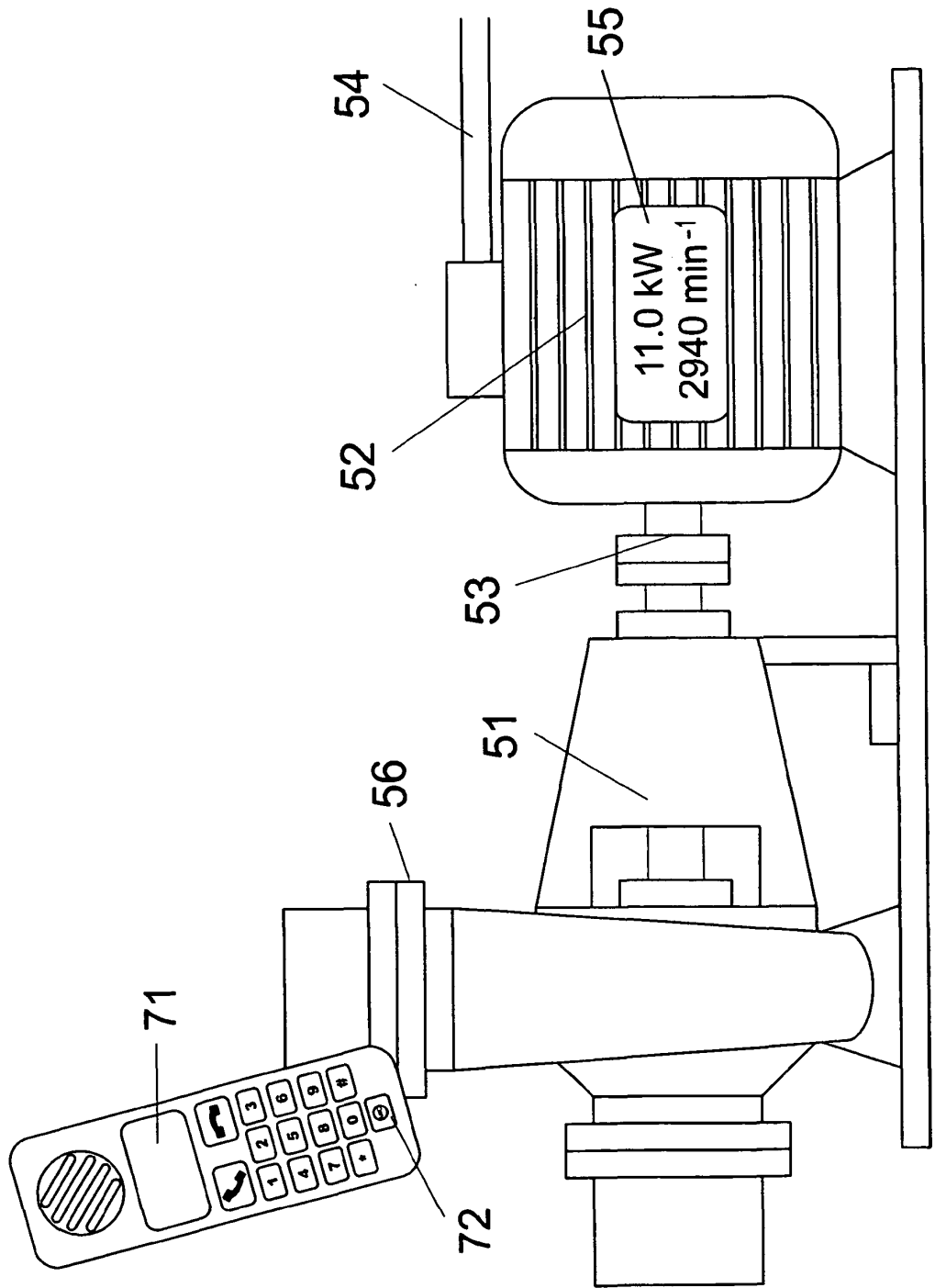
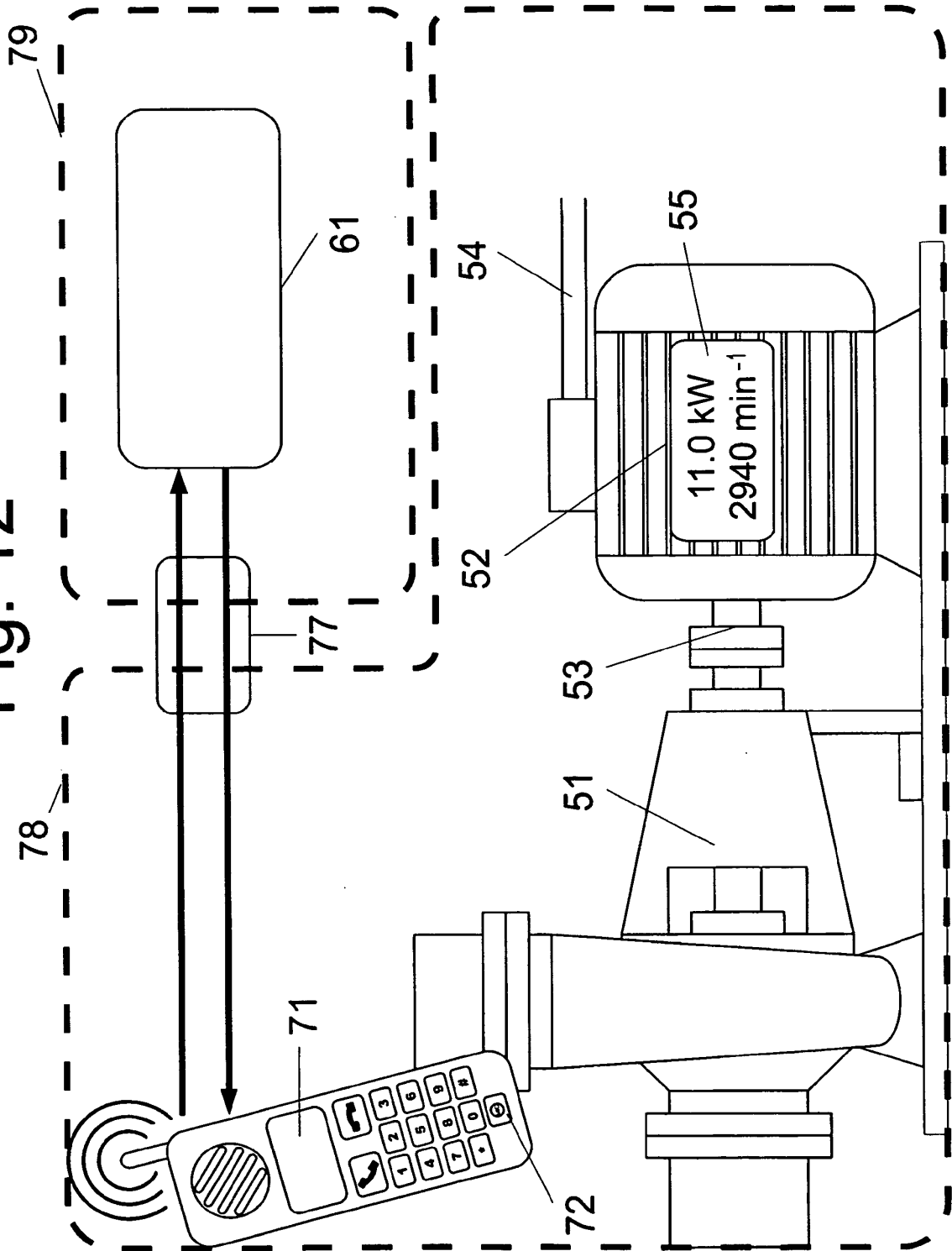


Fig. 12



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2005064167 A1 [0005]
- DD 258467 A1 [0007]
- DE 102006049440 A1 [0008]
- DE 19618462 A1 [0009]