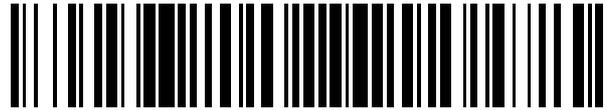


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 556 236**

51 Int. Cl.:

F04D 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2010 E 10717116 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015 EP 2433010**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación del punto de funcionamiento de una máquina de trabajo**

30 Prioridad:

20.05.2009 DE 102009022107

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

14.01.2016

73 Titular/es:

**KSB AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Johann-Klein-Strasse 9
67227 Frankenthal, DE**

72 Inventor/es:

**EMDE, CHRISTOPH;
LAUE, STEFAN y
SILOVIC, MARJAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 556 236 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la determinación del punto de funcionamiento de una máquina de trabajo

5 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de un punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona, en el que una potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o el caudal de esta caracterizan un punto de funcionamiento, y una o varias magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo son registradas por uno o varios sensores y los valores de medición son evaluados y/o almacenados durante un funcionamiento de la máquina de trabajo. Además, la invención se refiere a un procedimiento para la vigilancia de un punto de funcionamiento. Además, la invención se refiere a un dispositivo para la realización del procedimiento.

15 Para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de una máquina de trabajo debe ser conocido el punto de funcionamiento de la misma.

20 Durante el funcionamiento de una disposición de bomba, especialmente de una disposición de bomba centrífuga, constituida por una bomba y una máquina de trabajo que la acciona, frecuentemente se requiere información sobre el punto de funcionamiento de la misma. El punto de funcionamiento de una máquina de trabajo de circulación, especialmente de una bomba centrífuga, en la curva característica caudal suministrado/altura de elevación o curva característica Q/H, está caracterizado especialmente por su caudal suministrado que en lo sucesivo se denomina también caudal. Para determinarlo existen diferentes posibilidades. Se puede determinar mediante la medición del caudal suministrado o mediante una medición de presión. En esta última, habitualmente, se mide la diferencia de la presión entre el lado de impulsión y el lado de aspiración de la bomba. La altura de elevación se estima como cociente de la diferencia de presión, la densidad y la aceleración terrestre. En caso de agua como fluido transportado, una diferencia de presión de 1 bar corresponde a una altura de elevación de aprox. 10 metros. Además, un punto de funcionamiento de una bomba centrífuga se determina mediante una medición eléctrica, calculándose a partir de una medición de corriente y de tensión la potencia emitida del motor, teniendo en consideración la eficacia del motor.

30 Una medición directa del caudal requiere habitualmente caudalímetros magnético-inductivos. Una determinación indirecta del caudal por vía de cálculo acarrea dificultades adicionales. Si un caudal se deduce por ejemplo de los valores de una curva característica caudal suministrado/altura de elevación, una curva característica Q/H, en la que la altura de elevación H está aplicada sobre el caudal suministrado o una curva característica caudal suministrado/potencia, una curva característica Q/P, en la que la potencia P está aplicada sobre el caudal suministrado Q, esto resulta difícil o incluso imposible en aquellos casos en los que existe una curva característica Q/H o curva característica Q/P plana o que no asciende de forma constante. Si el caudal se ha de determinar con presiones medidas de la curva característica Q/H de una bomba centrífuga, la curva característica Q/H tiene que ser unívoca, es decir que a cada valor H debe poder asignarse exactamente un valor Q. En la práctica, esta condición frecuentemente no se cumple. Las curvas características Q/H o son demasiado planas o incluso no son unívocas. Este mismo problema existe también si el caudal suministrado Q ha de determinarse mediante una absorción de potencia medida de la curva característica caudal suministrado/potencia, la curva característica Q/P. También la extensión de la curva característica Q/P frecuentemente es plana o incluso no es unívoca.

45 Por el documento WO2005/064167A1 se dio a conocer una combinación de los procedimientos mencionados anteriormente. Esto requiere un considerable aparato técnico de medición, ya que han de ser medidas tanto la presión diferencial de la bomba como una potencia eléctrica.

50 En la práctica, la medición de la absorción de potencia eléctrica de un grupo de motor/bomba conlleva cierto gasto. La medición de la potencia activa se realiza en un armario de distribución ocupando espacio en este, especialmente para la medición de la corriente del motor por transformadores de corriente, y requiere un trabajo de montaje que debe ser prestado por un electricista.

55 Una disposición y un procedimiento para la determinación de la potencia y/o del par de motores de inducción se describen en el documento DD258467A1. Un conmutador sin contacto está dispuesto en el rotor de un motor de inducción para registrar uno o varios impulsos por revolución del árbol del motor y una etapa de formación de impulsos para registrar la velocidad de giro síncrona a partir de la frecuencia de red está conectada entre la red y un microcomputador. Adicionalmente, la disposición presenta un dispositivo para registrar la temperatura del motor y un microcomputador en el que se registran todos los datos y se evalúan para la regulación de la siguiente secuencia de proceso. La potencia y/o el par del motor de inducción se determinan a partir del tiempo de uno o de varios períodos de la velocidad de giro del motor y de uno o varios períodos de la velocidad de giro síncrona. La potencia y/o el par del motor de inducción se determinan mediante el recuento de los impulsos del árbol del motor dentro de un llamado tiempo de puerta establecido por uno o varios períodos la velocidad de giro de la velocidad de giro síncrona. Para determinar la potencia y/o el par se aplica la "ecuación de Kloss". El procedimiento requiere varias magnitudes de entrada, entre ellas también la velocidad de giro síncrona que se determina a partir de magnitudes de medición eléctricas. Adicionalmente, los resultados han de corregirse en función de la temperatura de funcionamiento del motor, lo que requiere la determinación previa por técnica de medición y el almacenamiento de factores de

corrección necesarios por cada tipo de motor. Esta disposición está realizada de una manera compleja. En la práctica industrial, este método ha resultado ser inadecuado. Al igual que en la medición convencional de la absorción de potencia activa de un motor asincrónico por medio de aparatos de medición de potencia activa y transformadores de corriente, resulta especialmente desventajoso el hecho de que es imprescindible la instalación de una disposición de este tipo por un electricista.

Por el documento DE102006049440A1 se dio a conocer un procedimiento para la detección de un estado de funcionamiento de una bomba, especialmente de una bomba centrífuga o volumétrica, en una instalación de bomba. El dispositivo y su dispositivo sirven, en la comparación con un estado normal almacenado, para registrar un estado de funcionamiento defectuoso de una bomba, de una instalación de bomba y de una instalación hidráulica. Un sensor de presión registra la evolución temporal de la presión en el medio bombeado. Un valor característico calculado caracteriza la pulsación de la evolución de la presión y/o de la circulación en un intervalo de tiempo de cálculo. Mediante la comparación del valor característico calculado con al menos un valor característico predeterminado o con un intervalo de valores característicos limitado por este, correspondiendo el valor característico predeterminado o el intervalo de valores característicos limitado por este a un estado de funcionamiento de interés de la bomba, se determina y se emite el estado de funcionamiento. En un aparato de diagnóstico con un sensor de presión conectado y con un sensor de vibraciones adicional, a partir de la señal del sensor de presión se determina la velocidad de giro de la bomba y se proporciona al sensor de vibraciones. Las razones de ello no se exponen. Ni la información de la velocidad de giro ni cualquier otra magnitud indican en qué punto de funcionamiento en una curva característica Q/H o Q/P o con qué potencia absorbida se hace funcionar la bomba. Con este procedimiento se indican solo desviaciones de valores de referencia determinados y almacenados previamente.

El documento DE19618462A1 da a conocer otro procedimiento y un dispositivo para determinar un parámetro de potencia extrínseco de un dispositivo transformador de energía como el caudal volumétrico o másico por una bomba centrífuga accionada por motor, en el que se determina de manera continua una magnitud intrínseca dependiente del estado de funcionamiento.

La invención tiene el objetivo de proporcionar un procedimiento y un dispositivo que permitan una determinación y, dado el caso, vigilancia sencillas y fiables del punto de funcionamiento actual de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona.

Según la invención, este objetivo se consigue porque el punto de funcionamiento se determina sin usar magnitudes de medición eléctricas del motor asincrónico accionador, y porque a partir de una magnitud de medición mecánica presión, presión diferencial, fuerza, vibración, ruido estructural o ruido aéreo, mediante un análisis de señales, especialmente un análisis de frecuencia, se determina una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, determinándose a partir de ello la velocidad de giro de la máquina de trabajo y determinándose a partir de la dependencia velocidad de giro/par, condicionada por el resbalamiento, del motor asincrónico el punto de funcionamiento.

Según la invención, el punto de funcionamiento se determina sin usar magnitudes de medición eléctricas. En su lugar, a partir de la evolución de señal de una magnitud de medición mecánica medida se determina una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, especialmente la frecuencia de ruido de giro de la máquina de trabajo. En lo sucesivo se habla de manera simplificada de la frecuencia de ruido de giro. Esta es el resultado del producto de la velocidad de giro y un número de estructuras que incitan la vibración de un componente oscilante o rotatorio, especialmente el número de álabes de un rodete de bomba. A partir de ello se determinan la velocidad de giro de la máquina de trabajo y, con la ayuda de datos almacenados, la potencia absorbida por la máquina de trabajo que en lo sucesivo se denomina también potencia de árbol, y/o su caudal. Como magnitudes de medición mecánicas resultan adecuados la presión, especialmente la presión en el lado de impulsión de una bomba centrífuga, la presión diferencial, especialmente la presión diferencial entre el lado de aspiración y el lado de impulsión de una bomba centrífuga, la fuerza, la vibración, el ruido estructural o el ruido aéreo, especialmente de una o causada por una bomba centrífuga, o similares. El punto de funcionamiento de la máquina de trabajo puede determinarse a partir de una sola magnitud de medición no eléctrica. Al prescindir de magnitudes de medición eléctricas, el procedimiento según la invención para la determinación del punto de funcionamiento es relativamente económico y se puede realizar con un trabajo de instalación muy sencillo.

Una forma de realización de la invención prevé que la potencia absorbida de la máquina de trabajo se determina mediante los siguientes pasos:

- determinación de la curva característica velocidad de giro/par del motor, especialmente mediante los parámetros de motor predefinidos potencia asignada y velocidad de giro asignada, dado el caso, velocidad de giro síncrona, par de desenganche, velocidad de giro de desenganche o resbalamiento de desenganche.
- determinación de la potencia absorbida o del par del motor a partir de la velocidad de giro de accionamiento y de la curva característica velocidad de giro/par del motor.

Los parámetros necesarios para la determinación de la curva característica velocidad de giro/par del motor se deducen de los datos de la placa de características de un motor asincrónico, por ejemplo, el par asignado o nominal M_N resulta del cociente de la potencia asignada del motor asincrónico P_{2N} y la velocidad de giro nominal n_N de la siguiente manera:

5

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

Siendo conocidos el par de desenganche M_k y/o el resbalamiento de desenganche s_k del motor asincrónico, con la ecuación de Kloss

10

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

se representa la curva característica velocidad de giro/par, la curva característica n-M del motor asincrónico. Con el resbalamiento s del motor asincrónico

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

15

resulta la extensión de la curva característica n-M de la siguiente manera

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

20

con la velocidad de giro de desenganche n_k

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

25

Alternativamente, en el intervalo de funcionamiento de la máquina de trabajo, la curva característica velocidad de giro/par del motor asincrónico se puede aproximar como recta a través de los puntos $(M_N; n_N)$, dado por el par nominal M_N con una velocidad de giro nominal n_N , y $(M = 0; n_0)$, dado por el par M igual a cero con una velocidad de giro síncrona n_0 . Entonces, resulta la siguiente curva característica velocidad de giro/par, curva característica n-M, aproximada o simplificada, del motor asincrónico, cuya extensión se describe por la siguiente fórmula

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

30

La determinación de la potencia absorbida por la máquina de trabajo resulta de la velocidad de giro de accionamiento determinado previamente, que en lo sucesivo se denomina también velocidad de giro de árbol, y de la curva característica velocidad de giro/par, la curva característica n-M, del motor. Esta relación potencia de árbol P_2 con respecto al par M y a la velocidad de giro n está dada por la ecuación

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

Según la invención, el punto de funcionamiento de una máquina de trabajo, especialmente de una bomba, se determina de forma caracterizada por su potencia absorbida. Esto se realiza con sensores existentes, dispuestos en una bomba.

5 Una forma de realización ventajosa prevé en una bomba, especialmente en una bomba centrífuga, como máquina de trabajo, la determinación del caudal de la misma a partir de su velocidad de giro de accionamiento. A partir de la evolución de señales de una magnitud de medición no eléctrica se determina la frecuencia de ruido de giro mediante análisis de señales, especialmente análisis de frecuencia, por ejemplo mediante una transformada rápida de Fourier (FFT) o una autocorrelación. A partir de ello se determina la velocidad de giro de accionamiento. En el ejemplo de una bomba centrífuga como máquina de trabajo, la velocidad de giro resulta como el cociente de la frecuencia de ruido de giro f_D y el número de álabes z del rodete.

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

15 Mediante la dependencia velocidad de giro/par se pueden determinar la potencia de árbol y/o el caudal de la velocidad de giro. Se renuncia a una medición de magnitudes eléctricas, por lo que se reduce considerablemente el gasto de la realización de la determinación del punto de funcionamiento en comparación con una determinación de punto de funcionamiento convencional sobre la base de una medición de potencia activa eléctrica. Asimismo, en comparación con una medición directa del caudal, por ejemplo mediante la técnica de medición de caudal por ultrasonido o mediante la técnica de medición de caudal magnética-inductiva, se consigue una enorme ventaja de coste, ya que las magnitudes de medición mecánicas empleadas presión, presión diferencial, fuerza, vibración, ruido estructural o ruido aéreo son registradas y procesadas de manera más ventajosa.

20 Ha resultado ser conveniente que el caudal de la bomba se determina a partir de la potencia absorbida o potencia de árbol determinada a partir de la velocidad de giro de accionamiento. A partir de la velocidad de giro de accionamiento o velocidad de giro de árbol se determina en primer lugar según la fórmula (7) la potencia de árbol de la bomba, como se ha descrito anteriormente, con la ayuda de la curva característica n-M conocida o de una curva característica n-P que puede deducirse de esta. En un paso siguiente, a partir de la potencia de árbol se determina mediante una curva característica Q-P almacenada el caudal Q de la bomba.

25 El caudal de la bomba puede determinarse a partir de parámetros del motor que describen una curva característica velocidad de giro/par del motor, así como a partir de parámetros de la bomba que describen una curva característica caudal suministrado/potencia, y de la velocidad de giro de accionamiento. Una curva característica Q/P puede describirse por ejemplo en forma de una tabla de parámetros con varios puntos de apoyo (Índice $_1$ a $_i$). Durante la determinación del punto de funcionamiento, el procedimiento utiliza una tabla de este tipo, almacenada previamente, para determinar el caudal a partir de la potencia de árbol:

Caudal Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Potencia de árbol P_2	P_{2_1}	P_{2_2}	P_{2_3}	...	P_{2_i}

40 La tabla puede contener adicionalmente puntos de apoyo para la velocidad de giro correspondiente, con lo que es posible una determinación directa del caudal suministrado a partir de la velocidad de giro determinado.

45 Especialmente en caso de zonas no unívocas de la curva característica Q/P, para seguir mejorando el procedimiento se puede recurrir adicionalmente a la altura de elevación o la presión diferencial para determinar el caudal de la bomba. Además, al determinar el punto de funcionamiento se puede tener en consideración tanto la curva característica Q/P como la curva característica Q/H. Para ello, por ejemplo, se pueden almacenar valores de cociente P_2/H :

Caudal Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Potencia de árbol P_2	P_{2_1}	P_{2_2}	P_{2_3}	...	P_{2_i}
Altura de elevación H	$H_{_1}$	$H_{_2}$	$H_{_3}$	...	$H_{_i}$
Cociente P_2/H	$P_{2_1}/H_{_1}$	$P_{2_2}/H_{_2}$	$P_{2_3}/H_{_3}$	...	$P_{2_i}/H_{_i}$

55 Igualmente, está previsto determinar el caudal de la bomba centrífuga a partir de una curva característica que representa el cambio de la velocidad de giro, dependiente de la carga, sobre el caudal de la bomba. Una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado de este tipo se puede calcular a partir de la curva característica velocidad de giro/par del motor en combinación con una curva característica caudal suministrado/potencia.

Caudal Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Potencia de árbol P_2	P_{2_1}	P_{2_2}	P_{2_3}	...	P_{2_i}
Velocidad de giro	$n_{_1}$	$n_{_2}$	$n_{_3}$	...	$n_{_i}$

Alternativamente, incluso sin conocimiento de la curva característica Q/P y Q/H se puede determinar una curva característica para determinar el caudal a partir del cambio de velocidad de giro dependiente de la carga. Para ello, en una operación de prueba de la bomba que se realiza por ejemplo durante una puesta en servicio, en varios puntos de funcionamiento con caudal conocido, entre ellos por ejemplo Q_0 , es decir caudal suministrado igual a cero, y $Q_{\text{máx}}$, es decir, el máximo caudal suministrado admisible, se determina y se almacena la velocidad de giro de funcionamiento correspondiente. De ello resulta la tabla de parámetros representada a continuación de forma general:

10	Caudal Q	Q_{-1}	Q_{-2}	Q_{-3}	...	Q_{-j}
	Velocidad de giro	n_{-1}	n_{-2}	n_{-3}	...	n_{-j}

Alternativamente, es posible que durante el funcionamiento regular de la bomba se determinen y se almacenen de forma "didáctica" velocidades de giro. En una bomba centrífuga con una curva característica Q/P en la que P asciende proporcionalmente a Q de forma estrictamente monótona, como por ejemplo en la mayoría de las bombas con rueda radial, la mayor velocidad de giro producida se asigna a la menor absorción de potencia producida y al menor caudal suministrado, dado el caso, estando cerrada la válvula, es decir, con cero caudal suministrado. Cuando vuelve a disminuir la velocidad de giro durante el funcionamiento, se concluye que ha aumentado el caudal suministrado. Por lo tanto, durante la duración del funcionamiento de una bomba centrífuga se aprende un intervalo de funcionamiento dentro de los límites de $(Q_{\text{mín}}'; n_{\text{máx}}')$ y $(Q_{\text{máx}}'; n_{\text{mín}}')$ que se producen en el período de tiempo de funcionamiento examinado, sin que para ello se midan o determinen valores concretos para Q. Los valores límite aprendidos se utilizan para asignar el caudal suministrado actual de la bomba centrífuga entre el caudal suministrado mínimo y máximo en el período de tiempo de funcionamiento examinado. $Q_{\text{mín}}'$ y $n_{\text{máx}}'$.

Según esta forma de realización también se usa la dependencia velocidad de giro/par del motor asincrónico. La invención aprovecha para ello el conocimiento de que esta causa un cambio de velocidad de giro evaluable a lo largo del intervalo de caudal suministrado. Con una curva característica de este tipo que habitualmente no está documentada para una bomba, el caudal suministrado de la bomba centrífuga puede determinarse directamente a partir de la velocidad de giro.

Resulta especialmente fiable un procedimiento según el que la velocidad de giro de accionamiento o la velocidad de giro de árbol, para la determinación del punto de funcionamiento de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga, se determina a partir de valores de medición de uno o varios sensores de presión. Resulta conveniente que los sensores de presión resultan adecuados para la medición dinámica de presiones, especialmente de presiones pulsantes. Por lo tanto, el punto de funcionamiento de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga, caracterizado por la potencia de árbol y/o el caudal suministrado se determina únicamente a partir de valores de medición de uno o varios sensores de presión. En una bomba centrífuga se emplean uno o varios sensores de presión para registrar la presión de aspiración y/o la presión final de una bomba centrífuga. Aunque están previstos para la medición de presiones estáticas, generalmente, los sensores de presión igualmente resultan adecuados para la medición dinámica de presiones. Ensayos arrojaron que sensores de presión estándar registran presiones de forma dinámica y sin amortiguación hasta un intervalo de frecuencia de aprox. 1 kHz. Los sensores de presión de este tipo son capaces de registrar presiones pulsantes originadas dentro de una bomba centrífuga. El procedimiento según la invención consigue una precisión suficiente para muchas aplicaciones en las que se usa un solo sensor de presión en el lado de impulsión de la bomba. Adicionalmente, puede preverse un sensor de presión en el lado de aspiración de la bomba. Igualmente, está previsto evaluar una presión diferencial de bomba entre el lado de impulsión y el lado de aspiración de la bomba, que se obtiene mediante un sensor de presión diferencial. Mediante el procedimiento según la invención, el punto de funcionamiento puede determinarse de manera económica sin usar sensores adicionales, tan solo a partir de una o varias señales de sensor de presión.

Otra forma de realización prevé que la velocidad de giro de accionamiento para la determinación del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico que la acciona se determina a partir de valores de medición de uno o varios sensores de ruido estructural y/o de ruido aéreo. Los sensores de ruido estructural y/o de ruido aéreo pueden estar dispuestos en la máquina de trabajo y/o en el motor asincrónico que la acciona. Los sensores también pueden estar dispuestos en el entorno de la máquina de trabajo. En cualquier caso, a partir de señales de los sensores que registran magnitudes de medición mecánicas, se registra una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, a partir de lo que se determina la velocidad de giro de la máquina de trabajo. Y a partir de ello se determina el punto de funcionamiento usando la dependencia velocidad de giro/par del motor asincrónico.

Según la invención, un punto de funcionamiento determinado puede vigilarse en cuanto a si se encuentra dentro o fuera de un rango admisible predefinido. Con la ayuda de un punto de funcionamiento situado fuera de un rango predefinido se detecta un estado de funcionamiento defectuoso, especialmente una sobrecarga o carga baja, de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico. Mediante una vigilancia o evaluación de la absorción de potencia de una bomba centrífuga se puede concluir por ejemplo un funcionamiento con carga parcial o un funcionamiento en el rango óptimo. Si el ruido estructural o el ruido aéreo se usan como magnitud de medición se puede detectar también una marcha en seco de la bomba centrífuga. Experimentos han arrojado que la detección según la invención de una sobrecarga de un motor asincrónico funciona de manera fiable y robusta. Con una absorción de potencia elevada en

comparación con una absorción de potencia documentada y parametrizada se puede deducir una sobrecarga de la bomba o del motor. Aunque la causa de una absorción de potencia elevada puede ser también una subtensión en el lado de alimentación, lo que conduce a un resbalamiento elevado. En este caso, no obstante es acertado el diagnóstico de una sobrecarga para el grupo constituido por la bomba y el motor, ya que en caso de una subtensión y por tanto de un resbalamiento elevado está elevada la absorción de corriente del motor. Esta influencia es significativa cuando la tensión de red se encuentra fuera de las tolerancias y cuando por ejemplo es más de 10% inferior a la tensión nominal. En este caso, con una velocidad de giro nominal $n = n_N$ se deduciría una potencia nominal $P_2 = P_{2N}$, aunque la potencia realmente absorbida es inferior a la potencia nominal. Si la velocidad de giro sigue disminuyendo, es decir, $n < n_N$, se concluye que hay una sobrecarga de la bomba o del motor, lo que es correcto, ya que aumentan las pérdidas proporcionales a la corriente, especialmente las pérdidas de rotor del motor asincrónico, lo que contribuye a un calentamiento excesivo del motor.

En un dispositivo para la determinación de un punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona, que está provisto de una o varias entradas para el registro de magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento, según la invención está previsto que el dispositivo presenta una memoria de datos para datos tecnológicos de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico que la acciona y que a partir de una magnitud de medición mecánica presión, presión diferencial, fuerza, vibración, ruido estructural o ruido aéreo, determina mediante un análisis de señales, especialmente un análisis de frecuencia, una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, y a partir de ello determina la velocidad de giro de la máquina de trabajo y a partir de ello, usando la dependencia velocidad de giro/par, condicionada por el resbalamiento, del motor asincrónico, determina y, dado el caso, vigila el punto de funcionamiento a partir de magnitudes de medición no eléctricas, sin usar magnitudes de medición eléctricas del motor asincrónico accionador.

En la memoria de datos pueden estar almacenados parámetros del motor que describen la dependencia velocidad de giro/par del motor asincrónico y/u otros datos tecnológicos de la disposición de máquina de trabajo. A ello se puede recurrir durante el funcionamiento de la máquina de trabajo para la determinación del punto de funcionamiento. No es necesario el registro de magnitudes de medición eléctricas por el dispositivo. El dispositivo puede determinar a partir de una única señal de medición, por ejemplo una señal de sensor de presión, el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo.

Según una forma de realización de la invención, el dispositivo determina la potencia absorbida de la máquina de trabajo mediante los siguientes pasos:

- determinación de la curva característica velocidad de giro/par del motor, especialmente mediante los parámetros de motor predefinidos potencia asignada y velocidad de giro asignada, dado el caso, velocidad de giro síncrona, par de desenganche, velocidad de giro de desenganche o resbalamiento de desenganche.
- determinación de la potencia absorbida o del par del motor a partir de la velocidad de giro de accionamiento y de la curva característica velocidad de giro/par del motor.

En una bomba, especialmente una bomba centrífuga, como máquina de trabajo está previsto que la determinación de un caudal de la bomba se realiza a partir de la velocidad de giro de accionamiento. En la bomba se registran únicamente magnitudes de medición mecánicas. A partir de la frecuencia de ruido de giro se determina la velocidad de giro de accionamiento o de árbol de la bomba.

En comparación con una medición directa del caudal, por ejemplo mediante la técnica de medición de caudal por ultrasonido o la técnica de medición de caudal magnética-inductiva, existe una enorme ventaja de coste. También en comparación con una determinación del caudal sobre la base de una medición eléctrica de potencia activa se minimizan el trabajo y los costes.

El dispositivo puede estar dispuesto en la bomba, en su motor de accionamiento o en su entorno, y/o estar realizado de forma integral con la bomba o con el motor de accionamiento de esta.

El dispositivo puede determinar el caudal de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga, a partir de la potencia absorbida o potencia de árbol determinada a partir de la velocidad de giro de accionamiento o de la velocidad de giro de árbol.

Ha resultado ser conveniente que el dispositivo determine el caudal de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga, a partir de parámetros del motor que describen una curva característica velocidad de giro/par del motor, así como a partir de parámetros de la bomba que describen una curva característica caudal suministrado/potencia, y a partir de la velocidad de giro de accionamiento o velocidad de giro de árbol.

Resulta igualmente favorable prever que el dispositivo determine el caudal de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga, directamente a partir de una curva característica que representa el cambio de la velocidad de giro, dependiente de la carga, sobre el caudal de la bomba. Esta curva característica puede estar determinada mediante operaciones de prueba y estar almacenada en la memoria de datos pudiendo ser llamada durante el funcionamiento de la bomba centrífuga. Para ello se usa igualmente la dependencia velocidad de giro/par del motor asincrónico que

conduce a un cambio de la velocidad de giro a lo largo del intervalo de caudal suministrado. A partir de ello puede determinarse de manera especialmente sencilla el punto de funcionamiento caracterizado por la potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o por el caudal de esta.

5 Resulta ideal si el dispositivo presenta al menos una conexión para un sensor de presión y si a partir de valores de medición de un sensor de presión conectado determina la velocidad de giro de accionamiento o la velocidad de giro de árbol para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo. Los sensores de presión para registrar presiones estáticas igualmente son capaces de registrar fluctuaciones dinámicas de presión. Este tipo de sensores de presión de todas formas están dispuestos en muchas bombas, especialmente para registrar la presión final de las mismas. Los dispositivos habituales para registrar señales de sensores de presión mediante entradas analógicas por ejemplo en controles con memoria programable o en convertidores de frecuencia permiten generalmente la utilización de valores de medición filtradas, es decir de dinámica atenuada. Para registrar la parte de señal de presión dinámica que interesa según la invención, las entradas de este tipo son demasiado lentas e insensibles. Las entradas altamente dinámicas de dispositivos de medición que son capaces de registrar partes de señales en intervalos de frecuencia de algunos kilohertzios generalmente no son lo suficientemente robustos y además son caros en la práctica industrial.

El dispositivo según la invención se diferencia de los mencionados dispositivos habituales en la industria, en que permite el registro de la parte pulsante de la señal de presión a la vez de una alta dinámica. De esta manera, queda garantizada una determinación exacta de la frecuencia de la parte de presión pulsante en un intervalo de frecuencia de interés. Convenientemente, el dispositivo presenta una entrada para partes de señal de hasta aprox. 500 Hz, siendo correspondientemente más alta una frecuencia límite para un filtro de entrada.

Ha resultado ser ventajoso que el intervalo de frecuencia de interés para una bomba determinada es una pequeña sección del intervalo de frecuencia total medido, limitada por una frecuencia de ruido de giro inferior y superior $f_{D_mín}$ o $f_{D_máx}$. De esta manera, es posible realizar de manera correspondientemente selectiva y exacta una evaluación. En un ejemplo de una bomba centrífuga, el intervalo de frecuencia de interés está predeterminado por los límites de las frecuencias de ruido de giro inferior y superior $f_{D_mín}$ o $f_{D_máx}$ siendo conocido el número de álabes z :

$$f_{D_mín} = n_{mín} \cdot z \quad \text{y} \quad f_{D_máx} = n_{máx} \cdot z \quad (9, 10)$$

Aquí, la velocidad de giro mínima $n_{mín}$ y la velocidad de giro máxima $n_{máx}$ son conocidos a partir de parámetros del motor asincrónico que acciona la bomba centrífuga. De manera simplificada, la velocidad de giro mínima puede calcularse a partir de n_N , por ejemplo

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

y/o la velocidad de giro máxima puede suponerse como

$$n_{máx} = n_0 \quad (12)$$

La optimización de la eficacia de motores asincrónicos conlleva la minimización del resbalamiento como desviación de la velocidad de giro de árbol de la velocidad de giro síncrona. Los motores normalizados IEC con una potencia nominal de 22 kW y superior tienen habitualmente un resbalamiento nominal inferior al 2%, en caso de potencias mayores el resbalamiento es incluso menor pudiendo ser incluso inferior al 1%. De ello resulta que las velocidades de giro mínima y máxima y las frecuencias de ruido de giro mínima y máxima pueden estar muy cerca una de otra. Para poder determinar un punto de funcionamiento a partir de la frecuencia de ruido de giro, esta ha de determinarse de forma muy exacta. Por lo tanto, según la invención, el dispositivo presenta una unidad de procesamiento de señales que realiza una determinación exacta de la frecuencia de ruido de giro, preferentemente con una precisión de 1/10 hertzios o de pocos 1/100 hertzios. Esto se consigue mediante una frecuencia de muestreo muy alta y/o mediante un intervalo de muestreo correspondientemente largo.

La amplitud de la parte de presión pulsante es relativamente pequeña. En un ejemplo concreto, la amplitud de la parte de señal pulsante es inferior al 1% de la presión. El dispositivo realiza una resolución correspondientemente alta del intervalo de medición de la señal de presión, de manera que a pesar de la reducida amplitud tras la conversión analógico-digital se puede evaluar perfectamente la pulsación de presión, es decir, se puede determinar la frecuencia de ruido de giro. Por tanto, el dispositivo según la invención permite una determinación fiable del punto de funcionamiento de una bomba.

Alternativamente y/o adicionalmente, el dispositivo puede presentar al menos una conexión para un sensor de ruido estructural y/o de ruido aéreo y determinar a partir de valores de medición de un sensor de ruido estructural y/o de ruido aéreo conectado la velocidad de giro de accionamiento para la determinación del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico que la acciona.

Para registrar magnitudes de medición de ruido dependientes del punto de funcionamiento, el dispositivo convenientemente puede conectarse a un micrófono o presenta un micrófono integrado.

5 Resulta ventajoso si el dispositivo es un teléfono, especialmente un teléfono móvil, para el registro de los ruidos de funcionamiento de la máquina de trabajo y para la determinación y/o la vigilancia del punto de funcionamiento. Un dispositivo de este tipo utiliza el procedimiento según la invención. Para ello, en una memoria de datos del dispositivo puede estar almacenada una secuencia de programa que puede ser ejecutada por una unidad computadora situada dentro del dispositivo.

10 El dispositivo también puede determinar y, dado el caso, vigilar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo estando separado de la misma en el espacio. En este caso, está previsto que el dispositivo utiliza medios de telecomunicación, especialmente un teléfono o teléfono móvil o una red de telecomunicación, para realizar la determinación y/o vigilancia del punto de funcionamiento en un lugar distinto al lugar de funcionamiento de la máquina de trabajo. Los medios de telecomunicación sirven de medios de registro y/o de transferencia de señales.
15 Por ejemplo, un teléfono móvil puede registrar por medio de un micrófono incorporado señales de ruido estructural y/o de ruido aéreo de una máquina de trabajo y transmitir las por medio de una red de telecomunicación a un dispositivo para la determinación y/o vigilancia del punto de funcionamiento, separado en el espacio de la máquina de trabajo.

20 De manera ventajosa, la invención se puede usar en una disposición de bomba centrífuga constituida por al menos una bomba centrífuga con un árbol y con un motor asincrónico que acciona el árbol y con uno o varios sensores para registrar magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento. El dispositivo puede estar dispuesto en la bomba centrífuga y/o estar integrado en la bomba centrífuga y/o en el motor asincrónico. También está prevista una disposición en el entorno de la disposición de bomba centrífuga o una disposición separada en el espacio.
25

Ejemplos de realización de la invención están representados en los dibujos y se describen en detalle a continuación. Muestran

30	la figura 1a la figura 1b la figura 2 la figura 3	una curva característica Q/H de una bomba centrífuga, una curva característica Q/P de una bomba centrífuga, una representación esquemática general del procedimiento según la invención, una representación esquemática de los pasos de procedimiento de un primer procedimiento para la determinación de un punto de funcionamiento,
35	la figura 4a la figura 4b la figura 5a la figura 5b	una evolución de presión en la salida de una bomba centrífuga, la evolución de presión en una vista detallada, la curva característica velocidad de giro/par de un motor asincrónico, la curva característica velocidad de giro/par simplificada de un motor asincrónico en su intervalo de funcionamiento,
40	las figuras 6a,6b la figura 7	curvas características n/P deducidas de ello, una representación esquemática de un procedimiento alternativo usando una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado dependiente de la carga,
45	la figura 8 la figura 9	una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado dependiente de la carga, una representación esquemática de un procedimiento combinado para la determinación del punto de funcionamiento,
50	la figura 10 la figura 11 la figura 12	una disposición de bomba centrífuga con un dispositivo según la invención para la determinación del punto de funcionamiento a partir de una pulsación de presión medida, una disposición de bomba centrífuga con un dispositivo según la invención para la determinación del punto de funcionamiento en forma de un teléfono móvil, y otra disposición con un dispositivo que utiliza un teléfono móvil y una red de telecomunicación para realizar la determinación del punto de funcionamiento en un lugar distinto al lugar de funcionamiento de la bomba centrífuga.

55 La figura 1a muestra una curva característica caudal suministrado/altura de elevación 2, una llamada curva característica Q/H, de una bomba centrífuga. A partir de una diferencia de presión medida entre el lado de impulsión y el lado de aspiración de la bomba centrífuga se puede determinar conforme al estado de la técnica una altura de elevación H de la bomba y se puede determinar el punto de funcionamiento de la bomba centrífuga a través de la curva característica caudal suministrado/altura de elevación 2. Sin embargo, una determinación de este tipo del punto de funcionamiento es insuficiente en un intervalo de reducidos caudales suministrados, en el que la curva característica caudal suministrado/altura de elevación 2 no es unívoca o es inestable. Una curva característica inestable de este tipo hace que en el caso de determinadas diferencias de presión medidas con respecto a una altura de elevación H determinada existan dos valores de caudal suministrado 3, 4. Por lo tanto, no es posible deducir de manera unívoca un caudal Q(H) de la bomba centrífuga.
60

65 La figura 1b muestra una curva característica caudal suministrado/potencia 10, una llamada curva característica Q/P, una bomba centrífuga. La curva característica caudal suministrado/potencia 10 representada aquí es unívoca, de

modo que con la información sobre la absorción de potencia de la bomba es posible sacar una información relativa al caudal Q(P) de la bomba y, por tanto, relativa a su punto de funcionamiento. En la práctica, la medición de la absorción de potencia eléctrica de un grupo de bomba centrífuga conlleva cierto gasto, ya que esta se realiza en un armario de distribución y requiere un trabajo de montaje que ha de ser prestado por un electricista. Tanto la curva característica Q/H 2 como la curva característica Q/P 10 están documentadas típicamente para una bomba centrífuga determinada.

La figura 2 muestra una representación esquemática general de un procedimiento 21 según la invención en el que el punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona se determina sin usar magnitudes de medición eléctricas del motor asincrónico accionador. Tras el registro 22 de una magnitud de medición mecánica, en un paso 23, a partir de la magnitud de medición se determina mediante un análisis de señales, especialmente un análisis de frecuencia, una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, una frecuencia de ruido de giro f_D . A partir de ello, en un paso 24 siguiente se determina la velocidad de giro n de la máquina de trabajo. Y en otro paso 25 se determina el punto de funcionamiento caracterizado por la potencia absorbida por la máquina de trabajo, que aquí está designada por P_2 , y/o por el caudal Q de la misma. Para ello, según la invención se usa la dependencia velocidad de giro/par, condicionada por el resbalamiento, del motor asincrónico que acciona la máquina de trabajo. En el paso 29, el punto de funcionamiento determinado de esta manera está disponible para su siguiente procesamiento y/o para su visualización.

La figura 3 muestra una representación esquemática, más detallada en comparación con la figura 2, de los pasos de procedimiento de un procedimiento 21 para la determinación de un punto de funcionamiento. Se muestra un procedimiento 21 para la determinación de un caudal suministrado o de un caudal Q de una pulsación de presión medida o de un ruido estructural o ruido aéreo medido a través de un modelo de motor almacenado y una curva característica de la bomba. Los parámetros necesarios para la realización de los distintos pasos de procedimiento pueden estar almacenados o depositados en una memoria de datos 30 y están disponibles para la realización de los distintos pasos de procedimiento. Los parámetros de motor necesarios potencia asignada o potencia nominal emitida P_{2N} y velocidad de giro nominal n_N , así como los parámetros de motor opcionales frecuencia de red f, número de pares de polos p o velocidad de giro síncrona n_0 forman un modelo de motor que convenientemente está depositado en una primera parte 31 de la memoria de datos 30. La velocidad de giro síncrona n_0 también puede determinarse a partir de la frecuencia de red f y el número de pares de polos p o a partir de la velocidad de giro nominal n_N como siguiente mayor velocidad de giro síncrona teóricamente posible (por ejemplo 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 o 500 min.⁻¹). Si es conocido, opcionalmente se puede almacenar el par de desenganche M_k del motor. Además, se puede almacenar una velocidad de giro mínima n_{\min} y una velocidad de giro máxima n_{\max} . En una segunda parte 32 de la memoria de datos 30 está almacenada una curva característica caudal suministrado/potencia, una curva característica Q/P, de una bomba centrífuga. Esta está dada por varios (i) valores de apoyo (i) ($P_{2-1}; Q_{-1}$), ($P_{2-2}; Q_{-2}$), ... ($P_{2-i}; Q_{-i}$). Igualmente está disponible el número de álabes z del rodete de la bomba centrífuga. Durante el funcionamiento de una máquina de trabajo, en un paso 22 se registran valores de medición de una magnitud de medición mecánica. En un paso de procedimiento 23, se determina mediante un análisis de señales a partir de las pulsaciones de señales la frecuencia de ruido de giro f_D por ejemplo dentro de los límites de $f_{D\min} = n_{\min} \cdot z$ según la fórmula (9) y $f_{D\max} = n_{\max} \cdot z$ según la fórmula (10). En otro paso de procedimiento 24, a partir de la frecuencia de ruido de giro f_D y del número de álabes z se determina la velocidad de giro de accionamiento actual de la bomba. Es aplicable:

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

A partir de la velocidad de giro de accionamiento n determinado, en un siguiente paso de procedimiento 25 se determina la potencia P_2 emitida por el motor. Es aplicable:

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

donde

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

La potencia P_2 emitida por el motor corresponde a la potencia de árbol de la bomba. De esta manera, en un siguiente paso de procedimiento 26, con la ayuda de la curva característica Q/P de la bomba se determina el caudal Q de la misma. A partir de la magnitud de medición y su pulsación de señales se determina mediante el

procedimiento el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo, aquí una bomba centrífuga, sin la medición de magnitudes de medición eléctricas.

5 En la figura 4a está representado en función de un tiempo t una evolución de señal de una presión p(t), que se midió en la salida de una bomba centrífuga durante un funcionamiento de la bomba centrífuga. Se puede ver que la presión se mueve aproximadamente a un nivel continuo, constante.

10 La figura 4b muestre esta evolución de presión p(t) en una vista detallada. Se puede ver que en la evolución de señal de p(t) existen pulsaciones de presión. Según la invención, se ha detectado que estas pulsaciones de presión pueden registrarse con sensores de presión usuales en el mercado para la medición de una presión estática. Este tipo de sensores de presión de por sí están dispuestos en muchas bombas, especialmente para registrar la presión final de las mismas. Un sensor de presión de este tipo comprende una parte pulsante de la señal de presión. La frecuencia de la parte de presión pulsante, la frecuencia de ruido de giro f_D resulta del valor inverso de la duración de período T. El procedimiento según la invención determina la frecuencia de la parte de presión pulsante en un intervalo de frecuencia de interés. Siendo conocido el número de álabes z, el intervalo de frecuencia de interés está predefinido por los límites de las frecuencias de ruido de giro inferior y superior $f_{D\text{-mín}}$ y $f_{D\text{-máx}}$ Es aplicable:

$$f_{D\text{-mín}} = n_{\text{mín}} \cdot z \quad \text{y} \quad f_{D\text{-máx}} = n_{\text{máx}} \cdot z \quad (9, 10)$$

20 Aquí, $n_{\text{mín}}$ es una velocidad de giro mínima y $n_{\text{máx}}$ es una velocidad de giro máxima del motor asincrónico que acciona la bomba centrífuga. Estos o son conocidos o pueden calcularse de forma simplificada, por ejemplo mediante

$$n_{\text{mín}} = 0,95 \cdot n_N \quad \text{o bien} \quad (11)$$

$$n_{\text{máx}} = n_0 \quad (12)$$

25 donde n_0 representa la velocidad de giro síncrona. Para la determinación exacta de la frecuencia de ruido de giro dentro del intervalo de frecuencia de interés, en el procedimiento según la invención se realiza una determinación exacta de la frecuencia de ruido de giro, preferentemente con una precisión de una décima de hertzio o incluso de pocas centésimas de hertzio. Esto se consigue o bien mediante una frecuencia de muestreo muy elevada y/o mediante un intervalo de muestreo correspondientemente largo. La frecuencia de ruido de giro f_D se determina mediante un análisis de señales, especialmente mediante un análisis de frecuencia, por ejemplo mediante una transformada rápida de Fourier (FFT) o un análisis de autocorrelación. Como ya se ha descrito, a partir de la frecuencia de ruido de giro f_D se puede determinar la velocidad de giro de accionamiento n de la bomba centrífuga o del motor de accionamiento que la acciona.

30 Las figuras 5a y 5b sirven para explicar el paso de procedimiento 25. La figura 5a muestra una curva característica velocidad de giro/par (M(n), en lo sucesivo denominada también curva característica n-M, de un motor asincrónico. En una curva característica velocidad de giro/par (M(n) de este tipo, el par M se aplica sobre la velocidad de giro n del motor asincrónico. Esta curva característica conocida de por sí para un motor asincrónico y típica muestra el punto de funcionamiento asignado o nominal de un motor asincrónico con un punto (M_N ; n_N) con un par nominal M_N y una velocidad de giro nominal n_N que aquí está enmarcado con un círculo. Con la velocidad de giro síncrona n_0 , el par del motor asincrónico es igual a 0. En cuanto a la fórmula, el par M(n) resulta de la siguiente manera

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

45 La figura 6a muestra una curva característica velocidad de giro/potencia o curva característica n/P, deducida de ello, del motor asincrónico con

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

50 Los parámetros de motor necesarios para calcular la curva característica M(n) o $P_2(n)$ pueden deducirse de los datos de la placa de características de un motor asincrónico. Resulta especialmente ventajoso si la extensión de la curva

característica n/P se determina únicamente a partir de los datos de la placa de características potencia asignada P_{2N} y velocidad de giro asignada n_N . A partir de estos dos parámetros que habitualmente figuran en la placa de características de cualquier motor asíncrono se puede deducir la velocidad de giro síncrona n_0 . El par de desenganche M_K habitualmente es conocido por las indicaciones del fabricante o se puede poner de forma aproximativa a un múltiplo, por ejemplo el triple, del par nominal. La velocidad de giro de desenganche n_K se puede calcular según la fórmula (5).

En el intervalo de funcionamiento de una máquina de trabajo, la curva característica velocidad de giro/par del motor asíncrono de la figura 5a puede aproximarse como recta a través de los puntos $(M_N; n_N)$, dados por el par nominal M_N con una velocidad de giro nominal n_N , y $(M = 0; n_0)$, dado por el par $M = 0$ con una velocidad de giro síncrona n_0 . Resulta la siguiente curva característica velocidad de giro/par simplificada, la curva característica n/M del motor asíncrono:

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

Esta curva característica velocidad de giro/par aproximada o simplificada está representada en la figura 5b y la curva característica velocidad de giro/potencia simplificada, deducida a partir de la misma, está representada en la figura 6b:

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

En ambos casos, con una curva característica n/P lineal simplificada según la fórmula (15) o una curva característica n/P según la fórmula (13), deducida usando la fórmula de Kloss, a partir de la velocidad de giro de accionamiento n se puede determinar en un paso de procedimiento 25 la potencia $P_2(n)$ absorbida por una máquina de trabajo.

Conociendo la potencia P_2 absorbida de la máquina de trabajo y usando la curva característica Q/P se puede determinar el caudal Q en un paso de procedimiento 26.

La figura 7 muestra una representación esquemática de un procedimiento 21 alternativo según la invención usando una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado o curva característica n/Q , dependiente de la carga. En este procedimiento, en una memoria de datos 33 están almacenados el número de álabes z así como una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado $n(Q)$, dependiente de la carga, dada por varios (i) valores de apoyo $(n_{-1}; Q_{-1}), (n_{-2}; Q_{-2}), \dots (n_{-j}; Q_{-j})$. Según la invención, se encontró que existe un cambio evaluable de la velocidad de giro a lo largo del intervalo de caudal suministrado. Una curva característica velocidad de giro/par de este tipo, dependiente de la carga, puede determinarse de forma didáctica y almacenarse durante un funcionamiento regular. Alternativamente, en una operación de prueba de la bomba que se realiza por ejemplo durante una puesta en servicio de la bomba, se puede determinar y almacenar la velocidad de giro de funcionamiento correspondiente para varios puntos de funcionamiento con un caudal conocido, entre ellos por ejemplo $Q_0, Q_{m\acute{a}x}$. A su vez, en el procedimiento representado en la figura 7 se realiza un registro 22 de una magnitud de medición y mediante los pasos de procedimiento 23 y 24 se determina la velocidad de giro de accionamiento n de la máquina de trabajo. En el procedimiento representado en la figura 7 se determina ahora en un paso de procedimiento 27, con la ayuda de los valores de apoyo $(n_{-1}; Q_{-1}), (n_{-2}; Q_{-2}), \dots (n_{-j}; Q_{-j})$ el caudal Q actual. Por lo tanto, el caudal Q de la bomba centrífuga puede determinarse directamente a partir de la velocidad de giro n . Una curva característica velocidad de giro/caudal suministrado de este tipo, dependiente de la carga, que habitualmente no está documentada para una bomba, está representada en la figura 8.

La figura 9 muestra un procedimiento combinado para la determinación de Q que realiza una determinación del punto de funcionamiento, tanto a partir de la altura de elevación H como de la potencia P_2 . También en este procedimiento, la pulsación de presión de la presión p_2 en el lado de impulsión se utiliza para la determinación de la potencia de árbol P_2 y del caudal Q . El procedimiento contiene a su vez los pasos de procedimiento 23, 24 y 25 que ya se han descrito en la figura 3. En una memoria de datos 30 están almacenados a su vez los parámetros que ya se han descrito en la figura 3 así como la curva característica Q/P . Adicionalmente, está depositada la curva característica caudal suministrado/altura de elevación, la curva característica Q/H , de la bomba centrífuga. Para ello, la tabla de apoyo para la curva característica Q/P se complementa con valores de altura de elevación correspondientes $H_{-1}, H_{-2}, \dots H_{-j}$.

Para la determinación del caudal Q , en un paso de procedimiento 28, el caudal se determina según un procedimiento combinado a partir de la curva característica caudal suministrado/altura de elevación y la curva característica caudal suministrado/potencia de la bomba centrífuga. De esta manera, la determinación del punto de

funcionamiento se puede realizar de manera más exacta y fiable. La altura de elevación H necesaria se calcula en un paso de procedimiento 15 a partir de la presión final p_2 y la presión de aspiración p_1 .

5 La figura 10 muestra una disposición de bomba centrífuga 50 en la que una bomba centrífuga 51 está conectada, a través de un árbol 53, a un motor asincrónico 52 que acciona la bomba centrífuga 51. Para ello, el motor asincrónico 52 es alimentado por una línea de alimentación de red 54. El motor asincrónico 52 presenta una placa de características 55 con magnitudes características del motor asincrónico 52. En una tubuladura de presión 56 de la bomba centrífuga 51 está dispuesto un sensor de presión 57 para la medición de la presión en el lado de impulsión o la presión final de la bomba centrífuga 51. El sensor de presión 57 está conectado, a través de una línea 58 a un dispositivo 61 según la invención. El dispositivo 61 según la invención evalúa las señales de medición del sensor de presión 57 y determina el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo 51. Para ello, utiliza el procedimiento según la invención. Para la realización del procedimiento, como magnitudes características del motor asincrónico basta con los datos de la placa de características potencia nominal P_{2N} y velocidad de giro nominal n_N . Todos los demás parámetros del motor pueden deducirse de ello o calcularse. El dispositivo 61 tiene una conexión o entrada de señales 62 adecuada para el registro de las señales de presión. Ha resultado que es conveniente concebir la entrada de señales 62 para partes de señales de hasta 500 Hz. Una entrada de este tipo es más económica que una entrada altamente dinámica capaz de registrar señales en el intervalo de frecuencia de algunos kilohertzios y ofrece la posibilidad de un registro de señales suficientemente rápido y sensible. Además, el dispositivo 61 presenta una unidad de procesamiento de señales 64 que determina la frecuencia de ruido de giro f_D con una precisión suficiente. La unidad de procesamiento de señales 64 es capaz de determinar la frecuencia de ruido de giro con una precisión de una décima de hertzio o de pocas centésimas de hertzio. Presenta una alta frecuencia de muestreo y/o intervalos de muestreo correspondientemente largos. El procedimiento ejecutado en el dispositivo 61 es controlado y coordinado por una unidad procesadora 65. Además, el dispositivo 61 presenta una unidad de visualización y/o de mando 66. En el dispositivo puede estar prevista una conexión de sensor de presión adicional, no representada aquí, que sirve por ejemplo para registrar una presión de aspiración de la bomba. Además, el dispositivo puede presentar otras entradas de señales no representadas y/o una interfaz serie de bus, por ejemplo para cargar o descargar parámetros.

30 La figura 11 muestra una disposición de bomba centrífuga, constituida por una bomba centrífuga 51 y un motor asincrónico 52, y un dispositivo para la determinación del punto de funcionamiento en forma de un teléfono móvil 71. Este determina el punto de funcionamiento de la bomba centrífuga 51 a partir del ruido aéreo transmitido por la bomba centrífuga 51. Para ello, el teléfono móvil 71 presenta un micrófono 72 integrado. En este ejemplo de realización, el teléfono móvil 71 utiliza el procedimiento según la invención. Para ello, en una memoria de datos - no representada aquí - del teléfono móvil 71 puede estar almacenada una secuencia de programa correspondiente que es procesada por una unidad procesadora - no representada aquí - situada dentro del teléfono móvil.

40 Como está representado en la figura 12, el dispositivo también puede determinar el punto de funcionamiento de una máquina de trabajo de forma separada de esta en el espacio. En la figura 12 está representada la misma disposición de bomba centrífuga que en la figura 11, constituida por una bomba centrífuga 51 y un motor asincrónico 52. Un teléfono móvil 71 con micrófono 72 integrado registra en un lugar de funcionamiento 78, señalado con una línea discontinua, de la bomba centrífuga 51 y del motor asincrónico 52, los ruidos de funcionamiento de la máquina de trabajo 51. Para ello, el teléfono móvil 71 registra las señales de ruido aéreo de la máquina de trabajo 51. Un dispositivo 61 para la determinación del punto de funcionamiento está dispuesto de forma separada en el espacio de la máquina de trabajo 51, en un lugar 79 en el que se realiza la determinación del punto de funcionamiento. El dispositivo 61 utiliza medios de telecomunicación que sirven de medios de transmisión de señales para realizar la determinación del punto de funcionamiento de forma separada en el espacio de la máquina de trabajo 51. Las señales de la bomba centrífuga 51, registradas por el teléfono móvil 71, se transmiten o se transfieren al dispositivo 61 a través de una red de telecomunicación 77.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de un punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona, en el que una potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o el caudal de esta caracterizan un punto de funcionamiento, y una o varias magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo son registradas por uno o varios sensores y los valores de medición son evaluados y/o almacenados durante un funcionamiento de la máquina de trabajo, caracterizado por que el punto de funcionamiento se determina sin usar magnitudes de medición eléctricas del motor asincrónico accionador, y por que a partir de una magnitud de medición mecánica presión, presión diferencial fuerza, vibración, ruido estructural o ruido aéreo, mediante un análisis de señales, especialmente un análisis de frecuencia, se determina una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, determinándose a partir de ello la velocidad de giro (n) de la máquina de trabajo y determinándose a partir de la dependencia velocidad de giro/par, condicionada por el resbalamiento, del motor asincrónico (52) el punto de funcionamiento.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la potencia absorbida (P_2) de la máquina de trabajo se determina mediante los siguientes pasos:
- determinación de la curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52), especialmente mediante los parámetros de motor predefinidos potencia asignada (P_{2N}) y velocidad de giro asignada (n_N), dado el caso, velocidad de giro síncrona (n_0), par de desenganche (M_K), velocidad de giro de desenganche (n_K) o resbalamiento de desenganche (s_K).
 - determinación de la potencia absorbida (P_2) o del par (M) del motor (52) a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n) determinada y de la curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que en una bomba, especialmente en una bomba centrífuga (51), como máquina de trabajo, la determinación de un caudal (Q) de la bomba se realiza a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n) de la misma.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el caudal (Q) de la bomba se determina a partir de la potencia absorbida (P_2) determinada a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n).
5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, caracterizado por que el caudal (Q) de la bomba se determina a partir de parámetros del motor (52) que describen una curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52) así como a partir de parámetros de la bomba que describen una curva característica caudal suministrado/potencia (10), y a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n).
6. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el caudal (Q) de la bomba centrífuga (51) se determina a partir de una curva característica que representa el cambio de la velocidad de giro, dependiente de la carga, sobre el caudal (Q) de la bomba.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 a 6, caracterizado por que la velocidad de giro de accionamiento (n), para la determinación del punto de funcionamiento de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga (51), se determina a partir de valores de medición de uno o varios sensores de presión (57).
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la velocidad de giro de accionamiento (n), para la determinación del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico (52) que la acciona, se determina a partir de valores de medición de uno o varios sensores de ruido estructural y/o de ruido aéreo.
9. Procedimiento para la vigilancia del punto de funcionamiento, determinado según una de las reivindicaciones 1 a 8, de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona, caracterizado por que con la ayuda de un punto de funcionamiento situado fuera de un intervalo predefinido se detecta un estado de funcionamiento defectuoso, especialmente como sobrecarga o carga baja, de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico (52).
10. Dispositivo para la determinación y/o la vigilancia de un punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asincrónico que la acciona, caracterizando la potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o el caudal de esta un punto de funcionamiento, con una o varias entradas para el registro de magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento, caracterizado por que el dispositivo (61) presenta una memoria de datos (30, 33) para datos tecnológicos de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico que la acciona, y a partir de una magnitud de medición mecánica presión, presión diferencial, fuerza, vibración, ruido estructural o ruido aéreo, determina mediante un análisis de señales, especialmente un análisis de frecuencia, una frecuencia linealmente proporcional al ruido de giro de la máquina de trabajo, y a partir de ello determina la velocidad de giro (n) de la máquina de trabajo y a partir de la dependencia velocidad de giro/par, condicionada por el resbalamiento, del motor asincrónico (52), determina y, dado el caso, vigila el punto de funcionamiento a partir de magnitudes de medición no eléctricas.

11. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado por que la potencia absorbida de la máquina de trabajo está determinada mediante los siguientes pasos:
- 5 - determinación de la curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52), especialmente mediante los parámetros de motor predefinidos potencia asignada (P_{2N}) y velocidad de giro asignada (n_N), dado el caso, velocidad de giro síncrona (n_0), par de desenganche (M_K), velocidad de giro de desenganche (n_K) o resbalamiento de desenganche (s_K)
 - 10 - determinación de la potencia absorbida (P_2) o del par (M) del motor (52) a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n) y de la curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52).
12. Dispositivo según la reivindicación 10 u 11, caracterizado por que la máquina de trabajo es una bomba, especialmente una bomba centrífuga (51) y la determinación del punto de funcionamiento comprende la determinación de un caudal (Q) de la bomba a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n).
13. Dispositivo según la reivindicación 12, caracterizado por que el dispositivo (61) determina el caudal (Q) de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga (51), a partir de la potencia absorbida (P_2) determinada a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n).
14. Dispositivo según la reivindicación 12 o 13, caracterizado por que el dispositivo (61) determina el caudal (Q) de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga (51), a partir de parámetros del motor (52) que describen una curva característica velocidad de giro/par ($M(n)$) del motor (52), así como a partir de parámetros de la bomba que describen una curva característica caudal suministrado/potencia (10) y a partir de la velocidad de giro de accionamiento (n).
15. Dispositivo según la reivindicación 12, caracterizado por que el dispositivo (61) determina el caudal (Q) de la bomba, especialmente de la bomba centrífuga (51), a partir de una curva característica que representa el cambio de velocidad de giro, dependiente de la carga, sobre el caudal (Q) de la bomba.
16. Dispositivo según una de las reivindicaciones 10 a 15, caracterizado por que el dispositivo (61) presenta al menos una entrada de señales (62) para un sensor de presión (57), y a partir de valores de medición de un sensor de presión (57) conectado determina la velocidad de giro de accionamiento (n) para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo.
17. Dispositivo según una de las reivindicaciones 10 a 15, caracterizado por que el dispositivo (61) presenta al menos una entrada de señales para un sensor de ruido estructural y/o ruido aéreo y a partir de valores de medición de un sensor de ruido estructural y/o ruido aéreo conectado determina la velocidad de giro de accionamiento (n) para la determinación del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo y/o del motor asincrónico (52) que la acciona.
18. Dispositivo según una de las reivindicaciones 10 a 15 o 17, caracterizado por que para registrar magnitudes de medición dependientes del punto de funcionamiento, el dispositivo puede conectarse a un micrófono (72) o presenta un micrófono (72) integrado.
19. Dispositivo según la reivindicación 18, caracterizado por que el dispositivo es un teléfono, especialmente un teléfono móvil (71), para registrar los ruidos de funcionamiento de la máquina de trabajo y para la determinación y/o vigilancia del punto de funcionamiento.
20. Dispositivo según la reivindicación 18, caracterizado por que el dispositivo (81) utiliza medios de telecomunicación, especialmente un teléfono o teléfono móvil (71) y una red de telecomunicación (77) para realizar la determinación y/o vigilancia del punto de funcionamiento en un lugar (79) distinto al lugar de funcionamiento (78) de la máquina de trabajo.

Fig. 1a

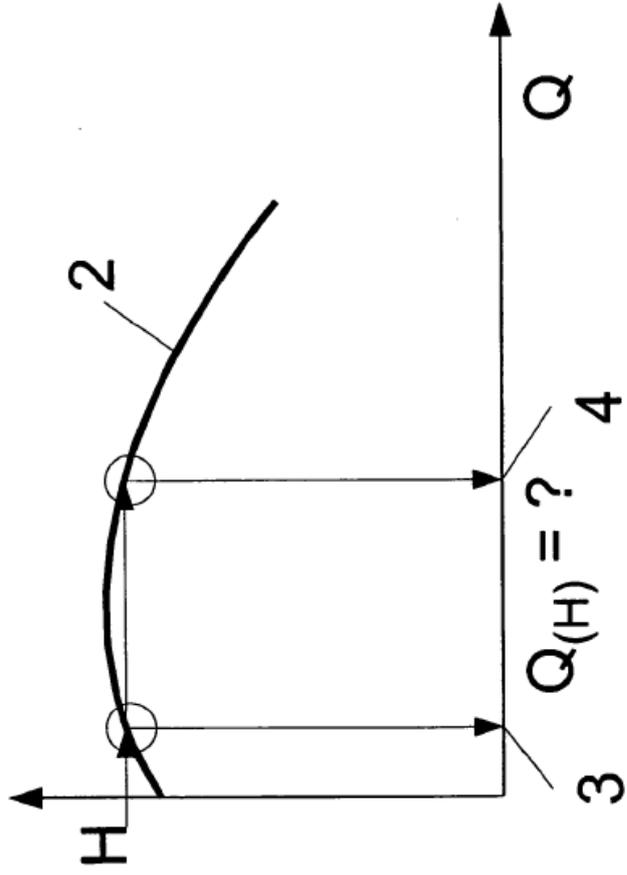
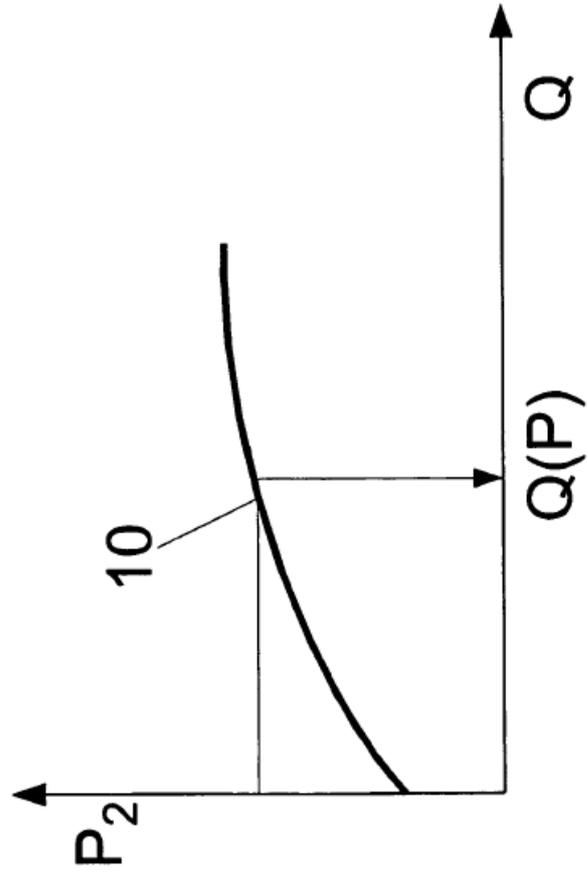
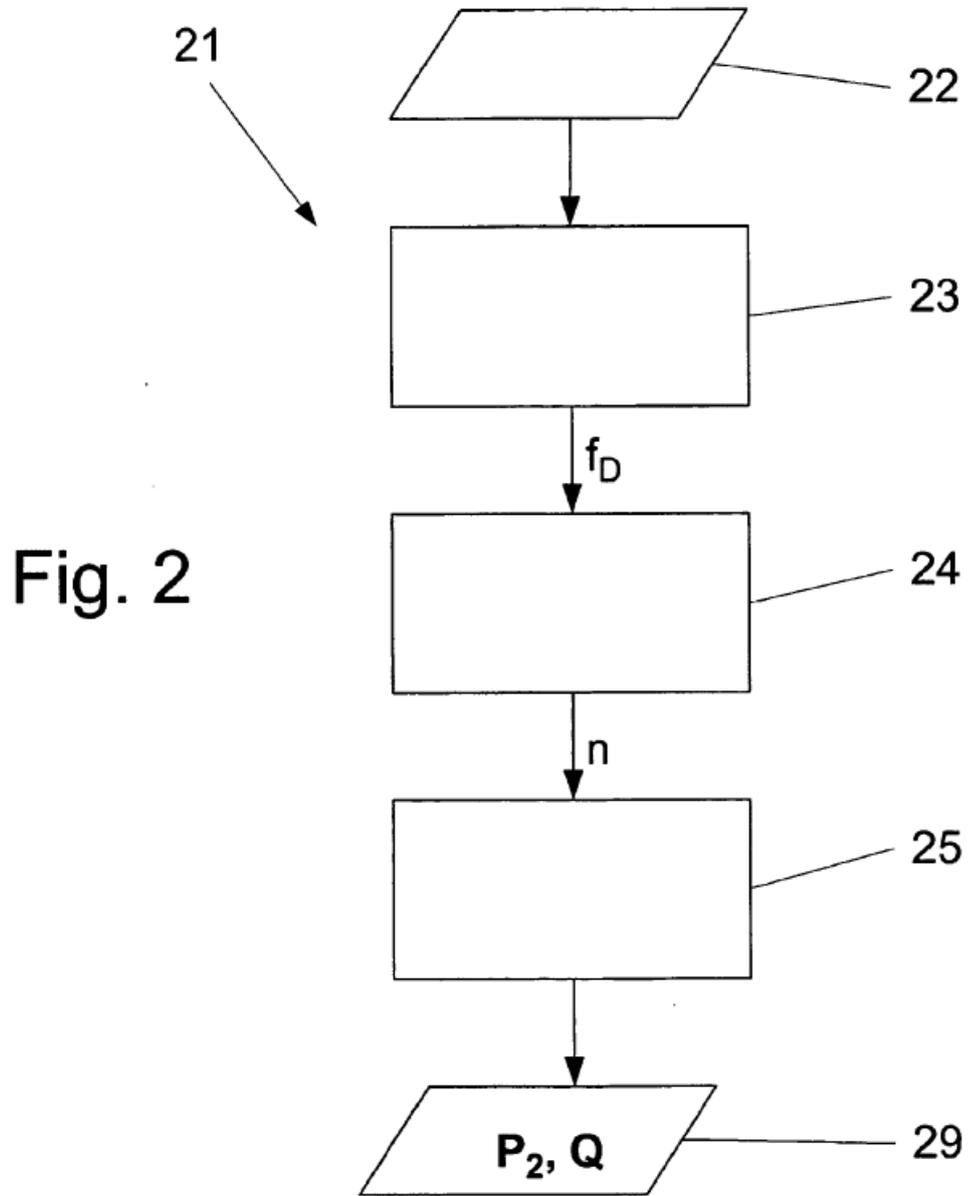


Fig. 1b





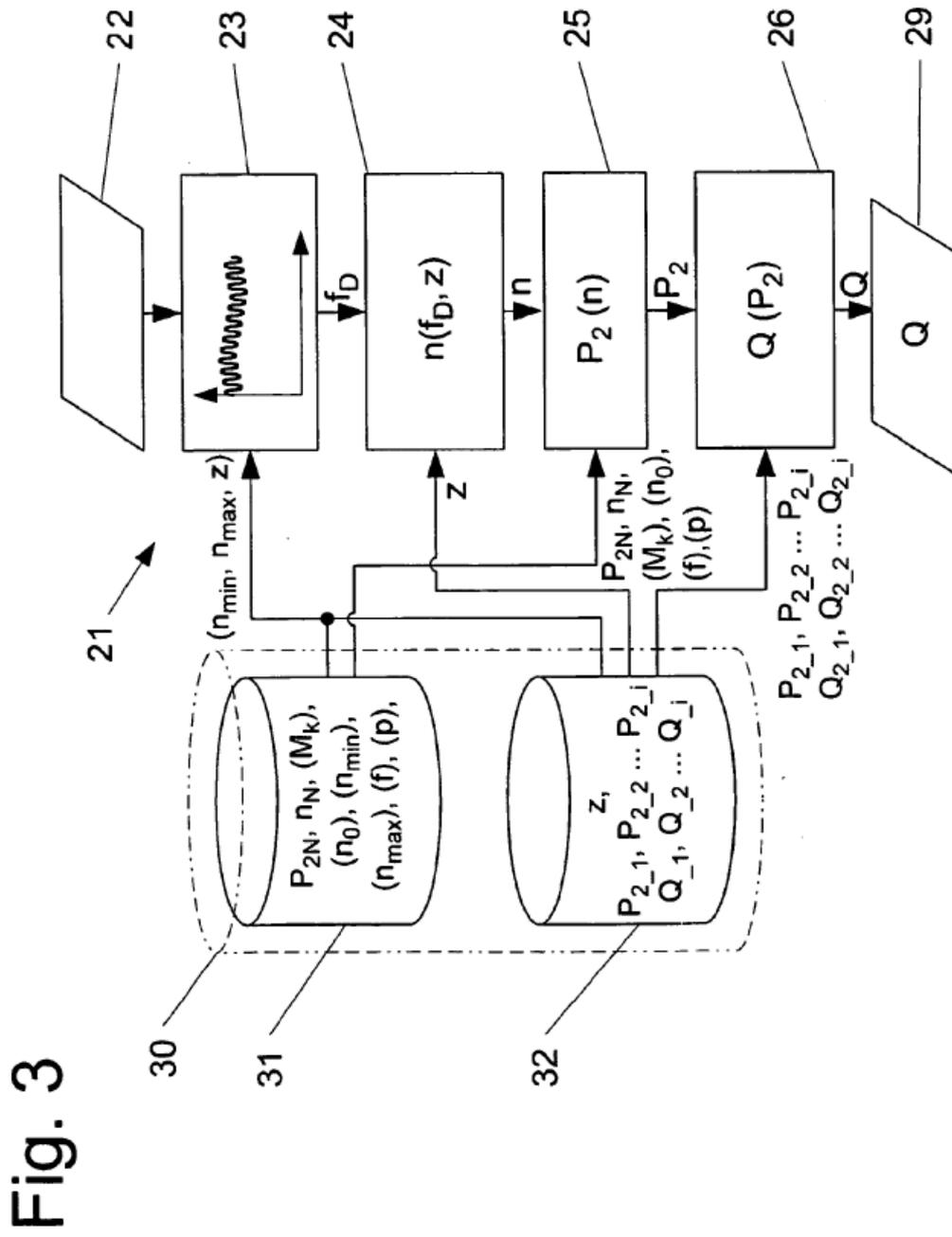


Fig. 4a

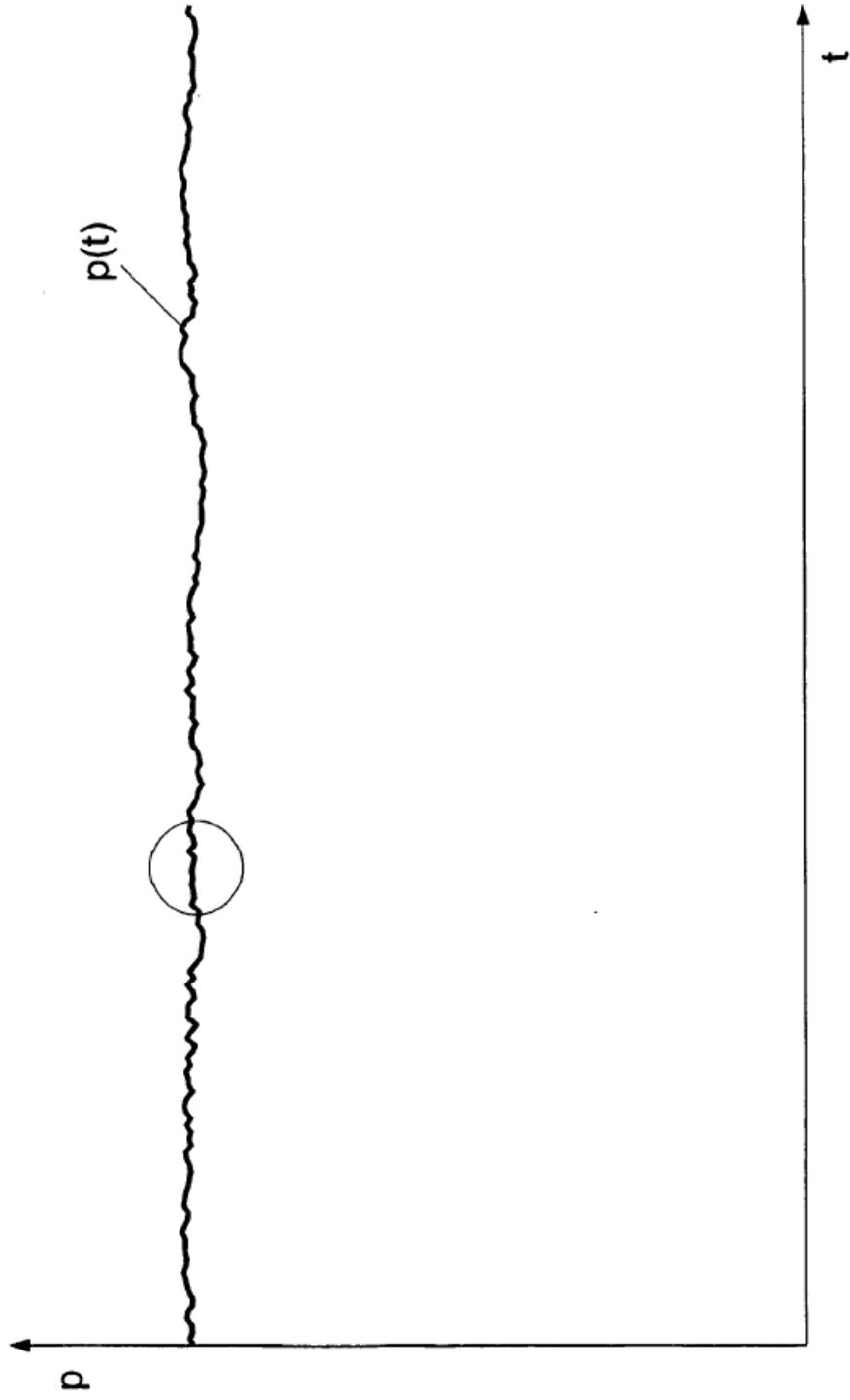


Fig. 4b

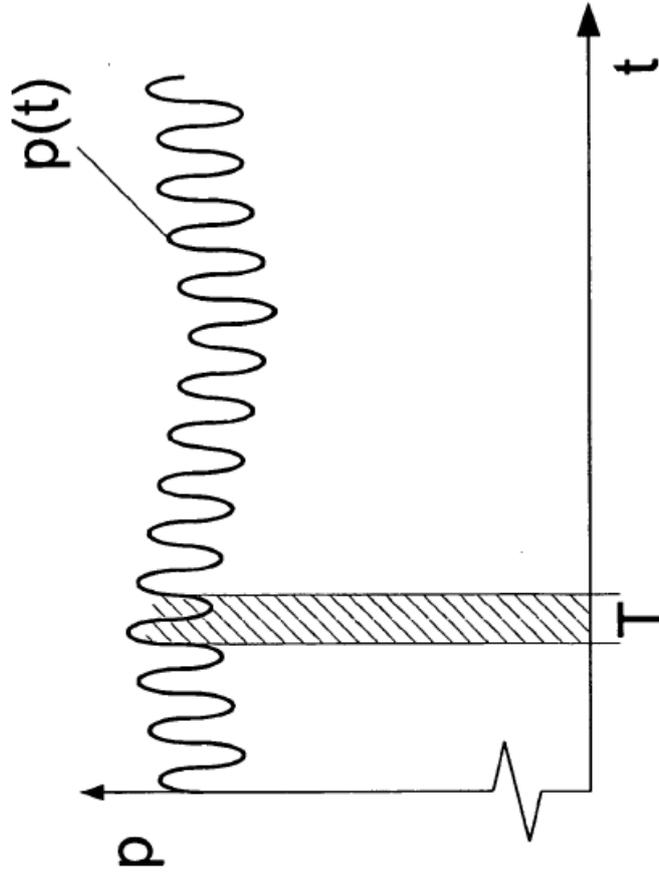


Fig. 5a

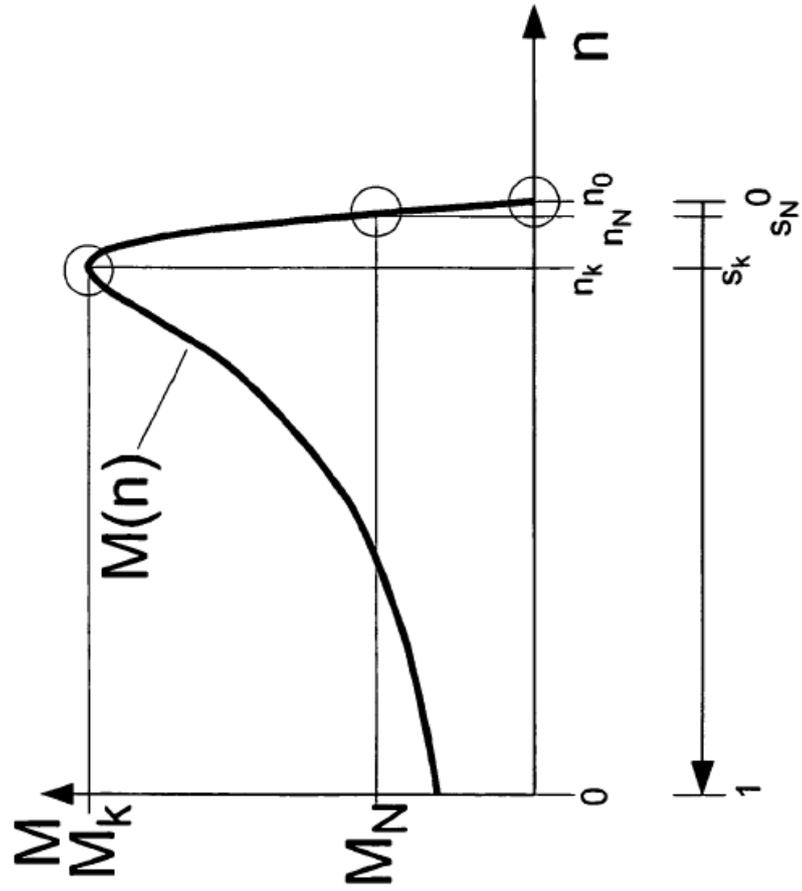


Fig. 5b

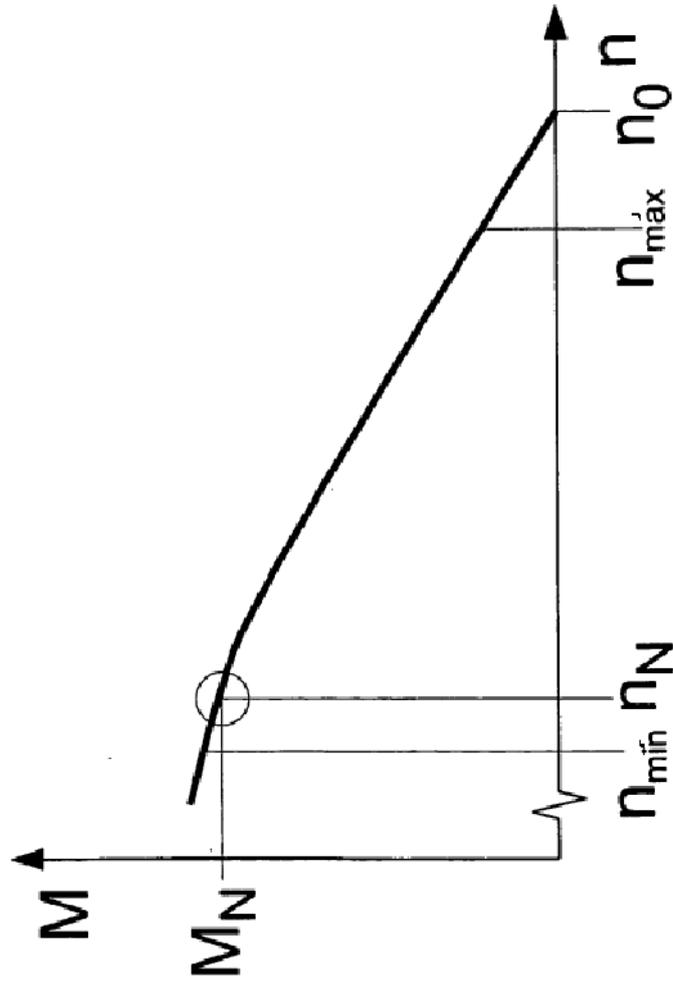


Fig. 6a

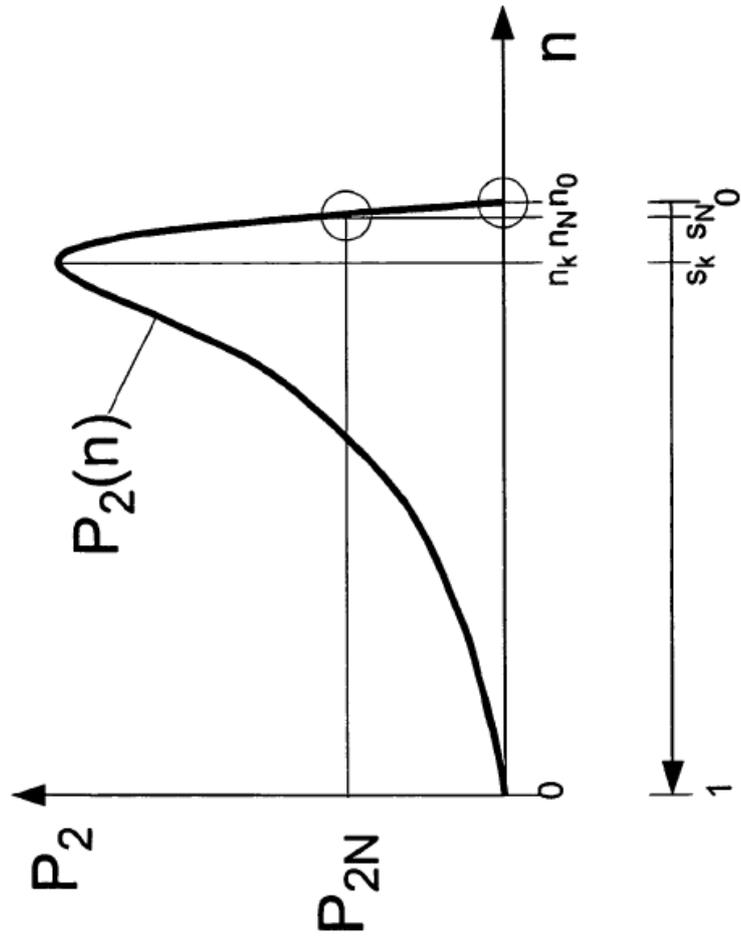


Fig. 6b

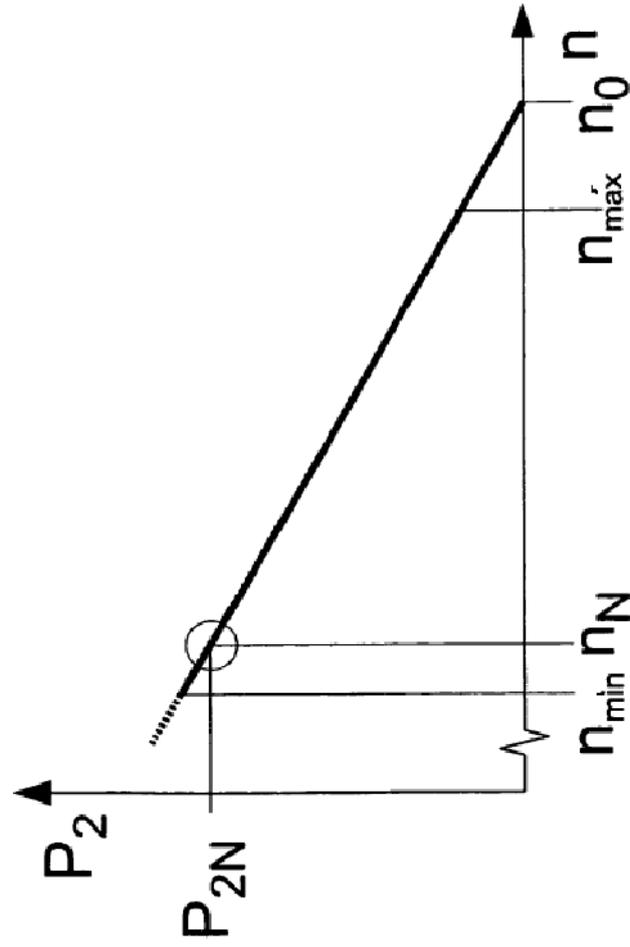


Fig. 7

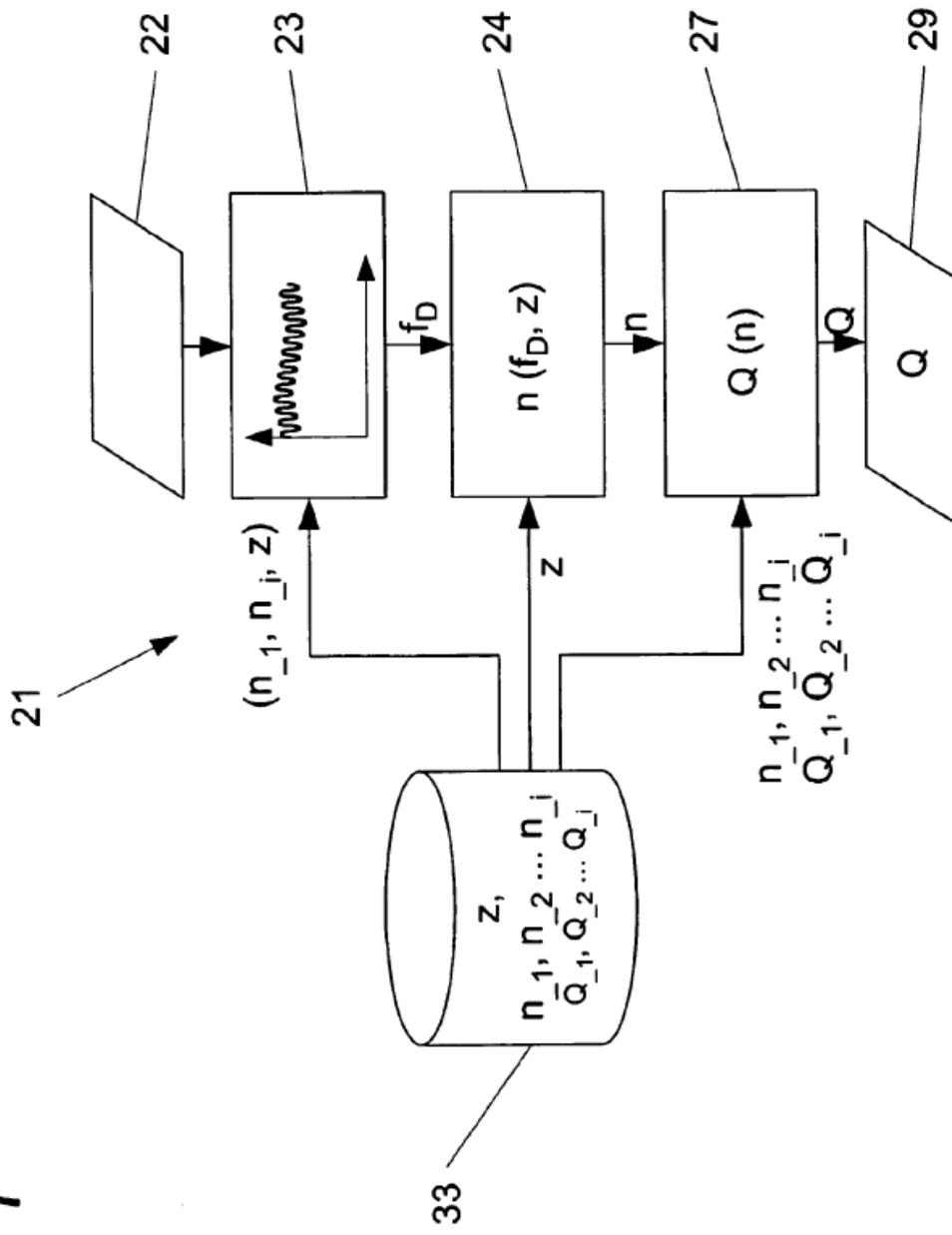


Fig. 8

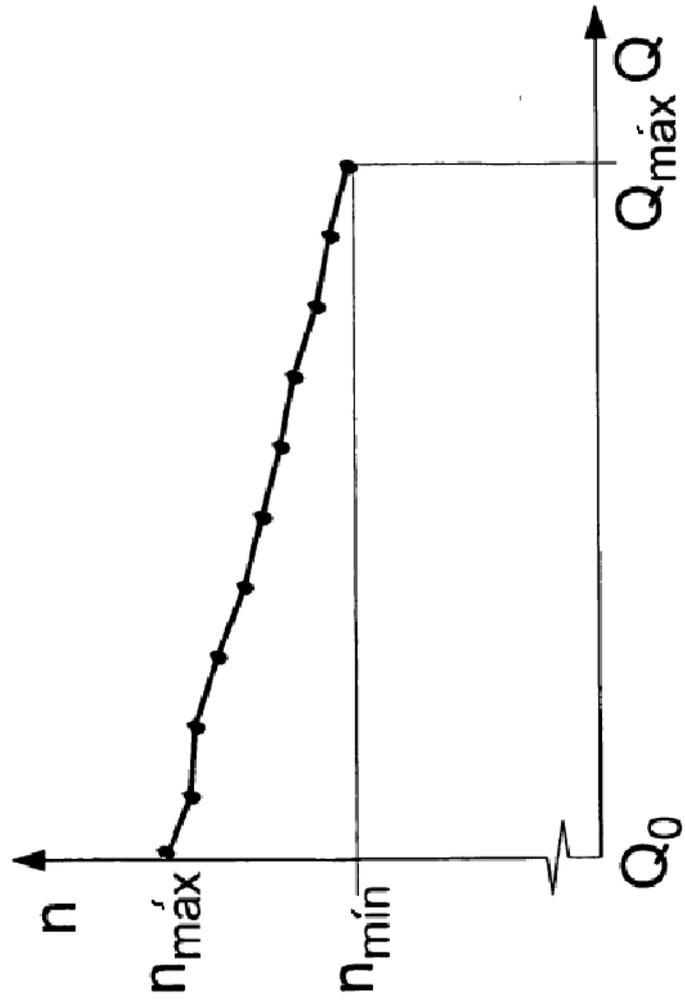


Fig. 9

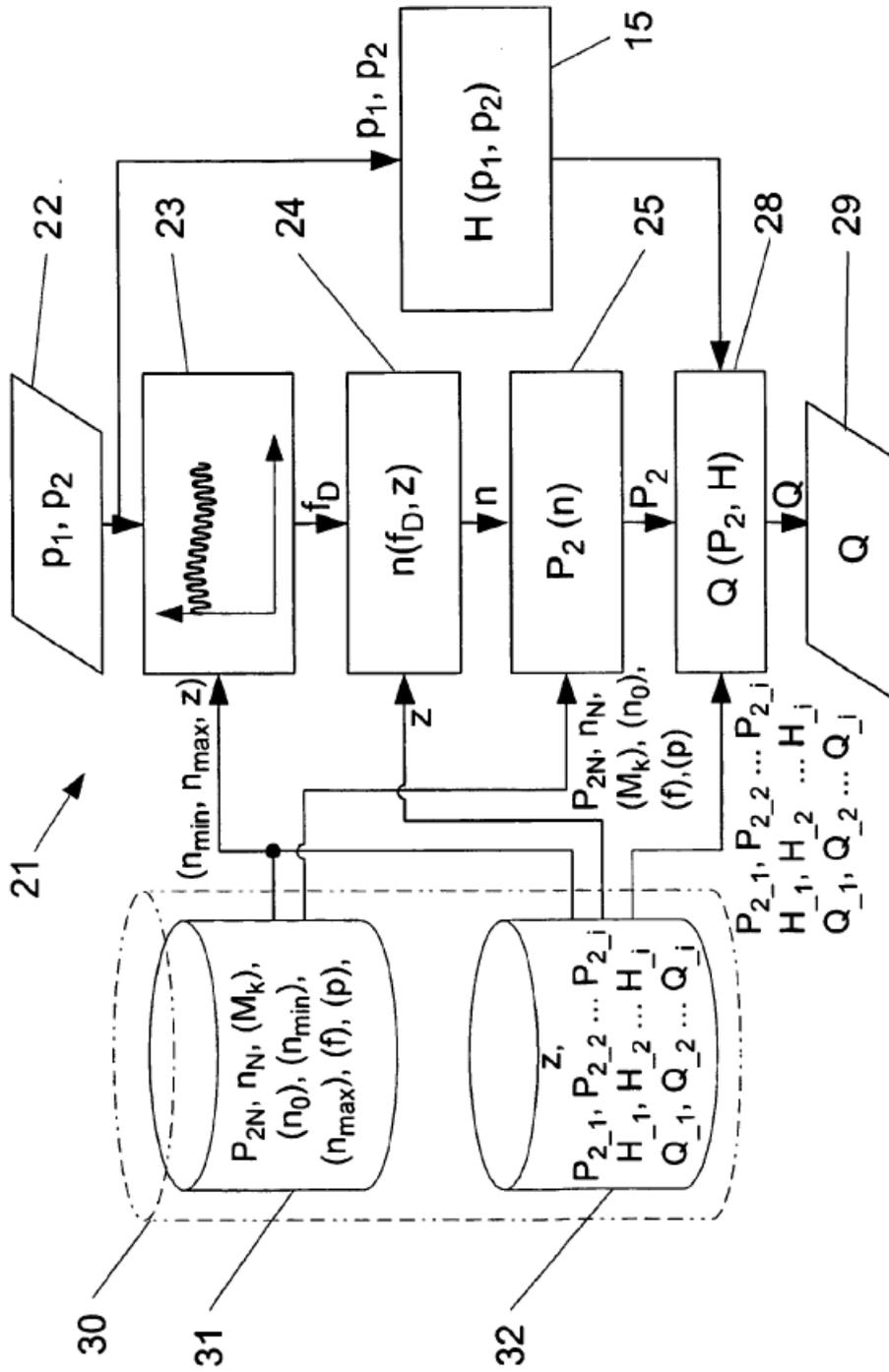


Fig. 10

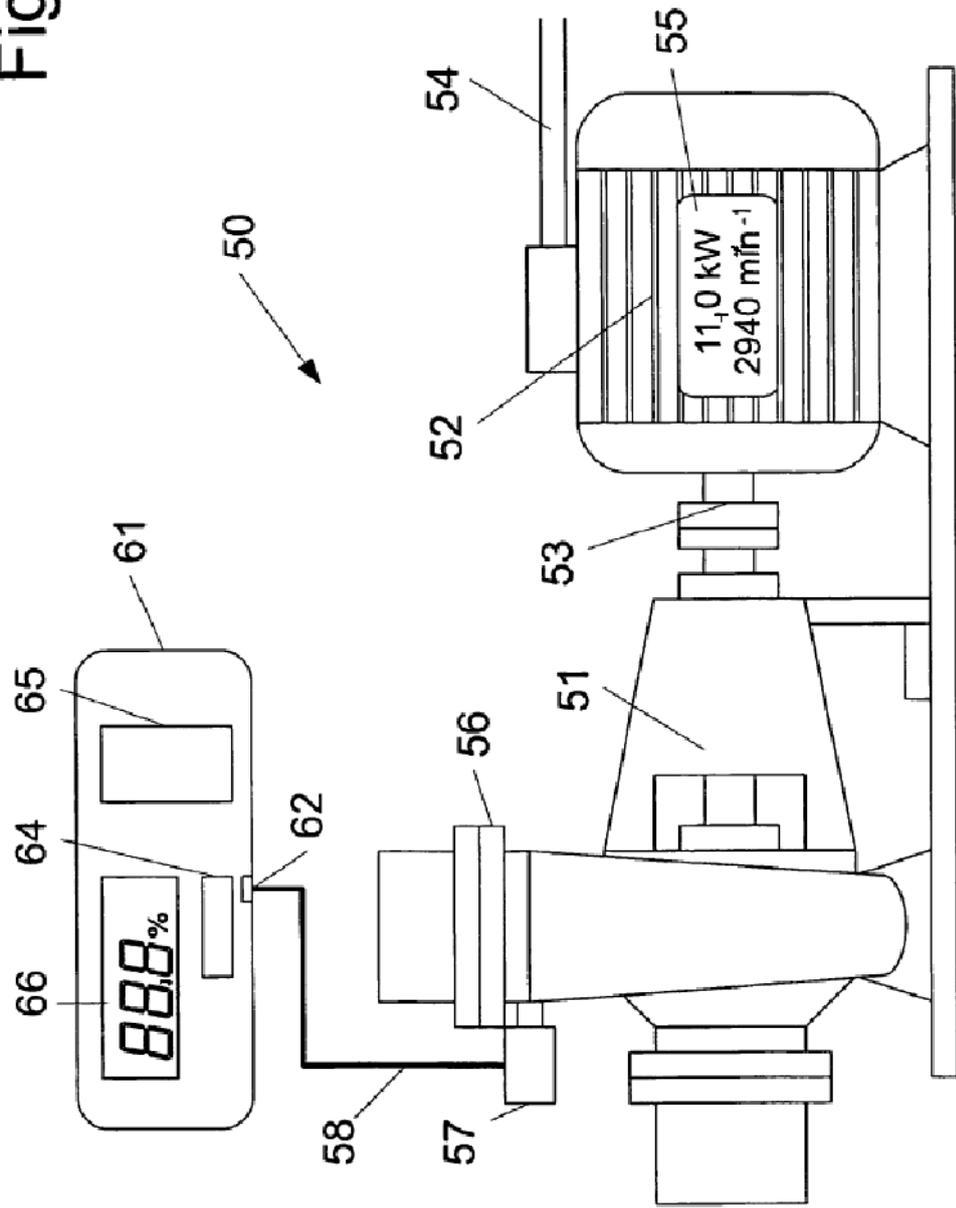


Fig. 11

