



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 1007672-7 B1**



**(22) Data do Depósito: 27/04/2010**

**(45) Data de Concessão: 27/10/2020**

---

**(54) Título:** MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETERMINAR E/OU MONITORAR UM PONTO DE OPERAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRABALHO E/OU DE UM MOTOR ASSÍNCRONO QUE A ACIONA O ÚLTIMO

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

**(30) Prioridade Unionista:** 20/05/2009 DE 102009022107.7.

**(73) Titular(es):** KSB SE & CO. KGAA.

**(72) Inventor(es):** CHRISTOPH EMDE; MARJAN SILOVIC; STEFAN LAUE.

**(86) Pedido PCT:** PCT EP2010055621 de 27/04/2010

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/133425 de 25/11/2010

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 07/11/2011

**(57) Resumo:** MÉTODOS E DISPOSITIVO PARA DETERMINAR E/OU MONITORAR UM PONTO DE OPERAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRABALHO E/OU DE UM MOTOR ASSÍNCRONO QUE A ACIONA. Trata-se de método e dispositivo para determinar um ponto de operação de máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono de acionamento da mesma, em que um ponto de operação é caracterizado por uma alimentação consumida pela máquina de trabalho e/ou pela taxa de rendimento da mesma, uma ou mais variáveis de medição dependentes de ponto da máquina de trabalho são detectadas por um ou mais sensores e os valores medidos são avaliados e/ou armazenados durante operação da máquina de trabalho. O ponto de operação é determinado sem o uso de variáveis de medição elétricas do motor assíncrono de acionamento em que uma frequência que é linearmente proporcional ao tom fundamental da máquina de trabalho é determinada por meio de uma análise de sinal, em particular uma análise de frequência, de uma das variáveis mecânicas de medição de pressão, pressão diferencial, alimentação, vibração, som transmitido por sólido ou transmitido pelo ar. Com base nisso, a velocidade de rotação (n) da máquina de acionamento é determinada, a partir da qual, por (...).

**“MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DETERMINAR E/OU MONITORAR UM PONTO DE OPERAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRABALHO E/OU DE UM MOTOR ASSÍNCRONO QUE A ACIONA O ÚLTIMO”**

**CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] A invenção se refere a um método para determinar um ponto de operação de uma máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono que aciona o último, uma potência de entrada da máquina de trabalho e/ou sua taxa de escoamento que caracteriza um ponto de operação, uma ou mais variáveis de medição dependentes de ponto de operação da máquina de trabalho sendo detectada por um ou mais sensores, e os valores de medição sendo avaliados e/ou armazenados enquanto a máquina de trabalho está em operação. A invenção se refere, ainda, a um método para monitorar um ponto de operação. A invenção se refere, além disso, a um dispositivo para realização do método.

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] Para garantir que uma máquina de trabalho opere confiável e eficientemente, seu ponto de operação deve ser conhecido.

[003] Quando uma disposição de bomba, em particular uma disposição de bomba centrífuga, composta de uma bomba e de uma máquina assíncrona que aciona a última, está em operação, evidência de seu ponto de operação é frequentemente exigida. O ponto de operação de uma turbomáquina em trabalho, em particular uma bomba centrífuga, em sua curva característica de vazão/altura manométrica ou curva característica Q-H, é caracterizado em particular por sua vazão, também daqui em diante chamado de taxa de escoamento. Existem várias possibilidades para sua determinação. Pode ser determinado ao medir o fluxo de escoamento ou por medição de pressão. No último caso, a diferença de pressão entre o lado de escoamento e lado de sucção da bomba é geralmente medido. A altura manométrica é estimada como

o quociente da diferença de pressão, densidade e aceleração gravitacional. No caso de água como um fluido de escoamento, uma diferença de pressão de 10197,16 kgf/m<sup>2</sup> (1 bar) corresponde a uma altura manométrica de aproximadamente 10 metros. Além disso, um ponto de operação de uma bomba centrífuga é determinado por medição elétrica, a potência de saída do motor sendo calculado a partir de medições de corrente e tensão, levando em conta a eficiência do motor.

[004] A medição direta da taxa de escoamento geralmente requer medidores de vazão magnético-indutivos. A determinação indireta da taxa de escoamento apresenta dificuldades aritmeticamente adicionais. Se, por exemplo, uma taxa de escoamento é derivada a partir dos valores de uma curva característica de vazão/altura manométrica, uma curva característica Q-H, em que a altura manométrica H é plotada sobre a vazão, ou de uma curva característica vazão/potência, uma curva característica Q-P, em que a potência P é plotada sobre a vazão Q, isto é difícil ou mesmo impossível naquelas situações em que há uma curva característica Q-H ou curva característica Q-P achata ou descontinuamente ascendente. Se a taxa de escoamento for determinada por meio de pressões medidas a partir da curva característica Q-H de uma bomba centrífuga, a curva característica Q-H deve ser inequívoca, o que significa que um valor Q deve ser exatamente atribuído a cada valor H. Esta condição frequentemente não é cumprida na prática. As curvas características Q-H ou são muito achatadas ou mesmo ambíguas. O mesmo problema também surge quando a vazão Q deve ser determinada por meio de uma potência de entrada medida a partir da curva característica de vazão/potência, a curva característica Q-P. O perfil da curva característica Q-P também é frequentemente achatado ou mesmo ambíguo.

[005] Uma combinação dos métodos acima é conhecida a partir de WO 2005/064167 A1. Isto implica em uma despesa considerável em termos

de medição, uma vez que ambas a pressão diferencial da bomba e potência elétrica precisam ser medidas.

[006] Ao medir a potência elétrica de entrada de uma montagem de motor/bomba implica em certa quantidade de despesa na prática. A medição de potência ativa ocorre em um painel elétrico, que ocupa espaço, particularmente para medir a corrente de motor por meio de transformadores de corrente e necessita de uma despesa em termos de montagem que precisam ser realizados por eletricitistas especializados.

[007] Uma disposição e método para determinar a potência e/ou torque de motores de indução são descritos no documento DD 258 467 A1. Um comutador de proximidade é disposto no rotor de um motor de indução com o propósito de detectar um ou mais pulsos por revolução do eixo de motor, e um estágio modelador de pulso para detectar a velocidade rotacional síncrona a partir da frequência de linha é conectado entre a rede e o microcomputador. Em adição, a disposição tem um dispositivo para detectar a temperatura do motor e um microcomputador no qual todos os dados de medição são captados e avaliados com o propósito de regular a sequência do processo posterior. A potência e/ou o torque do motor de indução é determinado a partir do momento de um ou mais períodos da velocidade rotacional de motor e um ou mais períodos da velocidade rotacional síncrona. A potência e/ou o torque do motor de indução é determinado ao contar os pulsos do eixo de motor dentro do que é conhecida como tempo de "gate" que é fixado por um ou mais períodos da velocidade rotacional síncrona. A "equação de Kloss" é utilizada para determinar a potência e/ou o torque. O método exige uma pluralidade de variáveis de entrada, uma das quais também é a velocidade rotacional síncrona que é determinada a partir de variáveis de medição elétricas. Em adição, os resultados precisam ser corrigidos como uma função da temperatura de operação do motor, com isso tornando necessário determinar e armazenar

fatores de correção exigidos por tipo de motor através da antecipação da medição. Esta disposição tem uma configuração complicada. Este método provou ser inadequado na prática industrial. Isto é uma desvantagem particular, mesmo quando a entrada de potência ativa de um motor assíncrono é medida convenientemente por medidores de potência ativos e transformadores de corrente, que é absolutamente necessário que tal disposição seja instalada por eletricitistas especializados.

[008] O documento DE 10 2006 049 440 A1 descreve um método para detectar um estado de operação de uma bomba, em particular de uma bomba de deslocamento centrífugo ou positivo, em uma instalação de bomba. O método e seu dispositivo servem para detectar um estado defeituoso de operação de uma bomba, instalação de bomba e instalação hidráulica, em comparação com um estado normal armazenado. Um sensor de pressão detecta o perfil de tempo de pressão no meio de distribuição. Um valor característico calculado caracteriza a pulsação da pressão e/ou perfil de fluxo em um cálculo de intervalo de tempo. Pelo valor característico calculado sendo comparado com pelo menos um valor característico estipulado ou com uma faixa de valor de característica delimitada por ele, o valor característico estipulado ou a faixa de valor de característica delimitada por ele correspondente a um estado relevante de operação da bomba, o estado de operação é determinado e liberado. No caso de um equipamento de diagnóstico com um sensor de pressão conectado e com um sensor de oscilação adicional, a velocidade rotacional da bomba é determinada a partir do sinal de sensor de pressão e é fornecido ao sensor de oscilação. As razões para isto não são descritas. Nem a informação de velocidade rotacional, nem quaisquer outras variáveis dão evidência do ponto de operação em uma curva característica Q-H ou Q-P e/ou a potência de entrada em que a bomba é operada. Apenas desvios de valores de referência pré-determinados e armazenados são indicados por

este método.

[009] O documento DE 196 18 462 A1 descreve um método adicional e um dispositivo para determinar um parâmetro de potência extrínseco de um dispositivo conversor de energia, como o volume ou massa de fluxo de subsuperfície através de uma bomba centrífuga acionada por motor, em que uma variável intrínseca dependente do estado de operação é determinada continuamente.

### **DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

[0010] O objetivo da invenção tem por base tornar disponível um método e um dispositivo, por meio dos quais é possível uma determinação confiável, menos complicada e, quando apropriado, monitoramento do ponto de operação de corrente de uma máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono que aciona a última.

[0011] Este objetivo é alcançado, de acordo com a invenção, em que o ponto de operação é determinado sem o uso de variáveis elétricas de medição do motor assíncrono de acionamento, e em que uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho é determinada a partir de uma variável mecânica de medição, isto é, pressão, pressão diferencial, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência, a velocidade rotacional da máquina acionadora sendo determinada a partir disso, e o ponto de operação sendo determinado a partir da dependência da velocidade rotacional induzida por escorregamento/torque do motor assíncrono.

[0012] De acordo com a invenção, o ponto de operação é determinado sem o uso de variáveis elétricas de medição. Em vez disso, uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho, em particular a frequência do som de rotação da máquina de trabalho, é

determinada a partir do perfil de sinal de uma variável mecânica de medição medida. A frequência do som de rotação é referida daqui em diante para simplificar. Isto é obtido a partir do produto da velocidade rotacional e um número de estruturas excitadoras de oscilação de um componente oscilante ou rotacional, em particular o número de lâminas de um propulsor de bomba. A velocidade rotacional da máquina acionadora é determinada a partir disso, e a potência de entrada da máquina de trabalho, também chamada de saída do eixo daqui em diante, e/ou sua taxa de escoamento são/é determinado(s) com a ajuda de dados armazenados. As variáveis de medição mecânicas adequadas são pressão, em particular a pressão no lado de escoamento de uma bomba centrífuga, pressão diferencial, em particular a pressão diferencial entre o lado de sucção e o lado de escoamento de uma bomba centrífuga, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, em particular de, ou causado por, uma bomba centrífuga, ou similares. O ponto de operação da máquina de trabalho pode ser determinado a partir de uma única variável de medição não-elétrica. Pelas variáveis elétricas de medição serem dispensadas, o método de acordo com a invenção para determinar um ponto de operação é comparativamente de baixo custo e pode ser realizado ao custo mais baixo possível em termos de instalação.

[0013] Em um refinamento da invenção, a potência de entrada da máquina de trabalho é determinada por meio das seguintes etapas:

- determinar a curva característica de torque/velocidade rotacional do motor, em particular por meio de parâmetros estipulados do motor, isto é, a potência projetada e velocidade rotacional projetada, se apropriado velocidade rotacional síncrona, torque máximo, velocidade rotacional máxima ou escorregamento máximo.

- determinar a potência de entrada ou torque do motor a partir da velocidade rotacional de acionamento determinada e curva característica de

velocidade rotacional/torque do motor.

[0014] Os parâmetros exigidos para determinar a curva característica de velocidade rotacional/torque do motor são derivados dos dados da placa de características de um motor assíncrono, por exemplo, o torque  $M_N$  projetado ou nominal é obtido a partir do quociente da potência projetada do motor assíncrono  $P_{2N}$  e da velocidade rotacional nominal  $n_N$  como:

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

[0015] Se o torque máximo  $M_K$  e/ou escorregamento máximo  $s_k$  do motor assíncrono é(são) conhecido(s), a curva característica de velocidade rotacional/torque, curva característica n-M, do motor assíncrono é mapeado por meio da equação de Kloss

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

com o escorregamentos do motor assíncrono sendo

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

o perfil da curva característica n-M é obtido em

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

com a velocidade rotacional máxima  $n_k$  sendo

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

[0016] De forma alternativa, na faixa de operação da máquina de trabalho, a curva característica de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono pode ser aproximada como uma linha reta através dos pontos  $(M_N; n_N)$ , fornecido pelo torque nominal  $M_N$  na velocidade rotacional nominal  $n_N$ , e  $(M = 0; n_0)$ , fornecido pelo torque  $M$  igual a zero no caso de uma velocidade rotacional síncrona  $n_0$ . Isto então resulta na seguinte curva característica de velocidade rotacional/torque aproximada ou simplificada, curva característica  $n$ - $M$ , do motor assíncrono, o perfil que é descrito pela seguinte fórmula:

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

[0017] A potência de entrada da máquina de trabalho é determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento previamente determinada, também chamada de velocidade rotacional do eixo daqui em diante, e a partir da curva característica de velocidade rotacional/torque, a curva característica  $n$ - $M$ , do motor. Esta relação da saída do eixo  $P_2$  com o torque  $M$  e a velocidade rotacional  $n$  é fornecida pela equação

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

[0018] De acordo com a invenção, o ponto de operação de uma máquina de trabalho, em particular uma bomba, caracterizado por sua potência de entrada, é determinado. Isto ocorre por meio de sensores existentes dispostos em uma bomba.

[0019] Um refinamento vantajoso fornece, no caso de uma

bomba, em particular uma bomba centrífuga, como uma máquina de trabalho, para determinar sua taxa de escoamento a partir de sua velocidade rotacional de acionamento. A frequência do som de rotação é determinada a partir do perfil de sinal a partir de uma variável de medição não-elétrica por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência, por exemplo, Transformada Rápida de Fourier (FFT) ou autocorrelação. A velocidade rotacional de acionamento é determinada a partir disso. No exemplo de uma bomba centrífuga como uma máquina de trabalho, a velocidade rotacional é obtida como o quociente da frequência do som de rotação  $f_D$  e do número de lâminas  $z$  do propulsor:

$$n = \frac{f_D}{z} \quad (8)$$

[0020] A saída do eixo e/ou taxa de escoamento pode ser determinada a partir da velocidade rotacional por meio da dependência da velocidade rotacional/torque. A medição de variáveis elétricas é dispensada, de forma que os gastos para realizar a determinação de ponto de operação é reduzida consideravelmente, se comparado com a determinação convencional do ponto de operação baseada na medição da potência elétrica ativa. Desta forma, se comparado com a medição direta da taxa de escoamento, por exemplo, por meio de tecnologia ultrassônica de medição de fluxo de subsuperfície ou tecnologia magnético-indutiva de medição de fluxo de subsuperfície, há um custo benefício considerável, uma vez que as variáveis mecânicas de medição utilizadas, isto é, pressão, pressão diferencial, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, são detectadas e processadas de uma maneira mais favorável.

[0021] Foi provado ser vantajoso que a taxa de escoamento da bomba seja determinada a partir da potência de entrada ou saída do eixo

determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento. Primeiro, como descrito acima, a saída do eixo da bomba é determinada de acordo com a fórmula (7) a partir da velocidade rotacional de acionamento ou velocidade rotacional do eixo com a ajuda da curva característica n-M conhecida ou uma curva característica n-P derivável a partir dessa. Em uma etapa subsequente, a taxa de escoamento Q da bomba é determinada a partir da saída do eixo por meio de uma curva característica Q-P armazenada.

[0022] A taxa de escoamento da bomba pode ser determinada a partir de parâmetros do motor, que descreve uma curva característica de velocidade rotacional/torque do motor, e também a partir de parâmetros da bomba, que descreve uma curva característica vazão/potência, e a partir da velocidade rotacional de acionamento. A curva característica Q-P pode ser descrita, por exemplo, na forma de uma tabela de parâmetro com uma pluralidade de pontos de apoio ( $_{1}$  a  $_{i}$ ). Durante a determinação de um ponto de operação, o método utiliza tal tabela pré-armazenada para determinar a taxa de escoamento a partir da saída do eixo:

Taxa de escoamento Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Saída do eixo $P_2$	$P_{2\_1}$	$P_{2\_2}$	$P_{2\_3}$	...	$P_{2\_i}$

[0023] A tabela pode conter adicionalmente pontos de apoio para a respectiva velocidade rotacional, através da qual se torna possível determinar a vazão diretamente a partir da velocidade rotacional determinada.

[0024] De forma particular, em regiões ambíguas da curva característica Q-P, a altura manométrica ou pressão diferencial pode adicionalmente ser utilizada para determinar a taxa de escoamento da bomba para o propósito de um aprimoramento posterior no método. Além disso, para determinar o ponto de operação, ambas a curva característica Q-P e a curva característica Q-H podem ser levadas em conta. Para este propósito, por exemplo, valores de quociente  $P_2/H$  podem ser armazenados:

Taxa de escoamento Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Saída do eixo $P_2$	$P_{2\_1}$	$P_{2\_2}$	$P_{2\_3}$	...	$P_{2\_i}$
Altura manométrica H	$H_{_1}$	$H_{_2}$	$H_{_3}$	...	$H_{_i}$
Quociente $P_2/H$	$P_{2\_1}/H_{_1}$	$P_{2\_2}/H_{_2}$	$P_{2\_2}/H_{_2}$	...	$P_{2\_i}/H_{_i}$

[0025] Do mesmo modo é possível determinar a taxa de escoamento da bomba centrífuga a partir de uma curva característica que representa a mudança de velocidade rotacional dependente de carga sobre a taxa de escoamento da bomba. Tal curva característica de velocidade rotacional/vazão pode ser calculada a partir de uma curva característica de velocidade rotacional/torque do motor em conjunto com uma curva característica de vazão/potência.

Taxa de escoamento Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Saída do eixo $P_2$	$P_{2\_1}$	$P_{2\_2}$	$P_{2\_3}$	...	$P_{2\_i}$
Velocidade rotacional n	$n_{_1}$	$n_{_2}$	$n_{_3}$	...	$n_{_i}$

[0026] De forma alternativa, mesmo sem conhecer as curvas características Q-P e Q-H, uma curva característica para determinar a taxa de escoamento pode ser determinada a partir da mudança de velocidade rotacional dependente de carga. Para este propósito, a respectiva velocidade rotacional de operação pode ser determinada e armazenada em uma execução do teste da bomba, que ocorre, por exemplo, durante preparação, em uma pluralidade de pontos de operação com uma conhecida taxa de escoamento, incluindo, por exemplo,  $Q_0$ , que significa uma vazão igual a zero, e  $Q_{max}$ , que significa a vazão máxima admissível. Isto resulta na tabela de parâmetro apresentada em geral daqui em diante:

Taxa de escoamento Q	$Q_{_1}$	$Q_{_2}$	$Q_{_3}$	...	$Q_{_i}$
Velocidade rotacional n	$n_{_1}$	$n_{_2}$	$n_{_3}$	...	$n_{_i}$

[0027] De forma alternativa, é possível que velocidades rotacionais sejam determinadas e armazenadas ao "aprender" durante a

operação regular da bomba. Logo, em uma bomba centrífuga com uma curva característica Q-P em que P se eleve estritamente de forma monotônica em proporção a Q, como, por exemplo, na maioria das bombas com uma roda radial, a maior velocidade rotacional que ocorre é atribuída à menor potência de entrada que ocorre e à menor vazão, se apropriado com a válvula fechada, que significa uma vazão zero. Se a velocidade rotacional diminuir de novo durante a operação, uma vazão elevada é inferida a partir deste. Logo, ao longo do período de operação de uma bomba centrífuga, uma faixa que opera dentro dos limites de  $(Q_{\min}'; n_{\max}')$  e  $(Q_{\max}'; n_{\min}')$  que ocorre no período de operação investigado é aprendido, sem valores concretos para Q sendo medidos ou determinados para este propósito. Os valores limites aprendidos são utilizados para classificar a vazão em cada caso na bomba centrífuga em cada caso entre a vazão mínima  $Q_{\min}'$  e o vazão máxima  $Q_{\max}'$  que ocorreu durante o período de operação investigado.

[0028] De acordo com este refinamento, a dependência de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono também é empregada. A invenção neste caso faz uso do conhecimento que este traz sobre uma mudança avaliável de velocidade rotacional sobre a faixa de vazão. Por meio de tal curva característica, que geralmente não é documentada para uma bomba, a taxa de escoamento da bomba centrífuga pode ser determinada diretamente a partir da velocidade rotacional.

[0029] Um método é especialmente confiável, de acordo com que a velocidade rotacional de acionamento ou velocidade rotacional do eixo é determinada a partir de valores de medição de um ou mais sensores de pressão para o propósito de determinar o ponto de operação da bomba, em particular a bomba centrífuga. É vantajoso neste caso que os sensores de pressão sejam adequados para a medição dinâmica de pressões, em particular de pressões pulsantes. O ponto de operação da bomba, em particular uma bomba centrífuga,

que é caracterizado pela saída do eixo e/ou taxa de escoamento é, portanto, determinada unicamente a partir de valores de medição de um ou mais sensores de pressão. Um ou mais sensores de pressão são empregados em uma bomba centrífuga para detectar a sucção e/ou pressão máxima de uma bomba centrífuga. Os sensores de pressão, embora fornecidos para medir pressões estáticas, também são em sua maioria adequados para a medição dinâmica de pressões. Testes mostraram que sensores de pressão padrão detectam pressões dinamicamente, e inalterados, até uma faixa de frequência de aproximadamente 1 kHz. Tais sensores de pressão são capazes de detectar pressões pulsantes que ocorrem dentro de uma bomba centrífuga. O método de acordo com a invenção alcança precisão suficiente para muitas aplicações quando apenas um sensor de pressão é utilizado no lado de escoamento da bomba. Em adição, um sensor de pressão pode ser fornecido no lado de sucção da bomba. Existem também provisões para avaliar um diferencial de pressão da bomba entre o lado de escoamento e lado de sucção da bomba, que pode ser conseguido por meio de um sensor de pressão diferencial. Em virtude do método de acordo com a invenção, o ponto de operação pode ser determinado com baixo custo, sem o uso de sensores adicionais, unicamente a partir de um ou mais sinais de sensor de pressão.

[0030] Em outro refinamento, a velocidade rotacional de acionamento é determinada a partir de valores de medição de um ou mais sensores de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar para o propósito de determinar o ponto de operação da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono que aciona o último. Neste caso, os sensores de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar podem ser dispostos na máquina de trabalho e/ou no motor assíncrono que aciona o último. Os sensores também podem ser dispostos nos arredores da máquina de trabalho. Em qualquer evento, uma frequência que é linearmente proporcional ao som

rotacional da máquina de trabalho e a partir do qual a velocidade rotacional da máquina de trabalho é determinada, é detectada a partir de sinais de os sensores que detectam variáveis mecânicas de medição. E o ponto de operação é determinado a partir disso, utilizando a dependência de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono.

[0031] De acordo com a invenção, um ponto de operação determinado pode ser monitorado de modo a determinar se está dentro ou fora de uma faixa permissível estipulada. Um estado defeituoso de operação, em particular sobrecarga ou subcarga, da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono é detectado com base em um ponto de operação que é localizado fora de uma faixa estipulada. Com a potência de entrada de uma bomba centrífuga sendo monitorada ou avaliada, por exemplo, a operação sob carga parcial ou a operação ideal pode ser inferida. Se o ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar é utilizado como uma variável de medição, o funcionamento a seco da bomba centrífuga também pode ser detectado. Testes mostraram que a detecção de acordo com a invenção de uma sobrecarga de um motor assíncrono funciona confiável e robustamente. Se a potência de entrada é aumentada, se comparado com uma potência de entrada documentada e parametrizada, uma sobrecarga da bomba ou motor pode ser inferida. De forma perceptível, uma subtensão do fornecimento também pode ser a causa de uma potência de entrada supostamente aumentada, logo levando a escorregamento aumentado. Em tal caso, o diagnóstico de uma sobrecarga para a montagem composta da bomba e motor é mesmo assim correto, uma vez que, no caso de subtensão e, portanto, escorregamento aumentado, o consumo de corrente do motor é aumentado. Esta influência é significativa quando a tensão da linha se encontra fora das tolerâncias e, por exemplo, se encontra mais de 10% abaixo da tensão nominal. Em tal caso, em uma velocidade rotacional nominal  $n = n_N$ , uma potência nominal  $P_2 = P_{2N}$  será

inferida, mesmo que a potência de entrada efetiva se encontre abaixo da potência nominal. Se a velocidade rotacional cair ainda mais, que significa  $n < n_N$ , uma sobrecarga da bomba ou motor é inferida, isto sendo correto, uma vez que as perdas proporcionais de corrente, em particular as perdas do rotor do motor assíncrono, se elevam, logo contribuindo com o aquecimento excessivo do motor.

[0032] Em um dispositivo para determinar um ponto de operação de uma máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono que aciona o último, o dito dispositivo sendo fornecido com uma ou mais entradas para a detecção de variáveis de medição dependentes de ponto de operação, há possibilidade, de acordo com a invenção, de que o dispositivo tem um armazenamento de dados para dados tecnológicos da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono que aciona o último, e determina uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho a partir de uma variável mecânica de medição, isto é, pressão, pressão diferencial, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência, determina a velocidade rotacional da máquina acionadora a partir disso, e a partir disso, ao utilizar a dependência de velocidade rotacional induzida por escorregamento/torque do motor assíncrono, determina e, se apropriado, monitora o ponto de operação a partir de variáveis não-elétricas de medição, sem o uso de variáveis elétricas de medição do motor assíncrono de acionamento.

[0033] O armazenamento de dados pode armazenar parâmetros de motor que descreve a dependência de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono e/ou outros dados tecnológicos da disposição de máquina de trabalho. Estes podem ser acessados para o propósito de determinar o ponto de operação, enquanto a máquina de trabalho está em operação. Não há necessidade de variáveis elétricas de medição para ser detectada pelo

dispositivo. O dispositivo pode determinar o ponto de operação da máquina de trabalho a partir de um único sinal de medição, por exemplo, um sinal do sensor de pressão.

[0034] De acordo com um refinamento da invenção, o dispositivo determina a potência de entrada da máquina de trabalho por meio das seguintes etapas:

- determinar a curva característica de torque/velocidade rotacional do motor, em particular por meio de parâmetros estipulados de motor, isto é, potência projetada e velocidade rotacional projetada, se apropriado velocidade rotacional síncrona, torque máximo, velocidade rotacional máxima ou escorregamento máximo.

- determinar a potência de entrada ou torque do motor a partir da velocidade rotacional de acionamento e da curva característica de torque/velocidade rotacional do motor.

[0035] Em uma bomba, em particular uma bomba centrífuga, como uma máquina de trabalho, há uma taxa de escoamento da bomba a ser determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento. Apenas variáveis mecânicas de medição são detectadas na bomba. A velocidade rotacional de acionamento ou do eixo da bomba é determinado a partir da frequência do som de rotação determinada.

[0036] Há um custo-benefício considerável, se comparado com a medição direta da taxa de escoamento, por exemplo, por meio de tecnologia ultrassônica de medição de fluxo de subsuperfície ou tecnologia magnético-indutiva de medição de fluxo de subsuperfície. As despesas e custos são também minimizados, se comparado com determinação da taxa de escoamento com base em medição ativa de potência elétrica.

[0037] O dispositivo pode ser disposto na bomba, em seu motor acionador ou em seus arredores e/ou pode ser integrado com a bomba ou seu

motor acionador.

[0038] O dispositivo pode determinar a taxa de escoamento da bomba, em particular da bomba centrífuga, a partir da potência de entrada ou saída do eixo determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento ou velocidade rotacional do eixo.

Foi provado ser vantajoso que o dispositivo determine a taxa de escoamento da bomba, em particular da bomba centrífuga, a partir de parâmetros do motor, que descreve uma curva característica de velocidade rotacional/torque do motor, e também a partir de parâmetros da bomba, que descreve uma curva característica de vazão/potência, e a partir da velocidade rotacional de acionamento ou velocidade rotacional do eixo.

[0039] Há provisão igualmente simples para o dispositivo determinar a taxa de escoamento da bomba, em particular uma bomba centrífuga, diretamente a partir de uma curva característica que representa a mudança de velocidade rotacional dependente de carga sobre a taxa de escoamento da bomba. Tal curva característica pode ser determinada por meio de testes realizados e armazenados no armazenamento de dados, tal que possa ser recuperado enquanto a bomba centrífuga está em operação. A dependência de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono é mesmo assim utilizada aqui, o que leva a uma variação de velocidade rotacional sobre a faixa de vazão. O ponto de operação caracterizado pela potência de entrada da máquina de trabalho e/ou sua taxa de escoamento pode ser determinada a partir disso de uma maneira especialmente simples.

[0040] É ideal se o dispositivo tiver pelo menos uma conexão para um sensor de pressão e a partir de valores de medição de um sensor de pressão conectado, determina a velocidade rotacional de acionamento ou velocidade rotacional do eixo para o propósito de determinar o ponto de operação da máquina de trabalho. Os sensores de pressão para detectar

pressões estáticas são da mesma forma capazes de detectar flutuações de pressão dinâmica. Tais sensores de pressão são montados em qualquer caso em muitas bombas, particularmente para detectar sua pressão máxima. Os dispositivos convencionais para a detecção de sinais a partir de sensores de pressão por meio de entradas analógicas, por exemplo, em controles de armazenamento programável ou em conversores de frequência, geralmente de filtragem habilitada, que significa valores de medição dinamicamente alterados a serem utilizados. Tais entradas são lentas demais e insensíveis para detectar o componente de sinal de pressão dinâmica que é relevante de acordo com a invenção.

[0041] As entradas altamente dinâmicas, que são susceptíveis de dispositivos de medição para detecção de componentes de sinal em faixas de frequência de alguns quilohertz, não são, na sua maioria, suficientemente robustas e, além disso, são custosas na prática industrial.

[0042] O dispositivo de acordo com a invenção difere do que é convencional em termos industriais, como mencionado, em que isso torna possível detectar o componente pulsante de um sinal de pressão, enquanto ao mesmo tempo apresenta alta dinâmica. Isto garante que a frequência do componente de pressão pulsante seja determinada exatamente em uma faixa de frequência relevante. O dispositivo apropriadamente apresenta uma entrada para componentes de sinal de até aproximadamente 500 Hz, uma frequência limite para um filtro de entrada sendo correspondentemente maior.

[0043] Foi provado ser vantajoso que a faixa de frequência relevante para uma bomba específica é um pequeno extrato, delimitado por uma frequência rotacional de som inferior e uma superior  $f_{D\_min}$  e  $f_{D\_max}$ , da faixa de frequência geral medida. A avaliação pode, portanto, acontecer correspondente, seletivamente e com precisão. Em um exemplo de uma bomba centrífuga, a faixa de frequência relevante é estipulada pelos limites de

frequência rotacional de som inferior e superior  $f_{D\_min}$  e  $f_{D\_max}$  no caso de um conhecido número de lâminas  $z$ :

$$f_{D\_min} = n_{min} \cdot z \text{ e } f_{D\_max} = n_{max} \cdot z \quad (9,10)$$

[0044] Neste caso, a velocidade rotacional mínima  $n_{min}$  e velocidade rotacional máxima  $n_{max}$  são conhecidas a partir de parâmetros do motor assíncrono que aciona a bomba centrífuga. A velocidade rotacional mínima pode ser calculada de uma forma simplificada a partir de  $n_N$ , por exemplo,

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

e/ou a velocidade rotacional máxima pode ser assumida por ser

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

[0045] Otimizar a eficiência de motores assíncronos implica em minimizar o escorregamento como um desvio da velocidade rotacional do eixo a partir da velocidade rotacional síncrona. Os motores padrão IEC com uma potência nominal de 22 kW e acima geralmente têm um escorregamento nominal de menos de 2%, no caso de potências maiores o escorregamento é ainda menor e pode ainda ser menor do que 1%. O resultado disso é que a velocidade rotacional mínima e máxima e a frequência do som de rotação mínima e máxima podem estar muito perto uma da outra. Tal que um ponto de operação pode ser determinado a partir da frequência do som de rotação, este último deve ser determinado com muita precisão. De acordo com a invenção, portanto, o dispositivo tem uma unidade de processamento de sinal que realiza uma determinação exata da frequência do som de rotação, preferivelmente com uma precisão de 1/10 Hertz ou de alguns 1/100 Hertz. Isto é alcançado por meio de uma frequência de amostragem muito alta e/ou por meio de um correspondentemente longo intervalo de amostragem.

[0046] Neste caso, a amplitude da componente de pressão pulsante é relativamente baixa. Em um exemplo concreto, a amplitude do

componente de sinal pulsante atinge menos de 1% da pressão. O dispositivo processa a faixa de medição do sinal de pressão com resolução correspondentemente alta, tal que a pulsação de pressão pode ser avaliada satisfatoriamente de acordo com a conversão analógica/digital apesar da baixa amplitude, o que significa que a frequência do som de rotação pode ser determinada. O dispositivo de acordo com a invenção, logo, torna possível determinar confiavelmente um ponto de operação de uma bomba.

[0047] De forma alternativa e/ou adicional, o dispositivo pode ter pelo menos uma conexão para um sensor de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar e a partir de valores de medição de um sensor de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar conectado pode determinar a velocidade rotacional de acionamento para o propósito de determinar o ponto de operação da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono que aciona o último.

[0048] Para a detecção de variáveis de medição de ruído dependentes de ponto de operação, o dispositivo é apropriadamente conectável a um microfone ou tem um microfone integrado.

[0049] É vantajoso neste caso se o dispositivo é um telefone, em particular um telefone móvel, para detectar os ruídos de operação da máquina de trabalho e para determinar e/ou monitorar um ponto de operação. Tal dispositivo utiliza o método de acordo com a invenção. Para este propósito, uma sequência de programa pode ser armazenada em um armazenamento de dados do dispositivo e pode ser processada por uma unidade de computação localizada no dispositivo.

[0050] O dispositivo pode também, especialmente separado da máquina de trabalho, determinar e, se apropriado, monitorar o ponto de operação do último. Há neste caso provisão para o dispositivo utilizar meios de telecomunicação, em particular um telefone ou telefone móvel e uma rede de

telecomunicação, para realizar a determinação e/ou monitorar um ponto de operação em um local diferente do local de operação da máquina de trabalho. Os meios de comunicação neste caso servem como meios de detecção e/ou transmissão de sinal. Por exemplo, um telefone móvel pode captar sinais de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar de uma máquina de trabalho por meio de um microfone embutido e pode transferi-los por meio de uma rede de comunicação a um dispositivo, especialmente separado da máquina de trabalho, para determinar e/ou monitorar um ponto de operação.

[0051] A invenção pode ser utilizada vantajosamente em uma disposição de bomba centrífuga composta de pelo menos uma bomba centrífuga com um eixo e um motor assíncrono que aciona o eixo e com um ou mais sensores para a detecção de variáveis de medição dependentes de ponto de operação. O dispositivo pode ser disposto na bomba centrífuga e/ou ser integrado na bomba centrífuga e/ou no motor assíncrono. Uma disposição nos arredores da disposição de bomba centrífuga ou uma disposição espacialmente separada também é prevista.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0052] As realizações exemplificativas das invenções são ilustradas nos desenhos e são descritos em mais detalhes daqui em diante. Nos desenhos,

a figura 1a mostra uma curva característica Q-H de uma bomba centrífuga,

a figura 1b mostra uma curva característica Q-P de uma bomba centrífuga,

a figura 2 mostra uma ilustração diagramática geral do método de acordo com a invenção,

a figura 3 mostra uma ilustração diagramática das etapas do

método de um primeiro método para determinar um ponto de operação,

a figura 4a mostra um perfil de pressão na saída de uma bomba centrífuga,

a figura 4b mostra o perfil de pressão em uma vista de um detalhe,

a figura 5a mostra a curva característica de torque/velocidade rotacional de um motor assíncrono,

a figura 5b mostra uma curva característica simplificada de velocidade rotacional/torque de um motor assíncrono em sua faixa de operação,

as figuras 6a e 6b mostram as curvas características n-P do motor assíncrono que são derivadas a partir deste,

a figura 7 mostra uma ilustração diagramática de um método alternativo que utiliza uma curva característica de velocidade rotacional/vazão dependente de carga,

a figura 8 mostra uma curva característica de velocidade rotacional/vazão dependente de carga,

a figura 9 mostra uma ilustração diagramática de um método combinado para determinar um ponto de operação,

a figura 10 mostra uma disposição de bomba centrífuga com um dispositivo de acordo com a invenção para determinar um ponto de operação a partir de uma pulsação de pressão medida,

a figura 11 mostra uma disposição de bomba centrífuga com um dispositivo de acordo com a invenção para determinar um ponto de operação na forma de um telefone móvel, e

a figura 12 mostra uma disposição adicional com um dispositivo que utiliza um telefone móvel e uma rede de telecomunicação para realizar a determinação de um ponto de operação em um local diferente do local de operação da bomba centrífuga.

### **DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO**

[0053] A figura 1a mostra uma curva característica de vazão/altura manométrica 2, que é conhecido como uma curva característica Q-H, de uma bomba centrífuga. De acordo com o estado da técnica, uma altura manométrica H da bomba pode ser determinada a partir de uma diferença de pressão medida entre o lado de escoamento e o lado de sucção da bomba centrífuga, e o ponto de operação da bomba centrífuga pode ser determinado pela curva característica de vazão/altura manométrica 2. Entretanto, determinar um ponto de operação desta maneira é insuficiente em uma faixa de vazão menor, em que a curva característica de vazão/altura manométrica 2 é ambígua ou instável. Tal curva característica que é instável tem o efeito que, no caso de diferenças específicas de pressão medida em relação a uma altura manométrica H específica, há dois valores de vazão 3,4. Uma taxa de escoamento Q(H) da bomba centrífuga, portanto não pode ser inferida inequivocamente.

[0054] A Figura 1b mostra uma curva característica de vazão/potência 10, que é conhecida como uma curva característica Q-P, de uma bomba centrífuga. A curva característica de vazão/potência 10 mostrado aqui é inequívoco, tal que, com informação na potência de entrada da bomba, é possível ter evidência da taxa de escoamento Q(P) da bomba e, portanto, de seu ponto de operação. Medir a potência elétrica de entrada de uma montagem de bomba centrífuga implica em certa quantidade de despesa na prática, uma vez que isso ocorre em um painel elétrico e necessita de uma despesa em termos de montagem que precisam ser realizados por eletricitistas especializados. Ambas a curva característica Q-H 2 e a curva característica Q-P 10 estão tipicamente documentados para uma bomba centrífuga específica.

[0055] A Figura 2 mostra uma ilustração diagramática geral de um método 21 de acordo com a invenção, em que o ponto de operação de uma

máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono que aciona o último é determinado sem o uso de variáveis elétricas de medição do motor assíncrono de acionamento. Após detecção 22 de uma variável mecânica de medição, em uma etapa 23 uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho, uma frequência do som de rotação  $f_D$ , é determinada a partir da variável de medição por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência. Em uma próxima etapa 24, a velocidade rotacional  $n$  da máquina acionadora é determinada a partir deste. E em uma etapa posterior 25, o ponto de operação caracterizado pela potência de entrada da máquina de trabalho, designado aqui por  $P_2$ , e/ou sua taxa de escoamento  $Q$  é determinada. Para este propósito, de acordo com a invenção, a dependência da velocidade rotacional induzida por escorregamento/torque do motor assíncrono que aciona a máquina de trabalho é utilizada. O ponto de operação determinado está disponível na etapa 29 para processamento e/ou indicação.

[0056] A Figura 3 mostra uma ilustração diagramática, mais detalhada em comparação com a Figura 2, das etapas do método de um método 21 para determinar um ponto de operação. É mostrado um método 21 para determinar uma vazão ou taxa de escoamento  $Q$  a partir de uma pulsação de pressão medida ou ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar medido por um modelo armazenado de motor e uma curva característica de bomba. Os parâmetros necessários para realizar as etapas individuais do método podem ser armazenados ou arquivados em um armazenamento de dados 30 e estão disponíveis para realizar as etapas individuais do método. Os parâmetros de motor exigidos, isto é, potência de saída projetada ou nominal  $P_{2N}$  e velocidade rotacional nominal  $n_N$ , e os parâmetros opcionais de motor, isto é, frequência de linha  $f$ , número de pares de polos  $p$  ou velocidade rotacional síncrona  $n_0$ , neste caso forma um modelo de motor que é apropriadamente depositado em uma primeira parte 31 do armazenamento de dados 30. A

velocidade rotacional síncrona  $n_0$  também pode ser determinada a partir da frequência de linha  $f$  e do número de pares de polos  $p$  ou pode ser derivada a partir da velocidade rotacional nominal  $n_N$  como a teoricamente possível velocidade rotacional síncrona próximo a mais do que deste (por exemplo,  $3.600 \text{ min}^{-1}$ ,  $3.000 \text{ min}^{-1}$ ,  $1.800 \text{ min}^{-1}$ ,  $1.500 \text{ min}^{-1}$ ,  $1.200 \text{ min}^{-1}$ ,  $1.000 \text{ min}^{-1}$ ,  $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $750 \text{ min}^{-1}$ ,  $600 \text{ min}^{-1}$  ou  $500 \text{ min}^{-1}$ ). O torque máximo  $M_k$  do motor, se for conhecido, pode opcionalmente ser armazenado. Além disso, uma velocidade rotacional mínima  $n_{\min}$  e uma velocidade rotacional máxima  $n_{\max}$  podem ser armazenadas. Uma curva característica de vazão/potência, uma curva característica Q-P, de uma bomba centrífuga é armazenada em uma segunda parte 32 do armazenamento de dados 30. Esta curva característica é fornecida por uma pluralidade (i) de valores de suporte  $(P_{2\_1}; Q_{\_1}), (P_{2\_1}; Q_{\_2}), \dots (P_{2\_i}; Q_{\_i})$ . O número de lâminas  $z$  do propulsor da bomba centrífuga também está disponível. Em uma etapa 22, os valores de medição de uma variável mecânica de medição são detectados enquanto uma máquina de trabalho está em operação. Em uma etapa 23 do método, a frequência do som de rotação  $f_D$  é então determinada, por exemplo, dentro dos limites de  $f_{D\min} = n_{\min} \cdot z$  de acordo com a fórmula (9) e  $f_{D\max} = n_{\max} \cdot z$  de acordo com fórmula (10) por meio de análise de sinal a partir das pulsações de sinal. Em uma etapa adicional 24 do método, a velocidade rotacional instantânea de acionamento da bomba é determinada a partir da frequência do som de rotação  $f_D$  e do número de lâminas  $z$ . O seguinte se aplica:

$$n = \frac{f_D}{z} \quad (8)$$

[0057] Em uma próxima etapa 25 do método, a potência de saída  $P_2$  do motor é determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento  $n$ , assim determinada. O seguinte neste caso se aplica:

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

em que

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

[0058] A potência de saída  $P_2$  do motor corresponde à saída do eixo da bomba. Logo, em uma próxima etapa 26 do método, a taxa de escoamento  $Q$  da bomba pode ser determinada com a ajuda da curva característica  $Q$ - $P$  da última. Por meio do método, o ponto de operação da máquina de trabalho, aqui uma bomba centrífuga, é determinado a partir da variável de medição e sua pulsação de sinal sem a medição de variáveis elétricas de medição.

[0059] A Figura 4a ilustra como uma função de um tempo  $t$  um perfil de sinal de uma pressão  $p(t)$  que foi medida na saída de uma bomba centrífuga enquanto o último estava em operação. Pode ser visto que a pressão se move aproximadamente a um nível constante que permanece o mesmo.

[0060] A Figura 4b mostra este perfil de pressão  $p(t)$  em uma vista de um detalhe. Pode ser visto que pulsações de pressão estão presentes no perfil de sinal de  $p(t)$ . Foi reconhecido, de acordo com a invenção, que estas pulsações de pressão podem ser detectadas por sensores de pressão comercialmente disponíveis para medir uma pressão estática. Tais sensores de pressão são montados em qualquer caso em muitas bombas, particularmente para detectar sua pressão máxima. Tal sensor de pressão detecta um componente pulsante do sinal de pressão. A frequência do componente de pressão pulsante, a frequência do som de rotação  $f_D$ , é obtida a partir do valor recíproco do período de duração  $T$ . O método de acordo com a invenção determina a frequência do componente de pressão pulsante em um faixa de

frequência relevante. Se o número de lâminas  $z$  é conhecido, a faixa de frequência relevante é estipulada pelos limites da frequência do som de rotação inferior e da superior  $f_{D\_min}$  e  $f_{D\_max}$ . O seguinte se aplica:

$$f_{D\_min} = n_{min} \cdot z \text{ e } f_{D\_max} = n_{max} \cdot z \quad (9,10)$$

[0061] Nisso,  $n_{min}$  é uma velocidade rotacional mínima e  $n_{max}$  uma velocidade rotacional máxima do motor assíncrono que aciona a bomba centrífuga. Estas são conhecidas ou podem ser calculadas de forma simplificada, por exemplo, por

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

e

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

$n_0$  representa a velocidade rotacional síncrona.

[0062] Para determinar exatamente a frequência do som de rotação dentro da faixa de frequência relevante, no método de acordo com a invenção uma determinação exata da frequência do som de rotação é realizada preferivelmente com uma precisão de um décimo de um Hertz ou alguns centésimos de um Hertz. Isto é alcançado por meio de uma frequência de amostragem muito alta por meio de um intervalo de amostragem correspondentemente longo. A frequência do som de rotação  $f_D$  é determinada por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência, por exemplo, por Transformada Rápida de Fourier (FFT) ou por uma análise de autocorrelação. Como definido anteriormente, a velocidade rotacional de acionamento  $n$  da bomba centrífuga ou do motor acionador que aciona a última pode ser determinada a partir da frequência do som de rotação  $f_D$ .

[0063] As Figuras 5a e 5b servem para explicar a etapa 25 do método. A Figura 5a mostra uma curva característica de velocidade rotacional/torque  $M(n)$ , também referida daqui em diante como uma curva característica  $n$ - $M$ , de um motor assíncrono. Em tal curva característica de

velocidade rotacional/torque  $M(n)$ , o torque  $M$  é plotada sobre a velocidade rotacional  $n$  do motor assíncrono. Esta curva característica que por si mesma é conhecida e é típica de um motor assíncrono, mostra o ponto de operação projetado ou nominal de um motor assíncrono em um ponto  $(M_N; n_N)$  no caso de um torque nominal  $M_N$  e velocidade rotacional nominal  $n_N$ , circulada aqui. Na velocidade rotacional síncrona  $n_0$ , o torque do motor assíncrono é igual a 0. A fórmula para o torque  $M(n)$  é obtido como

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

[0064] A Figura 6a mostra uma curva característica de velocidade rotacional/potência ou curva característica  $n$ - $P$ , derivada a partir desta, do motor assíncrono, com

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

[0065] Os parâmetros de motor exigidos para calcular a curva característica  $M(n)$  ou  $P_2(n)$  podem neste caso ser derivados de dados da placa de características de um motor assíncrono. Neste caso, é especialmente vantajoso se o perfil da curva característica  $n$ - $P$  for determinado unicamente a partir dos dados da placa de características, isto é, a potência projetada  $P_{2N}$  e velocidade rotacional projetada  $n_N$ . A velocidade rotacional síncrona  $n_0$  pode ser derivada a partir destes dois parâmetros que são geralmente evidentes na placa de características de cada motor assíncrono. O torque máximo  $M_k$  é geralmente conhecido a partir das especificações do fabricante ou pode ser definido

aproximadamente a um múltiplo adequado do torque nominal, por exemplo, ao triplo deste. A velocidade rotacional máxima  $n_k$  pode ser calculada de acordo com fórmula (5).

[0066] Na faixa de operação de uma máquina de trabalho, a curva característica de velocidade rotacional/torque do motor assíncrono a partir da Figura 5a pode ser aproximada como uma linha reta através dos pontos  $(M_N; n_N)$ , fornecido pelo torque nominal  $M_N$  na velocidade rotacional nominal  $n_N$ , e  $(M = 0; n_0)$ , fornecido pelo torque  $M = 0$  na velocidade rotacional síncrona  $n_0$ . A seguinte curva característica de velocidade rotacional/torque simplificada, curva característica n-M, do motor assíncrono é obtida:

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

[0067] Esta curva característica de velocidade rotacional/torque aproximada ou simplificada é ilustrada na Figura 5b e a curva característica de velocidade rotacional/potência simplificada derivada a partir dela é ilustrada na Figura 6b:

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

[0068] Em ambos os casos, com uma curva característica linear simplificada n-P de acordo com a fórmula (15) ou que utiliza a curva característica n-P de acordo com fórmula (13) derivada a partir da fórmula de Kloss, a potência de entrada  $P_2(n)$  de uma máquina de trabalho pode ser determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento  $n$  em uma etapa 25 do método.

[0069] Com o conhecimento da potência de entrada  $P_2$  da máquina de trabalho, e ao utilizar a curva característica Q-P, a taxa de escoamento Q pode ser determinada em uma etapa 26 do método.

[0070] A Figura 7 mostra uma ilustração diagramática de um método alternativo 21 de acordo com a invenção, que utiliza uma curva característica de velocidade rotacional dependente de carga/vazão ou curva característica n-Q. Neste método, o número de lâminas z e uma curva característica de velocidade rotacional dependente de carga/vazão n(Q), fornecida por uma pluralidade (i) de valores de apoio ( $n_{-1}; Q_{-1}$ ), ( $n_{-2}; Q_{-2}$ ), ... ( $n_{-i}; Q_{-i}$ ), são armazenados em um armazenamento de dados 33. Foi reconhecido, de acordo com a invenção, que há uma mudança avaliável de velocidade rotacional sobre a faixa de vazão. Tal curva característica de velocidade rotacional dependente de carga/torque pode ser determinada ao aprender e armazenado durante a operação regular da bomba. De forma alternativa, a respectiva velocidade rotacional de operação pode ser determinada e armazenada em um teste realizado da bomba, que ocorre, por exemplo, durante a preparação da bomba, para uma pluralidade de pontos de operação com uma taxa conhecida de escoamento, incluindo, por exemplo,  $Q_0$ ,  $Q_{max}$ . Outra vez, no método ilustrado na Figura 7, a detecção 22 de uma variável de medição é realizada, e a velocidade rotacional de acionamento n da máquina de trabalho é determinada pelas etapas do método 23 e 24. No método mostrado na Figura 7, a taxa instantânea de escoamento Q é então determinada em uma etapa 27 do método com a ajuda dos valores de apoio ( $n_{-1}; Q_{-1}$ ), ( $n_{-2}; Q_{-2}$ ), ... ( $n_{-i}; Q_{-i}$ ). A taxa de escoamento Q da bomba centrífuga pode, portanto, ser determinada diretamente a partir da velocidade rotacional n. Tal curva característica de velocidade rotacional dependente de carga/vazão, que geralmente não é documentada para uma bomba, é mostrada na Figura 8.

[0071] A Figura 9 mostra um método combinado para determinar

Q que realiza uma determinação de um ponto de operação a partir da altura manométrica  $H$  e a partir da potência  $P_2$ . Neste método, também, a pulsação de pressão da pressão de lado de escoamento  $p_2$  é utilizada para determinar a saída do eixo  $P_2$  e a taxa de escoamento  $Q$ . O método contém novamente as etapas 23, 24 e 25 do método já descritas na Figura 3. Outra vez, os parâmetros já descritos na Figura 3 e também a curva característica Q-P são armazenados em um armazenamento de dados 30. Em adição, a curva característica de vazão/altura manométrica, a curva característica Q-H, da bomba centrífuga é depositada. Para este propósito, a tabela de apoio para a curva característica Q-P é suplementada por valores de altura manométrica  $H_{-1}$ ,  $H_{-2}$  ...  $H_{-i}$  correspondentes.

Para determinar a taxa de escoamento  $Q$ , em uma etapa 28 do método, a taxa de escoamento é determinada de acordo com um método combinado a partir da curva característica de vazão/altura manométrica e curva característica de vazão/potência da bomba centrífuga. A determinação de um ponto de operação pode, portanto, ser realizado mais precisamente e mais confiavelmente. A altura manométrica  $H$  exigida é calculada em uma etapa 15 do método a partir da pressão máxima  $p_2$  e a pressão de sucção  $p_1$ .

[0072] A Figura 10 mostra uma disposição de bomba centrífuga 50 em que uma bomba centrífuga 51 está conectada por um eixo 53 a um motor assíncrono 52 que aciona a bomba centrífuga 51. Para este propósito, o motor assíncrono 52 é alimentado a partir de uma linha de alimentação de rede 54. O motor assíncrono 52 tem uma placa de características 55 que tem grandezas características do motor assíncrono 52. Uma peça de conexão de pressão 56 da bomba centrífuga 51 tem disposto em si um sensor de pressão 57 para medir a pressão de lado de escoamento ou pressão máxima da bomba centrífuga 51. O sensor de pressão 57 é conectado por uma linha 58 a um dispositivo 61 de acordo com a invenção. O dispositivo 61 de acordo com a invenção avalia os

sinais de medição a partir do sensor de pressão 57 e determina o ponto de operação da máquina de trabalho 51. Este utiliza o método, de acordo com a invenção, para este propósito. Os dados da placa de características, isto é, a potência nominal  $P_{2N}$  e a velocidade rotacional nominal  $n_N$ , são suficientes como grandezas características do motor assíncrono para realizar o método. Todos os outros parâmetros de motor podem ser derivados ou calculados a partir destes. O dispositivo 61 tem uma conexão ou entrada de sinal 62 adequada para detectar os sinais de pressão. Foi provado ser vantajoso projetar a entrada de sinal 62 para componentes de sinal até 500 Hz. Tal entrada tem melhor custo-benefício do que uma entrada altamente dinâmica, que pode detectar sinais na faixa de frequência de uns poucos quilohertz, e confere a possibilidade de detecção de sinal suficientemente rápida e sensível. Além disso, o dispositivo 61 apresenta a unidade de processamento de sinal 64 que determina a frequência do som de rotação  $f_D$  com suficiente precisão. A unidade de processamento de sinal 64 é capaz de determinar a frequência do som de rotação com uma precisão de um décimo de um Hertz ou de alguns centésimos de um Hertz. Ela tem uma alta frequência de amostragem e/ou intervalos de amostragem correspondentemente longos. O método que ocorre no dispositivo 61 é controlado e coordenado por uma unidade de computação 65. Além disso, o dispositivo 61 tem um indicador e/ou unidade de operação 66. Uma conexão de sensor de pressão adicional, não ilustrada aqui, pode ser fornecida no dispositivo e serve, por exemplo, para detectar uma pressão de sucção da bomba. Além disso, o dispositivo pode ter entradas de sinal adicionais, não ilustradas aqui, e/ou uma interface de barramento serial, por exemplo, para a gravação e leitura de parâmetros.

[0073] A Figura 11 mostra uma disposição de bomba centrífuga composta de uma bomba centrífuga 51 e motor assíncrono 52, e um dispositivo para determinar um ponto de operação na forma de um telefone móvel 71. Isto

determina o ponto de operação da bomba centrífuga 51 a partir do ruído transmitido pelo ar transmitido pela bomba centrífuga 51. Para este propósito, o telefone móvel 71 tem um microfone integrado 72. Nesta realização exemplificativa, o telefone móvel 71 utiliza o método de acordo com a invenção. Para este propósito, uma sequência de programa apropriada pode ser armazenada em um armazenamento de dados, não ilustrado aqui, do telefone móvel 71 e é processado por uma unidade de computação, não ilustrada aqui, que é localizado no telefone móvel.

[0074] Como ilustrado na Figura 12, o dispositivo também pode determinar o ponto de operação de uma máquina de trabalho estando espacialmente separado do último. A Figura 12 mostra a mesma disposição de bomba centrífuga como na Figura 11, composta de uma bomba centrífuga 51 e motor assíncrono 52. Um telefone móvel 71, com um microfone integrado 72, detecta os ruídos de operação da máquina de trabalho 51 em um local de operação 78, indicado por uma linha tracejada, da bomba centrífuga 51 e do motor assíncrono 52. Para esse propósito, o telefone móvel 71 detecta os sinais de ruído transmitido pelo ar da máquina de trabalho 51. Um dispositivo 61 para determinar um ponto de operação é disposto, espacialmente separado da máquina de trabalho 51, em um local 79 em que a determinação de ponto de operação é realizada. O dispositivo 61 utiliza os meios de telecomunicação, que serve como um meio de transmissão de sinal, para realizar a determinação de ponto de operação estando espacialmente separado da máquina de trabalho 51. Os sinais de ruído transmitido pelo ar da bomba centrífuga 51 que são detectados pelo telefone móvel 71 são transmitidos ou transferidos ao dispositivo 61 por meio de uma rede de telecomunicação 77.

### REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA DETERMINAR UM PONTO DE OPERAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRABALHO E/OU DE UM MOTOR ASSÍNCRONO (52) QUE ACIONA O ÚLTIMO, uma potência de entrada ( $P_2$ ) da máquina de trabalho e/ou sua taxa de escoamento ( $Q$ ) definindo um ponto de operação, sendo que uma ou mais variáveis de medição dependentes de ponto de operação da máquina de trabalho são detectadas por um ou mais sensores (57), e sendo que os valores de medição são avaliados e/ou armazenados enquanto a máquina de trabalho está em operação, caracterizado pelo ponto de operação ser determinado sem o uso de variáveis elétricas de medição do motor assíncrono de acionamento, e por uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho ser determinada a partir de uma variável mecânica de medição, tal como pressão, pressão diferencial, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, por meio de análise de sinal, em particular análise de frequência, sendo que a velocidade rotacional ( $n$ ) da máquina acionadora é determinada a partir disto, e o ponto de operação é determinado a partir da dependência de velocidade rotacional induzida por escorregamento/torque do motor assíncrono (52).

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela potência de entrada ( $P_2$ ) da máquina de trabalho ser determinada por meio das etapas a seguir:

- determinar a curva característica de velocidade rotacional/torque ( $M(n)$ ) do motor (52), em particular por meio de parâmetros estipulados do motor (52), isto é, potência projetada ( $P_{2N}$ ) e velocidade rotacional projetada ( $n_N$ ), se apropriado velocidade rotacional síncrona ( $n_0$ ), torque máximo ( $M_k$ ), velocidade rotacional máxima ( $n_k$ ) ou escorregamento máximo ( $s_k$ );

- determinar a potência de entrada ( $P_2$ ) ou torque ( $M$ ) do motor (52) a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ) determinada e curva

característica de velocidade rotacional/torque ( $M(n)$ ) do motor (52).

3. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo fato de que, no caso de uma bomba, em particular uma bomba centrífuga (51), como uma máquina de trabalho, uma taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba é determinada a partir de sua velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba ser determinada a partir da potência de entrada ( $P_2$ ) determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

5. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 4, caracterizado pela taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba ser determinada a partir de parâmetros do motor (52), que descreve uma curva característica de velocidade rotacional/torque ( $M(n)$ ) do motor (52), e também a partir de parâmetros da bomba, que descreve uma curva característica de vazão/potência (10), e a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba centrífuga (51) ser determinada a partir de uma curva característica que representa a mudança de velocidade rotacional dependente de carga sobre a taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba.

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 6, caracterizado pela velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ) ser determinada a partir de valores de medição de um ou mais sensores de pressão (57) para o propósito de determinar o ponto de operação da bomba, em particular da bomba centrífuga (51).

8. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pela velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ) ser determinada a partir de valores de medição de um ou mais sensores de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar com o propósito de

determinar o ponto de operação da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono (52) que aciona o último.

9. MÉTODO PARA MONITORAR O PONTO DE OPERAÇÃO, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8, de uma máquina de trabalho e/ou de um motor assíncrono (52) que aciona o último, caracterizado por um estado defeituoso de operação, em particular sobrecarga ou subcarga, da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono (52) ser detectada com base em um ponto de operação que está localizado fora de uma faixa estipulada.

10. DISPOSITIVO (61) PARA DETERMINAR E/OU MONITORAR UM PONTO DE OPERAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRABALHO E/OU DE UM MOTOR ASSÍNCRONO (52) QUE ACIONA O ÚLTIMO, sendo que a potência de entrada ( $P_2$ ) da máquina de trabalho e/ou sua taxa de escoamento caracterizam um ponto de operação, com uma ou mais entradas para a detecção de variáveis de medição dependentes do ponto de operação, caracterizado pelo dispositivo (61) ter um armazenamento de dados (30, 33) para dados tecnológicos da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono (52) que aciona o último, e determina uma frequência linearmente proporcional ao som rotacional da máquina de trabalho a partir de uma variável mecânica de medição, isto é, pressão, pressão diferencial, força, vibração, ruído transmitido por sólido ou ruído transmitido pelo ar, por meio de análise de sinal, em particular a análise de frequência, determina a velocidade rotacional ( $n$ ) da máquina acionadora a partir disto, e determina e, se apropriado, monitora o ponto de operação a partir de variáveis não-elétricas de medição a partir da dependência da velocidade rotacional induzida por escorregamento/torque do motor assíncrono (52).

11. DISPOSITIVO (61), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pela potência de entrada ( $P_2$ ) da máquina de trabalho ser

determinada por meio das etapas a seguir:

- determinar a curva característica de velocidade rotacional/torque ( $M(n)$ ) do motor (52), em particular por meio de parâmetros estipulados de motor, isto é, potência projetada ( $P_{2N}$ ) e velocidade rotacional projetada ( $n_N$ ), se apropriado velocidade rotacional síncrona ( $n_0$ ), torque máximo ( $M_k$ ), velocidade rotacional máxima ( $n_k$ ) ou escorregamento máximo ( $s_k$ );

- determinar a potência de entrada ( $P_2$ ) ou torque ( $M$ ) do motor (52) a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ) e a curva característica de torque/velocidade rotacional ( $M(n)$ ) do motor (52).

12. DISPOSITIVO (61), de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 11, caracterizado pela máquina de trabalho ser uma bomba, em particular uma bomba centrífuga (51), e sendo que a determinação de ponto de operação envolve determinar uma taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

13. DISPOSITIVO (61), de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo dispositivo (61) determinar a taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba, em particular da bomba centrífuga (51), a partir da potência de entrada ( $P_2$ ) determinada a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

14. DISPOSITIVO (61), de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 13, caracterizado pelo dispositivo (61) determinar a taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba, em particular da bomba centrífuga (51), a partir de parâmetros do motor (52), que descreve uma curva característica de velocidade rotacional/torque ( $M(n)$ ) do motor (52), e também a partir de parâmetros da bomba, que descreve uma curva característica de vazão/potência (10), e a partir da velocidade rotacional de acionamento ( $n$ ).

15. DISPOSITIVO (61), de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo dispositivo (61) determinar a taxa de escoamento ( $Q$ ) da bomba, em particular de uma bomba centrífuga (51), a partir de uma curva

característica que representa a mudança de velocidade rotacional dependente de carga sobre a taxa de escoamento (Q) da bomba.

16. DISPOSITIVO (61), de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 15, caracterizado pelo dispositivo (61) ter pelo menos uma entrada de sinal (62) para um sensor de pressão (57) e a partir de valores de medição de um sensor de pressão conectado (57) determinar a velocidade rotacional de acionamento (n) com o propósito de determinar o ponto de operação da máquina de trabalho.

17. DISPOSITIVO (61), de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 15, caracterizado pelo dispositivo (61) ter pelo menos uma entrada de sinal para um sensor de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar e a partir de valores de medição de um sensor de ruído transmitido por sólido e/ou de ruído transmitido pelo ar conectado, determinar a velocidade rotacional de acionamento (n) com o propósito de determinar o ponto de operação da máquina de trabalho e/ou do motor assíncrono (52) que aciona o último.

18. DISPOSITIVO (61), de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 15 e 17, caracterizado pelo dispositivo (61) ser conectável a um microfone (72) ou ter um microfone integrado (72) para a detecção de variáveis de medição dependentes do ponto de operação.

19. DISPOSITIVO (61), de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo dispositivo (61) ser um telefone, em particular um telefone móvel (71), para detectar os ruídos de operação da máquina de trabalho e para determinar e/ou monitorar um ponto de operação.

20. DISPOSITIVO (61), de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo dispositivo (61) utilizar meios de telecomunicação, em particular um telefone ou telefone móvel (71) e uma rede de telecomunicação (77), para realizar a determinação e/ou monitoramento de um ponto de

operação em um local (79) diferente do local de operação (78) da máquina de trabalho.

Fig. 1a

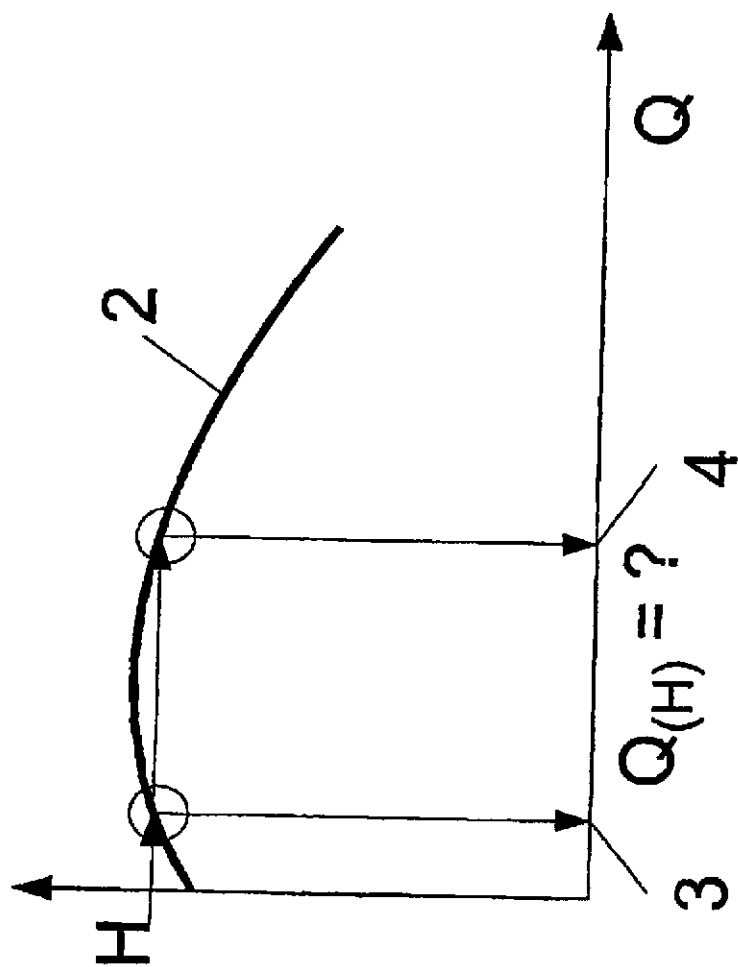
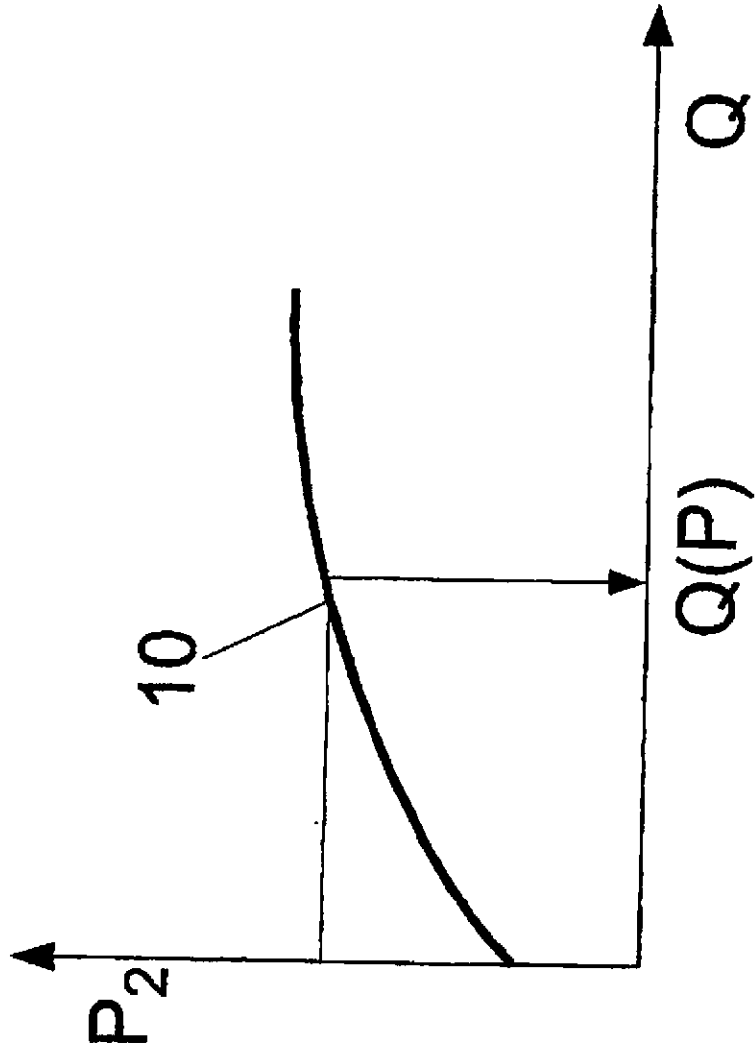
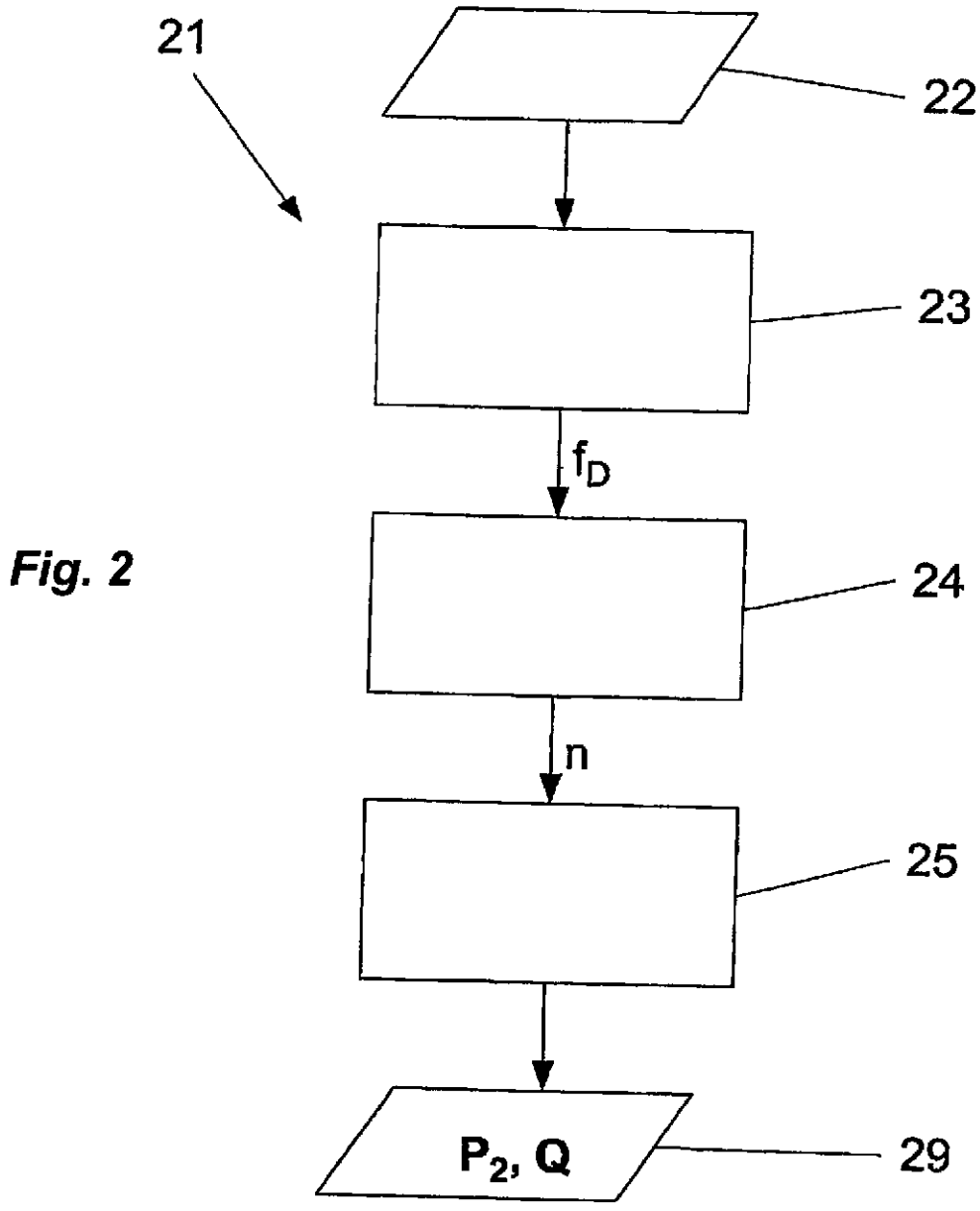


Fig. 1b





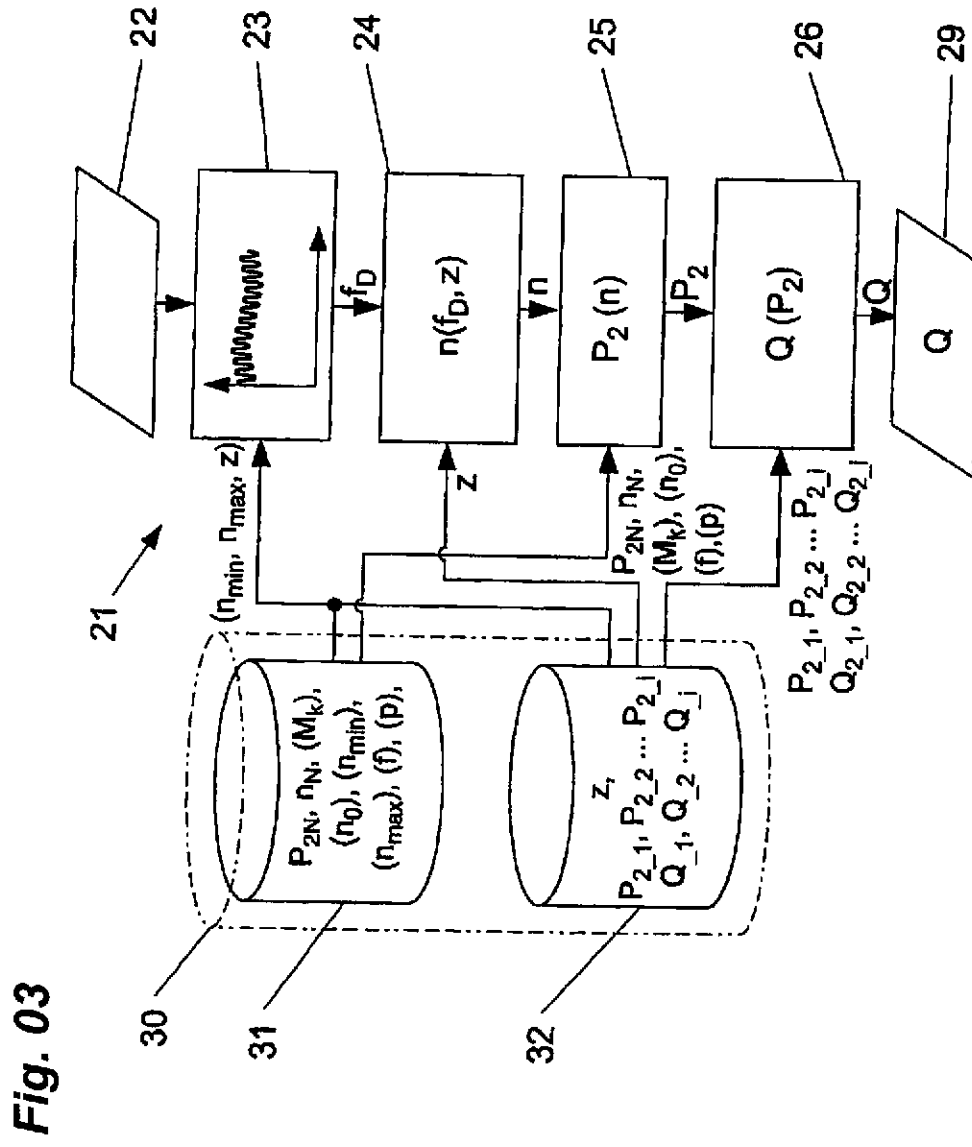


Fig. 03

Fig. 04A

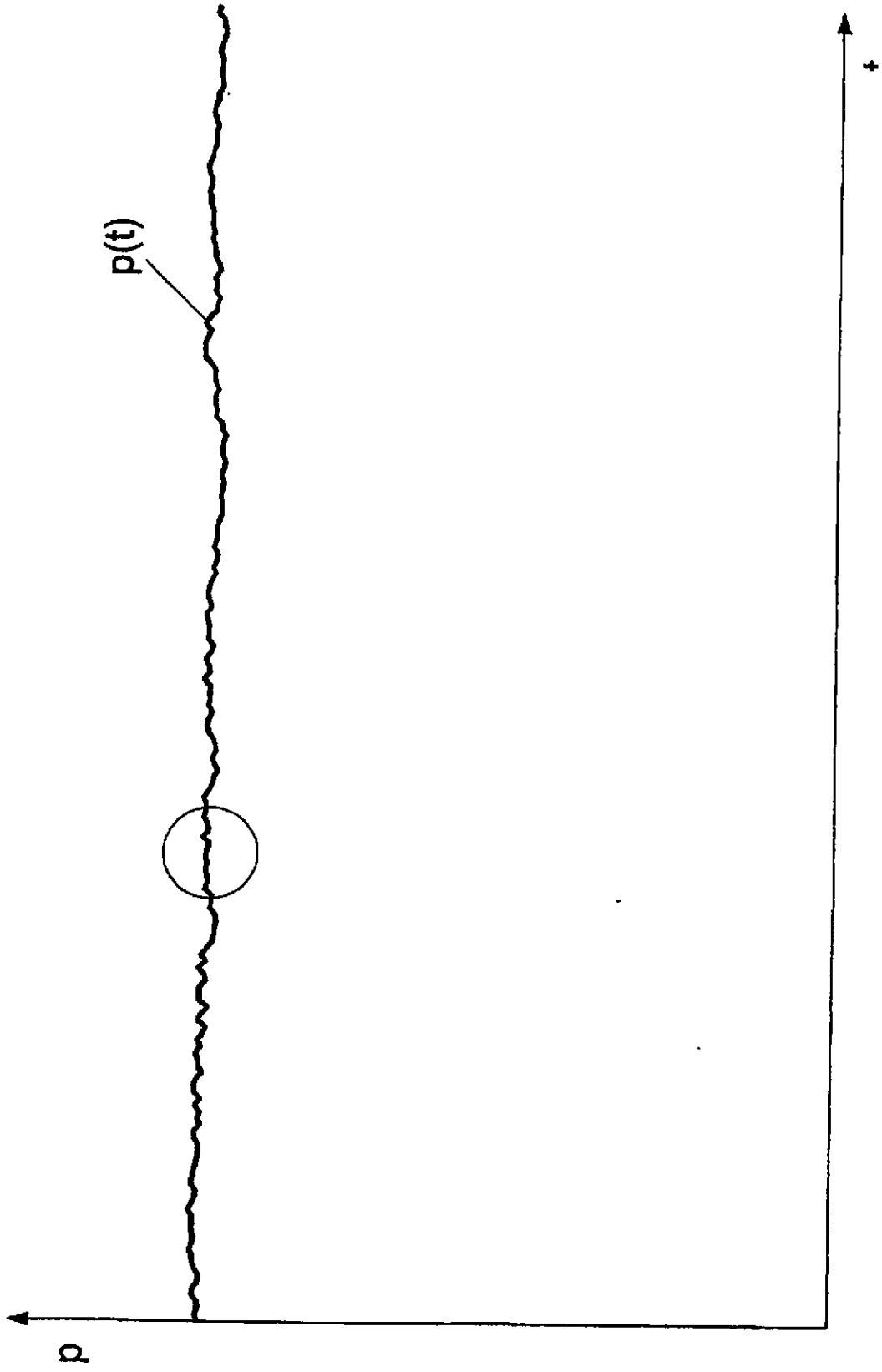


Fig. 4b

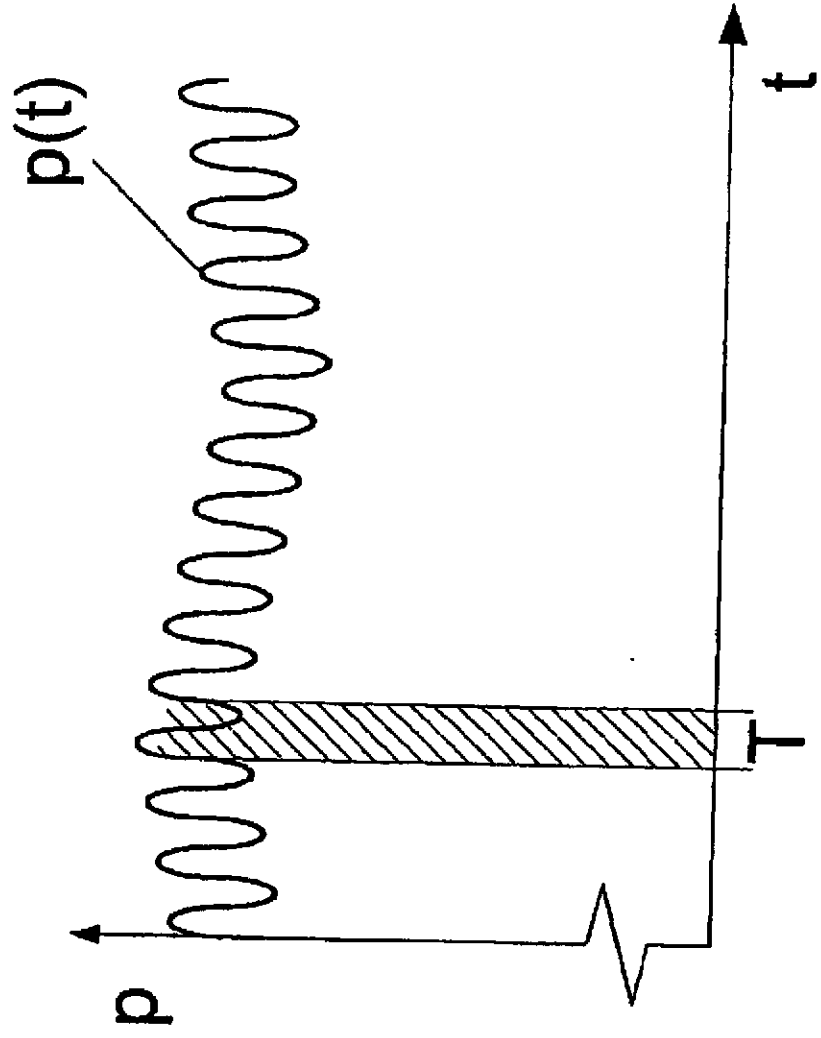


Fig. 5a

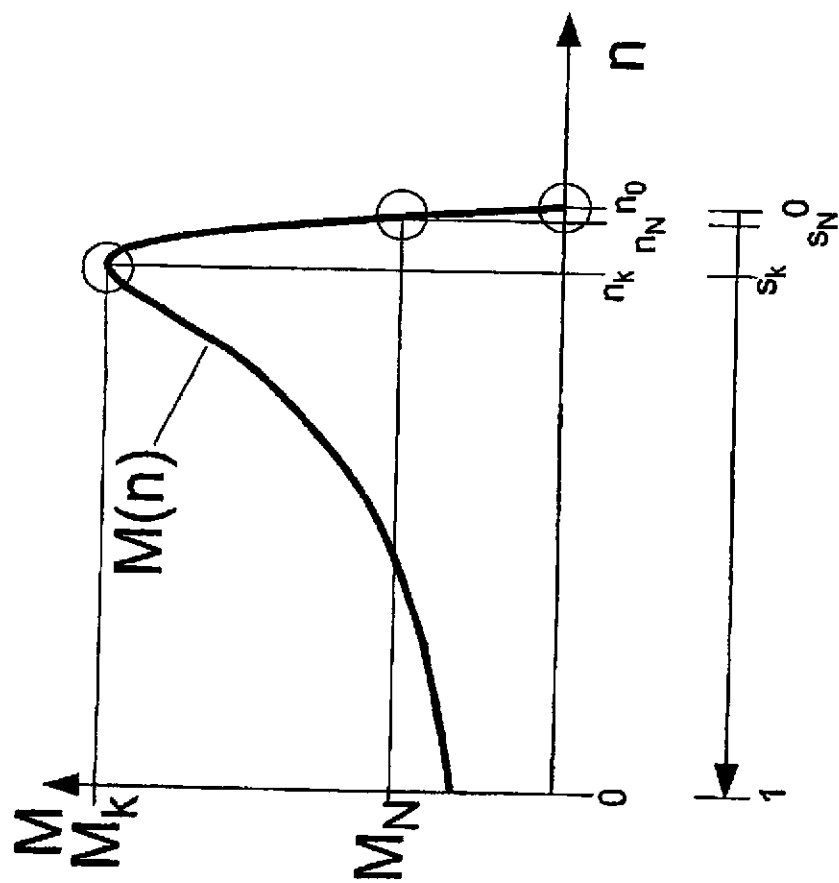


Fig. 5b

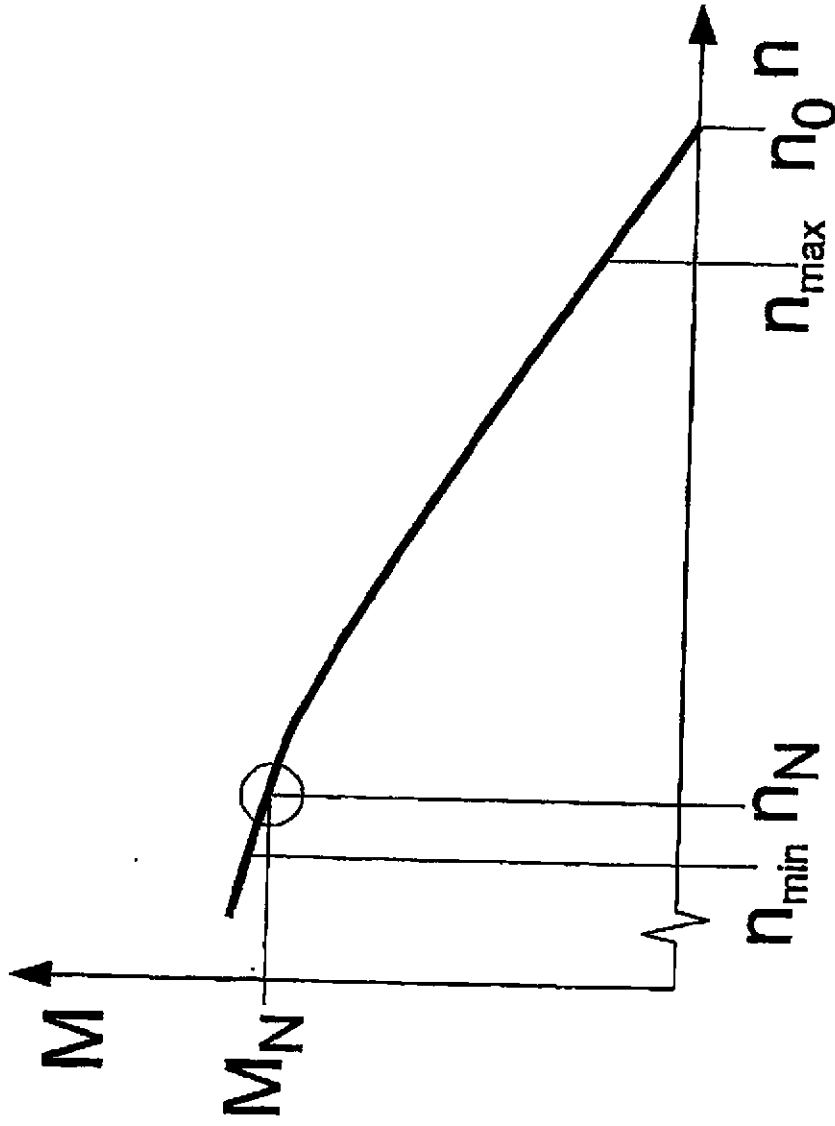


Fig. 6a

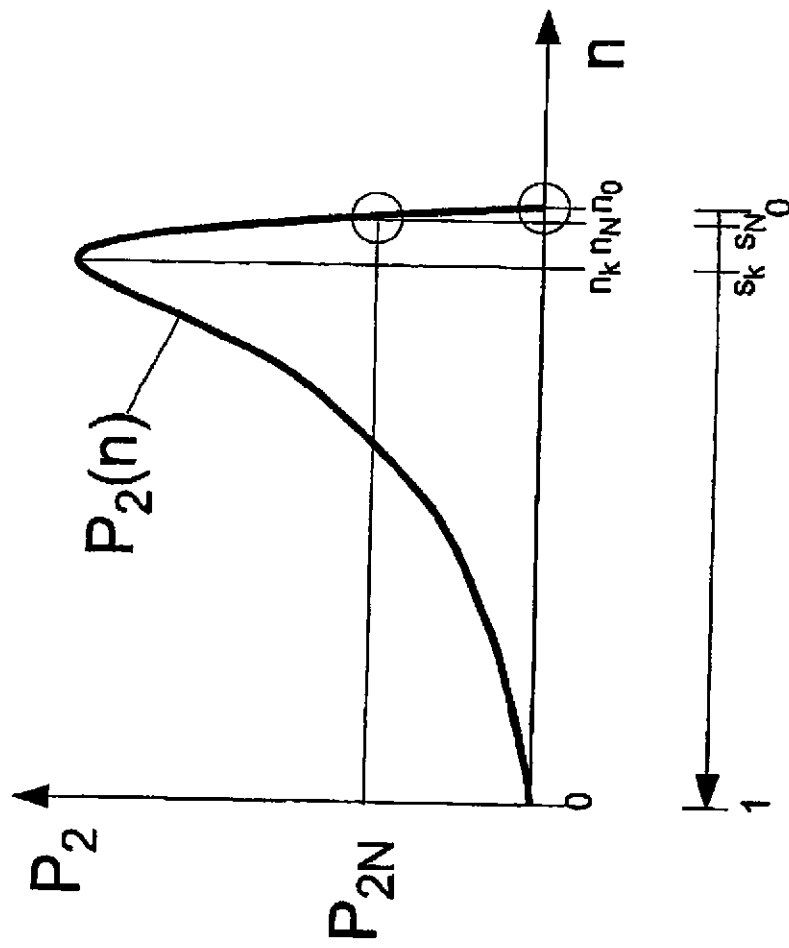
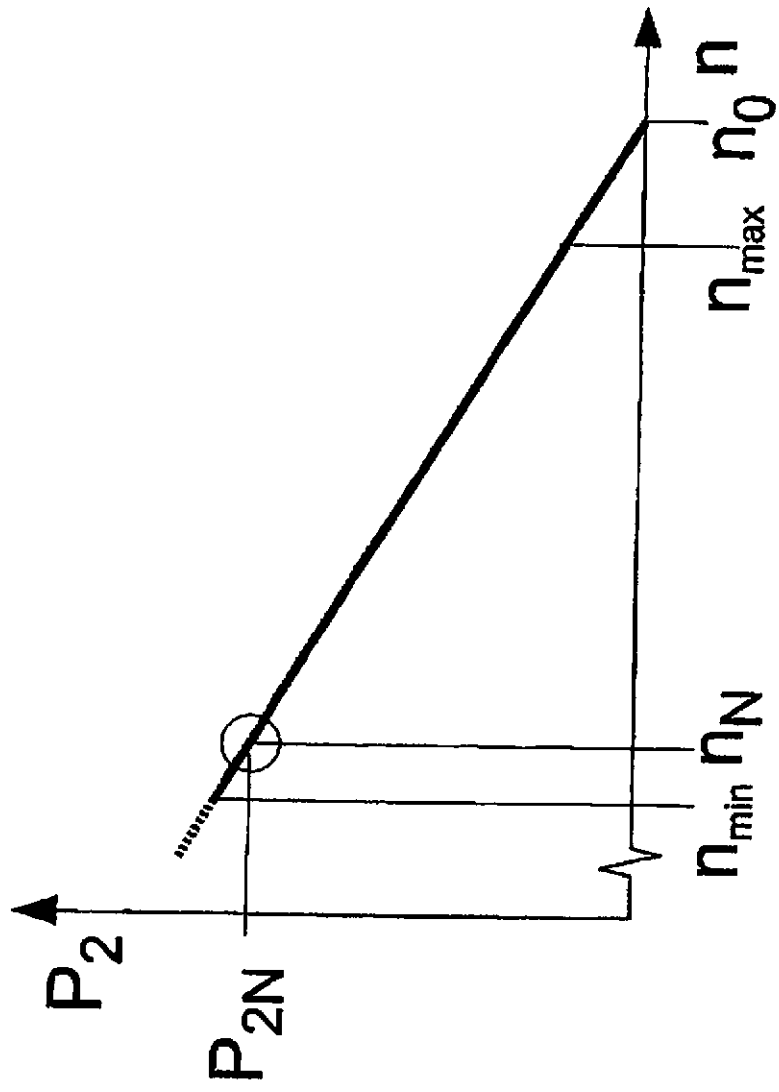


Fig. 06b



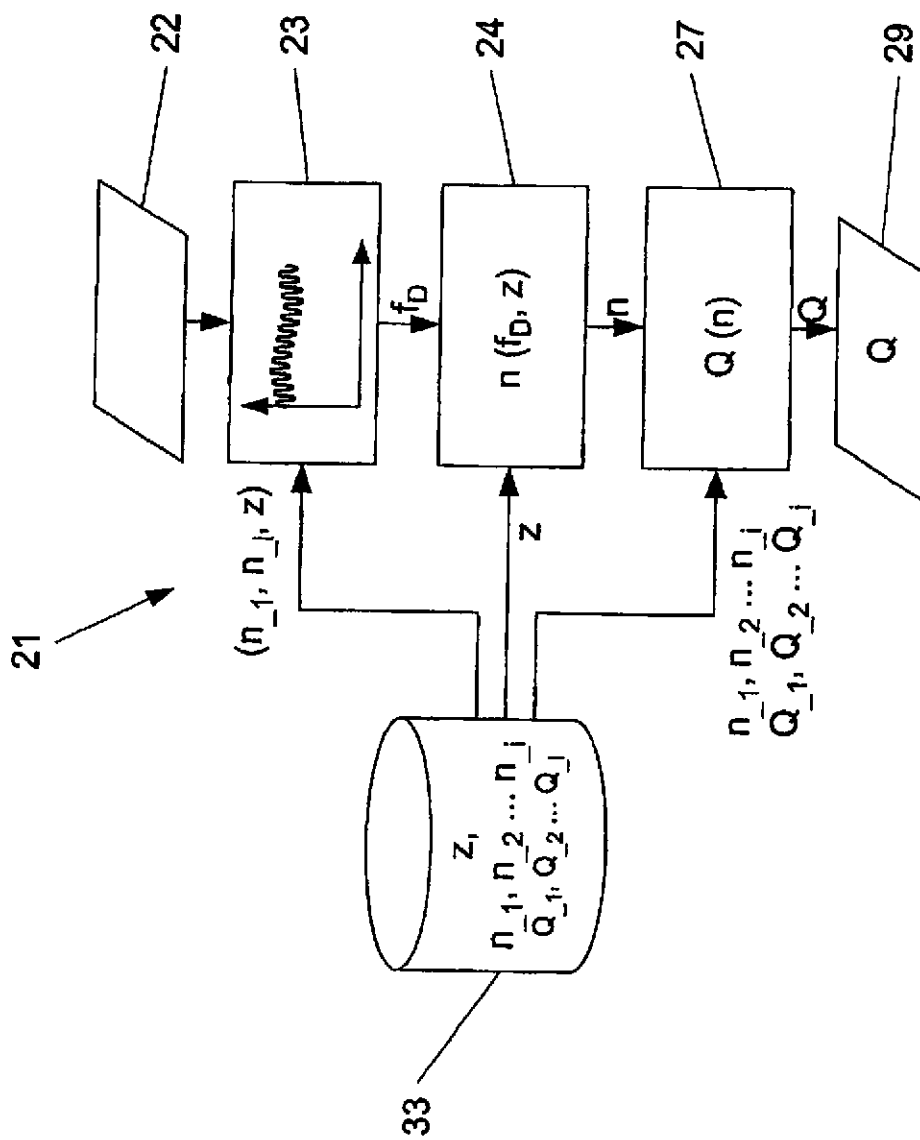


Fig. 7

Fig. 8

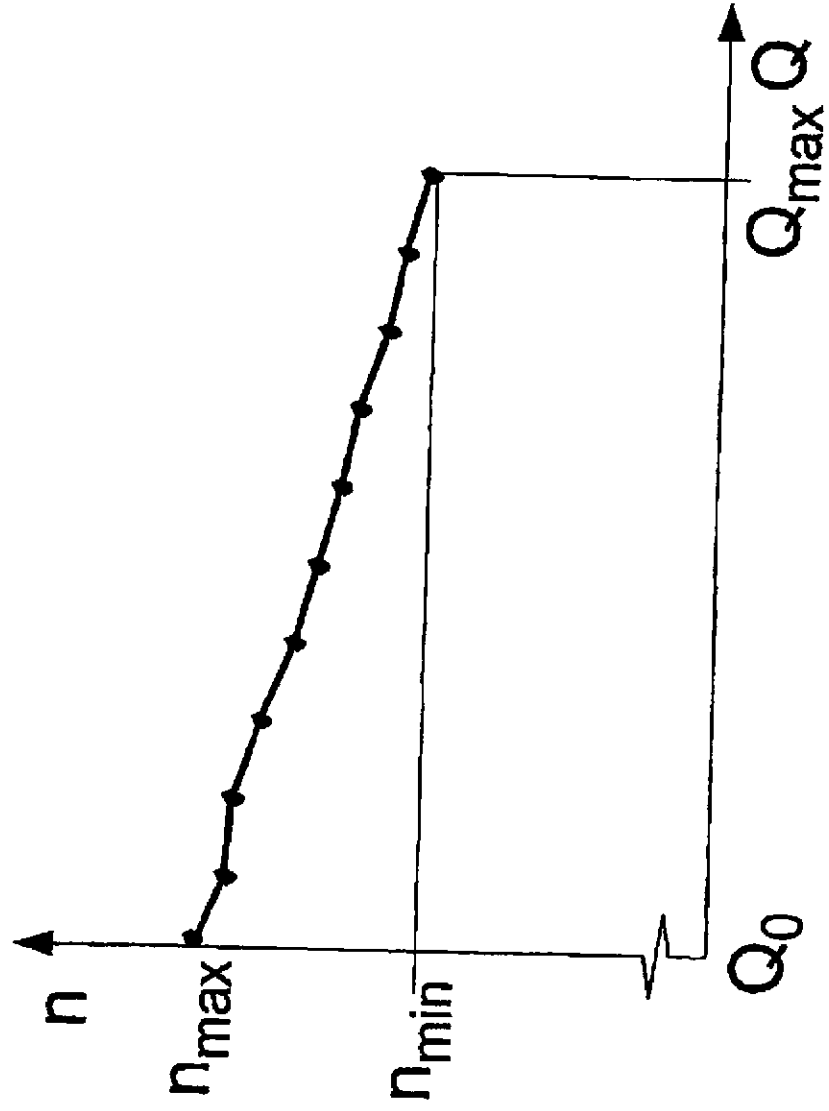


Fig. 9

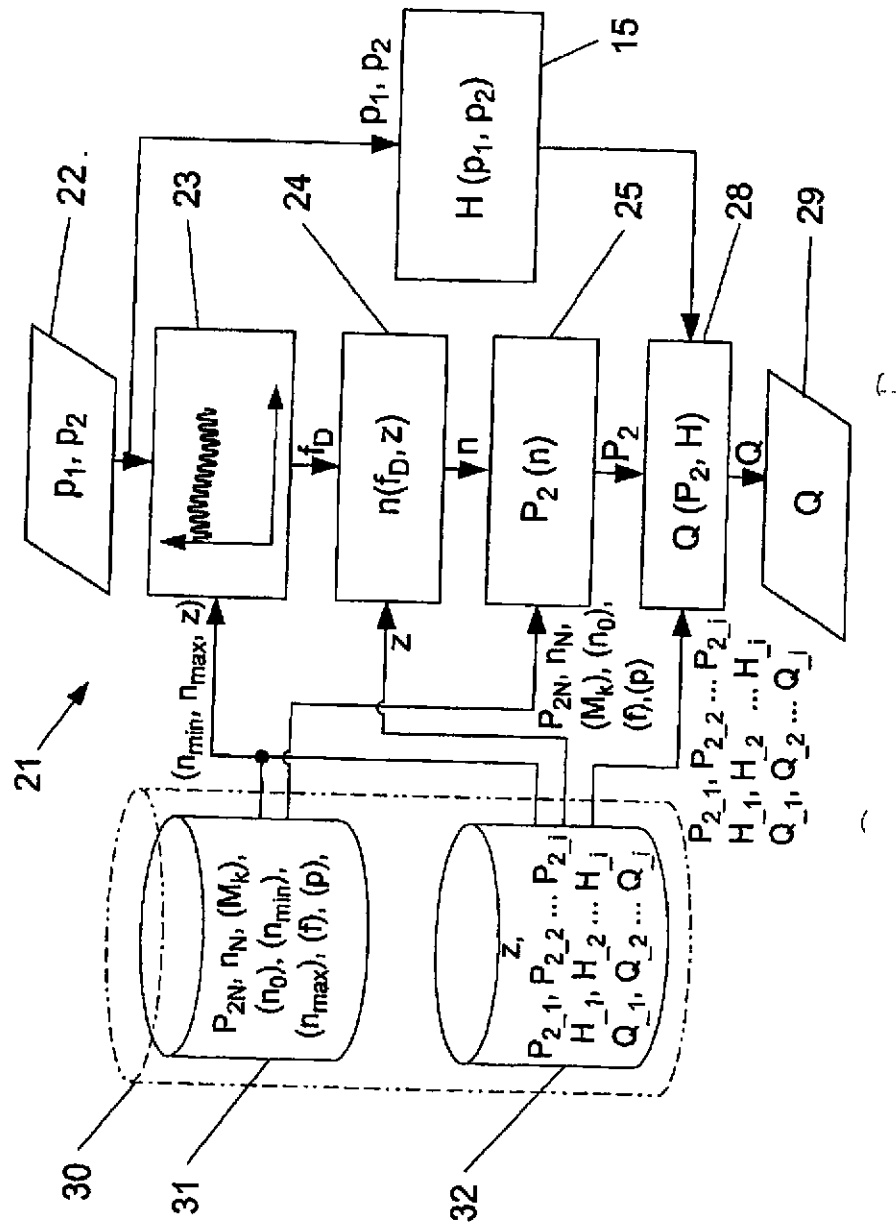


Fig. 10

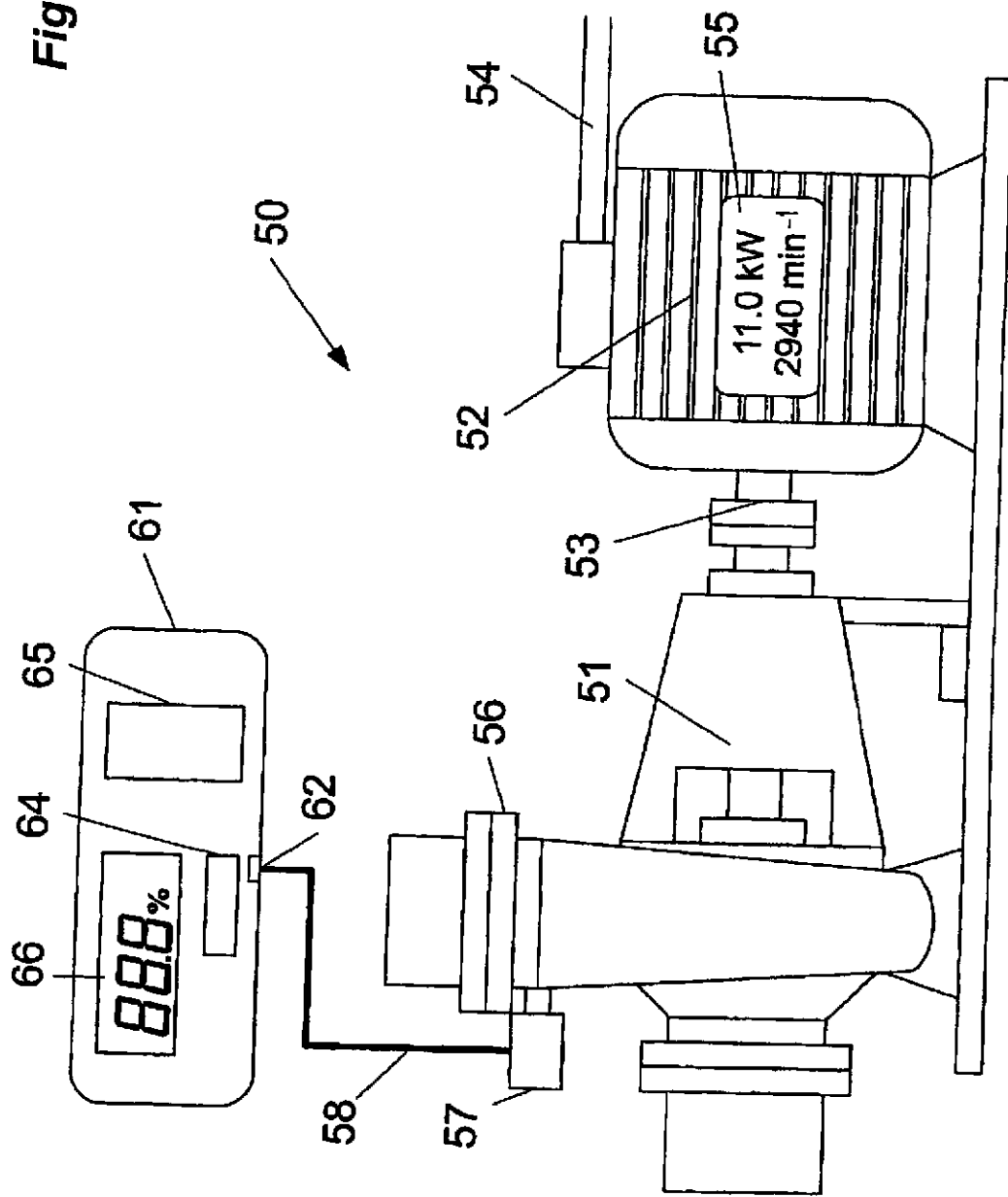


Fig. 11

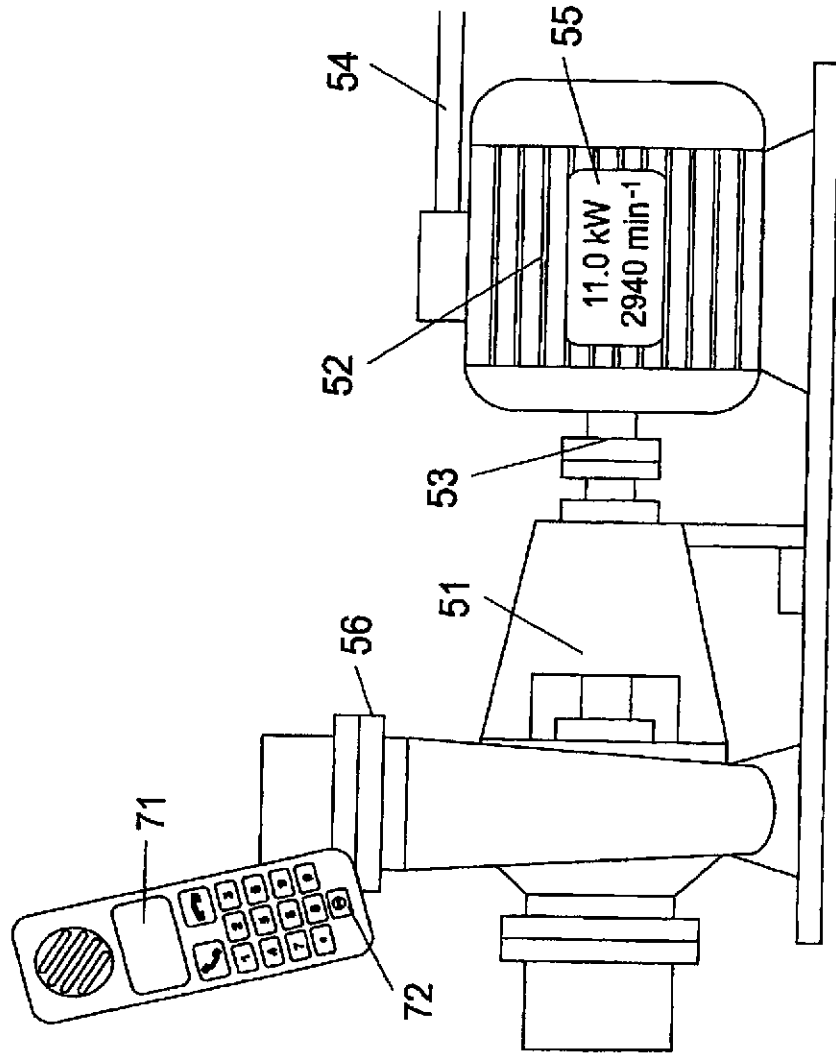


Fig. 12

