

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 019 614**

51 Int. Cl.:

F04D 13/06 (2006.01)
G01H 1/00 (2006.01)
G01H 3/08 (2006.01)
F04D 15/00 (2006.01)
G10K 11/16 (2006.01)
H02P 23/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2021** **PCT/EP2021/072446**
87 Fecha y número de publicación internacional: **24.02.2022** **WO22038026**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2021** **E 21762434 (5)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2025** **EP 4200971**

54 Título: **Procedimiento para determinar una velocidad sincrona**

30 Prioridad:

18.08.2020 DE 102020005050

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.05.2025

73 Titular/es:

KSB SE & CO. KGAA (100.00%)
Johann-Klein-Straße 9
67227 Frankenthal, DE

72 Inventor/es:

JANJIC, BORIS;
KLUNKE, TOBIAS y
MADES, JOCHEN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 3 019 614 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 para determinar una velocidad síncrona

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una velocidad síncrona de una máquina eléctrica en una máquina de trabajo accionada por la máquina eléctrica. Además, la invención se refiere a un dispositivo de procesamiento, un sistema y un programa informático.

10 A la hora de utilizar un sistema de bombeo, en particular un sistema de bombeo centrífugo compuesto por una bomba y una máquina eléctrica que lo acciona, en particular una máquina asíncrona, a menudo es necesario conocer su punto de funcionamiento. El punto de funcionamiento de una máquina de trabajo de flujo, en particular de una bomba centrífuga, en su curva característica de caudal-altura de bombeo o curva característica Q-H, se caracteriza principalmente por su caudal, en lo sucesivo también denominado caudal de bombeo. Existen varias formas de determinarlo. Puede determinarse midiendo el caudal o midiendo la presión. En este último caso, se suele medir la diferencia de presión entre el lado de presión y el lado de succión de la bomba. La altura de bombeo se calcula como cociente de la diferencia de presión, la densidad y la aceleración de la gravedad. En el caso del agua como fluido de bombeo, una diferencia de presión de 1 bar corresponde a una altura de bombeo de unos 10 metros. Además, el punto de funcionamiento de una bomba centrífuga se determina mediante una medición eléctrica, en la que la potencia suministrada por el motor se calcula a partir de una medición de corriente y tensión, teniendo en cuenta el grado de eficiencia del motor.

25 A partir de la patente DE 10 2009 022 107 A1 y de la patente EP 2 433 010 B1 se conoce un dispositivo y un procedimiento para determinar el punto de funcionamiento de una máquina de trabajo y/o de un motor asíncrono que la acciona. El procedimiento o dispositivo descrito puede aplicarse a máquinas asíncronas no reguladas o conectadas a la red, ya que en estos casos se conoce la velocidad síncrona de la máquina eléctrica. La velocidad síncrona resulta, por ejemplo, de la frecuencia de la red multiplicada por el número de pares de polos. Por el contrario, resulta problemático determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo si esta es accionada por una máquina asíncrona de velocidad regulada y, por lo tanto, se desconoce la velocidad síncrona.

30 El documento DE 10 2017 213 131 A1 describe el control de un actuador mediante la determinación de una emisión de ruido y/o de vibraciones por medio de al menos un sensor acústico, mientras el actuador se opera en un punto de funcionamiento predefinido, y la modificación del punto de funcionamiento del actuador si la emisión de ruido y/o vibración se encuentra en un rango no deseado predefinido.

35 El documento DE 10 2006 008 048 A1 describe un dispositivo de detección de la velocidad de rotación del motor para detectar la velocidad de rotación de un rotor de un motor de inducción, en el que el rotor es accionado para girar mediante la excitación de un estator del motor por medio de una señal de corriente alterna, con un dispositivo de regulación que inserta en la señal de corriente alterna una parte de armónicos de una frecuencia superior a la frecuencia de excitación de la señal de corriente alterna, y un circuito de filtrado que extrae de una señal de corriente alterna una parte de frecuencia que se encuentra dentro de la banda de frecuencia de extracción que ha sido ajustada por el circuito de filtrado.

45 Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es resolver, al menos en parte, los problemas descritos anteriormente. En particular, el objetivo de la presente invención es proponer una forma mejorada de determinar una velocidad síncrona y/o ampliar la aplicación de un procedimiento conocido para determinar el punto de funcionamiento sin utilizar magnitudes de medición eléctricas para máquinas asíncronas de velocidad regulada.

50 La tarea anterior se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1, un dispositivo de procesamiento con las características de la reivindicación 12, un sistema con las características de la reivindicación 13 y un programa informático con las características de la reivindicación 15. Otras características y detalles de la invención se desprenden de las respectivas subreivindicaciones, de la descripción y de los dibujos.

55 La tarea se resuelve mediante un procedimiento para determinar la velocidad síncrona de una máquina eléctrica, en particular una máquina asíncrona y/o síncrona y/o rotativa y/o un motor eléctrico, en particular un motor asíncrono, en una máquina accionada por la máquina eléctrica, en particular un sistema de bombeo.

En este caso, puede preverse ventajosamente un dispositivo de regulación (eléctrico) como un convertidor de frecuencia para regular la velocidad de la máquina eléctrica, en particular de la máquina asíncrona.

60 Además, pueden llevarse a cabo los siguientes pasos del procedimiento, preferiblemente uno tras otro en el orden indicado o en cualquier orden, pudiendo repetirse también algunos o todos los pasos:

65 - iniciar y/o realizar un registro de al menos una magnitud de medición (especialmente mecánica) en la máquina eléctrica y/o en la máquina de trabajo, preferiblemente para obtener información de registro específica para un sonido rotatorio de la máquina eléctrica y/o de la máquina de trabajo y/o para la velocidad de sincronización, especialmente en forma de información de ruido y/o de una evolución temporal de la magnitud de medición,

- realizar un análisis de señales, en particular un análisis de frecuencia, de la información de registro para obtener un espectro, en particular un espectro de frecuencia, de la información de registro.
- realizar una selección de al menos un rango en el espectro, en particular al menos un rango de frecuencias en el espectro de frecuencias, preferiblemente utilizando una frecuencia de ciclo del dispositivo de regulación (en particular conocida de antemano y/o introducida manualmente), donde alternativamente o adicionalmente la selección de varios rangos diferentes también puede realizarse utilizando al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo y/o diferentes múltiplos de la frecuencia de ciclo,
- realización de un reconocimiento de al menos un valor máximo (picos) en el (respectivo, seleccionado) , en particular el rango de frecuencia, para determinar al menos una o exactamente dos o al menos dos frecuencias específicas de la velocidad síncrona (en este rango respectivo), en donde la frecuencia o frecuencias pueden ser cada una una frecuencia de un armónico, es decir, en particular frecuencias que son estimuladas por armónicos del dispositivo de regulación,
- determinación de la velocidad síncrona a partir de la frecuencia o frecuencias determinadas.

Esto tiene la ventaja de que la velocidad síncrona puede determinarse incluso sin acceso a las magnitudes eléctricas de medición de la máquina de trabajo, en particular de la máquina eléctrica y/o del dispositivo de regulación, y/o sin conocimiento de los parámetros de control del dispositivo de regulación. Los parámetros de control son, por ejemplo, una velocidad ajustada y/o una variable controlada o similar que se utiliza para controlar la velocidad. En una máquina eléctrica o asíncrona con velocidad controlada, la velocidad síncrona también puede diferir de la velocidad nominal y, por ejemplo, estar siempre justo por encima de la velocidad nominal. El campo magnético rotatorio de la máquina asíncrona induce tensiones y corrientes en los devanados del rotor solo cuando este gira de forma asíncrona al campo magnético rotatorio. La diferencia de velocidad entre el campo rotatorio y el rotor en relación con la velocidad del campo rotatorio, es decir, la velocidad síncrona, se denomina deslizamiento.

Es posible que los pasos de realizar la selección y realizar el reconocimiento y realizar la determinación de la velocidad de sincronismo se realicen para diferentes rangos en el espectro, que comprenden la frecuencia de ciclo y/o un múltiplo de la frecuencia de ciclo y/o diferentes múltiplos de la frecuencia de ciclo. Por ejemplo, se pueden seleccionar al menos dos o al menos tres rangos diferentes en el espectro basándose en la frecuencia de ciclo y/o en un múltiplo de la frecuencia de ciclo y/o en diferentes múltiplos de la frecuencia de ciclo. Por lo tanto, cada uno de los rangos puede incluir un múltiplo diferente de la frecuencia de ciclo o la propia frecuencia de ciclo. En cada una de las áreas se pueden detectar los valores pico para determinar las frecuencias específicas de la velocidad síncrona. Para cada área se puede determinar un valor de velocidad síncrona a partir de las frecuencias determinadas en ella. Además, los valores determinados se pueden utilizar conjuntamente para determinar la velocidad síncrona con el fin de aumentar la precisión. La selección basada en la frecuencia de ciclo incluye, por tanto, la selección basada en al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo.

La velocidad síncrona se determina preferiblemente a partir de la medición de al menos una magnitud que se produzca únicamente como efecto secundario del funcionamiento de la máquina eléctrica o máquina de trabajo, pero que ofrezca información sobre la velocidad síncrona. Esto puede ser concretamente un sonido (por ejemplo, presión acústica del cuerpo o del aire), de modo que la magnitud de medición también puede interpretarse como un ruido emitido por la máquina eléctrica o la máquina de trabajo. La magnitud de medición puede proporcionar información sobre la velocidad síncrona. Esta información también puede provenir de un efecto del funcionamiento que se considera básicamente molesto, como por ejemplo el comportamiento acústico del dispositivo de regulación. La información también puede ser específica del sonido rotatorio de la máquina eléctrica y/o de la máquina de trabajo, es decir, por ejemplo, que el ruido sea causado por fuerzas alternas periódicas en la máquina eléctrica y/o en la máquina de trabajo. El registro de la magnitud de medición sirve para hacer accesible esta información mediante el procesamiento de la información de registro. Para ello, durante el registro se puede producir una transformación de la magnitud de medición en información de registro, por ejemplo, mediante un transductor de sonido y/o mediante una conversión analógica-digital.

El dispositivo de regulación puede tener al menos un interruptor electrónico de potencia para controlar la velocidad de la máquina eléctrica o máquina asíncrona, especialmente en forma de puentes controlados. El interruptor puede estar diseñado, por ejemplo, como un transistor de potencia, preferiblemente como un transistor de efecto de campo de óxido metálico semiconductor (MOSFET), un transistor de efecto de campo de capa de bloqueo (JFET), un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) o como tiristores IGC. Además, el dispositivo de regulación puede generar una tensión de salida variable mediante modulación por ancho de pulsos (PWM). De esta manera, el nivel de la tensión de salida resultante y también su frecuencia pueden regularse dentro de amplios límites.

Es posible que la información de detección sea específica para el sonido rotatorio y/o la velocidad de rotación síncrona, ya que la información de detección resulta de un desarrollo de ruido en la máquina eléctrica y/o en la máquina de trabajo. Concretamente, cuando se utiliza una frecuencia de ciclo PWM en el rango de audición para el dispositivo de regulación, pueden producirse ruidos molestos. Estos son causados, por ejemplo, por vibraciones mecánicas del estator. Aunque el aumento de la frecuencia de ciclo puede reducir este efecto, también puede aumentar la potencia disipada del convertidor de frecuencia. Sin embargo, según la invención, el ruido también puede utilizarse para determinar la velocidad síncrona de la máquina eléctrica basándose en el ruido. Los ruidos generados por la máquina eléctrica pueden ponerse a disposición, por ejemplo, mediante el registro de la magnitud

de medición como información de registro de un procesamiento (es decir, de los pasos posteriores del proceso, como el análisis de señales, etc.) para determinar la velocidad síncrona mediante el procesamiento. Para ello se puede aprovechar el efecto de que la velocidad de rotación síncrona influye en estos ruidos, en particular mediante una modulación de amplitud de la frecuencia de giro del dispositivo de regulación. Por lo tanto, las frecuencias determinadas por el reconocimiento de al menos un valor máximo también pueden ser específicas de la velocidad de rotación síncrona.

También es posible que se realice al menos una ventana del espectro de frecuencias para seleccionar al menos un rango de frecuencias. En este caso, se puede establecer una anchura de ventana y/o una posición de ventana para la ventana (es decir, de la ventana) de tal manera que, mediante la posterior detección de al menos un valor pico o al menos dos o exactamente dos valores pico en el rango de frecuencias respectivo, solo se determinen (una o varias) frecuencias del rango de frecuencias que sean específicas de la velocidad síncrona. Como se ha descrito anteriormente, la información de detección puede utilizarse para inferir la velocidad síncrona. En particular, la velocidad síncrona tiene un efecto en el espectro de la información de detección. Por ejemplo, en un PWM se estimulan oscilaciones características de la velocidad síncrona, cuyas frecuencias se producen alrededor de la frecuencia de reloj o de un múltiplo de la frecuencia de reloj del dispositivo de regulación. La distancia de estas frecuencias a la frecuencia de ciclo o a sus múltiplos puede depender de la velocidad de sincronización. Los parámetros de ventana, anchura de ventana y/o posición de ventana, pueden entonces determinarse de tal manera que el rango de frecuencias resultante de al menos una ventana incluya estas frecuencias, pero excluya otras frecuencias de intensidad similar o mayor en el espectro de frecuencias. Esto tiene la ventaja de que, en el reconocimiento posterior de los valores pico, solo se determinan estas frecuencias. La determinación concreta de los parámetros de la ventana para lograr esta función deseada puede realizarse, por ejemplo, mediante un ajuste manual a modo de calibración antes de utilizar el procedimiento de la invención.

Además, es concebible que el dispositivo de regulación esté diseñado como un convertidor de frecuencia. De forma alternativa o adicional, el al menos un rango de frecuencias puede seleccionarse alrededor de la frecuencia de ciclo y/o alrededor de al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo, y preferiblemente tener la frecuencia de ciclo o el múltiplo de la frecuencia de ciclo como frecuencia central. De este modo, al seleccionar al menos una ventana para seleccionar al menos un rango de frecuencia, se coloca centralmente alrededor de la frecuencia de ciclo y/o al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo en la fenestración. De esta manera, se pueden seleccionar las frecuencias que ocurren a una distancia de esta frecuencia de ciclo y/o múltiplos de la frecuencia de ciclo, donde esta distancia puede depender de la velocidad síncrona. En otras palabras, se pueden realizar uno o varios filtrados durante la selección, lo que da como resultado un rango de frecuencias alrededor de la frecuencia de reloj y/o un múltiplo de la misma.

Además, se prevé opcionalmente que la realización de la selección incluya los siguientes pasos:

- determinar (al menos) una anchura de ventana basado en una velocidad de sincronización esperada predefinida,
- determinar (al menos) una posición de ventana basada en la frecuencia de ciclo, en particular en la frecuencia de ciclo y/o al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo, por ejemplo, en la posición de la frecuencia de ciclo o múltiplos de la frecuencia de ciclo, de modo que la frecuencia de ciclo o múltiplos de la frecuencia de ciclo formen la frecuencia central para el rango de frecuencia,
- realizar al menos una ventana del espectro de frecuencias para seleccionar el rango de frecuencias como un rango alrededor de la frecuencia de reloj o de los múltiplos de la frecuencia de reloj con la anchura y la posición de ventana establecidas.

Este procedimiento permite seleccionar únicamente las frecuencias relevantes que pueden utilizarse para determinar la velocidad síncrona. Es posible que los pasos mencionados anteriormente para realizar la selección se repitan para diferentes posiciones de ventana, que se determinan preferiblemente en base a y/o a la frecuencia de ciclo y/o a múltiplos de la frecuencia de ciclo y/o a diferentes múltiplos de la frecuencia de ciclo. En otras palabras, la ventana también puede realizarse varias veces para diferentes áreas, y las ventanas pueden utilizarse para seleccionar varias áreas de frecuencia como áreas alrededor de la frecuencia de ciclo y/o múltiples diferentes de la frecuencia de ciclo. Para cada una de las áreas de frecuencia seleccionadas, es ventajoso estimar un valor para la velocidad síncrona basándose en las frecuencias determinadas en ellas, para determinar la velocidad síncrona basándose en estos valores.

Además, es posible que la frecuencia de ciclo esté en el rango de 1 kHz a 20 kHz, preferiblemente de 2 kHz a 16 kHz, preferiblemente de 4 kHz a 12 kHz. En consecuencia, se puede delimitar el rango en el que se realiza la selección del rango de frecuencia.

Además, se prevé opcionalmente que la magnitud de medición mecánica sea diferente de una magnitud de medición eléctrica de la máquina eléctrica y/o del dispositivo de regulación y que se registre preferiblemente independientemente de un parámetro de control del dispositivo de regulación. De este modo, el procedimiento de la invención también puede llevarse a cabo sin acceso directo al dispositivo de regulación y/o a la máquina eléctrica, por ejemplo, simplemente mediante la medición de la variable, como la presión acústica o similar.

Preferiblemente, puede preverse que la variable mecánica comprenda al menos una de las siguientes variables:

- una presión,
- una presión diferencial,
- una fuerza,
- una vibración,
- un sonido estructural,
- un sonido aéreo.

Esto permite llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención sin contacto directo con la máquina eléctrica y/o la máquina de trabajo, por ejemplo, mediante un dispositivo de procesamiento de acuerdo con la invención, por ejemplo, en forma de un dispositivo de medición móvil.

También es concebible, de manera opcional, que se determine una anchura de ventana del rango de frecuencias de tal manera que, en el reconocimiento posterior, se detecten exactamente dos o al menos dos valores pico, para determinar en cada uno de los valores pico una de las frecuencias específicas de la velocidad síncrona, determinándose la velocidad síncrona a partir de una diferencia de frecuencia de las frecuencias determinadas. Esto permite determinar de forma fiable la velocidad síncrona.

Otra posibilidad es que la anchura de la ventana del rango de frecuencias sea al menos el doble o al menos el cuádruple de una frecuencia síncrona esperada (según la velocidad síncrona). Esto permite delimitar de forma fiable el rango de frecuencias relevantes. La anchura de la ventana puede ser, por ejemplo, como máximo el doble, el triple, el cuádruple o el séxtuple de la velocidad de sincronización esperada.

El objeto de la invención es también un dispositivo de procesamiento, por ejemplo, un dispositivo de medición, que también está diseñado para el procesamiento, en particular el procesamiento de datos. En este caso, se prevé que el dispositivo de procesamiento disponga de medios de procesamiento destinados a la ejecución de los pasos de un procedimiento según la invención. De este modo, el dispositivo de procesamiento según la invención ofrece las mismas ventajas que se han descrito detalladamente en relación con un procedimiento según la invención.

Se prevé un sistema que presenta:

- una máquina de trabajo, en particular un sistema de bombeo,
- una máquina eléctrica, en particular una máquina asíncrona de velocidad regulada, en particular de la máquina de trabajo, para accionar la máquina de trabajo, preferiblemente para generar un movimiento giratorio en la máquina de trabajo para transportar un medio a transportar,
- un dispositivo de regulación de la máquina de trabajo y, en particular, de la máquina eléctrica, preferiblemente para regular la velocidad de la máquina eléctrica, en particular para ajustar una velocidad actual del movimiento giratorio,
- un dispositivo de procesamiento según la invención.

Además, en el marco de la invención puede preverse que la máquina de trabajo esté diseñada como un sistema de bombeo, en particular un sistema de bombeo centrífugo, y/o que el dispositivo de procesamiento esté separado de la máquina de trabajo, en particular en forma de un dispositivo móvil.

El objeto de la invención es también un programa informático, en particular un producto de programa informático, que comprende instrucciones que, cuando el programa informático se ejecuta mediante un dispositivo de procesamiento según la invención, hacen que este ejecute un procedimiento según la invención. De este modo, el programa informático según la invención conlleva las mismas ventajas que las descritas detalladamente en relación con un procedimiento según la invención. Para ejecutar el programa informático, el dispositivo de procesamiento puede tener un procesador que lea el programa informático de una memoria no volátil del dispositivo de procesamiento.

La solución de la invención puede utilizarse para llevar a cabo el procedimiento descrito en el documento EP 2 433 010 B1 y/o para operar el dispositivo de determinación del punto de funcionamiento descrito en el mismo. En concreto, el procedimiento y/o el dispositivo de procesamiento de la invención pueden utilizarse para determinar la velocidad síncrona (en lo sucesivo, también denominada velocidad síncrona) con este fin. Por lo tanto, se hace referencia al documento de patente mencionado anteriormente y también a la solicitud correspondiente (WO 2010/133425), cuyo contenido se incluye en la presente solicitud. Por lo tanto, una ventaja de la presente invención es que el alcance de aplicación de la patente mencionada puede ampliarse a máquinas asíncronas de velocidad regulada.

Por ejemplo, puede preverse que la velocidad síncrona determinada se utilice para determinar un punto de funcionamiento de la máquina de trabajo. De este modo, el procedimiento de la invención basado en la determinación de la velocidad síncrona también puede utilizarse para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo o de la máquina eléctrica que acciona la máquina de trabajo. La máquina de trabajo puede ser accionada, por ejemplo, por la máquina asíncrona de velocidad regulada (como máquina eléctrica), en la que la

determinación de la velocidad síncrona no es posible de forma convencional o solo es posible con un gran esfuerzo técnico. El punto de funcionamiento puede caracterizarse por la potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o su caudal.

5 Por ejemplo, es posible que se lleven a cabo los siguientes pasos para determinar el punto de funcionamiento basándose en la velocidad síncrona y en una velocidad actual de la máquina de trabajo que difiera de la velocidad síncrona:

- 10 - determinar una frecuencia de sonido rotatorio linealmente proporcional al sonido rotatorio de la máquina de trabajo y/o de la máquina eléctrica a partir del espectro de frecuencias.
- determinar la velocidad actual de la máquina de trabajo utilizando la frecuencia de sonido rotatorio determinada.
- determinación de una curva característica de velocidad-par de la máquina eléctrica, por ejemplo, al menos a partir de parámetros predeterminados del motor como la potencia nominal y/o la velocidad nominal y/o la velocidad síncrona,
- 15 - determinación de una potencia absorbida por la máquina de trabajo a partir de la velocidad de rotación actual determinada y de la curva característica de velocidad de rotación y par, caracterizándose el punto de funcionamiento por la potencia absorbida.

20 Para registrar al menos una magnitud de medición pueden utilizarse uno o varios sensores que registren la magnitud de medición como magnitud de medición dependiente del punto de funcionamiento de la máquina de trabajo. Los valores de medición determinados de esta manera pueden evaluarse y/o almacenarse durante el funcionamiento de la máquina de trabajo mediante un procedimiento según la invención. La invención también puede prever que el punto de funcionamiento se determine sin utilizar variables eléctricas de medición del motor asíncrono de accionamiento. Para ello, a partir de una magnitud de medición mecánica como la presión, la presión diferencial, la fuerza, la vibración, el sonido estructural o el sonido aéreo, se puede determinar mediante un análisis de señales, en particular un análisis de frecuencia, una frecuencia linealmente proporcional al sonido de rotación de la máquina de trabajo y/o de la máquina eléctrica (frecuencia de sonido de rotación). A partir de ahí se puede determinar la velocidad de rotación de la máquina motriz y, a partir de la dependencia de la velocidad de rotación y el par del motor asíncrono debido al deslizamiento, se puede determinar el punto de funcionamiento. Además, la potencia absorbida por la máquina de trabajo se puede determinar mediante los siguientes pasos (la máquina eléctrica se denominará en lo sucesivo brevemente motor):

30 - determinación de la curva característica de par-velocidad del motor, en particular mediante parámetros predeterminados del motor como la potencia nominal y la velocidad nominal, la velocidad síncrona, el par de bloqueo, la velocidad de bloqueo o el deslizamiento de bloqueo, si procede.

35 - determinación de la potencia absorbida o del par del motor a partir de la velocidad de accionamiento determinada (es decir, la velocidad actual) y de la curva característica de velocidad-par del motor.

40 En el caso de una bomba, en particular una bomba centrífuga, como máquina de trabajo, puede preverse que la determinación de un caudal de la bomba se realice a partir de la velocidad de accionamiento. En la bomba solo se registran magnitudes de medición mecánicas. A partir de la frecuencia de sonido de giro determinada se puede calcular la velocidad de accionamiento o del eje de la bomba. Esto supone una ventaja de costes considerable frente a la medición directa del caudal, por ejemplo, mediante tecnología de medición de caudal por ultrasonidos o tecnología de medición de caudal por inducción magnética. También se minimizan el esfuerzo y los costes en comparación con la determinación del caudal sobre la base de una medición eléctrica de la potencia activa.

50 El dispositivo de procesamiento según la presente invención puede estar dispuesto en la bomba, en su motor de accionamiento o en su entorno y/o estar integrado con la bomba o su motor de accionamiento.

El dispositivo de procesamiento según la invención también puede determinar el caudal de la bomba, en particular de la bomba centrífuga, a partir de la potencia absorbida o de la potencia del eje determinada a partir de la velocidad de accionamiento o de la velocidad del eje.

55 Se ha demostrado que es conveniente que el dispositivo de procesamiento de la invención determine el caudal de la bomba, en particular de la bomba centrífuga, a partir de parámetros del motor que describen una curva característica de par de giro del motor, así como a partir de parámetros de la bomba que describen una curva característica de caudal de bombeo y potencia, y de la velocidad de accionamiento o velocidad del eje.

60 Asimismo, puede preverse que el dispositivo de procesamiento de la invención determine el caudal de la bomba, en particular de la bomba centrífuga, directamente a partir de una curva característica que represente la variación de la velocidad en función de la carga en función del caudal de la bomba. Dicha curva característica puede determinarse mediante pruebas y almacenarse en la memoria de datos para que pueda consultarse durante el funcionamiento de la bomba centrífuga. Aquí se utiliza igualmente la dependencia del par de giro del motor asíncrono, que conduce a una variación de la velocidad de rotación a lo largo del rango de caudal. De esta forma, el punto de funcionamiento

caracterizado por la potencia absorbida por la máquina de trabajo y/o su caudal puede determinarse con especial facilidad.

En una memoria de datos del dispositivo de procesamiento según la invención se pueden almacenar parámetros del motor que describen la dependencia de la velocidad de rotación del par del motor asíncrono y/u otros datos tecnológicos de la disposición de la máquina de trabajo. Se puede acceder a estos durante el funcionamiento de la máquina de trabajo para determinar el punto de funcionamiento. No es necesario que el dispositivo de procesamiento registre magnitudes eléctricas. El dispositivo de procesamiento puede determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo a partir de una única señal de medición, por ejemplo, una señal de un sensor de presión.

También puede preverse que el dispositivo de procesamiento según la presente invención tenga al menos una conexión para un sensor de presión y determine la velocidad de accionamiento o la velocidad del eje a partir de los valores de medición de un sensor de presión conectado para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo. Los sensores de presión para registrar presiones estáticas también son capaces de registrar fluctuaciones de presión dinámicas. De todos modos, muchas bombas llevan instalados sensores de presión de este tipo, sobre todo para registrar su presión final.

Los parámetros necesarios para llevar a cabo los distintos pasos del proceso pueden almacenarse o guardarse en una memoria de datos del dispositivo de procesamiento según la presente invención y, de este modo, estar disponibles para llevar a cabo los distintos pasos del proceso.

La descripción siguiente, en la que se describen ejemplos de realización de la invención en detalle con referencia a los dibujos, muestra otras ventajas, características y detalles de la invención. Las características mencionadas en las reivindicaciones y en la descripción pueden ser esenciales para la invención, ya sea individualmente o en cualquier combinación. Allí:

- Fig. 1 muestra una representación esquemática para visualizar un procedimiento según la invención,
- Fig. 2 muestra una representación esquemática de partes de un sistema según la invención,
- Fig. 3 muestra una representación esquemática de una ventana del espectro de frecuencias para seleccionar el rango de frecuencias,
- Fig. 4 muestra una representación esquemática de una detección de valores pico en el rango de frecuencias,
- Fig. 5 muestra una representación esquemática de un espectro de frecuencias de una tensión de estator,
- Fig. 6 muestra una representación esquemática parcial del espectro de frecuencias de la tensión de estator,
- Fig. 7 muestra una representación esquemática de un espectro de frecuencias de un ruido,
- Fig. 8 muestra una representación esquemática parcial del espectro de frecuencias del ruido.

En las Figuras siguientes, se utilizan los mismos signos de referencia para las mismas características técnicas, aunque se trate de ejemplos de ejecución diferentes.

En la Figura 1, se visualiza esquemáticamente un procedimiento de acuerdo con la invención para determinar una velocidad síncrona n_0 de una máquina eléctrica 2, concretamente y a modo de ejemplo en forma de una máquina asíncrona de velocidad regulada 2, en una máquina de trabajo 1 accionada por la máquina asíncrona 2, con los pasos de procedimiento correspondientes. Como se muestra en la Figura 2, puede preverse un dispositivo de regulación 3 para controlar la velocidad de la máquina asíncrona 2. El dispositivo de regulación 3 puede formar parte de un sistema según la invención junto con la máquina de trabajo 1 y/o el dispositivo de procesamiento 10 según la invención. Además, el motor asíncrono 2 y el dispositivo de regulación 3 pueden formar parte del motor de trabajo 1, mientras que el dispositivo de procesamiento 10 puede ser un dispositivo móvil independiente del motor de trabajo 1. En una memoria 15 del dispositivo de procesamiento 10 puede almacenarse de forma no volátil un programa informático de acuerdo con la invención para ser ejecutado por un procesador no representado explícitamente del dispositivo de procesamiento 10 para llevar a cabo los pasos de procedimiento de un procedimiento de acuerdo con la invención.

De acuerdo con un primer paso de un procedimiento según la invención, se puede iniciar la adquisición 101 de al menos una magnitud de medición mecánica en la máquina de trabajo 1 y/o en la máquina eléctrica 2 para obtener una información de adquisición 200 específica para un sonido giratorio de la máquina de trabajo 1 y/o de la máquina eléctrica 2. Para ello pueden utilizarse, por ejemplo, sensores como sensores de presión y/o al menos un micrófono en la máquina de trabajo 1 y/o en la máquina eléctrica 2. A continuación, la información de registro 200 puede seguir procesándose, para lo cual se prevén los siguientes pasos de procedimiento:

- realizar un análisis de frecuencia 102 como una transformación de Fourier de la información de registro 200 para obtener un espectro de frecuencia 210 de la información de registro 200,
- realizar una selección 103 de al menos un rango de frecuencias 220 en el espectro de frecuencias 210 utilizando una frecuencia de reloj f_T (es decir, también utilizando al menos un múltiplo de la frecuencia de reloj f_T) del dispositivo de regulación 3,

- realización de una detección 104 de al menos un valor máximo 230 o de al menos o exactamente dos valores pico 230 en el rango de frecuencias (respectivo) 220, para determinar al menos una frecuencia f_1 , f_2 específica para la velocidad de sincronización n_0 ,
- realización de la determinación 105 de la velocidad síncrona n_0 utilizando al menos una frecuencia f_1 , f_2 determinada.

El objetivo de la determinación de la velocidad síncrona n_0 puede ser determinar un punto de funcionamiento de la máquina de trabajo 1. Para determinar la velocidad de rotación de la máquina eléctrica 2, en particular de la máquina asíncrona, de la máquina de trabajo 1, es necesario en un primer paso determinar la velocidad de rotación síncrona actual n_0 de la máquina eléctrica 2. En el procedimiento de la invención, es posible que el análisis de un espectro de frecuencias en un ruido de la máquina de trabajo 1 y/o de la máquina eléctrica 2 pueda conducir a la determinación de la velocidad síncrona actual.

Los ruidos acústicos magnéticamente excitados en las máquinas eléctricas 2 pueden tener diferentes causas, como por ejemplo, el uso del estator y del rotor, la saturación del estator y del rotor, el acoplamiento entre los campos de entrehierro de las ondas fundamentales, que se produce por la alimentación de corriente fundamental y de corriente armónica causada por el convertidor, el tipo de alimentación del convertidor, etc. En este caso, puede ser un problema para determinar la velocidad síncrona actual n_0 que la máquina eléctrica 2 sea desconocida y, por lo tanto, que tanto el uso del estator y el rotor como la saturación del estator y el rotor sean desconocidos. Por lo tanto, para determinar la velocidad síncrona n_0 , resulta ventajoso evaluar las fuerzas de oscilación que se producen en el entrehierro como consecuencia del acoplamiento entre los campos giratorios de la onda fundamental generados por las oscilaciones armónicas de corriente causadas por el convertidor. Las oscilaciones armónicas de corriente pueden determinarse mediante un tipo de alimentación del convertidor. El procedimiento de la invención puede ser adecuado para determinar la velocidad síncrona n_0 en una máquina eléctrica 2 que utiliza el método de subarmónicos de modulación por ancho de pulsos (PWM) asíncrono con señal portadora triangular simétrica.

En la Figura 5, se muestra un ejemplo de espectro de frecuencia de una tensión de estator de la máquina eléctrica 2 para una frecuencia de ciclo f_T de 4 kHz. Las frecuencias relevantes para el procedimiento de la invención están resaltadas con un rectángulo discontinuo y se muestran ampliadas en la Figura 6. Se puede ver que alrededor de la frecuencia de ciclo f_T se producen múltiples bandas laterales de frecuencia características (resaltadas en la Figura 6 con un rectángulo discontinuo), por ejemplo, $2 \cdot f_T = 8$ kHz, $3 \cdot f_T = 12$ kHz, etc. Los rectángulos discontinuos alrededor de la frecuencia de reloj f_T o de sus múltiplos también pueden indicar posibles ventanas para la ventana. Las amplitudes de las respectivas bandas de frecuencia dependen además del grado de modulación (índice de modulación). Las bandas laterales de frecuencia de la corriente y la tensión pueden calcularse con la frecuencia de reloj f_T y la frecuencia de oscilación fundamental f_S de la siguiente manera:

$$f_k = n_1 \cdot f_T \pm n_2 \cdot f_S.$$

Si n_1 es un número entero impar, entonces n_2 es un número entero par, y si n_1 es un número entero par, entonces n_2 es un número entero impar. Por ejemplo, $f_k = f_T \pm 2 \cdot f_S$; $f_T \pm 4 \cdot f_S$; ... $2 \cdot f_T \pm f_S$; $2 \cdot f_T \pm 3 \cdot f_S$; $2 \cdot f_T \pm 5 \cdot f_S$; ... $3 \cdot f_T \pm 2 \cdot f_S$; $3 \cdot f_T \pm 4 \cdot f_S$; $3 \cdot f_T \pm 6 \cdot f_S$; ..., etc.

En la Figura 7, se muestra, a modo de ejemplo, un espectro de frecuencia 210 de un ruido de la máquina de trabajo 1 accionada por una máquina asíncrona de velocidad regulada 2. El rectángulo discontinuo indica las frecuencias relevantes para el procedimiento de la invención, que son excitadas por los armónicos del convertidor de frecuencia. En la Figura 8, se muestra una representación ampliada de estas frecuencias.

De forma similar a la corriente y la tensión del estator (véanse las Figuras 5 y 6), en el ruido de la máquina eléctrica o de trabajo 2 también se producen bandas laterales de frecuencia características. Estas bandas laterales de frecuencia se resaltan en la Figura 8 mediante rectángulos discontinuos y también resultan de múltiplos de la frecuencia de ciclo f_T (aquí, por ejemplo, 4 kHz). Sin embargo, estas frecuencias de ruido están desplazadas de las frecuencias de las armónicos (debido a la interacción entre la onda fundamental y las ondas fundamentales de los armónicos) alrededor de la frecuencia de la onda fundamental f_S . Por lo tanto, las bandas laterales de frecuencia del ruido se pueden calcular con la frecuencia de ciclo f_T y la frecuencia de oscilación fundamental f_S de la siguiente manera:

$$f_k = m_1 \cdot f_T \pm m_2 \cdot f_S.$$

Si m_1 es un número entero impar, entonces m_2 es un número entero impar, y si m_1 es un número entero par, entonces m_2 es un número entero par. Por ejemplo, $f_k = f_T \pm f_S$; $f_T \pm 3 \cdot f_S$; ... $2 \cdot f_T \pm 2 \cdot f_S$; $2 \cdot f_T \pm 4 \cdot f_S$; $2 \cdot f_T \pm 6 \cdot f_S$; ... $3 \cdot f_T \pm 5 \cdot f_S$; $3 \cdot f_T \pm 7 \cdot f_S$; $3 \cdot f_T \pm 9 \cdot f_S$; ..., etc.

La frecuencia de oscilación fundamental actual f_S de la máquina asíncrona puede determinarse, por ejemplo, a partir de dos armónicos determinados de la señal de ruido $f_{k=1} = f_1 = f_T + f_S$ y $f_{k=2} = f_2 = f_T - f_S$:

$$f_S = \frac{f_{k=1} - f_{k=2}}{2} = \frac{f_T + f_S - (f_T - f_S)}{2} = f_S.$$

La velocidad síncrona n_0 sigue resultando de la frecuencia de oscilación básica f_S dividida por el número de pares de polos p de la máquina asíncrona 2:

$$n_0 = \frac{f_S}{p}$$

Una vez conocida la velocidad síncrona n_0 , es ventajoso seguir aplicando el procedimiento descrito en el documento EP 2 433 010 B1 para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo 1. Mediante el análisis o la comparación de las frecuencias en varias ventanas de frecuencia, también se puede aumentar la precisión.

Para determinar los armónicos, el espectro de frecuencias mostrado en las Figuras 7 y 8 puede evaluarse mediante una fenestración y un reconocimiento de valores pico. Como se muestra en la Figura 3, la realización de una fenestración del espectro de frecuencias 210 puede incluir, opcionalmente, la realización de una selección 103. Para ello, se puede determinar primero una anchura de ventana f_b (marcada en la Figura 4) basándose en una velocidad síncrona esperada n_0 predefinida. La anchura de ventana mínima que debe considerarse alrededor de la frecuencia de ciclo y/o un múltiplo de la frecuencia de ciclo del dispositivo de regulación 3, en particular de un convertidor de frecuencia 3, puede determinarse mediante ± 2 frecuencias de oscilación fundamental máximas esperadas. A continuación, la posición de la ventana puede determinarse en función de la frecuencia de ciclo f_T . En el ejemplo mostrado, la posición de la ventana corresponde a la frecuencia de ciclo f_T , de modo que la frecuencia de ciclo puede entenderse como la frecuencia central del rango de frecuencias 220. De forma alternativa o adicional, también se puede realizar al menos una ventana en la que la posición de la ventana corresponda a un múltiplo de la frecuencia de ciclo f_T , de modo que el múltiplo de la frecuencia de ciclo f_T pueda interpretarse como la frecuencia central del rango de frecuencias 220. A continuación, esta zona puede recortarse, es decir, se puede realizar una ventana del espectro de frecuencias 210 para seleccionar 103 la zona de frecuencias 220 como una zona alrededor de la frecuencia de ciclo f_T con la anchura de ventana f_b y la posición de ventana establecidas. Concretamente, la anchura de ventana f_b y la posición de la ventana para la ventana pueden determinarse (por ejemplo, mediante series de pruebas) de tal manera que, mediante la posterior detección de al menos un valor máximo 230 o al menos o exactamente dos valores pico 230 en el rango de frecuencias 220, solo se determinen las frecuencias f_1 , f_2 del rango de frecuencias 220 que son específicas para la velocidad síncrona n_0 (véase la Figura 4). Para detectar los valores pico de 230, por ejemplo, se pueden comparar las amplitudes de las frecuencias en el rango de frecuencias 220 con un valor umbral para seleccionar las frecuencias f_1 , f_2 como frecuencias específicas para la velocidad síncrona n_0 que superan este valor umbral. En otras palabras, las amplitudes A pueden interpretarse como valores pico 230 que superan el valor umbral.

La velocidad síncrona actual n_0 de la máquina eléctrica 2 puede determinarse así mediante un análisis del espectro de frecuencias 210 en rangos alrededor de múltiplos de la frecuencia de ciclo f_T . Las posibles frecuencias de ciclo pueden ser, por ejemplo, 2 kHz, 4 kHz, 6 kHz, 8 kHz, 10 kHz, 12 kHz, 14 kHz o 16 kHz.

De acuerdo con las Figuras 3 y 4, se puede determinar una anchura de ventana f_b del rango de frecuencias 220 de tal manera que, en el reconocimiento posterior, se detecten 104 exactamente o al menos dos valores pico 230, para determinar en los valores pico 230 una de las frecuencias f_1 , f_2 específicas para la velocidad de sincronización n_0 . Puede tratarse de las frecuencias $f_{k=1}$ y $f_{k=2}$ de los armónicos, como se ha descrito anteriormente. A partir de una diferencia de frecuencia de las frecuencias determinadas f_1 , f_2 , se puede determinar a continuación la velocidad síncrona n_0 , por ejemplo, como se ha descrito anteriormente.

En la Figura 4, se muestra a modo de ejemplo el rango de frecuencias alrededor de $f_T=4$ kHz. El dispositivo de regulación estimula los armónicos característicos. Se puede observar que existen picos característicos (230) tanto por encima como por debajo de $f_T=4$ kHz. En el rango de frecuencias considerado 220 se encuentran varios picos, de los cuales se examinan más a fondo los más cercanos a la frecuencia de sincronización. A partir de las frecuencias f_1 , f_2 de estos dos valores pico más cercanos 230, se puede calcular la velocidad síncrona actual n_0 de la máquina eléctrica 2.

Una vez conocida la velocidad síncrona n_0 , el procedimiento del documento EP 2 433 010 B1 puede seguir aplicándose para determinar el punto de funcionamiento de la máquina de trabajo. Para determinar el deslizamiento actual s de la máquina asíncrona, se pueden utilizar la velocidad actual n y la velocidad síncrona n_0 de la máquina eléctrica 2:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

La velocidad actual n se puede determinar mediante procedimientos convencionales a partir del espectro de frecuencias de la información de registro 200 mostrada en la Figura 3, en particular de un ruido.

Además, se pueden llevar a cabo los siguientes pasos para determinar el punto de funcionamiento basándose en la velocidad síncrona n_0 y en una velocidad actual de la máquina de trabajo 1 que difiera de esta:

- determinar una frecuencia de sonido rotatorio linealmente proporcional al sonido rotatorio de la máquina de trabajo 1 a partir del espectro de frecuencias 210,
- determinar la velocidad actual de la máquina de trabajo 1 basándose en la frecuencia de sonido rotatorio determinada,
- determinar una curva característica de velocidad-par de la máquina asíncrona 2 al menos a partir de parámetros predeterminados del motor, como la potencia nominal y la velocidad nominal, y la velocidad síncrona n_0 ,
- determinar una potencia absorbida por la máquina de trabajo 1 a partir de la velocidad actual determinada y de la curva característica de velocidad-par, caracterizándose el punto de funcionamiento por la potencia absorbida.

Los parámetros necesarios para determinar la curva característica de velocidad-par (curva característica n - M) de la máquina asíncrona 2 también pueden deducirse de los datos de la placa de características de la máquina asíncrona 2; por ejemplo, el par de diseño o nominal M_N se obtiene del cociente entre la potencia de diseño de la máquina asíncrona 2 (P_{2N}) y la velocidad nominal (n_N).

$$M_N = \frac{P_{2N}}{\omega_N} = \frac{P_{2N}}{2\pi n_N}$$

Si se conoce el par de bloqueo M_K y/o el deslizamiento de bloqueo s_K de la máquina asíncrona 2, la ecuación de Kloss

$$\frac{M}{M_K} = \frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}$$

representa la curva característica de velocidad-par, curva característica n - M de la máquina asíncrona 2. Con el deslizamiento s de la máquina asíncrona 2

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

se obtiene la curva característica n - M zu

$$M(n) = \frac{2M_K}{\frac{n_0 - n}{n_0 - n_K} + \frac{n_0 - n_K}{n_0 - n}}$$

con la velocidad de bloqueo n_K

$$n_K = n_0 \cdot \left(1 - \left(\sqrt{\left(\frac{M_K}{M_N} \frac{n_0 - n_N}{n_0} \right)^2 - \left(\frac{n_0 - n_N}{n_0} \right)^2} + \frac{M_K}{M_N} \frac{n_0 - n_N}{n_0} \right) \right)$$

De esta forma, la máquina de trabajo 1 puede caracterizarse de forma fiable mediante la curva característica n - M , determinándose la velocidad de rotación síncrona necesaria para ello mediante el procedimiento de la invención.

Listado de signos de referencia

- 1 Máquina de trabajo
- 2 Máquina asíncrona, motor asíncrono
- 3 Dispositivo de regulación, convertidor de frecuencia
- 5 10 Dispositivo de procesamiento
- 15 Memoria
- 101 Registro
- 102 Análisis de frecuencia, análisis de Fourier
- 103 Selección, fenestración
- 10 104 Detección, detección de picos
- 105 Determinación, cálculo
- 200 Información de registro
- 210 Espectro de frecuencia
- 220 Rango de frecuencias
- 15 230 Valor pico, pico
- f Frecuencia
- fT Frecuencia de ciclo
- fb Anchura de ventana
- f1 Primera frecuencia determinada
- 20 f2 Segunda frecuencia determinada
- n0 Velocidad síncrona, velocidad de rotación síncrona
- A Amplitud

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar una velocidad síncrona (n0) de una máquina eléctrica (2), en particular de una máquina asíncrona (2) con regulación de velocidad, en una máquina de trabajo (1) accionada por la máquina eléctrica (2), en donde se prevé un dispositivo de regulación (3) para regular la velocidad de la máquina eléctrica (2), en donde se llevan a cabo los siguientes pasos:

- inicio de un registro (101) de al menos una magnitud de medición mecánica en la máquina eléctrica (2) y/o en la máquina de trabajo accionada (1) para obtener una información de registro (200) específica para un sonido de rotación de la máquina eléctrica (2)
y/o de la máquina de trabajo accionada (1),
- realización de un análisis de frecuencia (102) de la información de detección (200) para obtener un espectro de frecuencia (210)
de la información de detección (200), caracterizado por los siguientes pasos:
- realización de una selección (103) de al menos un rango de frecuencias (220) en el espectro de frecuencia (210) basándose en una frecuencia de reloj (fT) del dispositivo de regulación (3),
- realización de un reconocimiento (104) de al menos un valor máximo (230) en el rango de frecuencias (220) para determinar al menos una frecuencia (f1, f2) específica para la velocidad síncrona (n0),
- realización de la determinación (105) de la velocidad síncrona (n0) a partir de la al menos una frecuencia (f1, f2) determinada.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se lleva a cabo al menos una fenestración del espectro de frecuencias (210) para la selección (103) de la al menos un rango de frecuencias (220), en donde se establecen respectivamente una anchura de ventana (fb) y una posición de ventana para la fenestración de tal manera que, mediante el reconocimiento posterior (104) del al menos un valor pico (230) en el rango de frecuencias respectivo (220), solo se determinan aquellas frecuencias (f1, f2) del rango de frecuencias (220) que son específicas para la velocidad síncrona (n0).

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque el dispositivo de regulación (3) está diseñado como un convertidor de frecuencia (3), en donde el al menos un rango de frecuencias (220) se selecciona alrededor de la frecuencia de ciclo (fT) y/o alrededor de al menos un múltiplo de la frecuencia de ciclo (fT) y, en particular, la frecuencia de ciclo (fT) y/o el múltiplo de la frecuencia de ciclo (fT) presenta una frecuencia central.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque la realización de la selección (103) comprende los siguientes pasos:

- determinación de una anchura de ventana (fb) a partir de una velocidad síncrona esperada predefinida (n0),
- determinación de al menos una posición de ventana a partir de la frecuencia de ciclo (fT), en particular en la frecuencia de ciclo (fT) y/o de los múltiplos de la frecuencia de ciclo (fT),
- realización de una fenestración del espectro de frecuencias (210) para seleccionar (103) el rango de frecuencias (220) como un rango alrededor de la frecuencia de ciclo (fT) y/o de los múltiplos de la frecuencia de ciclo (fT) con la anchura de ventana (fb) y posición de ventana establecidos,
en donde los pasos para llevar a cabo la selección repetidos se realizan para diferentes posiciones de ventana.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 o 4, caracterizado porque la frecuencia de ciclo (fT) está comprendida en el rango de 1 kHz a 20 kHz, preferiblemente de 2 kHz a 16 kHz, preferiblemente de 4 kHz a 12 kHz.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la magnitud de medición mecánica difiere de una magnitud de medición eléctrica de la máquina eléctrica (2) y/o del dispositivo de regulación (3) y se registra preferiblemente de modo independiente de un parámetro de regulación del dispositivo de regulación (3).

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la magnitud de medición mecánica comprende al menos una de las siguientes magnitudes de medición:

- una presión,
- una presión diferencial,
- una fuerza,
- una vibración,
- un sonido estructural,
- un sonido aéreo.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se establece una anchura de ventana (fb) del rango de frecuencias (220) de tal manera que, en el reconocimiento posterior (104), se detectan con precisión o al menos dos valores pico (230), para determinar en los valores pico (230) respectivamente una de las frecuencias (f1, f2) específicas para la velocidad síncrona (n0), en donde la velocidad síncrona (n0) se determina a partir de una diferencia de frecuencia entre las frecuencias determinadas (f1, f2).
9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la anchura de ventana (fb) del rango de frecuencias (220) es al menos 1,5 veces o al menos dos veces la frecuencia síncrona esperada.
10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la velocidad síncrona determinada (n0) se utiliza para determinar un punto de funcionamiento de la máquina de trabajo (1).
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque se llevan a cabo los siguientes pasos para determinar el punto de funcionamiento basándose en la velocidad síncrona (n0) y en una velocidad actual de la máquina de trabajo (1) que difiere de la misma:
- determinación de una frecuencia de sonido rotatorio linealmente proporcional al sonido rotatorio de la máquina eléctrica (2) y/o de la máquina de trabajo (1) a partir del espectro de frecuencias (210),
 - determinación de la velocidad de rotación actual de la máquina de trabajo (1) a partir de la frecuencia de sonido rotatorio determinada,
 - determinación de una curva característica de velocidad-par de la máquina eléctrica (2) al menos a partir de parámetros predeterminados del motor, como la potencia nominal y la velocidad nominal, y la velocidad síncrona (n0),
 - determinación de una potencia absorbida por la máquina de trabajo (1) a partir de la velocidad de rotación actual determinada y de la curva característica de velocidad de rotación-par, en donde el punto de funcionamiento se caracteriza por la potencia absorbida.
12. Dispositivo de procesamiento (10) para el procesamiento de datos, que comprende medios para ejecutar los pasos de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.
13. Sistema que presenta:
- una máquina de trabajo (1),
 - una máquina eléctrica (2) de la máquina de trabajo (1) para accionar la máquina de trabajo (1),
 - un dispositivo de regulación (3) de la máquina de trabajo (1) para regular la velocidad de la máquina eléctrica (2),
 - un dispositivo de procesamiento (10) de acuerdo con la reivindicación 12.
14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado porque la máquina de trabajo (1) está diseñada como un sistema de bombeo, en particular un sistema de bombeo centrífugo, y el dispositivo de procesamiento (10) está diseñado separado de la máquina de trabajo (1), en particular en forma de un dispositivo móvil.
15. Programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecuta el programa informático mediante un dispositivo de procesamiento (10) de acuerdo con la reivindicación 12, hacen que este ejecute un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.

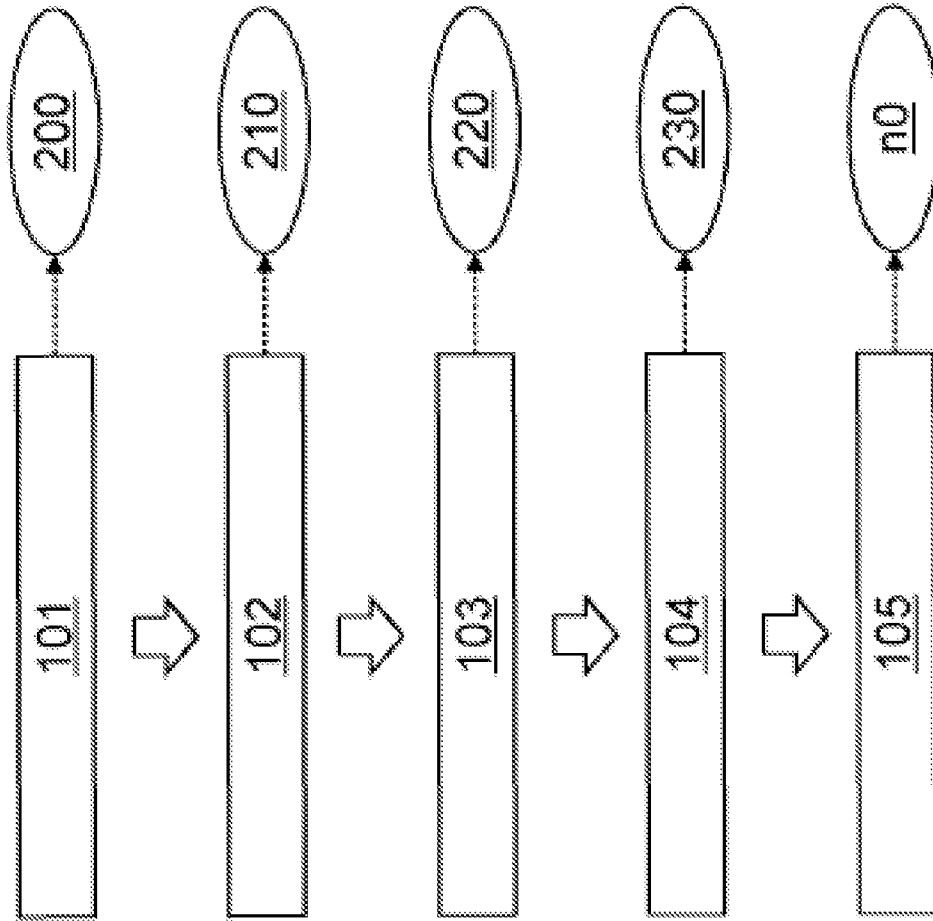


Fig. 1

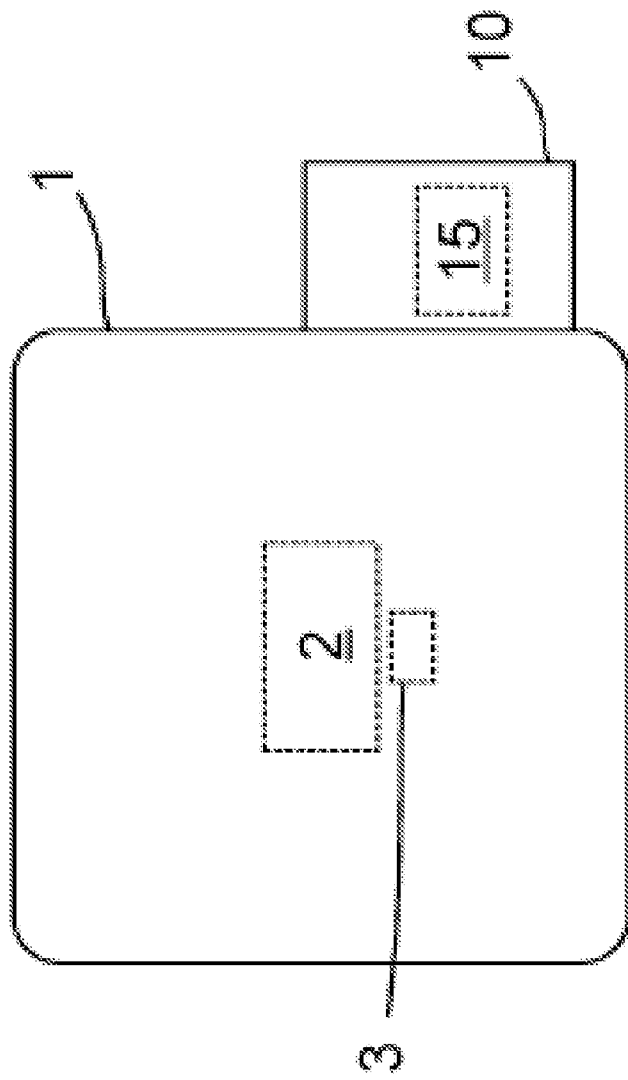


Fig. 2

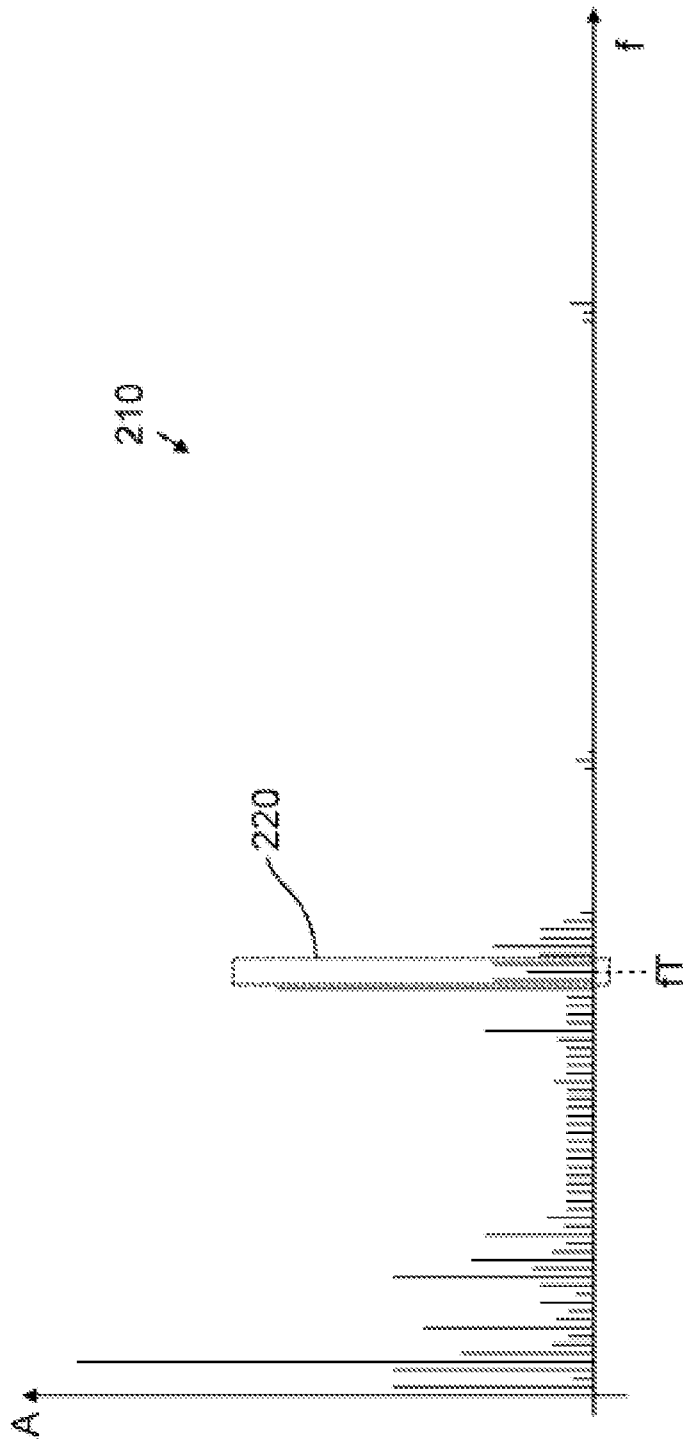


Fig. 3

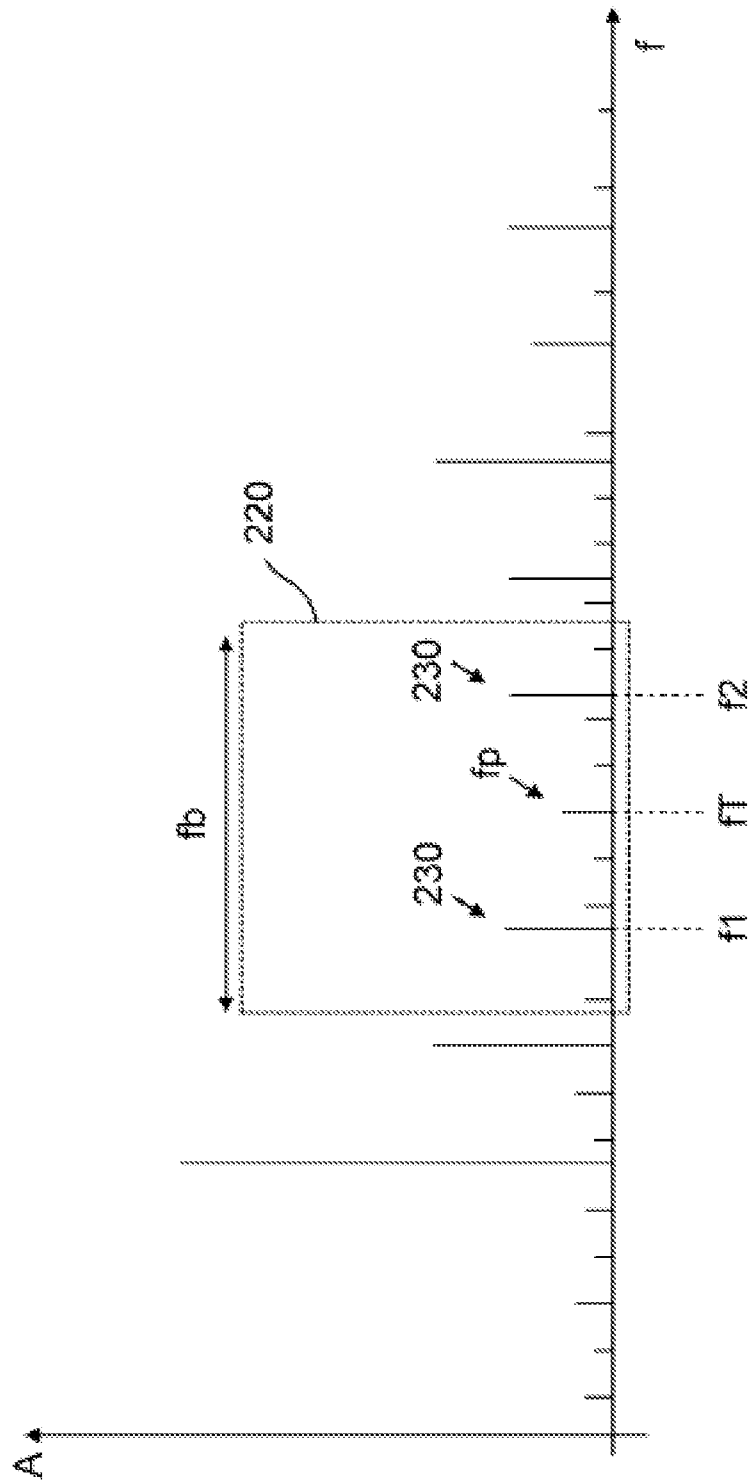


Fig. 4

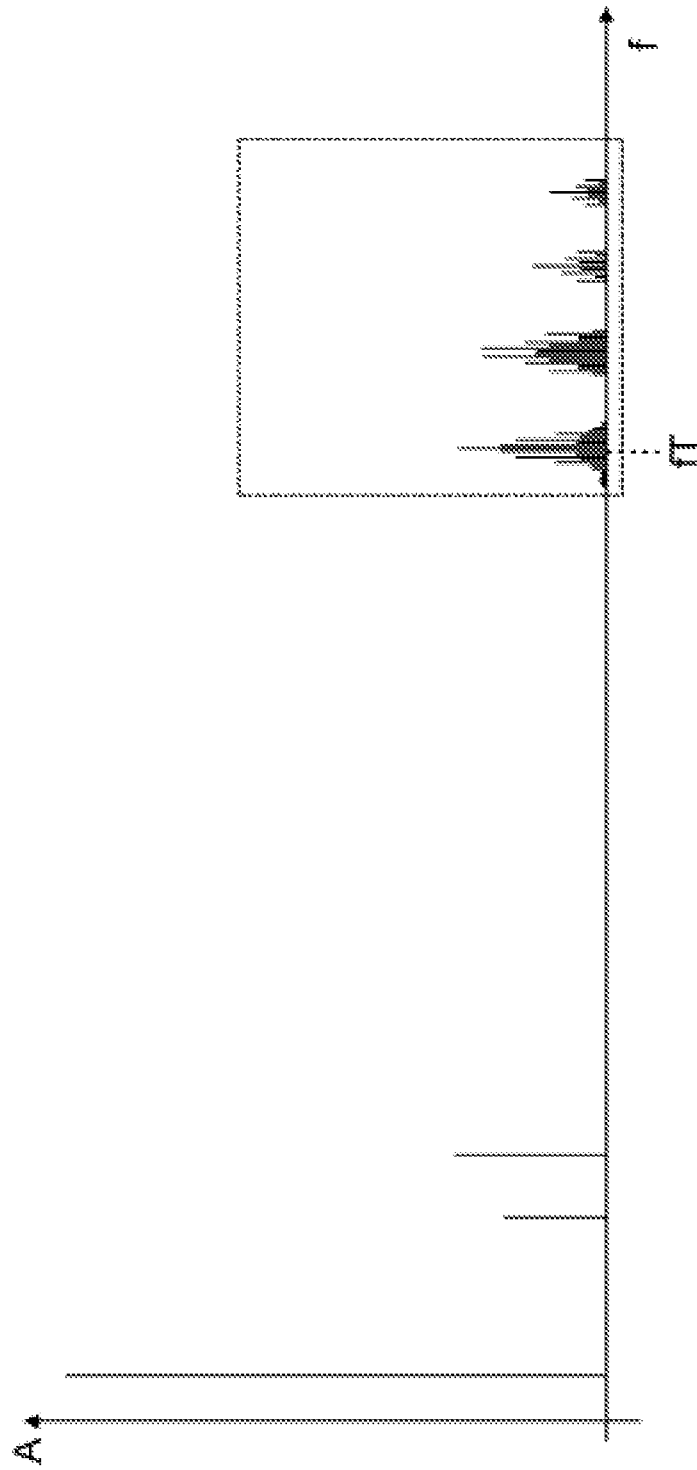


Fig. 5

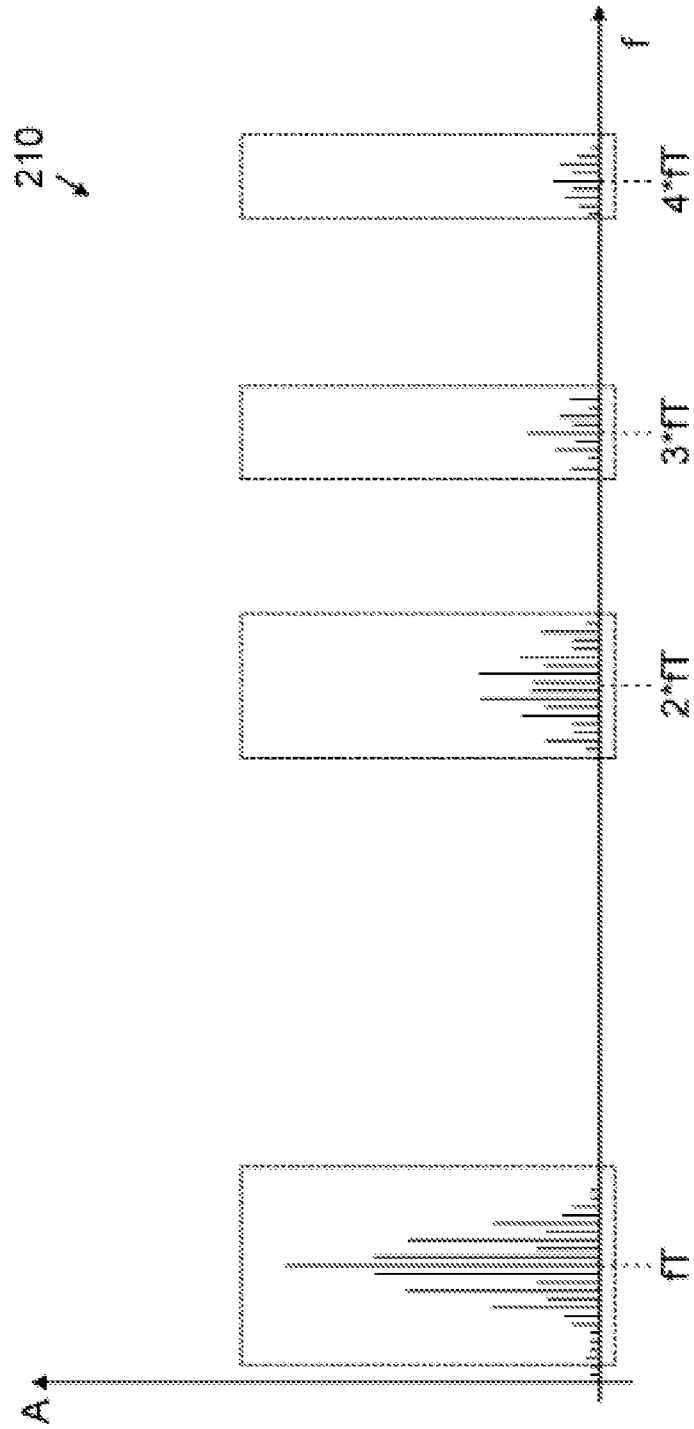


Fig. 6

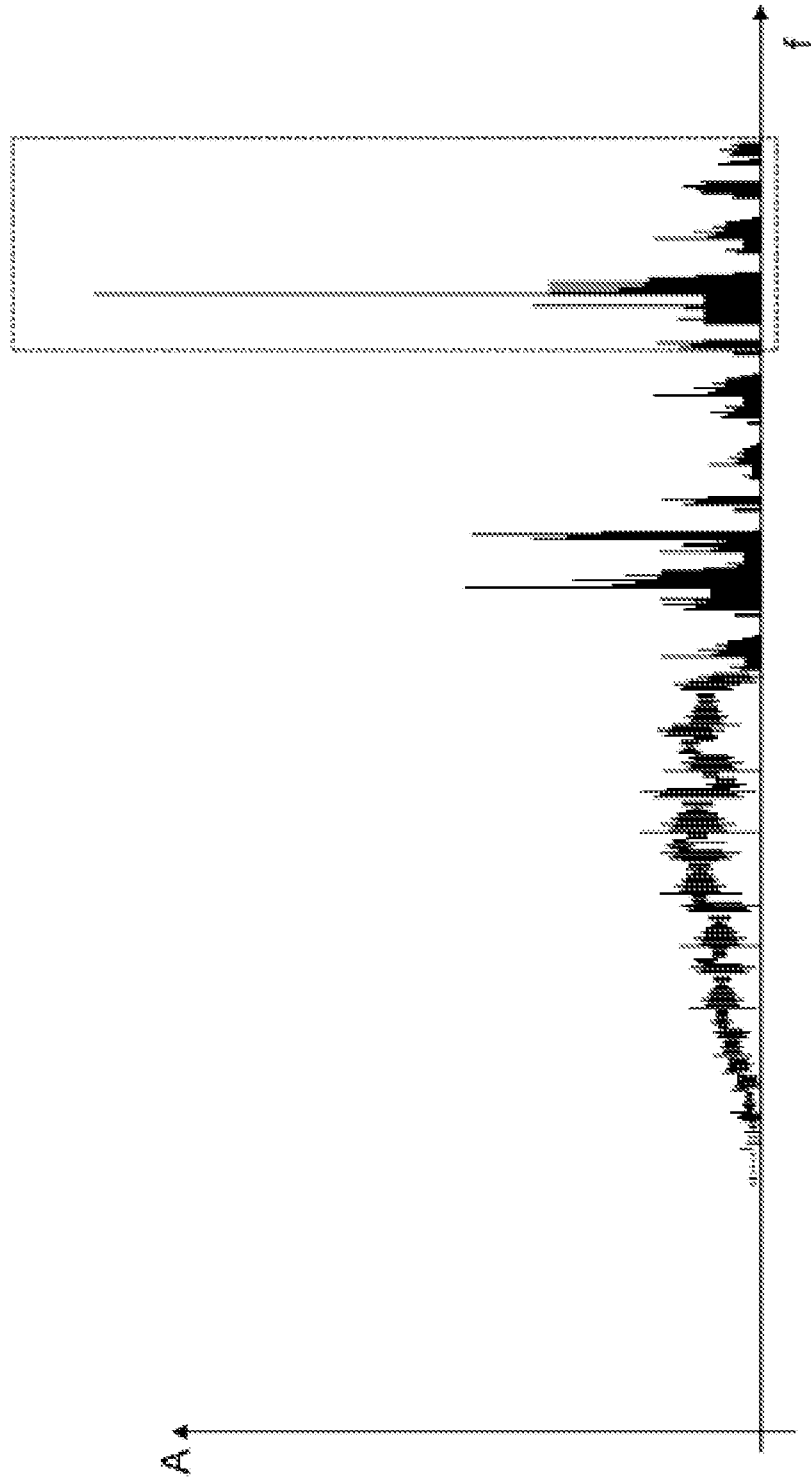


Fig. 7

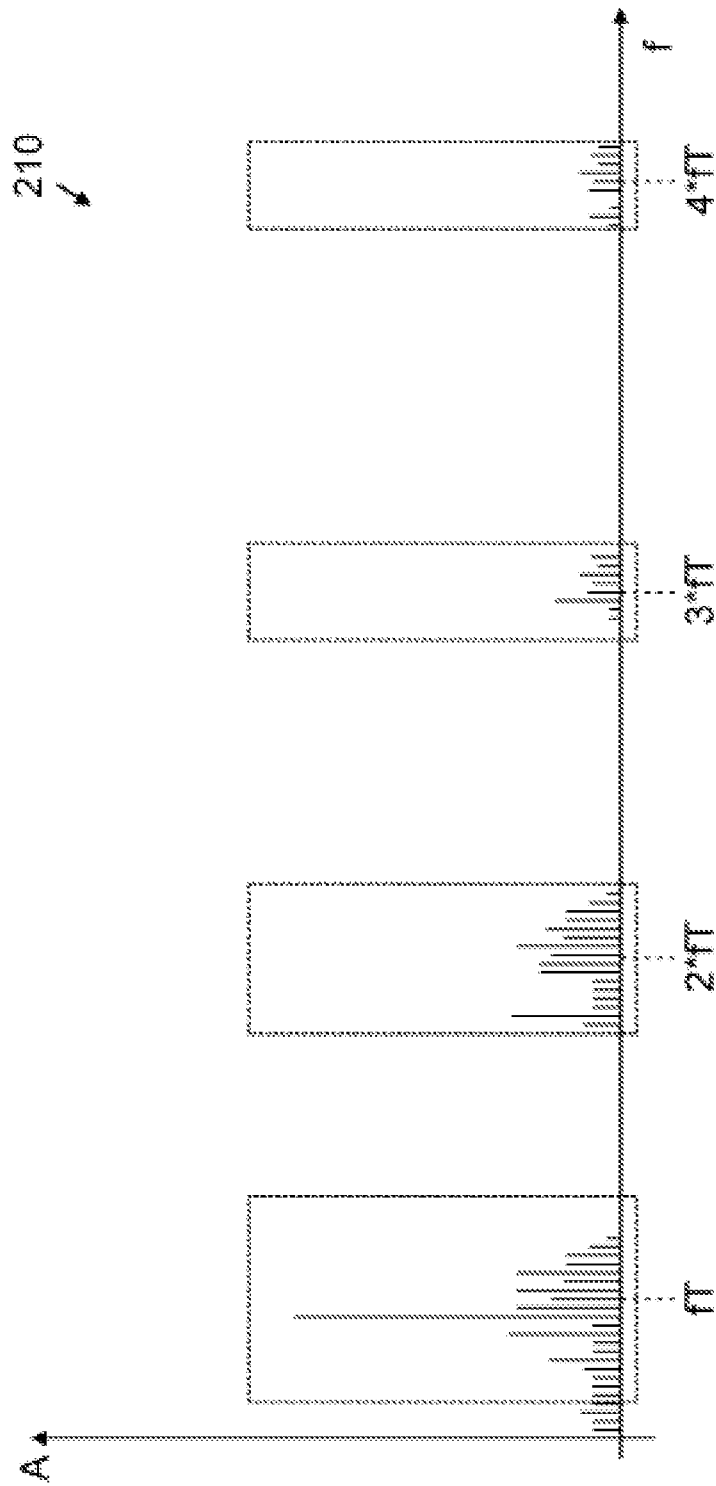


Fig. 8