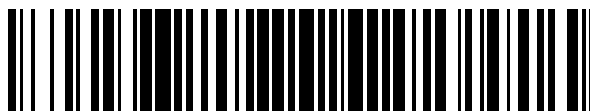


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 915**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| F04B 17/04 | (2006.01) |
| F04B 43/04 | (2006.01) |
| F04B 49/06 | (2006.01) |
| F04B 51/00 | (2006.01) |
| G05B 13/04 | (2006.01) |
| F15B 19/00 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.08.2014 PCT/EP2014/067817**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2015 WO15028386**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.08.2014 E 14758315 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 3039289**

54 Título: **Método para determinar parámetros hidráulicos en una bomba de desplazamiento positivo**

30 Prioridad:
29.08.2013 DE 102013109411

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.01.2018

73 Titular/es:
**PROMINENT GMBH (100.0%)
Im Schuhmachergewann 5/11
69123 Heidelberg, DE**

72 Inventor/es:
**LIU, STEVEN y
KENNEL, FABIAN**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 648 915 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

Método para determinar parámetros hidráulicos en una bomba de desplazamiento positivo

5 La presente invención se refiere a un método de determinación de parámetros hidráulicos en una bomba de desplazamiento positivo. La bomba de desplazamiento positivo presenta un elemento desplazador móvil, que limita la cámara de dosificación, que está unida mediante válvulas con una tubería de aspiración y una tubería bajo presión de manera que, por medio de un movimiento oscilante del elemento desplazador, puede aspirarse
10 alternativamente fluido a transportar por la tubería de aspiración a la cámara de dosificación y se puede ejercer presión por la tubería bajo presión a partir de la cámara de dosificación. Las bombas de desplazamiento positivo presentan adicionalmente un accionamiento para el movimiento oscilante del elemento desplazador.

Existen, por ejemplo, bombas de membrana accionadas electromagnéticamente, que pueden moverse de un lado a otro entre dos posiciones extremas, donde en la primera posición extrema el volumen de la cámara de dosificación es mínimo, mientras que en la segunda posición extrema el volumen de la cámara de dosificación es máximo. Si se mueve por consiguiente la membrana de su primera posición a la segunda, descenderá la presión en la cámara de dosificación de modo que se aspirará líquido a transportar por la tubería de aspiración a la cámara de dosificación. En el movimiento de retorno, es decir, con el movimiento de la segunda a la primera posiciones, se cierra la unión a la tubería de aspiración, la presión del líquido a transportar aumentará debido al volumen decreciente de la cámara de dosificación, de modo que se abre la válvula a la tubería bajo presión y el fluido a transportar se transportará a la tubería bajo presión. Por el movimiento oscilante de la membrana se aspira alternativamente líquido a transportar de la tubería de aspiración a la cámara de dosificación, y el fluido a transportar se transportará desde la cámara de dosificación a la tubería bajo presión. La corriente del fluido a transportar a la tubería bajo presión se designa también como perfil de dosificación. Este perfil de dosificación se determina básicamente por el perfil de movimiento del elemento desplazador.

En bombas de membrana accionadas electromagnéticamente, la membrana está unida a una pieza de presión, que está apoyada dentro de un electroimán la mayoría de las veces pretensada elásticamente por lo menos parcialmente. En tanto que el electroimán no sea atravesado por una corriente de modo que no se establezca un flujo magnético en su interior, la pretensión elástica vela por que la pieza de presión y, con ello la membrana, permanezca en una posición prefijada, por ejemplo, la segunda posición, es decir, en la que la cámara de dosificación tiene el mayor volumen. Si se aplica ahora una corriente al electroimán, entonces se forma un flujo magnético, que lleva la pieza de presión configurada correspondientemente dentro del electroimán desde su segunda posición a la primera posición, por lo que el fluido a transportar existente en la cámara de dosificación es transportado desde la cámara de dosificación a la tubería bajo presión.

Con la activación del electroimán se da lugar por consiguiente de modo básicamente abrupto a una carrera de la pieza de dosificación y, con ello, de la membrana de dosificación de la segunda a la primera posiciones.

40 Típicamente se utilizan tales bombas de membrana accionadas electromagnéticamente cuando el volumen de fluido a dosificar es claramente mayor que el volumen de la cámara de dosificación de modo que la velocidad de dosificación se determina básicamente por la frecuencia o bien la cadencia del flujo de la corriente a través del electroimán. Si se hubiese de, por ejemplo, duplicar la velocidad de dosificación, entonces se atravesaría brevemente el electroimán en el mismo tiempo con doble frecuencia con una corriente, lo que a su vez tendría como consecuencia que se acortaría el ciclo de movimiento de la membrana y tendría lugar con doble frecuencia.

Tal bomba de dosificación magnética se describe, por ejemplo, en el documento EP 1 757 809.

50 La utilización de estas bombas de dosificación magnéticas tropieza por cierto con sus límites cuando sólo se requieren pequeñas velocidades de dosificación de manera que no es deseable la dosificación abrupta de una carrera completa.

En el documento EP 1 757 809 mencionado ya se ha previsto por ello prever un sensor de posición, con el cual se pueda determinar la posición de la pieza de presión o bien de la membrana unida al mismo. Por una comparación de la posición real de la pieza de presión con una posición teórica prefijada de la pieza de presión, puede tener lugar entonces una regulación del movimiento de modo que las bombas de dosificación magnéticas se pueden emplear también para el transporte de cantidades de fluido claramente menores, pues el movimiento de la carrera ya no tiene lugar abrupta sino reguladamente.

60 En la práctica es difícil encontrar parámetros de regulación apropiados. Realmente se determinan empíricamente diferentes parámetros de regulación para diversos estados de posición de la pieza de presión y se archivan en una memoria de manera que la bomba pueda recurrir a los correspondientes parámetros de regulación y utilizarlos en función de la posición de la pieza de presión.

65 Sin embargo, la determinación de los parámetros de regulación es muy costosa. Además depende mucho de las condiciones en la cámara de dosificación como, por ejemplo, la densidad y la viscosidad del fluido a transportar. Por

5 ello, la regulación sólo funciona satisfactoriamente cuando el sistema corresponde aproximadamente al estado deseado. En especial en caso de oscilaciones de presión en la tubería de aspiración y/o en la de bajo presión, al aparecer cavitación al acumularse aire en la cámara de dosificación o, si no, con variaciones de viscosidad en el fluido a transportar son inapropiados los parámetros de regulación archivados en la memoria y decrece la precisión de la regulación, de manera que el perfil de dosificación real se diferencia claramente del perfil de dosificación deseado. No obstante, esto resulta indeseado, en especial, en la dosificación continua de cantidades mínimas como, por ejemplo, la cloración de agua potable.

10 La exactitud de la regulación puede mejorarse, por ejemplo, midiéndose la densidad y/o la viscosidad del fluido a transportar y utilizándose el resultado de la medición para la selección de los parámetros de regulación.

15 Para semejante medición es necesario, no obstante, por lo menos un sensor adicional, que aumentaría el precio de venta de la bomba de desplazamiento positivo y además es propenso al mantenimiento y las reparaciones. Por ello, no se consideran hasta el momento las variaciones de densidad y viscosidad en la regulación.

20 El documento EP 2 557 287 A2 describe un método para dosificar un medio reductor de un dispositivo dosificador en un dispositivo de tratamiento de gas de escape. En el artículo "Modelling of Novel Type Diaphragm Pump", Kasa y otros, IEEE, International Conference on Networking, Sensing and Control, 2009, Okayama, Japón, se propone un modelo de un nuevo tipo de una bomba de membrana.

25 Partiendo del descrito estado actual de la técnica, es por consiguiente problema de la presente invención facilitar un método, que permita la determinación de parámetros hidráulicos como, por ejemplo, la densidad o la viscosidad del fluido a transportar sin que se requieran sensores adicionales.

30 Según la invención, se resuelve esto mediante un método según la reivindicación 1.

35 Se entiende por parámetros hidráulicos cada parámetro del sistema hidráulico – prescindiendo de la posición del elemento desplazador -, que ejerza una influencia en el flujo del fluido a transportar a través de la cámara de dosificación.

40 Parámetros hidráulicos son por ello, por ejemplo, la densidad del fluido a transportar en la cámara de dosificación así como la viscosidad del fluido en la cámara de dosificación. Otros parámetros hidráulicos más son, por ejemplo, longitudes y diámetros de manguera o bien tubería de mangueras y tuberías, que están unidos con la cámara de dosificación por lo menos temporalmente.

45 La necesaria determinación de la posición del elemento desplazador puede llevarse a cabo mediante el sensor de posición por lo demás habitualmente existente. A partir de la posición del elemento desplazador puede determinarse la velocidad y la aceleración del elemento desplazador.

50 Si se utiliza el método según la invención en una bomba de dosificación accionada electromagnéticamente y precisamente lo mejor de todo en una bomba de membrana accionada electromagnéticamente, entonces puede medirse, en una forma de realización preferida, la corriente por el accionamiento electromagnético y determinarse la fuerza ejercida por el elemento desplazador sobre el fluido situado en la cámara de dosificación a partir de la corriente medida y de la posición medida del elemento desplazador. En este caso, no es necesario ningún sensor de presión separado. Aunque obviamente se puede utilizar el presente método también con un sensor de presión separado.

55 Es una propiedad inherente a la bomba de desplazamiento positivo que el sistema hidráulico varíe siempre claramente cuando una de las válvulas, mediante la cual está unida la cámara de dosificación con la tubería de aspiración y la bajo presión, se abre o se cierra.

60 Lo más sencillo de modelar es el sistema para el caso en que la válvula para la tubería de aspiración esté abierta y la válvula para la tubería bajo presión esté cerrada. Habitualmente se monta una manguera flexible en la válvula para la tubería de aspiración, que termina en un depósito de reserva a presión ambiental.

65 Ese estado se produce durante la llamada la carrera de aspiración, es decir, mientras el elemento desplazador se mueve de la segunda posición a la primera posición. Dicho sistema hidráulico podría describirse, por ejemplo, mediante la ecuación no lineal de Navier-Stokes considerando corrientes laminares y turbulentas. Junto a la densidad y la viscosidad del fluido a transportar, se consideran también como parámetros hidráulicos el diámetro de la manguera, que une la válvula de aspiración con el depósito de reserva, la longitud de la manguera así como la diferencia de carrera, que el fluido debe superar en la manguera.

Según el sistema utilizado pueden encontrarse otras hipótesis significativas más. Con ayuda de un cálculo de optimización, que puede realizarse, por ejemplo, por el conocido método del gradiente o del algoritmo de Levenberg-Marquardt, es posible determinar los parámetros hidráulicos contenidos en el modelo físico, que describen lo mejor

posible el curso de la presión en el cabezal dosificador y el movimiento o bien la velocidad y la aceleración de la pieza de presión determinadas a partir del cabezal.

5 Por un cálculo de optimización, se entiende todo cálculo con el que se hallan los parámetros óptimos del sistema. Parámetros óptimos son los parámetros que describen mejor el sistema, o sea, en los que la diferencia entre modelo y la situación medida sea mínima.

10 Fundamentalmente, podría llevarse a cabo el método de determinación según la invención sólo por un análisis repetido del comportamiento de la carrera de aspiración

15 Aunque alternativamente a ello, también puede considerarse el modelo físico del sistema hidráulico para el caso en que la válvula para la tubería de aspiración esté cerrada y la válvula para la tubería bajo presión esté cerrada. Pero puesto que el fabricante de bombas no conoce por lo general en qué ambiente se instalará la bomba de dosificación y, por ello, tampoco se conoce el sistema de tuberías conectado a la válvula de presión, que une la tubería bajo presión con la cámara de dosificación, sólo se puede adoptar en este caso una hipótesis generalizada. El modelo físico erigido no puede por ello instalarse con exactitud sin conocimiento previo del sistema de tuberías conectado a la válvula de presión, como es el caso en la forma más sencilla descrita para el sistema hidráulico durante la carrera de aspiración.

20 En una forma de realización especialmente preferida, se utilizan modelos físicos para ambos sistemas hidráulicos descritos y entonces se miden o determinan los puntos de apertura de la válvula y se seleccionan en función del resultado de la determinación del punto de apertura de la válvula el modelo físico atinado en cada caso. En el fondo se lleva a cabo entonces el método según la invención separadamente para la carrera de aspiración y la carrera de presión. En ambos casos, se obtiene valores que en la práctica no coinciden exactamente para los parámetros hidráulicos como, por ejemplo, la densidad y la viscosidad del fluido a transportar. Fundamentalmente, sería por ello posible sacar la media de los distintos valores, donde en este caso debe considerarse eventualmente que, debido a la mejor descripción de la situación real por el modelo físico durante la carrera de aspiración, el valor obtenido durante la carrera de aspiración con el promedio se pondera más fuertemente que el valor medio durante la carrera bajo presión.

30 Obviamente, hay también casos de aplicación en los que el sistema hidráulico es más complejo también durante la carrera de aspiración.

35 Después de que en el género según la invención, se hayan determinado los parámetros hidráulicos, puede utilizarse el modelo físico establecido con los parámetros hidráulicos de tal modo determinados, para determinar a su vez la presión en la cámara de dosificación.

40 Este conocimiento puede utilizarse a su vez para mejorar la regulación del movimiento de la pieza de presión. En una forma de realización preferida, se prevé que se emplee para el accionamiento del elemento desplazador una regulación basada en un modelo, en especial, una regulación no lineal basada en un modelo.

45 En una regulación basada en un modelo, se desarrolla un modelo lo más completo posible de la dinámica de procesos. Con ayuda de dicho modelo, es posible entonces dicho hallar con sencillez una predicción de hacia dónde se mueven las magnitudes del sistema en el siguiente instante.

A partir de ese modelo también puede calcularse también una magnitud de ajuste apropiada. Característica de una regulación semejante basada en un modelo es, por consiguiente, un cálculo permanente de la necesaria magnitud de ajuste basada en magnitudes medidas utilizando las magnitudes del sistema proporcionadas por el modelo.

50 En el fondo, se describe de modo aproximadamente matemático por la formación de un modelo el sistema físico básico. Esa descripción matemática se emplea entonces para calcular la magnitud de ajuste basada en las magnitudes medidas obtenidas. A diferencia del conocido método de optimización del perfil de dosificación, no se considera así pues más el accionamiento como "Black Box". En vez de ello, se utilizan las conocidas relaciones físicas para determinar la magnitud de ajuste.

55 Gracias a ello, se pueden conseguir calidades de regulación claramente mejores.

60 En una forma de realización preferida, se mide la posición del elemento desplazador y de la corriente por accionamiento electromagnético y se utiliza un modelo de espacio de estado para la regulación basada en modelo, el cual utiliza como magnitudes a medir la posición del elemento desplazador y la corriente por la bobina magnética del accionamiento electromagnético.

65 En una forma de realización especialmente preferida, el modelo de espacio de estado no presenta ninguna magnitud a medir a captar, es decir, el modelo se desarrolla de tal manera que sólo en base a la posición de la pieza de presión captada y de la corriente captada por la bobina magnética se hace una predicción para el movimiento subsiguiente de la pieza de presión.

Con ello, se utilizan en una forma de realización preferida los parámetros hidráulicos determinados.

5 Por modelo de espacio de estado se entiende habitualmente la descripción física de un estado del sistema instantáneo. Por ejemplo, pueden describirse las magnitudes de estado del contenido energético de los elementos de acumulación de energía contenidos en el sistema.

10 Por ejemplo, se puede emplear una ecuación diferencial del elemento desplazador como modelo para la regulación basada en un modelo. A modo de ejemplo, la ecuación diferencial puede ser una ecuación de movimiento. Por una ecuación de movimiento se entiende una ecuación matemática, que describe el movimiento espacial y temporal del elemento desplazador bajo la acción de influencias externas. Además, en una forma de realización preferida, se modelan en la ecuación de movimiento las fuerzas específicas de la bomba de desplazamiento positivo, que actúan sobre la pieza de presión.

15 Así, pues, se puede modelar, por ejemplo, la fuerza ejercida por un resorte sobre la pieza de presión o bien su constante k elástica, y/o la fuerza magnética ejercida por el accionamiento magnético sobre la pieza de presión. La fuerza ejercida por el fluido a transportar sobre la pieza de presión puede tratarse luego como magnitud de perturbación. Esa fuerza de perturbación puede modelarse asimismo en una forma de realización especialmente preferida utilizando el parámetro hidráulico determinado.

20 Por medio de un modelo de espacio de estado semejante, puede hallarse, cuando se captan las magnitudes de medida, una predicción para el comportamiento del sistema subsiguiente.

25 Cuando el comportamiento subsiguiente pronosticado de ese modo se desvía del comportamiento prefijado deseado, se gana influencia corrigiendo en el sistema.

30 Para calcular qué aspecto tiene una influencia apropiada, puede simularse en el mismo modelo la influencia de las magnitudes de ajuste disponibles en la magnitud de regulación. Con ayuda de métodos de optimización conocidos puede elegirse entonces adaptativamente la mejor estrategia de regulación instantánea. Alternativamente a ello también es posible determinar una vez en base al modelo una estrategia de regulación y utilizarla entonces en función de las magnitudes de ajuste captadas.

35 En una forma de realización preferida, se elige por ello como modelo de espacio de estado un modelo de espacio de estado no lineal y la regulación no lineal tiene lugar ya sea mediante funciones Lyapunov de control, por métodos de regulación planos con precontrol plano, por métodos Integrator-Backstepping, por métodos de Mode-Sliding o por regulación predictiva. Además, se prefiere la regulación no lineal por funciones Lyapunov de control.

Todas las cinco variantes se conocen en matemáticas y no se explicarán por ello aquí más entrante.

40 Las funciones Lyapunov de control son, por ejemplo, una descripción generalizada de las funciones Lyapunov. Funciones Lyapunov de control elegidas apropiadamente dan lugar a un comportamiento estable en el marco del modelo.

45 Dicho de otro modo, se calcula una función correctora, que da lugar en el modelo básico a una solución estable del modelo.

En general, hay una multiplicidad de posibilidades de regulación, que dan lugar a que en el modelo básico la diferencia entre perfil y perfil teórico sea menor.

50 En una forma de realización preferida, se utiliza el modelo, que se basa en la regulación basada en un modelo, para formular un problema de optimización, en el que como condición secundaria de la optimización se hace lo menor posible la tensión eléctrica en el electromotor y, por consiguiente, la energía suministrada a la bomba de dosificación, aunque al mismo tiempo se consigue una aproximación lo más rápida posible y lo menos sobreoscilante del perfil real al perfil teórico. Además, puede resultar ventajoso que las señales medidas antes del pretratamiento en el modelo básico sean filtrados en pasabajos para reducir la influencia de ruidos de fondo.

55 En otra forma de realización especialmente preferida, se ha previsto que durante un ciclo de aspiración-presión se tome la diferencia entre el perfil de posición real detectado del elemento desplazador y un perfil deposición teórico deseado del elemento desplazador y se utilice un perfil de posición teórico para el siguiente ciclo de aspiración-presión, que corresponde al perfil de posición teórico deseado minorado en la diferencia.

60 En el fondo, se materializa aquí un sistema autoadaptativo. Si bien la regulación basada en un modelo de la invención ya ha dado lugar a una mejora evidente del comportamiento de la regulación, no obstante se puede dar lugar a desviaciones entre el perfil teórico y el perfil real. En especial, no se puede evitar eso en la selección reductora de energía de la intervención de la regulación. Para reducir más dicha desviación por lo menos para los

65

siguientes ciclos, se capta la desviación durante un ciclo y la desviación se resta en el ciclo siguiente del perfil de posición teórico deseado al menos en parte.

- 5 Expresado de otro modo, se prefija intencionadamente un perfil de valor teórico "falso" deseado intencionado, donde el "falso" perfil de valor teórico se calcula a partir de la experiencia obtenida en el ciclo precedente. Si por cierto se diese lugar en el ciclo de aspiración-presión subsiguiente a exactamente igual desviación entre los perfiles real y teórico que en el ciclo precedente, entonces la utilización del "falso" perfil de valor teórico da lugar a que como resultado se consiga el perfil del valor teórico propiamente deseado.
- 10 Si bien es básicamente posible y a causa del comportamiento periódico del sistema en algunas aplicaciones también suficiente, llevar a cabo sólo una vez las descritas etapas autoadaptativas, es decir, medir la diferencia en el primer ciclo y a partir del segundo ciclo y en todos los demás ciclos corregir convenientemente el perfil del valor teórico. Es especialmente preferido, no obstante, que la diferencia entre los perfiles real y teórico se determine a distancias regulares, lo mejor de todo en cada ciclo, y se tenga en cuenta convenientemente en el ciclo subsiguiente.
- 15 Evidentemente también es posible utilizar una fracción únicamente de la diferencia captada como corrección del perfil para el siguiente o los siguientes ciclos. Eso puede resultar ventajoso, en especial, en los casos en los que la diferencia captada sea muy grande, para no generar inestabilidad alguna del sistema por la repentina modificación del valor teórico.
- 20 Es posible además determinar la magnitud de la fracción de la diferencia captada, que se utiliza como corrección del perfil, a base de la diferencia actual entre los perfiles teórico y real.
- 25 También es posible que la diferencia entre los valores real y teórico se mida durante varios ciclos, por ejemplo, 2 y calcular una diferencia media de las mismas, que entonces se resta por lo menos en parte del perfil teórico de los siguientes ciclos.
- 30 En otra forma de realización alternativa adicional, puede utilizarse una función discrecional dependiente de la diferencia captada para corregir el siguiente perfil de posición teórico.
- 35 La formación del modelo según la invención puede utilizarse en otra forma de realización preferida adicional para determinar una magnitud física en la bomba de desplazamiento positivo. Se puede determinar así, por ejemplo, la presión del fluido en la cámara de dosificación.
- 40 La ecuación del movimiento del elemento desplazador tiene en cuenta todas las fuerzas, que actúan sobre el elemento desplazador. Esto es también, junto a la fuerza aplicada por el accionamiento sobre el elemento desplazador, la fuerza antagónica aplicada sobre la membrana por la presión del fluido en la cámara de dosificación y, por consiguiente, sobre el elemento desplazador.
- 45 Por ello se pueden sacar conclusiones, cuando se conoce la fuerza aplicada por el accionamiento sobre el elemento desplazador, sobre la presión del líquido en el cabezal de dosificación a partir de la posición del elemento desplazador o bien de la velocidad o la aceleración del elemento desplazador deducibles de ello.
- 50 Por ejemplo, cuando la presión del fluido real alcanza o sobrepasa un valor máximo prefijado, se puede emitir una señal de alarma y enviarse la señal de alarma a un sistema automático de conmutación, que en respuesta a la recepción de la señal de alarma desconecta la bomba de dosificación. Si por ello no debiera abrirse por cualquier razón una válvula o aumentar fuertemente la presión en la tubería bajo presión, puede detectarse eso por el método según la invención sin emplear un sensor de presión y se puede desconectar la bomba por motivos de seguridad. En el fondo, el elemento desplazador con el accionamiento correspondiente asume adicionalmente la función del sensor de presión.
- 55 En una forma de realización preferida más del método, se refuerzan para un ciclo de movimiento del elemento desplazador una curva de presión de fluido teórica, una curva de posición teórica del elemento desplazador y/o el curso teórico de la corriente por medio del accionamiento electromagnético. Además, puede compararse por el accionamiento eléctrico la presión de fluido real con la presión de fluido teórica, la posición real del elemento desplazador con la posición teórica del elemento desplazador y/o de la corriente real por el accionamiento electromagnético con una corriente teórica, y cuando las diferencias entre los valores real y teórico satisfacen un criterio predeterminado, emitir una señal de alarma.
- 60 Se le plantea a esta etapa del método la idea de que determinados sucesos como, por ejemplo, burbujas de gas en el sistema hidráulico o cavitación en el cabezal de la bomba provoquen una modificación identificable de la presión de fluido a esperar y, por ello, puedan sacarse conclusiones a partir de la determinación de la presión del fluido sobre sucesos mencionados.

La señal de alarma puede activar, por ejemplo, un aviso óptico o un aviso acústico. No obstante, alternativamente o en combinación con ello la señal de alarma también puede ponerse a disposición directamente de una unidad de control, que toma medidas convenientes en respuesta a la recepción de la señal de alarma.

5 En el caso más sencillo, se determina, para una o varias de las magnitudes medidas o bien determinadas, la diferencia entre los valores real y teórico y, cuando una de las diferencias sobrepasa un valor predeterminado, se emite una señal de alarma.

10 Aunque no sólo para detectar los posibles sucesos defectuosos como, por ejemplo, burbujas de gas en la cámara de dosificación o la aparición de cavitación sino también distinguir entre ellos, es posible definir un criterio propio para cada suceso defectuoso.

15 En una forma de realización preferida puede determinarse una suma ponderada de las desviaciones relativas del valor teórico y elegirse el criterio de tal modo que se emita una señal de alarma cuando la suma ponderada sobrepase un valor predeterminado.

20 Se puede asignar a los diferentes sucesos defectuosos diferentes coeficientes de ponderación. En el caso ideal, se cumple exactamente un criterio al aparecer un suceso defectuoso, de modo que pueda diagnosticarse el suceso defectuoso.

Con el método descrito, es posible por ello determinar la presión en el cabezal dosificador sin recurrir a un sensor de presión y, a partir de la presión determinada de ese modo, pueden sacarse conclusiones en determinados estados del cabezal dosificador, que entonces pueden resolver a su vez la introducción de determinadas medidas.

25 Con el método según la invención se pueden determinar con mucha precisión las variaciones de presión.

En otra forma de realización más, se determina con ello el gradiente temporal de una magnitud medida o determinada y, en caso de que sobrepase un valor límite predeterminado, se diagnostica la apertura de una válvula o el cierre de una válvula.

30 En una forma de realización alternativa, se determinan como magnitud física la masa m del elemento desplazador, la constante k elástica del resorte que pretensa el elemento desplazador, la amortiguación d y/o la resistencia R_{Cu} eléctrica del accionamiento electromagnético.

35 En una forma de realización especialmente preferida, se determinan incluso todas las magnitudes mencionadas. Esto puede realizarse, por ejemplo, por medio de un cálculo de minimización. Todas las magnitudes mencionadas a excepción de la presión en la cámara de dosificación representan constantes, que son determinables experimentalmente y por lo general no varían en el funcionamiento de la bomba. No obstante, se puede dar lugar a apariciones de fatiga de los diferentes elementos, que modifican el valor de las constantes. Por ejemplo, el curso de la presión-recorrido medido puede compararse con un curso de presión-recorrido esperado. La diferencia integrada de ambos cursos a lo largo de un ciclo puede minimizarse por variación de las magnitudes constantes. Si además se comprueba, por ejemplo, que la constante de elasticidad ha variado, se puede diagnosticar un resorte defectuoso.

40 Una minimización semejante también podría llevarse a cabo en el estado sin presión, o sea, cuando no hay fluido alguno en la cámara de dosificación.

45 Ventajas, características y posibilidades de aplicación adicionales de la presente invención son claras a base de la siguiente descripción de una forma de realización preferida y de las figuras correspondientes. Lo muestran las figuras:

50 La Figura 1, una representación esquemática de la tubería de aspiración conectada a la bomba de desplazamiento positivo, las Figuras 2a a 2e, ejemplo de parámetros hidráulicos y de su desarrollo en función del tiempo, la Figura 3, una representación esquemática de un perfil de movimiento ideal, la Figura 4, una representación esquemática de la función autodeterminativa, la Figura 5, una representación esquemática de un diagrama de presión-recorrido y de un diagrama de tiempo de la trayectoria el estado normal, y la Figura 6, una representación esquemática de un diagrama de presión-recorrido y de un diagrama recorrido-tiempo para un estado con burbujas de gas en la cámara de dosificación.

60 Por medio del diseño de un modelo físico, en especial, de una descripción de un sistema no lineal del proceso hidráulico en la cámara de dosificación o bien en la tubería unida a la cámara de dosificación de un sistema de bomba de dosificación electromagnética, es posible utilizar en tiempo real métodos de identificación basados en modelos. Para ello, se utilizan los parámetros hidráulicos, es decir, se evalúan las magnitudes de estado de los modelos hidráulicos y se determinan la dinámica del sistema así como los parámetros del proceso hidráulico.

65

Como magnitudes de medición o bien magnitudes externas a determinar, sirven la posición del elemento desplazador o bien la velocidad y la aceleración del elemento desplazador determinadas de la misma, y la presión en la cámara de dosificación, la cual puede determinarse por la fuerza ejercida por la membrana sobre el fluido a transportar.

5 Puesto que por lo general en las mencionadas bombas de desplazamiento positivo, la tubería de aspiración se compone de una manguera, que une la válvula de aspiración con un depósito de reserva, se puede describir simplificada para la carrera de aspiración, es decir, mientras la válvula bajo presión está cerrada y la válvula de aspiración está abierta, el sistema hidráulico como se ha representado en la figura 1. La tubería de aspiración se compone de una manguera de diámetro D_s y de longitud L de manguera. La manguera puenta una diferencia Z de altura.

Las ecuaciones no lineales de Navier-Stokes se pueden simplificar, si se acepta que la tubería de aspiración tiene un diámetro constante y no es dilatante y que se utiliza un fluido incompresible.

15 Con la ayuda de métodos de optimización conocidos como, por ejemplo, el método del gradiente o el algoritmo de Levenberg-Marquardt, se determinan entonces los parámetros hidráulicos, que a partir del modelo establecido pueden determinar del mejor modo la posición medida de la pieza de presión así como la presión medida o determinada en la cámara de dosificación.

20 En las figuras 2a a 2e, se han representado aquí en el ejemplo de glicerina como fluido a transportar respectivamente un parámetro hidráulico (línea de puntos) así como los valores (línea continua) resultantes del método según la invención a lo largo del tiempo.

25 Así, pues, la figura 2a muestra, por ejemplo, la densidad del fluido a transportar. La cual supone aproximadamente 1260 kg/m^3 (línea de puntos). Se reconoce que el método según la invención está en disposición de determinar la densidad en el margen de unos 100 segundos. Si bien el valor determinado queda en el instante $t = 0$ todavía claramente bajo el valor real. Por la optimización constante se acerca al valor de la densidad determinado por el método según la invención, aunque se acerca muy rápidamente al valor verdadero (línea continua).

30 Lo mismo vale para la longitud L de la manguera (véase la figura 2b), la diferencia Z de altura (véase la figura 2c), el diámetro de la manguera (véase la figura 2d) y la viscosidad (véase la figura 2e).

35 Los parámetros determinados por el método según la invención pueden utilizarse entonces a su vez junto con el modelo físico establecido para determinar la fuerza ejercida sobre la pieza de presión por el sistema hidráulico.

40 Esa información puede utilizarse para la regulación, en especial, cuando para la regulación del movimiento de la pieza de presión se utilizan estrategias de regulación no lineales basadas en modelos, el modelo desarrollado aquí puede representar la influencia del sistema hidráulico y tenerla en cuenta en forma de una intercalación de magnitudes perturbadoras.

45 El método de la invención se ha desarrollado en relación con una bomba de dosificación magnética. En una forma de realización preferida, una bomba de dosificación magnética semejante presenta una pieza de presión móvil con una barra de empuje unida firmemente a ella. La pieza de presión está apoyada de forma móvil axialmente en el eje longitudinal en una camisa magnética anclada firmemente en la carcasa de la bomba de modo que la pieza de presión con la barra de empuje sea arrastrada hacia adentro con la activación eléctrica de la bobina magnética en la camisa magnética en contra de la acción de un muelle a presión en una perforación de la camisa magnética, y la pieza de presión retorna, tras la desactivación del imán, por el muelle a presión a la posición de partida. Eso tiene como consecuencia que la pieza de presión y una membrana accionada por ella lleve a cabo, con la activación continua y la desactivación de la bobina magnética, un movimiento oscilatorio, que dé lugar en el cabezal de dosificación dispuesto en el eje longitudinal en acción conjunta con una válvula de escape y una válvula de admisión a un empuje de bomba (empuje a presión) y a un empuje de aspiración (empuje de aspiración). La activación de la bobina magnética tiene lugar por aplicación de una tensión en la bobina magnética. El movimiento de la pieza de presión puede fijarse por consiguiente por el curso temporal de la tensión de la bobina magnética.

55 Se entiende que carrera de presión y carrera de aspiración no han de durar necesariamente lo mismo. Puesto que durante la carrera de aspiración no se realiza dosificación alguna, sino únicamente se vuelve a rellenar la cámara de dosificación con el fluido a transportar, es por el contrario ventajoso llevar a cabo la carrera de aspiración en cada caso tan rápidamente como sea posible, donde sin embargo se ha de atender a que no se dé lugar a cavitación alguna en la cámara de presión

60 La carrera de presión por el contrario, en especial, en casos de aplicación en los que se han de dosificar sólo cantidades de fluido muy pequeñas, puede durar mucho. Eso tiene como consecuencia que la pieza de presión sólo se mueve poco a poco en dirección a la cámara de dosificación. Para conseguir un movimiento de la pieza de presión como se ha representado de modo idealizado en la figura 3, ha de regularse el movimiento de la pieza de

presión. Además normalmente se dispone únicamente como magnitudes de medición de la posición de la pieza de presión y de la intensidad de la corriente a través de la bobina magnética.

Según la invención, se desarrolla por ello un modelo (no lineal), que describe el estado del sistema magnético.

Para una forma de realización preferida, resulta el siguiente modelo:

$$x = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ x \\ \Phi' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \frac{1}{m} \left(-d\dot{x} - kx - F_{vor} + F_p + K_L(\delta)\Phi^2 \right) \\ \frac{1}{N_1} \left(-R_{Cu} \frac{R_{m_{ger}}(\partial, \Phi)}{N_1} \Phi + u \right) \end{bmatrix}$$

donde:

m: masa de la pieza de presión

Φ : flujo magnético

$K_L(\delta)\Phi^2$: fuerza magnética

N_1 : número de espiras

u: tensión

d: amortiguación

k: constante de elasticidad

F_{vor} : fuerza sobre la pieza de presión por la tensión elástica

F_p : fuerza sobre la pieza de presión por la presión de fluido en la cámara de transporte

$R_{m_{cu}}(\partial, \phi)$: resistencia magnética

R_{Cu} : resistencia óhmica de la bobina

x: posición de la pieza de presión

δ : magnitud de la hendidura entre inducido e imán

Es éste un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales, que permite, partiendo de un punto de partida, agregar una predicción sobre el comportamiento subsiguiente del sistema.

Con ayuda de dicho modelo es posible, por tanto, reconocer desviaciones futuras o reales ya formadas entre la curva teórica y la curva real. Además, puede utilizarse el modelo para calcular la influencia probable de una intervención de la regulación.

Se determina, por ello, en tiempo real a base de la medición de la intensidad de la corriente y de la posición de la pieza de presión, cómo se desarrollará probablemente el sistema. Además, se puede calcular por qué intervención de la regulación, es decir, por qué modificación en la tensión de la bobina magnética volverá a moverse el sistema otra vez en la dirección deseada.

Naturalmente, hay una multiplicidad de posibilidades de intervenir regulando en el sistema. Pueden buscarse, pues, en cada instante soluciones estables del sistema dinámico. Esa etapa de cálculo se repite continuamente, es decir con tanta frecuencia como permite la capacidad de cálculo disponible para obtener una regulación óptima.

En el modelo aquí propuesto no es necesario, en general, determinar en cada instante nuevas soluciones estables del sistema dinámico. Por lo general, es suficiente determinar una vez la función de corrección apropiada en función de las magnitudes a medir, es decir, en función de la posición de la pieza de presión y de la tensión en el accionamiento magnético, y utilizar en adelante dicha función de corrección para la regulación.

A pesar de dicha regulación, será inevitable dar lugar a desviaciones entre valor teórico y valor real, ya que el modelo elegido representa siempre una idealización. Además las magnitudes a medir captadas están siempre sujetas a errores (ruido de fondo).

5 Para reducir más la diferencia entre el valor real y el valor teórico, se mide dicha diferencia durante un ciclo de presión-aspiración y se utiliza como perfil teórico para el ciclo siguiente la suma de la diferencia medida y el deseado perfil teórico. En otras palabras, se aprovecha que se repite el ciclo de presión-carrera. Se prefija, por tanto, en el ciclo siguiente un valor teórico, que se separe respecto del perfil del valor teórico deseado propiamente. Se prefija por consiguiente en el ciclo siguiente un valor teórico tal que se desvíe respecto del perfil del valor teórico verdaderamente deseado.

10 Para aclaración, se ha representado esquemáticamente este principio autorregulador en la figura 4. Se representa la posición de la pieza de presión en eje de las Y'es y el tiempo en el de las X.

15 En el primer ciclo, se ha representado por ello con línea de trazos un perfil teórico utilizado para la regulación. Dicho perfil teórico corresponde al deseado perfil teórico, que se ha formado como perfil de referencia para la comparación en el tercer ciclo. A pesar de la regulación basada en modelo según la invención, se desviará el perfil real respecto del perfil teórico. En el primer ciclo de la figura 4, se ha representado a modo de ejemplo un perfil real con línea continua. Además se han representado pronunciadamente las desviaciones entre los perfiles real y teórico para aclarar como se presentan en la práctica.

20 En el segundo ciclo, se sustrae entonces la diferencia entre el perfil real del primer ciclo y el perfil de referencia del perfil teórico utilizado para el primer ciclo y se utiliza la diferencia como perfil teórico para la regulación durante el segundo ciclo. El perfil teórico así obtenido se ha representado de trazos en el segundo ciclo.

25 En el caso ideal, se desvíe el perfil real en el segundo ciclo en igual medida del perfil teórico utilizado, como se observó en el primer ciclo. Por ello se obtiene un perfil real (dibujado con línea continua en el segundo ciclo), que corresponde al perfil de referencia.

30 Por la medición de la posición de la posición de la pieza de presión y de la corriente por el accionamiento magnético es F_p , es decir, la fuerza sobre la pieza de presión por la presión del fluido en la cámara de transporte, la única magnitud desconocida. Por ello, se puede determinar utilizando este modelo la fuerza sobre la pieza de presión por la presión del fluido en la cámara de transporte. Puesto que se conoce la superficie de la pieza de presión, que es atacada por la presión del fluido, se puede calcular la presión del fluido a partir de la fuerza

35 Por el diseño descrito de una descripción de un sistema no lineal del sistema de bomba de dosificación electromagnética, es posible utilizar métodos de diagnóstico basados en modelos. Para ello, se evalúan las magnitudes de estado de los modelos de sistema y se determina la presión en el cabezal de bomba de la bomba de dosificación electromagnética. Los sensores de corriente y posición necesarios se perfeccionan, en este caso, ya en el sistema de bombas para fines técnicos de regulación, de modo que ya se disponga de las informaciones sin que se haya de completar el diseño de la bomba. A base de la modificación temporal de las magnitudes de estado y de la presión en el cabezal de dosificación de la bomba, pueden llevarse a cabo seguidamente los algoritmos de diagnóstico.

40 Así, pues, puede materializarse, por ejemplo, el diagnóstico basado en modelo de la sobrepresión en el proceso así como la desconexión automatizada de la bomba.

45 El reconocimiento de los instantes de apertura y cierre de la válvula puede tener lugar, por ejemplo, determinando y evaluando gradientes de tiempo de magnitudes de estado acopladas del modelo de sistema. Un sobrepasado o bien un quedar por debajo de los gradientes de estado puede detectarse mediante límites prefijados, lo que da lugar al conocimiento de los instantes de apertura y cierre de la válvula.

50 Alternativamente a ello, también puede determinarse la presión en función de la posición de la pieza de presión y deducirse los instantes de apertura y cierre de la válvula a partir de una evaluación. Un diagrama correspondiente de presión-recorrido se ha representado a la izquierda en la figura 5. A la derecha de la figura 5, se ha representado el respectivo diagrama recorrido-tiempo. El diagrama recorrido-tiempo muestra el movimiento en función del tiempo de la pieza de presión. Se reconoce que la pieza de presión se mueve primero hacia delante de una posición 1 de partida ($x = 0$ mm) y el volumen de la cámara de dosificación disminuye (fase de presión). La pieza de presión recorre en el instante 3 un máximo y se mueve entonces de nuevo a la posición de partida (fase de aspiración).

60 A la izquierda de la figura 5, se ha mostrado el respectivo diagrama presión-recorrido. Se recorrerá en el sentido de las agujas de un reloj, empezando en el origen de coordenadas, en el que se encuentra la pieza de presión en la posición 1. Durante la fase de presión, la presión aumentará primero fuertemente en la cámara de dosificación hasta que la presión esté en disposición de abrir la válvula para la tubería bajo presión. Tan pronto como la válvula bajo presión esté abierta, la presión en la cámara de dosificación permanece sensiblemente constante. El punto de apertura se ha identificado con la cifra 2. A partir de dicho instante, que también se ha introducido a la derecha de la figura 5, se da lugar a una dosificación. Con cada movimiento adicional de la pieza de presión se bombea fluido a transportar a la tubería bajo presión. Tan pronto como la pieza de presión haya alcanzado la posición máxima (instante 3), se gira el movimiento de la pieza de presión, se cierra inmediatamente la válvula de presión y la presión en la cámara de dosificación vuelve a descender. Tan pronto como se haya alcanzado una presión mínima (instante

4) se abre la válvula de aspiración, que une la cámara de dosificación con la tubería de aspiración, y se aspira líquido a transportar a la cámara de dosificación hasta que nuevamente se haya alcanzado la posición de partida.

5 Los instantes de cierre de válvula se pueden determinar a partir del diagrama recorrido-tiempo, ya que quedan en los máximos del recorrido de la pieza de presión. Los instantes 2 y 4, es decir, los instantes de apertura de válvula no son tan fáciles de determinar, sobre todo porque en la práctica el diagrama presión-recorrido presenta “esquinas” redondeadas. Por ello, se puede interpretar el recorrido, por ejemplo, partiendo de la posición 1 en el diagrama presión-recorrido al alcanzar el 90% del máximo de presión (conocido por la posición 3) del recorrido y se puede determinar la pendiente del diagrama presión-recorrido entre los puntos 1 y 2. La curva del 90% se ha dibujado de puntos. La recta resultante de ello corta la curva $p = p_{max}$ en el instante de apertura de la válvula. De igual modo se puede determinar también el instante 4. Dicha determinación puede tener lugar en cada ciclo y utilizarse el resultado para un ciclo posterior. Con ello se detectan también variaciones de los instantes de apertura.

10
15 Por comparación de las trayectorias teórica y real de las distintas magnitudes de estado de los modelos de sistema, pueden diagnosticarse burbujas de gas en el sistema hidráulico, cavitación en el cabezal de la bomba de la unidad de dosificación y/o instantes de apertura y cierre de la válvula de las unidades de dosificación. En especial, cuando entre las trayectorias teórica y real se sobrepasa un límite de error predeterminado, ello puede disparar una señal de alarma y las medidas correspondientes.

20 Se muestra un ejemplo en la figura 6. También se ha representado aquí el diagrama presión-recorrido a la izquierda y el diagrama y el recorrido tiempo a la derecha. La figura de la derecha es idéntica al diagrama correspondiente de la figura 5. En el caso de que se encuentren burbujas de gas en el sistema hidráulico que son compresibles, dará esto lugar a que la válvula de presión se abra sólo en el instante 2' y la válvula de aspiración solo en el instante 4'. Un desplazamiento claro de los instantes de apertura de válvula puede utilizarse, por consiguiente, para diagnosticar el estado de “aire en la cámara de dosificación”. En caso de cavitación, se desplaza exclusivamente el instante 4' de apertura de válvula aunque no el instante 2 de apertura de válvula de modo que un comportamiento semejante pueda utilizarse para diagnosticar el estado “cavitación”.

25
30 La sistemática basada en modelos presentada posibilita, por medio del análisis de las distintas magnitudes de estado del sistema acopladas, un diagnóstico sensiblemente amplio y de elevada calidad como se ha realizado hasta la fecha.

35 Además, esto puede llevarse a cabo con reducidos costes de sistemas de sensores y elevadas fiabilidad y seguridad. Por medio de la superior calidad de diagnóstico, puede ampliarse el campo de aplicación de sistemas de bombas de dosificación electromagnéticas en ciertas circunstancias, ya que entonces la precisión de dosificación puede mejorarse extremadamente.

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar parámetros hidráulicos en un sistema hidráulico con una bomba de desplazamiento positivo, que está unida a una tubería de aspiración y a una tubería bajo presión, donde la bomba de desplazamiento positivo presenta un elemento desplazador móvil, que limita la cámara de dosificación, la cual está unida mediante válvulas con la tubería de aspiración y la tubería bajo presión, de modo que por medio de un movimiento oscilante del elemento desplazador aspira alternativamente fluido a transportar a través de la tubería de aspiración a la cámara de dosificación y a través de la tubería bajo presión puede ejercerse una presión a partir de la cámara de dosificación, habiéndose previsto un accionamiento para el movimiento oscilante del elemento desplazador, caracterizado por que se establece un modelo físico con parámetros hidráulicos para el sistema hidráulico, se determina la fuerza ejercida por el elemento desplazador sobre el fluido situado en la cámara de dosificación o la presión en la cámara de dosificación así como la posición del elemento desplazador, y se calcula con ayuda de un cálculo de optimización por lo menos un parámetro hidráulico, el cual describe lo mejor posible la posición determinada del elemento desplazador así como la fuerza ejercida o la presión en la cámara de dosificación tomando como base el modelo físico establecido.
2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** como parámetro hidráulico se determina la densidad del fluido en la cámara de dosificación y/o la viscosidad del fluido en la cámara de dosificación.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado por que** la bomba de desplazamiento positivo es una bomba de dosificación accionada electromagnéticamente, preferiblemente una bomba de membrana accionada electromagnéticamente.
4. Método según la reivindicación 3, **caracterizado por que** la corriente se mide por el accionamiento electromagnético y se determina la fuerza de la corriente medida ejercida por el elemento desplazador sobre el fluido existente en la cámara de dosificación y la posición medida del elemento desplazador.
5. Método según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado por que** el modelo físico se establece para el caso en que esté abierta la válvula para la tubería de aspiración y esté cerrada la válvula para la tubería bajo presión, y/o para el caso en que esté cerrada la válvula para la tubería de aspiración y esté abierta la válvula para la tubería bajo presión, donde en el caso de que el modelo físico se establece tanto para el caso en que esté abierta la válvula para la tubería de aspiración y esté cerrada la válvula para la tubería bajo presión, se determinan los instantes de apertura de válvula, y se selecciona el modelo físico en función del resultado de la determinación de los instantes de apertura de válvula.
6. Método según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** tras la determinación del parámetro hidráulico, éste y el modelo físico se utilizan para la determinación de la fuerza ejercida por el fluido a transportar sobre el elemento desplazador y la fuerza determinada de ese modo se emplea en una regulación del movimiento del elemento desplazador.
7. Método según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que**, para la optimización del perfil de dosificación de la bomba de desplazamiento positivo, se emplea una regulación basada en un modelo para el accionamiento.
8. Método según la reivindicación 7, **caracterizado por que** modelo para la regulación basada en un modelo utiliza una ecuación diferencial y preferiblemente una ecuación de movimiento del elemento desplazador.
9. Método según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado por que** en la ecuación diferencial se modelan fuerzas específicas de bombas de desplazamiento positivo, que actúan sobre la pieza bajo presión.
10. Método según una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado por que** como modelo de espacio de estado se elige un modelo de espacio de estado no lineal, donde la regulación no lineal tiene lugar bien sea por funciones de Lyapunov de control, por métodos de regulación basados en aplanado con precontrol basado en aplanado, por métodos de backstepping integrador, por modelos de modo deslizante o regulación predictiva, donde la regulación no lineal es preferida por funciones de Lyapunov de control.
11. Método según una de las reivindicaciones 7 a 10, **caracterizado por que** la diferencia entre el perfil de posición predetectado del elemento desplazador y un perfil de posición teórico del elemento desplazador durante un ciclo de aspiración-presión se capta y se utiliza, como perfil de valor teórico para el próximo ciclo de aspiración-presión, la diferencia de por lo menos una parte de la diferencia captada y el perfil de posición teórico predeterminado.
12. Método según una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado por que** con ayuda de la ecuación diferencial o de movimiento se determina una magnitud física de la bomba de desplazamiento positivo.
13. Método según la reivindicación 12, **caracterizado por que** como magnitud física se determina la presión p de fluido de un fluido a transportar existente en una cámara de dosificación de una bomba de desplazamiento positivo.

- 5 14. Método según una de las reivindicaciones 12 a 13, **caracterizado por que**, cuando la presión real del fluido alcanza o sobrepasa un valor máximo prefijado, se emite una señal de alarma y preferiblemente la señal de alarma se envía a un automatismo de desconexión, que desconecta la bomba de dosificación en respuesta a la recepción de la señal de alarma.
- 10 15. Método según una de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado por que**, para un ciclo de movimiento del elemento desplazador, se consigna una curva de presión de fluido teórica, una curva de posición teórica del elemento desplazador y/o el curso de la corriente teórico a través del accionamiento electromagnético y se compara la presión de fluido real con la presión de fluido teórica, la posición real del elemento desplazador con la posición teórica del elemento desplazador y/o la corriente real a través del accionamiento electromagnético con una corriente teórica a través del accionamiento electromagnético, y, cuando las diferencias entre valor real y valor teórico cumplen un criterio predeterminado, se emite una señal de alarma.
- 15 16. Método según la reivindicación 15, **caracterizado por que** se determina una suma ponderada de las desviaciones relativas del valor teórico y se elige el criterio de tal modo que se emite una señal de alarma cuando la suma ponderada sobrepasa un valor predeterminado.
- 20 17. Método según la reivindicación 15 ó 16, **caracterizado por que** se predeterminan varios criterios, se asigna un resultado erróneo a cada criterio y, cuando se cumple un criterio, se diagnostica el resultado erróneo asignado.
- 25 18. Método según una de las reivindicaciones 7 a 17, **caracterizado por que** como magnitud física se determina la masa m del elemento desplazador, la constante k elástica del muelle que precarga elásticamente el elemento desplazador, la amortiguación d y/o la resistencia R_{Cu} eléctrica del accionamiento electromagnético.

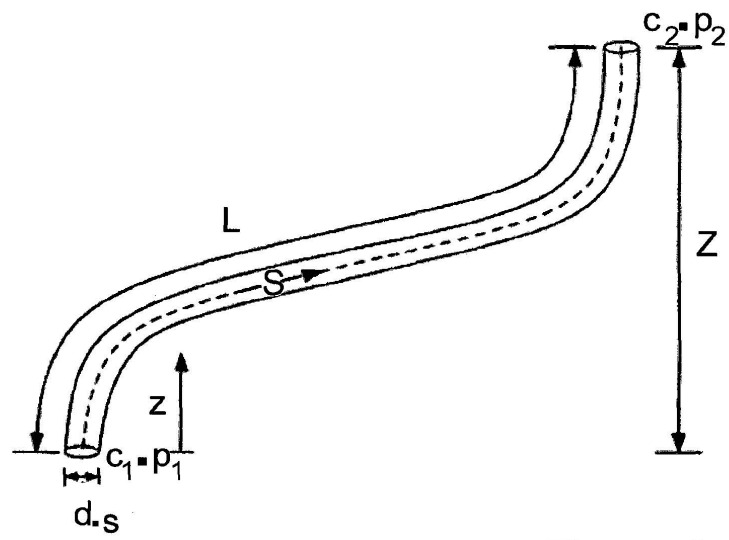


Figura 1

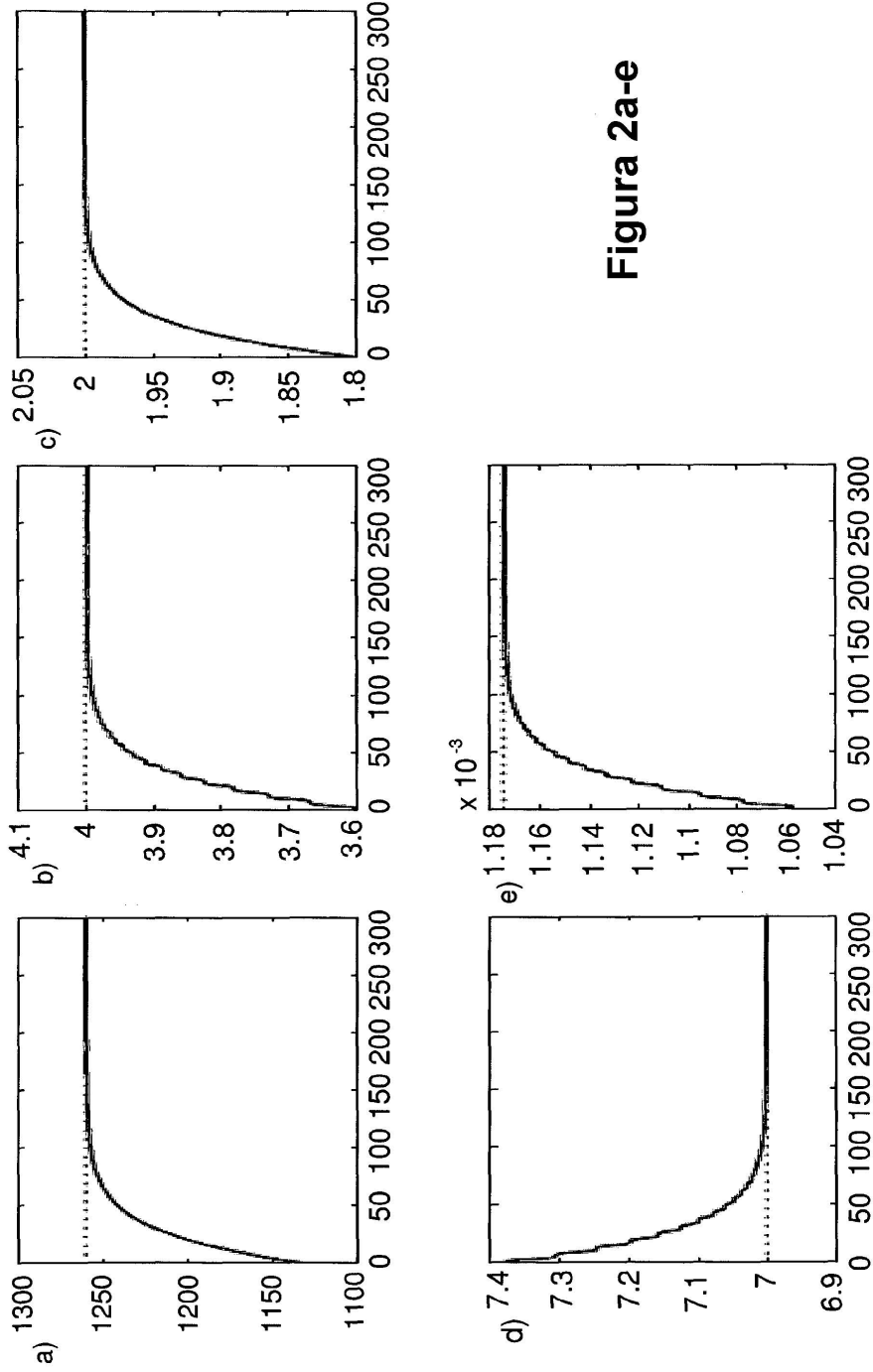


Figura 2a-e

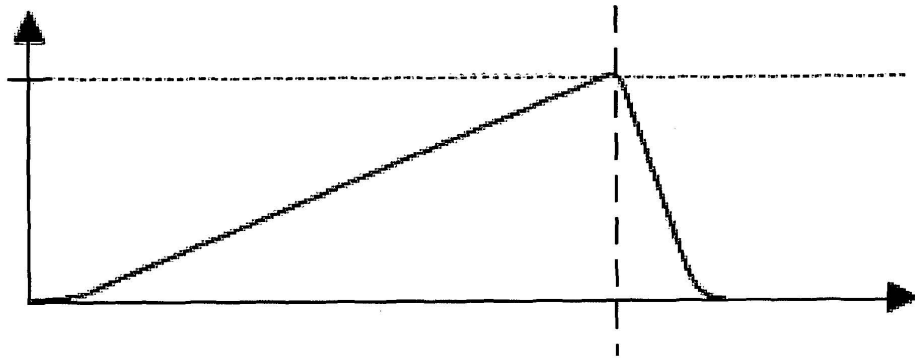


Figura 3

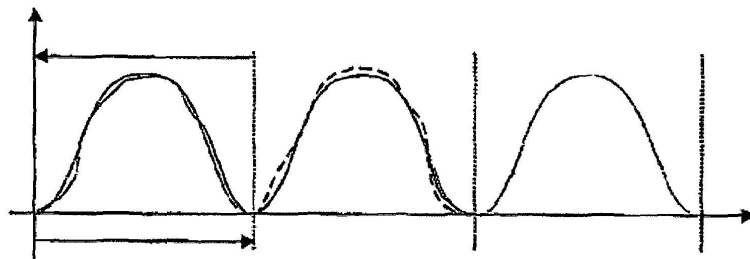


Figura 4

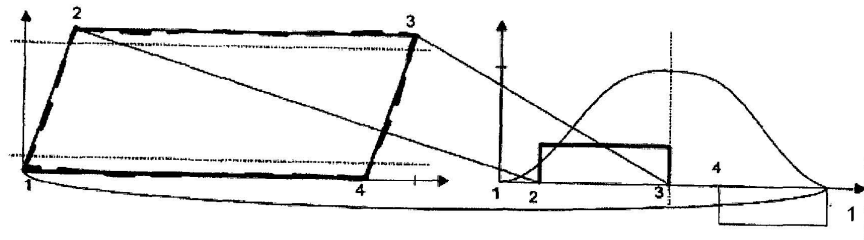


Figura 5

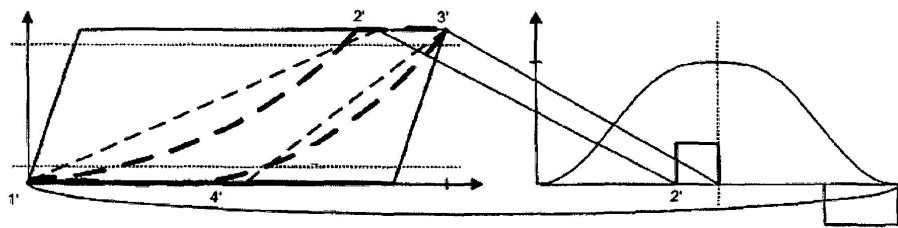


Figura 6