

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 947 510**

51 Int. Cl.:

F02D 41/14 (2006.01)

F02D 41/24 (2006.01)

G01M 15/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2020 PCT/AT2020/060400**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.05.2021 WO21092640**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2020 E 20824426 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.05.2023 EP 4058666**

54 Título: **Procedimiento y sistema para calibrar un control de una máquina**

30 Prioridad:

12.11.2019 AT 509692019

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

10.08.2023

73 Titular/es:

**AVL LIST GMBH (100.0%)
Hans-List-Platz 1
8020 Graz, AT**

72 Inventor/es:

**GANDE, MARIE-SOPHIE;
SCHEIDEL, STEFAN;
WILLIAMS, PHILIP;
WAGNER, ANDREAS;
SATO, TAKUYA;
COLLET, YOANN;
GRASSBERGER, HELMUT PETER;
IVARSON, MATS;
BALACHANDRAN, GANESH y
HERZER, MARKUS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 947 510 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para calibrar un control de una máquina

5 La invención se refiere a un procedimiento para calibrar un control de una máquina, en particular un motor de combustión interna, siendo alcanzados puntos de prueba, los cuales están definidos por valores de una pluralidad de parámetros de funcionamiento predeterminados y seleccionados por medio de un plan de prueba estadístico de un espacio de prueba multidimensional, modificándose durante la aproximación a los puntos de prueba respectivamente al menos un parámetro de funcionamiento en una pluralidad de pasos.

10 Para calibrar máquinas, en particular máquinas de accionamiento, generalmente se realizan pruebas en bancos de pruebas, llevándose a cabo un análisis, en particular un análisis de sensibilidad, para diferentes parámetros de funcionamiento para determinados puntos de funcionamiento con velocidad y/o carga predefinidas. El conocimiento obtenido de este análisis se puede utilizar para calibrar el control del motor de combustión interna, siendo el objetivo un calibrado optimizado del motor de combustión interna.

15 Si se ajustan simultáneamente para un punto de carga varios parámetros de funcionamiento, por ejemplo, la sincronización de la inyección, la sincronización del encendido, la presión del combustible, la presión del tubo de aspiración, la velocidad de recirculación de gases de escape, etc., resulta una extremadamente gran cantidad de combinaciones de parámetros posibles que tendrían que verificarse individualmente en mediciones de funcionamiento en una máquina por examinar. Sin embargo, esto supondría un esfuerzo de medición considerable.

20 Si, por ejemplo, únicamente se examinan diez valores diferentes por cada parámetro de funcionamiento, tendrían que ser alcanzados en el caso de dos parámetros de funcionamiento 100 puntos de prueba, en el caso de tres parámetros de funcionamiento, 1000, en el caso de cuatro parámetros de funcionamiento, 10.000, y en el caso de cinco parámetros de funcionamiento 100.000. Este esfuerzo no es factible en la práctica. Para reducir el esfuerzo de medición a un nivel tolerable, los puntos de prueba característicos se seleccionan de la cantidad total de un espacio de prueba con la ayuda de la planificación de prueba estadística, por ejemplo, utilizando el llamado diseño compuesto central. Esto permite reducir significativamente el esfuerzo de medición, por ejemplo, de una medición de 8.000 puntos de prueba a 50 puntos de prueba.

25 Con el fin de limitar el esfuerzo de medición a un nivel realista, generalmente se selecciona un número de puntos de prueba representativos seleccionados de acuerdo con condiciones marco predeterminadas mediante un modelo matemático.

30 La selección de los puntos de prueba se produce habitualmente de acuerdo con métodos estadísticos, con una estrategia de selección específica que se utiliza según el objetivo y la pregunta del análisis. Este modo de proceder se conoce como planificación de prueba estadística (inglés: design of experiments). Véase para ello, por ejemplo: "Statistische Versuchsplanung und -auswertung" (planificación y evaluación de pruebas estadística), Eberhard Schäffler, editorial Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1997.

35 De acuerdo con la correspondiente estrategia de selección, los puntos de medición se distribuyen o bien uniformemente en un espacio multidimensional de acuerdo con un modelo y/o se ponderan de acuerdo con condiciones marco específicas.

Los procedimientos de calibración que utilizan planificación de prueba estadística generalmente se basan en modelos empíricos invariantes en el tiempo que se parametrizan con un conjunto de datos de mediciones estacionarias y entonces se optimizan y, a su vez, se verifican con mediciones estacionarias.

40 Sin embargo, la adquisición de medidas estacionarias requiere relativamente mucho tiempo y, por lo tanto, es ineficiente. Un análisis de datos de campo de prueba dio como resultado un tiempo promedio de alrededor de 4 minutos por punto de prueba en caso de medición estacionaria. Estos 4 minutos consisten en el tiempo para ajustar los parámetros de funcionamiento a un nuevo punto de prueba, comprobar si hay un cambio en los parámetros de funcionamiento, un manejo de límites de funcionamiento, una estabilización, un valor promedio y una llamada vuelta a tamaño normal al punto de inicio, todo para medir un único punto de prueba.

45 La selección de los puntos de prueba se produce en la planificación de prueba estadística además sin conocer los límites de funcionamiento reales de acuerdo con criterios puramente estadísticos. Por lo tanto, en dependencia del plan de prueba estadístico correspondientemente utilizado, una parte de los puntos de prueba seleccionados se encuentra fuera del ámbito de funcionamiento de la máquina.

50 Los puntos de prueba fuera del ámbito de funcionamiento o los puntos de prueba inmóviles no se pueden tener en cuenta en un análisis ni para calibrar el control de una máquina ni para conformación de modelo en el contexto de una calibración basada en modelos, ya que no existen mediciones para los puntos de prueba. Debido a la falta de puntos de prueba o mediciones en estos puntos de prueba la calidad del análisis y, por tanto, la calidad de una calibración, quedan influidas negativamente.

55 Una falta de puntos de prueba, que se encuentran en la zona de medición inmóvil y, por lo tanto, una reducción en la

base de datos, podría evitarse en principio determinando los límites de funcionamiento de la máquina para el correspondiente punto de carga antes del uso del plan de prueba estadístico y adaptándose entonces el plan de prueba de tal manera que se llene todo el espacio móvil. Sin embargo, este modo de proceder se descarta debido al alto esfuerzo de medición que requiere.

- 5 Se conocen por el estado de la técnica una serie de procedimientos para el ajuste de los parámetros de funcionamiento con el fin de generar mediciones que pueden utilizarse para calibrar el control de una máquina.

Por ejemplo, el documento DE 101 56 557 B4 se ocupa de la vulneración de límites de funcionamiento. Divulga un procedimiento para calibrar el control de una máquina, en particular de un motor de combustión interna, analizándose para al menos un punto de carga la sensibilidad de diferentes parámetros de funcionamiento y llevándose a cabo mediante el uso de un plan de prueba estadístico, mediciones de funcionamiento para puntos de medición seleccionados con parámetros de funcionamiento predeterminados, en la máquina, definiéndose para al menos un punto de medición no móvil puntos de medición auxiliares, los cuales se encuentran en una línea de conexión entre un punto de medición central estable dentro de los límites de funcionamiento de la máquina y el punto de medición, y que el punto de medición auxiliar móvil más cercano al límite de funcionamiento se utiliza como punto de medición de reemplazo para mediciones de funcionamiento. Otro procedimiento para la calibración se divulga en el documento DE 10 2009 031630 A1.

Es un objetivo de la invención poner a disposición un procedimiento y sistema para el análisis y/o para calibrar una máquina, que pongan a disposición un análisis mejorado, en particular un mayor contenido de información, del espacio de funcionamiento examinado, en particular en el área de los límites de funcionamiento, sin que aumente el tiempo requerido para un análisis.

Este objetivo se consigue de acuerdo con la invención mediante un procedimiento y sistema según las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se reivindican configuraciones ventajosas.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para calibrar un control de una máquina según la reivindicación 1.

- 25 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema para calibrar un control de una máquina según la reivindicación 11.

Un espacio de funcionamiento en el sentido de la invención es preferentemente un espacio multidimensional, el cual queda comprendido por los parámetros de funcionamiento y está limitado por rangos de valores predeterminados de los parámetros de funcionamiento. Los rangos de valores están especificados preferentemente por el rango de funcionamiento estable de la máquina. De manera más preferente, la máquina o un sistema que está funcionalmente relacionado con la máquina, por ejemplo, un dispositivo de tratamiento posterior de gases de escape, se daña fuera del rango de funcionamiento.

Los datos de medición en el sentido de la invención presentan preferentemente valores de los parámetros o magnitudes medidos u observados en las mediciones de funcionamiento y/o de los parámetros o magnitudes establecidos.

- 35 En el sentido de la invención, continuamente significa preferentemente de forma continua durante un período de tiempo, en particular durante el período de tiempo de la aproximación a los puntos de prueba, en particular a todos los puntos de prueba. Preferentemente se memorizan todos los parámetros de funcionamiento registrados con la misma frecuencia de muestreo. En caso de presentarse diferentes frecuencias de medición, entonces se usa o bien el mínimo común denominador para el almacenamiento o todos los valores de medición se procesan de tal manera que es posible un almacenamiento con una frecuencia de muestreo fija, por ejemplo, 1 Hz; las señales de los parámetros de funcionamiento se filtran preferentemente para este fin, por ejemplo, por medio de un valor medio móvil. De esta forma, por ejemplo, se pueden evitar los efectos de aliasing.

Emitir en el sentido de la invención significa preferentemente proporcionar en una interfaz, en particular una interfaz de usuario o una interfaz de datos.

- 45 La invención se basa en el enfoque de no solo generar información sobre la máquina examinada en los puntos de prueba reales seleccionados por medio del plan de pruebas estadístico, sino también de registrar aquella información que se genera durante el ajuste del correspondiente punto de prueba y, por lo tanto, hacerla útil para el análisis de una máquina y la calibración del control de esta máquina.

De acuerdo con la invención, bien es cierto, tal como en el estado de la técnica, que los puntos de prueba reales se calculan o seleccionan usando planificación de prueba estadística, pero la metodología de medición se basa en un procedimiento de cribado que se usa entre los puntos de prueba individuales. De este modo, los puntos de prueba se conectan entre sí mediante rampas de medición, en las que los parámetros de funcionamiento se modifican paso a paso de un punto de prueba al siguiente punto de prueba y los datos de medición se recopilan tanto en cada paso como también en los propios puntos de medición.

- 55 Como método de cribado se utiliza aquí un denominado Slow Dynamic Slopes-Method (método de pendientes

- 5 dinámicas lentas) (en lo sucesivo, SDS). Esto significa que el ajuste de los parámetros de funcionamiento, que da lugar a las rampas, se realiza tan lentamente que los datos de medición registrados pueden considerarse casi estacionarios. Para ello, los tiempos de ajuste entre pasos individuales o los tiempos de rampa se adaptan preferentemente a constantes de tiempo de las magnitudes de funcionamiento, en particular de las magnitudes de salida observadas. Se ha demostrado que no es necesario realizar mediciones estacionarias adicionales para medir un plan de prueba.
- 10 Para el funcionamiento general del método SDS se remite a las siguientes publicaciones: "Methodology for Efficient Calibration of Model Based ECU Structures" (metodología para calibración eficiente de estructuras de ECU basadas en modelos), Leithgöb, R., Bollick, M., Büchel, M., Henzinger, F., International Symposium on Development Methodology (simposio internacional sobre metodología de desarrollo), Wiesbaden, 2005; "Methode zur schnellen Basisbedatung von Motorsteuerungen" (método para la calibración básica rápida de controles de motor), Büchel, M., Thomas, M., International Symposium on Development Methodology (simposio internacional sobre metodología de desarrollo), Wiesbaden, 2009.
- 15 Pruebas comparativas han demostrado que mediante el procedimiento de acuerdo con la invención puede lograrse una reducción significativa de la duración para la medición de un punto de prueba con respecto a un procedimiento de medición tradicional, en particular una reducción de hasta aproximadamente 2/3 de la duración.
- Además, mediante el procedimiento de acuerdo con la invención se generan durante esta duración esencialmente más datos de medición, de modo que es posible un análisis más preciso de un comportamiento de funcionamiento de la máquina y también existe una mejor base de datos mucho más densa para la conformación de modelo.
- 20 Finalmente, los datos de medición registrados mediante la invención se pueden usar para diversas tareas de calibración debido a la pluralidad de valores de medición. Esto se basa en el hecho de que también se registran puntos de medición entre los puntos de prueba reales, de modo que resulta una caracterización más o menos completa del espacio de prueba. En consecuencia, pueden realizarse tareas de calibración distintas de aquellas para las que se llevó a cabo originalmente el procedimiento sobre la base del conjunto de datos, o este conjunto de datos puede al menos complementar o formar la base de una medición para otra tarea de calibración.
- 25 El procedimiento de acuerdo con la invención se lleva a cabo preferentemente con la ayuda de un ordenador. En consecuencia, otros dos aspectos de la invención se refieren a un programa de ordenador que comprende instrucciones, las cuales, cuando son ejecutadas por un ordenador, provocan que lleve a cabo los pasos del procedimiento, y un medio legible por ordenador en el que está memorizado un programa de ordenador de este tipo.
- 30 En una configuración ventajosa del procedimiento se lleva a cabo una modificación del al menos un parámetro de funcionamiento tan lentamente y/o se seleccionan incrementos tan pequeños que la máquina funciona en un modo casi estacionario. Por consiguiente, en otra configuración ventajosa del procedimiento se llevan a cabo mediciones de funcionamiento de forma continua, no estando prevista preferentemente antes de una sección de medición, en la que se realizan mediciones de funcionamiento, una sección de estabilización separada, en la que se mantenga constante el al menos un parámetro de funcionamiento.
- 35 De acuerdo con la configuración del procedimiento, el desarrollo temporal de la modificación de varios parámetros de funcionamiento es por pasos en forma de rampa, en particular con respecto al tiempo y/o una distancia recorrida. Como resultado, los puntos de medición se encuentran preferentemente en una línea. Esto permite implementar una medición particularmente sistemática del espacio de prueba.
- 40 En otra configuración ventajosa del procedimiento, en caso de superarse un valor límite de un límite de funcionamiento de un parámetro de funcionamiento observado por medio de la medición de funcionamiento, se interrumpe una aproximación al siguiente punto de prueba y se alcanza un punto de prueba anterior, un punto de funcionamiento seguro predefinido o un punto de prueba que sigue al punto de prueba. Mediante este tratamiento de superaciones de valor límite puede continuar el proceso de medición sin interrupción y proporcionar valores de medición adicionales en relación con el espacio de prueba que se va a analizar. Una metodología separada para la identificación de un punto de medición auxiliar en el límite de funcionamiento, tal como se describe en el documento mencionado al principio DE 101 56 557 B4, no es necesaria. Esto ahorra tiempo de medición y el procedimiento de medición se simplifica en general.
- 45 De acuerdo con la configuración del procedimiento, los datos de medición se suministran a procedimientos de evaluación estadísticos o matemáticos o algoritmos de conformación de modelo. Por ejemplo, los datos de medición se pueden suministrar a una red neuronal artificial, a un algoritmo de bosque aleatorio, a un procedimiento de interpolación, a un algoritmo de modelado polinomial, etc. Por un lado, puede adaptarse de este modo el modelo utilizado para la selección de los puntos de prueba continuamente a la planificación de prueba estadística, por otro lado, puede mejorarse gradualmente un modelo para una optimización basada en modelos.
- 50 En otra configuración ventajosa del procedimiento se adapta un modelo mediante el algoritmo de conformación de modelo y/o un espacio de prueba, en particular continuamente, mientras se lleva a cabo el procedimiento. De este modo, se pueden distribuir iterativamente puntos de prueba adicionales y, por lo tanto, de manera óptima.
- 55 En particular, puntos de prueba que aún no se han medido pueden colocarse de nuevo usando el modelo adaptado,

5 en particular de forma continua, y/o pueden colocarse puntos de prueba adicionales usando el modelo adaptado, en particular de forma continua. En este sentido, pueden tenerse en cuenta corredores de destino predeterminados en relación con variables de salida. En caso de determinarse por medio del modelo adaptado que los valores de una magnitud de salida excederían los mismos, los puntos de prueba se pueden colocar correspondientemente de otra manera. En particular, los puntos de prueba se pueden colocar entonces de manera óptima con respecto al objetivo de optimización deseado reflejado en los corredores de destino. Debido a ello continúa mejorándose la calidad y la eficiencia del o de los algoritmos de conformación de modelo, en particular de la optimización de modelo continua. También debido a ello pueden evitarse en el marco de una optimización o calibración basada en modelos por medio de proyecciones utilizando el modelo, superaciones de valor límite adicionales y, por lo tanto, lograrse una implementación de prueba más eficiente.

10 En otra configuración ventajosa del procedimiento se corrigen desarrollos de señal de los datos de medición a razón de tiempos de retardo específicos de canal de medición. También debido a ello se continúa mejorando la calidad y la eficiencia del o de los algoritmos de conformación de modelo, en particular de la optimización de modelo continua.

15 En otra configuración ventajosa del procedimiento según la invención se usa un modelo formado o modificado por medio del algoritmo de modelo para calcular una calibración optimizada del control. De este modo puede lograrse una optimización iterativa del control de la máquina en el marco de una optimización basada en modelos.

En otra configuración ventajosa del procedimiento, el modelo de la máquina o de la calibración del control se verifica con mediciones de funcionamiento adicionales. Debido a ello pueden verificarse los valores encontrados mediante el procedimiento en lo que a su corrección se refiere en relación con la máquina que se va a examinar.

20 En otra configuración ventajosa del procedimiento pueden utilizarse los datos de medición para diferentes tareas de calibración, pudiendo seleccionarse diferentes magnitudes de entrada y/o salida a partir de los datos de medición registrados disponibles, para cada tarea de calibración.

Mediante la selección de las diferentes magnitudes de entrada y/o salida pueden llevarse a cabo las más diversas tareas de calibración en base a los datos de medición registrados.

25 Las ventajas y características explicadas anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención también aplican correspondientemente a los aspectos restantes de la invención y viceversa.

Otras ventajas y características resultan de la siguiente descripción de ejemplos de realización con referencia a las figuras. Muestran al menos parcialmente de forma esquemática:

30 **Fig. 1** un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de un procedimiento para calibrar un control de una máquina;

Fig. 2 una representación de un ejemplo de realización de un sistema para calibrar un control de una máquina;

35 **Figs. 3a y 3b** diagramas del desarrollo de parámetros de entrada/magnitudes de entrada o parámetros de salida/magnitudes de salida de mediciones de funcionamiento en un procedimiento de calibración del estado de la técnica;

Fig. 4 un diagrama adicional de parámetros de entrada/magnitudes de entrada y parámetros de salida/magnitudes de salida de mediciones de funcionamiento realizadas por medio del procedimiento para calibrar un control de una máquina;

40 **Fig. 5** diferentes diagramas con desarrollos de medición que se registraron utilizando el procedimiento para calibrar un control de una máquina; y

Fig. 6 un diagrama según la Fig. 4, mostrándose diferentes tiempos de retardo para un parámetro de salida/magnitud de salida determinado por medio de un modelo y un parámetro de salida/magnitud de salida medido.

45 **Figs. 7a y 7b** diagramas del desarrollo temporal de un parámetro de entrada a modo de ejemplo y las magnitudes de salida resultantes con un tiempo de retardo/tiempo muerto asumido, que se compensa mediante el procedimiento a través de desplazamiento las magnitudes de entrada y salida más rápidas.

En lo sucesivo se representan los ejemplos de realización en relación con un motor de combustión interna 1. Sin embargo, es evidente para el experto en la materia que las enseñanzas descritas también se pueden transferir a otras máquinas, en particular máquinas de accionamiento, como motores eléctricos.

50 La **Fig. 1** muestra un ejemplo de realización de un procedimiento 100 para calibrar un control de una máquina 1.

El desarrollo de trabajo, en el que se incorpora el procedimiento 100 para calibrar un control, es preferentemente el siguiente:

en primer lugar, se define la prueba o experimento a realizar, en particular una ejecución de prueba. Preferentemente

- se determina cuáles son los parámetros de entrada que se van a establecer o cambiar y qué parámetros de salida se van a registrar. Se especifican las condiciones del entorno en las que se realizará la prueba, por ejemplo, a qué temperatura del agente refrigerante. También se determina preferentemente qué parámetros de salida deben monitorearse en relación con los límites de funcionamiento L_{lim} y dónde se encuentran los valores límite L_{lim} . Partiendo de ello, se fijan rangos de ajuste para los parámetros de entrada P_1 , y , además, se genera preferentemente un diseño de relleno de espacio (inglés: space-filling design) basado en estos datos de referencia.
- 5 Basándose en la definición de la prueba y el diseño de relleno de espacio se crea preferentemente un plan de prueba con la ayuda de un plan de experimento estadístico.
- 10 Este plan de prueba presenta una pluralidad de puntos de prueba. Los puntos de prueba se definen en este sentido por una pluralidad de parámetros de funcionamiento P o sus valores, y también en el caso del espacio de prueba se trata de un espacio de prueba multidimensional debido a la pluralidad de parámetros de funcionamiento.
- Los puntos de prueba se miden habitualmente en funcionamiento de banco de pruebas, por ejemplo, en un banco de pruebas de motores, un banco de pruebas de cadena de transmisión o un banco de pruebas de rodillos. En general, se utilizan para ello los denominados bancos de pruebas estacionarios.
- 15 Se ajustan puntos de prueba que han de alcanzarse. En caso de haberse alcanzado el punto de prueba, se espera hasta que el funcionamiento del motor de combustión interna se haya estabilizado y, tan pronto como durante esta fase de estabilización STAB ya únicamente aparecen mínimas o ninguna modificación durante el funcionamiento del motor de combustión interna, se lleva a cabo una medición en la fase de medición MEAS. Un desarrollo de este tipo se representa muy en general en la Fig. 3a.
- 20 En este punto preferentemente comienza el procedimiento 100 para calibrar.
- De modo parecido a como en procedimientos de calibración en el estado de la técnica, se produce una aproximación 101 a los puntos de prueba en el procedimiento 100. En este sentido se modifica al menos un parámetro de funcionamiento P_1 , el cual es un parámetro de ajuste, en una pluralidad de pasos desde un punto de prueba T_n al siguiente punto de prueba T_{n+1} .
- 25 En la práctica, varios parámetros de funcionamiento P_1 se ajustan en este sentido habitualmente o bien de forma simultánea o secuencial. En este caso, el ajuste se produce preferentemente tan lentamente y/o con incrementos tan pequeños que el motor de combustión interna 1 se encuentra en un estado de funcionamiento casi estacionario.
- Las mediciones de funcionamiento se llevan a cabo a este respecto, tanto en el caso de aquellas constelaciones de valores que resultan después de cada paso a través del incremento establecido para cada parámetro de funcionamiento P , denominados en lo sucesivo puntos de medición M_n , como también en los puntos de prueba reales T_n , T_{n+1} , T_{n+2} , que se originan a partir de la selección mediante la planificación de prueba estadística.
- 30 Dado que el motor de combustión interna 1 durante el proceso de ajuste de los parámetros de entrada P_1 se mantiene en un estado de funcionamiento casi estacionario, preferentemente no están previstos ni antes ni después de la medición de los puntos de medición M_n , ni antes ni después de la medición de los puntos de prueba T_n , T_{n+1} , T_{n+2} intervalos de tiempo de estabilización STAB, como es el caso en el estado de la técnica. Por lo tanto, la fase de ajuste SET también puede incluirse en la fase de medición MEAS.
- 35 La fase de medición MEAS del procedimiento 100 puede así extenderse durante un período de tiempo esencialmente mayor que en el caso de los procedimientos clásicos para calibrar del estado de la técnica. La fase de medición MEAS se extiende preferentemente durante toda la duración del procedimiento 100, más preferentemente sin interrupción.
- 40 Los datos de medición de las mediciones de funcionamiento, los cuales pueden utilizarse adicionalmente para analizar y calibrar el control, finalmente se emiten y se memorizan de forma continua 103.
- Debido a la pluralidad de mediciones o la densidad de los datos de medición que se generan con el procedimiento 100, los datos de medición pueden utilizarse no solo para aquella tarea de calibración para la cual se recopilaron. Más bien, también se pueden utilizar para otras tareas de calibración, siempre que también se hayan medido las magnitudes de funcionamiento requeridas para ello.
- 45 Los datos de medición memorizados se suministran 104 a métodos de evaluación estadísticos y/o matemáticos. En particular, se lleva a cabo con estos métodos una conformación de modelo. Se trata preferentemente de un modelo del motor de combustión interna, de la cadena de transmisión o del vehículo completo, con el que se puede simular el componente respectivamente modelado. En el caso del modelo se trata preferentemente de una denominada red neuronal artificial, que se entrena basándose en los datos de medición. Sin embargo, también se pueden utilizar otros métodos de aprendizaje automático, así como modelos polinómicos o modelos gaussianos, etc. De manera más preferente se tiene en consideración durante la conformación de modelo un tiempo de retardo de las señales hasta la medición. Esto se explica más adelante con referencia a la Fig. 6. Los modelos se pueden seleccionar preferentemente o de una biblioteca de modelos de ejemplo existentes, en los que las relaciones entre los parámetros de entrada P_1 y parámetros de salida P_2 están marcadas en bruto. Estos modelos se verifican en este sentido sin interrupción o
- 50
- 55

continuamente y se adaptan 105 durante la realización del procedimiento 100.

5 Mediante estos modelos puede llevarse a cabo una optimización numérica para mejorar la calibración del control. Preferentemente una calibración optimizada de este tipo ya puede ser realimentada durante la realización del procedimiento 100 de acuerdo con la invención, en cuanto que se repite la planificación de prueba estadística o en cuanto que durante la planificación de prueba estadística ya se tienen en consideración 106 los conocimientos sobre la calibración optimizada.

Más preferentemente se verifica 107 una calibración optimizada finalmente con mediciones de funcionamiento adicionales.

La Fig. 2 muestra un ejemplo de realización de un sistema para calibrar un control de un motor de combustión interna 1.

10 El motor de combustión interna 1 está dispuesto a este respecto preferentemente en un banco de pruebas 11 y más preferentemente conectado a través de un árbol 4, que forma parte del motor de combustión interna 1 o del banco de pruebas 11, de forma resistente al giro con un dinamómetro 3.

15 El dinamómetro 3 está configurado preferentemente para aplicar una carga al motor de combustión interna 1. Además, el banco de pruebas 11 presenta sensores 13a, 13b, 13c para registrar magnitudes de funcionamiento del motor de combustión interna 1. En el presente caso, el sensor 13a podría, por ejemplo, registrar la posición de la válvula de mariposa, el sensor 13b un momento de giro que se aplica al árbol 4 y por lo tanto al motor de combustión interna 1, y el sensor 13c una potencia, la cual se usa para frenar mediante el dinamómetro 3 el árbol 4 y, de este modo, el motor de combustión interna 1.

20 Los valores de medición se transmiten preferentemente a través de una interfaz de datos 14 del sistema 10 para enviar datos de medición de las mediciones de funcionamiento a una memoria de datos 15 o directamente a medios 12 para alcanzar los puntos de prueba T_n , T_{n+1} , T_{n+2} .

25 Los medios 12 para alcanzar los puntos de prueba calculan los valores de los parámetros de entrada P_1 en base a un plan de prueba estadístico y/o los datos de medición ya generados y los transmiten a un control 2 del motor de combustión interna 1. El control pone a disposición los parámetros de entrada P_1 como valores teóricos en el motor de combustión interna 1.

Las Figs. 3a y 3b muestran dos diagramas del desarrollo de medición de un procedimiento clásico de calibración.

30 El diagrama de la Fig. 3a representa en este caso el desarrollo del parámetro de entrada P_1 del control de un motor de combustión interna, es decir, de la magnitud establecida, y el desarrollo correspondiente del parámetro de salida P_2 , es decir, de la magnitud observada, en dependencia del tiempo. La Fig. 3b representa nuevamente un diagrama del desarrollo del parámetro de salida P_2 en dependencia del parámetro de entrada P_1 o de la magnitud establecida, en aquella zona, en la que se produce una vulneración de valor límite del parámetro de salida P_2 .

35 En la Fig. 3a, después de que se haya medido un punto de prueba T_n , se lleva el parámetro de entrada P_1 gradualmente al valor del punto de prueba T_{n+1} subsiguiente. Esta sección del proceso de medición es una fase de ajuste SET, en la que el parámetro de entrada P_1 o varios parámetros de entrada se ajustan al siguiente punto de prueba T_{n+1} , el cual se determinó mediante un plan de prueba estadístico.

En el caso representado, en t_1 se produce una vulneración de valor límite del límite de funcionamiento Lím del parámetro de salida P_2 . Como consecuencia de ello, el parámetro de entrada P_1 no puede ajustarse en el punto de prueba T_{n+1} que pretendía alcanzarse.

40 El parámetro de entrada P_1 , por lo tanto, se pospone hasta que se anula la vulneración de valor límite del parámetro de salida P_2 . Debido a la histéresis o al retraso temporal del parámetro de salida esto lleva un tiempo, como se puede ver en la Fig. 3a, y el parámetro de entrada P_1 debe retirarse muy por debajo del valor en el que se produjo la vulneración de valor límite.

45 En un siguiente paso de procedimiento, el parámetro de entrada P_1 se ajusta de nuevo en cada dirección en la que se produjo la vulneración de valor límite, pero con incremento reducido. Si allí no se produce ninguna vulneración de límite, entonces se une en el momento t_2 una fase de estabilización STAB, en la que hay una espera hasta que el motor está en funcionamiento estacionario y ya solo se observa un pequeño o incluso ningún cambio en el parámetro de salida P_2 . Si este es el caso, a partir del momento t_3 hasta el momento t_4 se une una sección del procedimiento de medición en la que se lleva a cabo una medición MEAS. En este caso, se mide un punto de prueba auxiliar $T_{n+1'}$.

50 Como se muestra en la Fig. 3b, en un rango en el que el parámetro de salida P_2 presenta una fuerte fluctuación o un gradiente alto en relación con un cambio en el parámetro de entrada P_1 , se lleva a cabo una única medición de un punto de prueba auxiliar $T_{n+1'}$. Sin embargo, precisamente en un rango de fuertes cambios, sería ventajosa una pluralidad de puntos de medición para poder analizar con exactitud la dependencia del parámetro de salida P_2 del parámetro de entrada P_1 y tenerla en consideración correspondientemente en la conformación de modelo. Esto también es de particular importancia porque los valores óptimos en la calibración de motores de combustión interna a

menudo están dispuestos cerca de límites de funcionamiento Lím.

La Fig. 4 muestra a modo de comparación un diagrama de un desarrollo de medición del procedimiento 100 para la calibración.

5 También aquí se alcanza tras medición de un punto de prueba T_n , que se selecciona mediante un plan de prueba estadístico, un punto de prueba T_{n+1} posterior mediante ajuste del al menos un parámetro de entrada P_1 . Sin embargo, a diferencia del desarrollo de medición clásico, en el procedimiento 100 se llevan a cabo pasos más pequeños y/o el siguiente punto de prueba T_{n+1} se alcanza con una menor velocidad de ajuste del parámetro de entrada P_1 . Debido a ello se mantiene el motor de combustión interna 1 en un estado de funcionamiento casi estacionario.

10 Por lo tanto, en el caso del procedimiento 100, las mediciones de funcionamiento pueden llevarse a cabo no solo en los puntos de prueba T_n, T_{n+1} , sino también en puntos de medición M_n , los cuales resultan de un incremento del ajuste del parámetro de entrada P_1 .

15 En la Fig. 4 se representan estos puntos de medición M_n mediante cruces en la línea que conecta el punto de prueba T_n con el siguiente punto de prueba T_{n+1} . Preferentemente se registra en este sentido un punto de medición M_n después de cada paso de ajuste del parámetro de entrada P_1 . Sin embargo, también es posible realizar mediciones de funcionamiento solo tras varios pasos.

20 Al igual que también en el procedimiento de medición clásico según la Fig. 3a, el parámetro de salida P_2 alcanza en el momento t_1 en el caso representado un límite de funcionamiento Lím. Contrariamente al procedimiento de medición clásico, sin embargo, en el procedimiento 100 no se intenta anular el parámetro de entrada P_1 y alcanzar de nuevo en la dirección de ajuste original del parámetro de entrada P_1 el límite de funcionamiento Lím del parámetro de salida P_2 . Más bien, el procedimiento 100 se aproxima al siguiente punto de prueba T_{n+2} , que también se determina utilizando el plan de prueba estadístico. También en este sentido se llevan a cabo después de cada paso de ajuste del parámetro de entrada P_1 o también tras varios pasos de ajuste, mediciones de funcionamiento en puntos de medición M_n . Alternativamente, tras la vulneración de valor límite en t_1 también pueden alcanzarse el punto de prueba T_n anterior o también un punto de funcionamiento seguro predefinido, es decir, un punto de funcionamiento, del cual se sabe que está dentro del rango operativo del espacio de prueba.

25 La totalidad de los puntos de medición M_n registrados en la Fig. 4 está marcada con una llave. Como también puede verse en la Fig. 4, la duración de medición MEAS, que preferentemente dura todo el proceso de medición, es significativamente más larga que en el enfoque clásico de la Fig. 3a.

30 Esencialmente, en el caso del procedimiento 100 pueden llevarse a cabo mediciones durante la totalidad del proceso de ajuste del parámetro de entrada P_1 . De este modo resulta una densidad de información significativamente mayor en la fase de medición MEAS. La fase de medición MEAS dura preferentemente desde la salida de uno de los puntos de prueba T_n hasta alcanzar el límite de funcionamiento Lím y nuevamente hasta alcanzar un siguiente punto de prueba T_{n+1}, T_{n+2} y es, como puede verse a partir de una comparación de los diagramas según la Fig. 3a y la Fig. 4, a este respecto incluso más corta que una única medición del punto de prueba de reemplazo T_{n+1} en la Fig. 3a.

35 La Fig. 5 muestra una serie de diagramas en los que se muestra respectivamente el espacio de prueba bidimensional, que está comprendido por las magnitudes de funcionamiento indicadas respectivamente de forma horizontal en la abscisa, válvula de mariposa, posición de válvula de descarga, posición del árbol de levas-entrada y posición de árbol de levas-salida como parámetros de entrada y las magnitudes de funcionamiento idénticas indicadas de forma vertical en la ordenada, posición del árbol de levas-salida, posición del árbol de levas-entrada, posición de válvula de descarga y válvula de mariposa como parámetros de salida. Las mediciones también se llevaron a cabo aquí en el marco del procedimiento 100.

Puede verse que los espacios de prueba están muy bien cubiertos por las mediciones. La densidad de medición es en este caso significativamente mayor que en caso de que solo se hubiesen medido los pocos puntos de prueba seleccionados por medio de un plan de prueba estadístico.

45 Debido a la densidad de las mediciones de funcionamiento, los pares de parámetros de funcionamiento medidos no solo se pueden usar para una tarea de calibración, sino que las mediciones de funcionamiento registradas también se pueden usar para otras tareas de calibración, en las que los espacios de prueba son preferentemente casi iguales que los espacios de prueba mostrados en la Fig. 5.

50 En relación con la Fig. 6 se describe una consideración de un tiempo de retardo de las señales durante la conformación de modelo. En este caso se trata del trato de señales con retardo en el tiempo en el procedimiento 100. Como es sabido, muchas señales de medición reales tienen un tiempo de retardo, por ejemplo, debido a las longitudes de línea hasta el sensor de medición para un medio de medición (como en el caso de dispositivos de medición de emisiones) o debido a retardos de tiempo (como en el caso de puntos de medición de temperatura). En particular, las señales de medición reales de potencia y emisiones se miden con cierto retardo. Si estos datos de medición se van a tratar de manera (casi) estacionaria, se debe tener en cuenta el correspondiente retardo de tiempo en relación con estas señales durante la conformación de modelo.

Los tiempos de retardo típicos para, por ejemplo, dispositivos de medición de emisiones están en el rango de unos pocos segundos.

5 En el marco del ejemplo de realización descrito del procedimiento 100, el algoritmo de conformación de modelo decide preferentemente, en particular en el procesamiento posterior, qué retardo temporal es el más apropiado. Por lo tanto, se crean diferentes modelos para parámetros de salida, por ejemplo, emisiones, con una estructura de modelo idéntica pero diferentes tiempos de retardo de la señal de transmisión, utilizando un algoritmo de conformación de modelo.

10 Para este propósito, cada vector se retarda preferentemente a razón de tres tiempos de retardo diferentes x , y y z segundos y entonces se comprueba con los algoritmos de modelo empírico qué retardo de tiempo es el más apropiado y, por lo tanto, presenta la mejor calidad de modelo R^2 . Este se utiliza entonces para la evaluación de datos final y, dado el caso, optimización. Es decir, el modelo para el cual un tiempo de retardo simulado se corresponde mejor con el tiempo de retardo medido, es decir, el cual presenta la mejor calidad de modelo R^2 se selecciona como modelo para la optimización.

En la figura 6, este es el modelo en el que se tiene en cuenta un tiempo de retardo de 4s para el parámetro de salida.

15 En otra realización ventajosa del procedimiento 100 se corrigen desarrollos de señal de los datos de medición durante un desarrollo de prueba, durante el cual se lleva a cabo el procedimiento 100, a razón de tiempos de retardo individuales de canal de medición. Estos tiempos de retardo pueden resultar en particular de tiempos de propagación de señal o de sistemas controlados. Este tipo de tiempos de retardo individuales de canal de medición en datos sin procesar registrados se representan en la Fig. 7a para una entrada, una salida A y una salida B. Todas las señales se sincronizan en este sentido con la señal con el mayor tiempo de retardo. Una corrección de este tipo se representa para la entrada y la salida A en la Fig. 7b. En el caso representado, la entrada, en particular un desarrollo de señal de una magnitud de entrada, se demoró a razón de 4,6 s y la salida A, en particular un desarrollo de señal de una magnitud de salida A, a razón de 4 s. Esto se indica mediante las flechas. De este modo pueden reestablecerse las relaciones temporales entre las señales. A través de una modificación de valor de la entrada en forma de una función theta, se provoca una respuesta de señal (respuesta de paso) de las salidas A y B. Debido a ello continúa mejorándose la calidad y la eficiencia de los algoritmos de conformación de modelo, en particular, de la optimización de modelo continua.

20 En otra realización ventajosa del procedimiento 100 se determinan los tiempos de retardo de los canales de medición individualmente antes del inicio del programa de medición mediante ajuste del parámetro de entrada o de los parámetros de entrada y análisis de las señales afectadas por el retardo, en particular los parámetros de salida, como, por ejemplo, mediante la evaluación de respuestas escalonadas, como en la Fig. 7a y la Fig. 7b. Esto puede ocurrir o bien por adelantado o durante el desarrollo del procedimiento 100, preferentemente de manera automatizada. En el caso de los ejemplos de realización descritos anteriormente se trata únicamente de ejemplos que no pretenden limitar el alcance de protección, la aplicación y la estructura de ninguna manera. Más bien, la descripción anterior proporciona al experto en la materia una guía para la implementación de al menos un ejemplo de realización, pudiendo realizarse diversos cambios, en particular en lo que se refiere a la función y disposición de los componentes descritos, sin abandonar el alcance de la protección tal como resulta de las reivindicaciones y las combinaciones de características correspondientes. En particular, ejemplos de realización individuales pueden combinarse entre sí.

Lista de referencias

1	máquina
2	control
40 3	dinamómetro
4	árbol
10	sistema
11	banco de pruebas
12	medios para alcanzar los puntos de prueba
45 13a, 13b, 13c	sensores
14	interfaz de datos
15	memoria de datos
P_1	parámetro de entrada, magnitud de entrada
P_2	parámetro de salida, magnitud de salida
50 T_n, T_{n+1}, T_{n+2}	punto de prueba
T_{n+1}'	punto de prueba auxiliar
t_1, t_2, t_3, t_4	momento
M_n	punto de medición
Lím	límite de funcionamiento

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para el análisis de funcionamiento de una máquina (1) y/o para calibrar un control (2) de la máquina (1), en particular de un motor de combustión interna, alcanzándose (101) puntos de prueba, los cuales están definidos por valores de una pluralidad de parámetros de funcionamiento predeterminados y seleccionados de un espacio de prueba multidimensional por medio de un plan de prueba estadístico, modificándose durante la aproximación a los puntos de prueba, respectivamente varios parámetros de funcionamiento (P_1) en una pluralidad de pasos desde un punto de prueba (T_n) al siguiente punto de prueba (T_{n+1}) por medio de un método de pendientes dinámicas lentas, llevándose a cabo (102) mediciones de funcionamiento (meas) en puntos de medición (M_n), los cuales resultan de un correspondiente tamaño de paso, y en los puntos de prueba (T_n , T_{n+1}) propiamente dichos, de modo que los puntos de prueba se unen entre sí mediante rampas de medición, emitiéndose datos de medición de las mediciones de funcionamiento para el análisis y calibración del control (2) y memorizándose (103) de forma continua, suministrándose los datos de medición a un algoritmo de conformación de modelo (104), adaptándose (105) un modelo por medio del algoritmo de conformación de modelo durante una realización del procedimiento (100), colocándose puntos de prueba aún no medidos y/o puntos de prueba adicionales mediante el modelo adaptado.
2. Procedimiento (100) según la reivindicación 1, llevándose a cabo mediciones de funcionamiento de forma continua, no estando prevista preferentemente antes de una sección de medición (meas), en la que se llevan a cabo mediciones de funcionamiento, ninguna sección de estabilización (stab) separada, en la que se mantenga constante el al menos un parámetro de funcionamiento.
3. Procedimiento (100) según la reivindicación 1 o 2, teniendo el desarrollo temporal de la modificación del al menos un parámetro de funcionamiento (P) pasos en forma de rampa.
4. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, interrumpiéndose en caso de una superación de un valor límite de un parámetro de funcionamiento observado mediante las mediciones de funcionamiento, una aproximación al siguiente punto de prueba (T_{n+1}) y alcanzándose un punto de prueba (T_n) anterior, un punto de funcionamiento seguro predefinido o un punto de prueba (T_{n+2}) que sigue al siguiente punto de prueba (T_{n+1}).
5. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, corrigiéndose desarrollos de señal de los datos de medición a razón de tiempos de retardo individuales de canal de medición durante una realización del procedimiento (100).
6. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 5, utilizándose (106) un modelo conformado o modificado por medio del algoritmo de conformación de modelo para el cálculo de una calibración optimizada del control.
7. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 6, verificándose (107) el modelo o la calibración optimizada del control con mediciones de funcionamiento adicionales.
8. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, pudiendo utilizarse los datos de medición para diferentes tareas de calibración, seleccionándose de los datos de medición registrados disponibles, para cada tarea de calibración diferentes magnitudes de entrada y/o salida.
9. Programa de ordenador, el cual comprende instrucciones, las cuales, cuando son ejecutadas en un ordenador, hacen que el mismo ejecute los pasos de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Medio legible por ordenador, en el cual está memorizado un programa de ordenador según la reivindicación 9.
11. Sistema (10) para el análisis de funcionamiento de una máquina (1) y/o para calibrar un control (2) de la máquina (1), en particular de un motor de combustión interna, comprendiendo:
- un banco de pruebas (11) para alcanzar puntos de prueba, los cuales están definidos por valores de una pluralidad de parámetros de funcionamiento predeterminados y seleccionados de un espacio de prueba multidimensional por medio de un plan de prueba estadístico, medios (12) para alcanzar los puntos de prueba, configurados para modificar respectivamente varios parámetros de funcionamiento (P_1) en una pluralidad de pasos desde un punto de prueba (T_n) al siguiente punto de prueba (T_{n+1}) mediante un método de pendientes dinámicas lentas;
- sensores (13) para llevar a cabo mediciones de funcionamiento en puntos de medición (M_n), los cuales resultan de un correspondiente tamaño de paso, y en los puntos de prueba (T_n , T_{n+1}) propiamente dichos, de modo que los puntos de prueba se unen entre sí mediante rampas de medición; y
- una interfaz de datos (14) para emitir datos de medición de las mediciones de funcionamiento, en base a los cuales se analiza la máquina (1) y se calibra el control; y
- una memoria de datos (15), configurada para memorizar de forma continua los datos de medición, estando configurado el sistema (10) para alimentar los datos de medición a un método de evaluación estadístico o matemático o a un algoritmo de conformación de modelo, en particular a una red neural artificial, adaptar un modelo por medio del algoritmo de conformación de modelo y/o un espacio de prueba durante una realización

del procedimiento, y para colocar puntos de prueba aún no medidos y/o puntos de prueba adicionales por medio del modelo adaptado con corredores objetivo definibles para magnitudes de salida, que se definen en particular de manera óptima en lo que se refiere al objetivo de optimización deseado.

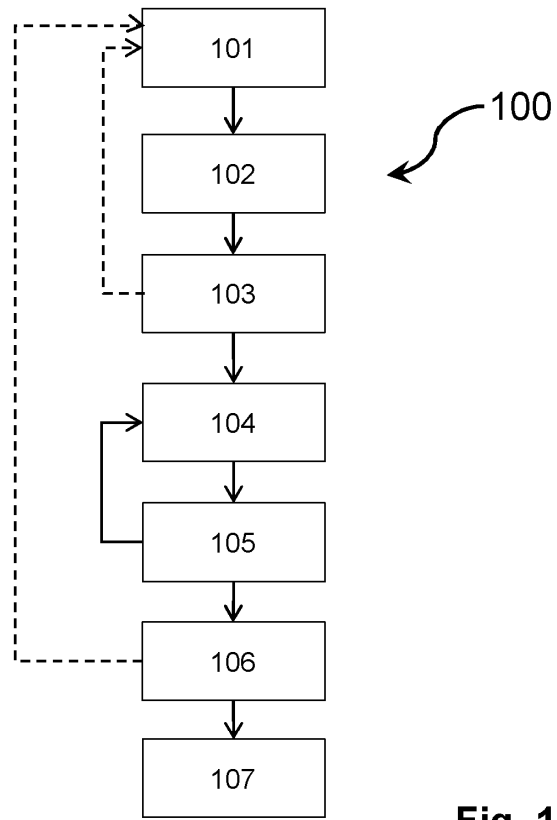


Fig. 1

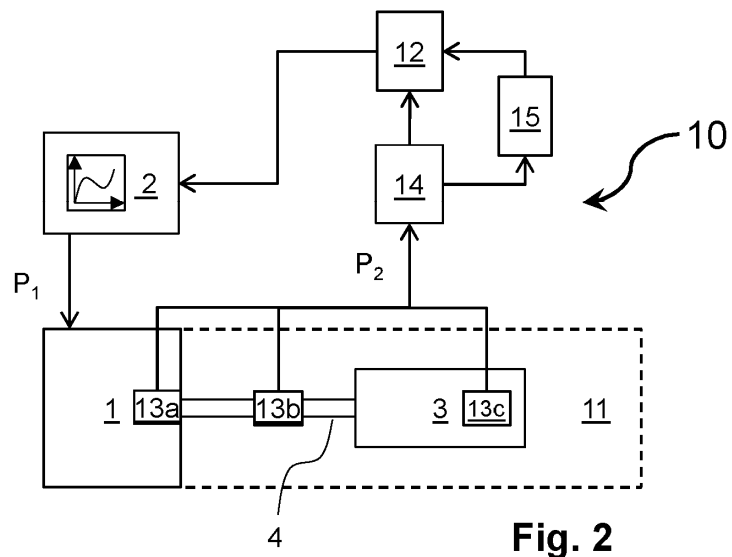
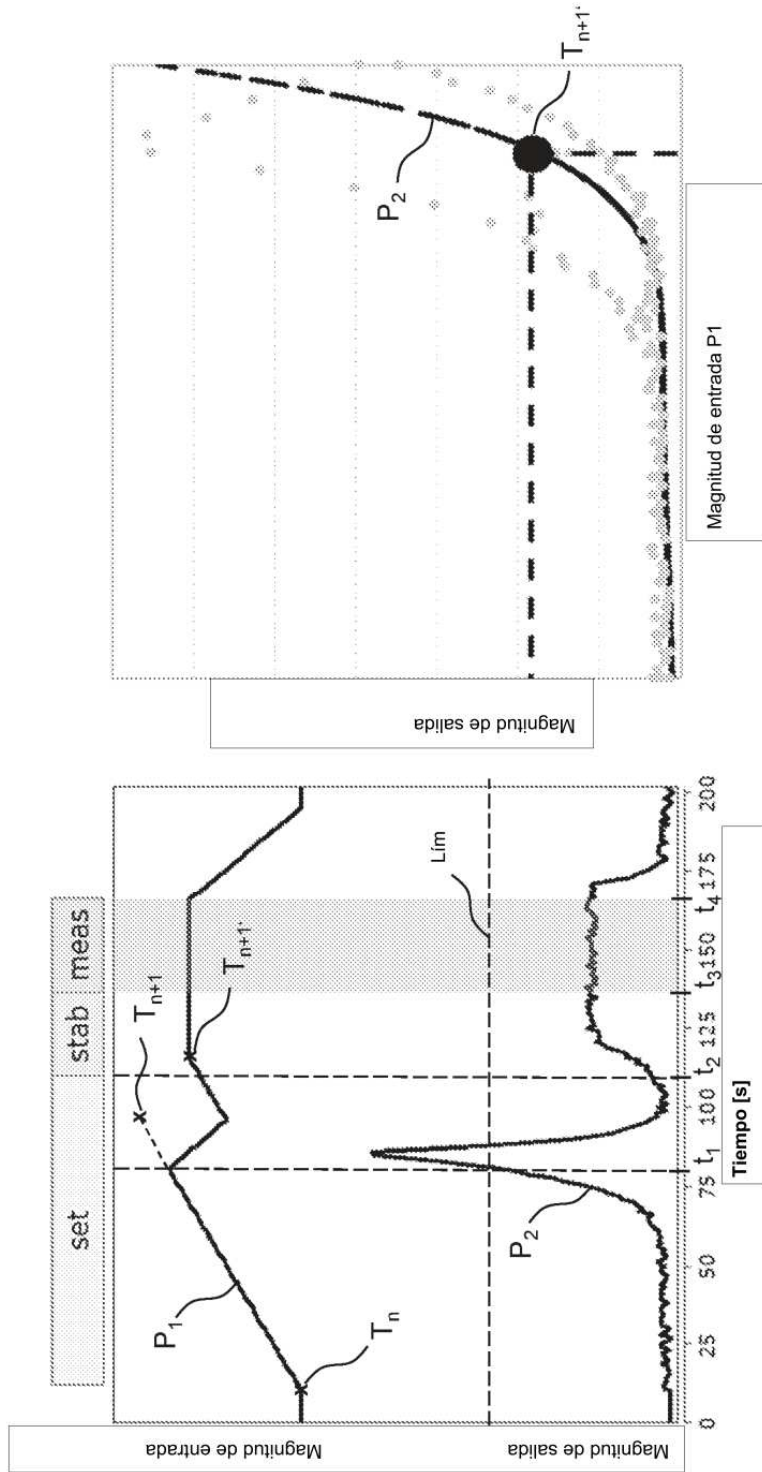


Fig. 2



(a) Estado de la técnica

(b)

Fig. 3

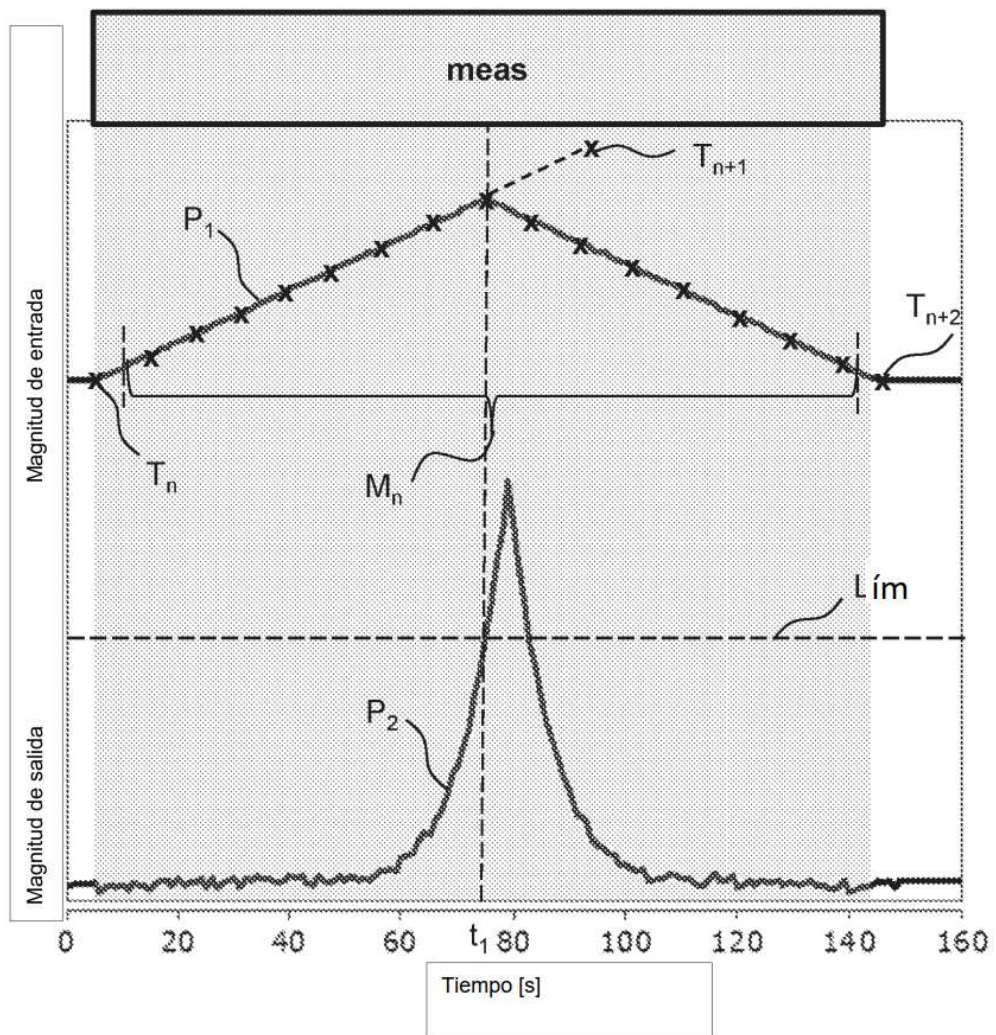


Fig. 4

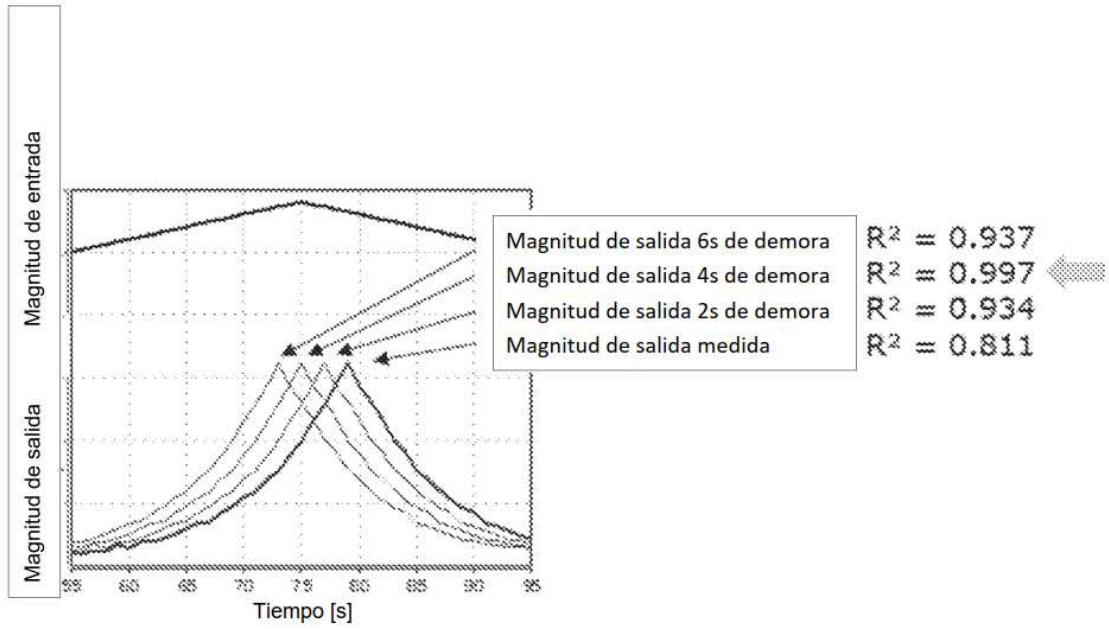


Fig. 6

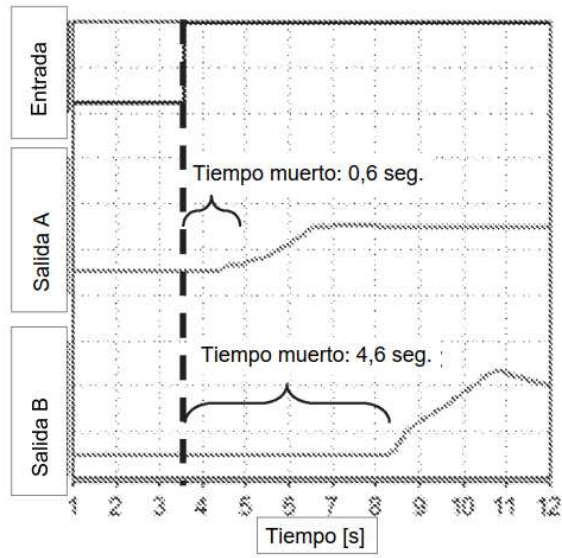


Fig. 7a

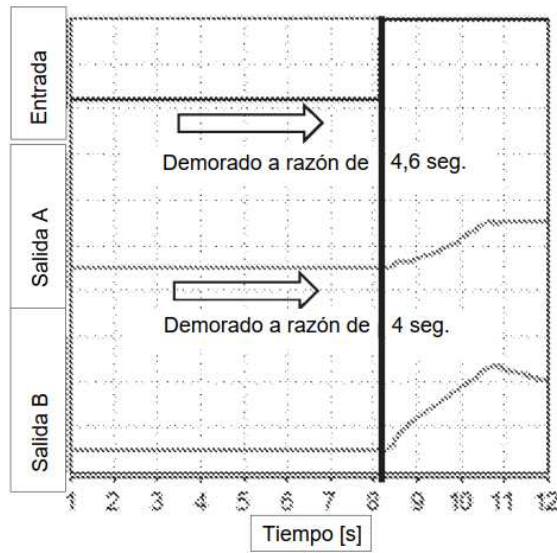


Fig. 7b