(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 460 255 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.03.2009 Patentblatt 2009/12

(51) Int Cl.:
F02D 41/20 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **03023174.0**

(22) Anmeldetag: **13.10.2003**

(54) Steuergerät und Computerprogramm zum Ansteuern eines Kraftstoffventils einer Brennkraftmaschine

Control apparatus and computer program for driving a fuel valve in an internal combustion engine

Appareil de commande et programme informatique de pilotage du dosage du carburant dans un moteur à combustion interne

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT

(30) Priorität: **21.03.2003 DE 10312712**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
22.09.2004 Patentblatt 2004/39

(73) Patentinhaber: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
- **Liskow, Uwe**
  71679 Asperg (DE)
- **Huebel, Michael**
  70839 Gerlingen (DE)
- **Maeurer, Walter**
  70347 Stuttgart (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-01/23754 **WO-A-02/092985**
DE-A1- 19 931 233

- **SPURK J H ET AL: "Interaction of nonlinear dynamics and unsteady flow in fuel injectors" 1992, SAE TECH PAP SER; SAE TECHNICAL PAPER SERIES 1992 PUBL BY SAE, WARRENDALE, PA, USA, PAGE(S) 1 - 8 , XP002382139 * Seite 2 ***
- **"KRAFTFAHR- TECHNISCHES TASCHENBUCH. Bosch Auflage 21" 1994, , STUTTGART , XP002382135 * Seite 39, Spalte 2 * * Seite 41 ***

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 460 255 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Steuergerät und ein Computerprogramm zum Ansteuern von mindestens einem Kraftstoffventil mit Piezoantrieb einer Brennkraftmaschine mit Benzindirekteinspritzung über ein Kopplungselement.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, dass bei Kraftstoffventilen mit Piezoantrieb der Nadelhub am Ventilsitz durch auf das Piezoelement als Aktor aufgebrachte Ladung beziehungsweise Spannung eingestellt werden kann. Im Stand der Technik erfolgt die Ansteuerung des Kraftstoffventils üblicherweise nicht durch eine direkte Verbindung zum Aktor, sondern durch ein zwischen den Aktor und das Kraftstoffventil geschaltetes hydraulisches Kopplungselement. Dieses dient dazu, Temperaturdehnungen und Dehnungen infolge von Druckkräften sowie Verschleiß zu kompensieren.

[0003] Nachteiligerweise ist das Verhalten dieses hydraulischen Kopplungselements jedoch abhängig von der Periodendauer der Ansteuerung, das heißt insbesondere von der Drehzahl der Brennkraftmaschine, von der Ansteuerdauer des Kraftstoffventils (Einspritzdauer), von der Lastkraft des Kraftstoffventils, welche von dem Druck in einem Kraftstoffspeicher abhängt, und von der Dämpfungskonstante des hydraulischen Kopplungselementes, welche nicht zuletzt von der Temperatur des verwendeten Hydraulikmediums abhängt.

[0004] Abhängig von den oben genannten negativen Einflüssen stellt sich während des Betriebs des hydraulischen Kopplungselementes ein sogenannter "stationärer Hubverlust" ein, welcher, wenn er unberücksichtigt bleibt, zu einer fehlerhaften Ansteuerung des Kraftstoffventils führt. Genauer gesagt kann er zu einer fehlerhaften Einstellung des Nadelhubs des Kraftstoffventils und damit zu einer falschen Einstellung der Einspritzmenge des Kraftstoffventils führen.

[0005] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es die Aufgabe der Erfindung, ein bekanntes Steuergerät zum Ansteuern eines Kraftstoffventils über ein Kopplungselement und ein Computerprogramm für ein derartiges Steuergerät so weiterzubilden, dass sie eine präzisere Ansteuerung des Kraftstoffventils ermöglichen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1 gelöst. Demnach wird die Aufgabe für das bekannte Steuergerät insbesondere dadurch gelöst, dass es ausgebildet ist, einen stationären Hubverlust als eine für das Kopplungselement charakteristische Fehlergröße bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils zu kompensieren.

Vorteile der Erfindung

[0007] Vorteilhafterweise wird durch diese Kompensation erfindungsgemäß sichergestellt, dass der stationäre Hubverlust keine negativen Auswirkungen auf die Genauigkeit der Ansteuerung des Kraftstoffventils hat. Eventuelle aus dem stationären Hubverlust resultierende Fehler beziehungsweise Ungenauigkeiten werden erfindungsgemäß durch das Steuergerät im Vorfeld einer Ansteuerung kompensiert.

[0008] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist es vorteilhaft, die Auswirkungen des stationären Hubverlustes als Fehlergröße auf den Hub des Kraftstoffventils und/oder auf die Einspritzmenge in die in dem Steuergerät abgelegten Formeln, Kennlinien oder Kennfeldern zur Ansteuerung des Kraftstoffventils einzurechnen. Durch das Verrechnen des Koppelverhaltens in die Ansteuerparameter des Kraftstoffventils werden die Auswirkungen des stationären Fehlers aufgrund von Drehzahl, Einspritzzeit, Systemdruck oder Ventiltemperatur auf den Nadelhub und/oder die Einspritzmenge minimiert. Der Ventilhub und die Einspritzmenge können also genauer eingestellt werden.

[0009] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Steuergerätes sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Die oben genannte Aufgabe.wird weiterhin durch ein Computerprogramm für ein Steuergerät gelöst. Die Vorteile dieses Computerprogramms entsprechen den oben unter Bezugnahme auf das Steuergerät genannten Vorteilen.

Zeichnungen

[0011] Der Erfindung sind insgesamt drei Zeichnungen beigefügt, wobei

Figur 1 ein hydraulisches Kopplungselement;

Figur 2 den zeitlichen Zusammenhang zwischen vorgenannten Einspritzungen und der Größe des Spaltes des Kopplungselementes; und

Figur 3 ein Steuergerät gemäß der Erfindung

zeigt.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0012] Figur 1 zeigt die der Erfindung zugrunde liegende Anordnung von einem Steuergerät 50, einem Piezoantrieb 100 zur Ansteuerung eines Kraftstoffventils 300 nach Maßgabe durch Einspritzbefehle, ausgegeben von dem Steuergerät 50. In Figur 1 ist zu erkennen, dass der Piezoantrieb 100 nicht unmittelbar auf das Kraftstoffventil 300 einwirkt, sondern dass zwischen diese beiden Komponenten ein hydraulisches Kopplungselement 200 geschaltet ist. Dieses hydraulische Kopplungselement dient zur Kompensation von Temperaturdehnungen und Dehnungen infolge von Druckkräften sowie zur Kompensation von Verschleiß.

[0013] Figur 2 zeigt eine Detailansicht eines derartigen Kopplungselementes 200. Es ist zu erkennen, dass das Kopplungselement im Wesentlichen durch eine Kolben-Zylinder-Anordnung gebildet wird, wobei der Kolben das Bezugszeichen 220 und ein Zylinder zur Führung des Kolbens das Bezugszeichen 210 hat. Der Kolben 220 wird in dem mit einer Hydraulikflüssigkeit 220 gefüllten Zylinder 210 geführt. Von dem Piezoantrieb 100 ausgegebene Kräfte zur Einstellung des Kraftstoffventils 300 werden gemäß Figur 2 zunächst auf den Kolben 220 und von diesem über die Hydraulikflüssigkeit 230 auf den Führungszylinder 210 übertragen, bevor sie von dort an das Kraftstoffventil 300 weitergeleitet werden. Zur Realisierung einer bidirektionalen Kraftübertragung zwischen Piezoantrieb 100 und Kraftstoffventil 300 ist das Kopplungselement 200 in seinem Inneren vorzugsweise evakuiert.

[0014] Wie bereits einleitend erwähnt, ist das Verhalten des hydraulischen Kopplungselementes 200 von zahlreichen oben genannten Einflussfaktoren abhängig, welche dazu führen, dass sich während des Betriebs des Kopplungselementes 200 ein sogenannter stationärer Hubverlust einstellt. Dieser stationäre Hubverlust ist in Figur 2 mit dem Bezugszeichen $h_{v.stat}$ bezeichnet. Er repräsentiert den Wegfehler, welcher durch die Zwischenschaltung des Kopplungselementes bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils 300 durch den Piezoantrieb 100 aufgrund der genannten Einflüsse entstehen kann.

[0015] In Figur 3 ist allgemein das Verhalten des Kopplungselementes 200 während seines Betriebs sowie der stationäre Hubverlust als Fehler grafisch dargestellt. In Figur 3 repräsentieren die auf dem unteren Zeitstrahl dargestellten schwarzen Rechtecke die Ansteuerungen des Piezoantriebs 100 durch das Steuergerät 50 und demzufolge auch die Einspritzungen E. Die Zwischenräume zwischen den Einspritzungen repräsentieren die jeweiligen Ansteuerpausen beziehungsweise die Befüllungen B. Aus der Grafik in Figur 3 ist ersichtlich, dass der Koppelspalt KS, auf der Ordinate aufgetragen, jeweils während der Ansteuerzeiten aufgrund des von dem Piezoantrieb 100 ausgeübten Druckes auf den Kolben 220 deutlich abfällt, um dann jeweils in den nachfolgenden Ansteuerpausen wieder mit einer e-Funktion anzusteigen. Diese jeweiligen Anstiege resultieren daher, dass während der Ansteuerpausen kein Druck von dem Piezoantrieb auf den Kolben 220 und damit auf die Hydraulikflüssigkeit 230 ausgeübt wird. In Figur 3 ist weiterhin zu erkennen, dass sich nach einer gewissen Betriebsdauer der bereits erwähnte stationäre Hubverlust $h_{V.stat}$ einstellt.

[0016] Der stationäre Hubverlust $h_{V.stat}$ lässt sich mathematisch wie folgt berechnen:

$$h_{v.stat} = \frac{t_i \cdot F_S}{r_k} \cdot \frac{e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}{1 - e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}$$

wobei

r_k die Dämpfungskonstante des Kopplungselementes [N/(m/s)];

t_i die Ansteuerzeit;

F_S die Schaltkraft;

c_v die Steifigkeit des Ventils;

t_B die Dauer der Ansteuerpause (Befüllphase); und

$h_{v\cdot stat}$ den stationären Hubverlust

repräsentiert.

[0017] Dieser stationäre Hubverlust zeigt sich darin, dass es bei fortgesetztem Betrieb des Kopplungselementes dem Kopplungsspalt KS nicht mehr gelingt, sich während der Ansteuerpausen B der Brennkraftmaschine vollständig zu regenerieren, das heißt, wieder auf seinen ursprünglichen Wert h_0 anzuwachsen. Diese ursprüngliche Position h_0 repräsentiert einen Abstand des Kolbens 220 von der Bodenfläche des Zylinders 210, siehe Figur 2. Aufgrund des stationären Hubverlustes kehrt der Kolben 220, wie gesagt, nicht mehr auf seinen ursprünglichen Abstand h_0 vom Boden des Zylinders 210 zurück, sondern vielmehr schafft er es während der Ansteuerpause B lediglich, sich um einen Weg von h_0 - $h_{V.stat}$ von dem Boden des Zylinders 210 zu entfernen; wenn er diese Position erreicht hat, ist die Ansteuerpause Brennkraftmaschine bereits wieder beendet. Der Kolben 220 wird dann durch eine erneute Ansteuerung durch das Piezoelement 100 dazu veranlasst, seine Bewegungsrichtung umzukehren und sich wieder dem Boden des Zylinders 210 zu nähern, was in einer schnellen Verkürzung des Koppelspaltes KS resultiert.

[0018] Wird dieser stationäre Hubverlust des Kopplungselementes 200 bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils 300 nicht berücksichtigt, so führt dies zu Fehlern bei der Ansteuerung; genauer gesagt zu einer unpräzisen Ansteuerung.

[0019] Um derartige, aus dem stationären Hubverlust des Kopplungselementes 200 resultierende Fehler bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils 300 zu vermeiden, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, diesen stationären Hubverlust bei der Ansteuerung zu kompensieren. Genauer gesagt kann dieser stationäre Hubverlust bei der Einstellung des Hubs des Kraftstoffventils und/oder bei der Einstellung von dessen Einspritzzeit berücksichtigt werden. Vorteilhafterweise ist der bekannte stationäre Hubverlust $h_{V.stat}$ des verwendeten Kopplungselementes 200 bereits in den in einem Speicherelement 52 des Steuergerätes hinterlegten Formeln, Kennlinien oder Kennlinienfeldern zur Ansteuerung des Kraftstoffventils 300 berücksichtigt.

[0020] Die Ansteuerung des Piezoantriebs 100 und des Kraftstoffventils 300 erfolgt vorzugsweise nach Maßgabe durch ein in dem Steuergerät 50 hinterlegten Computerprogramm. Dieses Computerprogramm wertet regelmäßig die in dem Speicherelement 52 hinterlegten Formeln und Kennlinien zur Ansteuerung des Kraftstoffventils aus. Das Computerprogramm ist erfindungsgemäß so ausgebildet, dass es den stationären Hubverlust bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils berücksichtigt.

[0021] Das Computerprogramm kann gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen zur Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine 50 auf einem computerlesbaren Datenträger abgespeichert werden. Bei dem Datenträger kann es sich um eine Diskette, eine Compact-Disc, einen Flash-Memory oder dergleichen handeln. Der auf dem Datenträger abgespeicherte Programmcode kann dann als ein Produkt an einen Kunden verkauft werden.

[0022] Außerdem ist es möglich, dass das Computerprogramm, gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen ohne die Zuhilfenahme eines elektronischen Speichermediums über ein elektronisches Kommunikationsnetzwerk, insbesondere das Internet als Produkt an einen Kunden übertragen und verkauft wird.

Patentansprüche

1. Steuergerät zum Ansteuern von mindestens einem Kraftstoffventil (300) mit Piezoantrieb (100) einer Brennkraftmaschine (50) mit Benzindirekteinspritzung über ein hydraulisches Kopplungselement (200), **dadurch gekennzeichnet,**
   dass sich während des Betriebs des hydraulischen Kopplungselementes ein stationärer Hubverlust einstellt, abhängig von der Periodendauer der Ansteuerung, von der Ansteuerdauer des Kraftstoffventils, von der Lastkraft des Kraftstoffventils und von der Dämpfungskonstante des hydraulischen Kopplungselementes (200), und
   dass das Steuergerät (50) ausgebildet ist, den stationären Hubverlust als eine für das Kopplungselement (200) charakteristische Fehlergröße bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils (300) zu kompensieren.

2. Steuergerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuergerät ausgebildet ist, den stationären Hubverlust bei der Ansteuerung des Hubs des Kraftstoffventils und/oder bei der Einspritzzeit für das Kraftstoffventil (300) einzurechnen.

3. Steuergerät nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswirkungen des stationären Hubverlustes auf den Hub des Kraftstoffventils und/oder auf die in die Brennkraftmaschine einzuspritzende Kraftstoffmenge in Formeln, Kennlinien oder Kennlinienfeldern berücksichtigt ist, wie sie zum Zwecke der Ansteuerung des Kraftstoffventils (300) in einem Speicherelement (52) des Steuergerätes (50) abgespeichert sind.

4. Steuergerät nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuergerät (50) ausgebildet ist, den stationären Hubverlust H_{Vstat} des Kopplungselementes (300) wie folgt zu berechnen:

$$h_{v.stat} = \frac{t_i \cdot F_S}{r_k} \cdot \frac{e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}{1 - e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}$$

wobei

r_k die Dämpfungskonstante des Kopplungselementes [N/(m/s)];
t_i die Ansteuerzeit;
F_s die Schaltkraft;
c_v die Steifigkeit des Gesamtventils;
t_B die Dauer der Ansteuerpause (Befüllphase); und
$h_{v.stat}$ den stationären Hubverlust

repräsentiert.

5. Computerprogramm für ein Steuergerät (50) zum Ansteuern von mindestens einem Kraftstoffventil (300) einer Brennkraftmaschine über ein hydraulisches Kopplungselement (200),
wobei sich während des Betriebs des hydraulischen Kopplungselementes ein stationärer Hubverlust einstellt, abhängig von der Periodendauer der Ansteuerung, von der Ansteuerdauer des Kraftstoffventils, von der Lastkraft des Kraftstoffventils und von der Dämpfungskonstante des hydraulischen Kopplungselementes (200),
wobei das Computerprogramm Programmcode umfasst, der ausgebildet ist, den stationären Hubverlust des Kopplungselementes (200) bei der Ansteuerung des Kraftstoffventils (300) zu kompensieren.

6. Computerprogramm nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dessen Programmcode auf einem mobilen Datenträger gespeichert ist.

Claims

1. Control unit for activating at least one fuel valve (300), with piezoelectric drive (100), of a gasoline-direct-injection internal combustion engine by means of a hydraulic coupling element (200), **characterized in that** a steady-state stroke loss is generated, as a function of the cycle duration of the activation, of the activation duration of the fuel valve, of the load force of the fuel valve and of the damping constant of the hydraulic coupling element (200), during operation of the hydraulic coupling element, and
in that the control unit (50) is designed to compensate the steady-state stroke loss as an error value, which is characteristic for the coupling element (200), in the activation of the fuel valve (300).

2. Control unit according to Claim 1, **characterized in that** the control unit is designed to allow for the steady-state stroke loss in the activation of the stroke of the fuel valve and/or in the injection time for the fuel valve (300).

3. Control unit according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the effects of the steady-state stroke loss on the stroke of the fuel valve and/or on the fuel quantity to be injected into the internal combustion engine is taken into consideration in formulae, characteristic curves or characteristic maps which are stored in a memory element (52) of the control unit (50) for the purpose of activating the fuel valve (300).

4. Control unit according to one of the preceding claims, **characterized in that** the control unit (50) is designed to calculate the steady-state stroke loss H_{Vstat} of the coupling element (200) as follows:

$$h_{v.stat} = \frac{t_i \cdot F_S}{r_k} \cdot \frac{e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}{1 - e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}$$

where

r_k represents the damping constant of the coupling element [N/(m/s)];
t_i represents the activation time;
F_s represents the switching force;
C_v represents the stiffness of the overall valve;
t_B represents the duration of the activation interval (filling phase); and
$h_{v.stat}$ represents the steady-state stroke loss.

5. Computer program for a control unit (50) for activating at least one fuel valve (300) of an internal combustion engine by means of a hydraulic coupling element (200),
with a steady-state stroke loss being generated, as a function of the cycle duration of the activation, of the activation duration of the fuel valve, of the load force of the fuel valve and of the damping constant of the hydraulic coupling element (200), during operation of the hydraulic coupling element,
with the computer program comprising program code which is designed to compensate the steady-state stroke loss of the coupling element (200) in the activation of the fuel valve (300).

6. Computer program according to Claim 5, **characterized in that** its program code is stored on a mobile data carrier.

Revendications

1. Appareil de commande pour commander au moins une soupape de carburant (300) avec un entraînement piézoélectrique (100) d'un moteur à combustion interne à injection directe de carburant par le biais d'un élément d'accouplement hydraulique (200), **caractérisé en ce que**
pendant le fonctionnement de l'élément d'accouplement hydraulique, une perte de course stationnaire s'établit, en fonction de la durée de la période de commande, de la durée de commande de la soupape de carburant, de la force de charge de la soupape de carburant et de la constante d'amortissement de l'élément d'accouplement hydraulique (200), et
en ce que l'appareil de commande (50) est réalisé pour compenser la perte de course stationnaire sous forme de valeur d'erreur caractéristique de l'élément d'accouplement hydraulique (200) lors de la commande de la soupape de carburant (300).

2. Appareil de commande selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'appareil de commande est réalisé pour prendre en compte la perte de course stationnaire lors de la commande de la course de la soupape de carburant et/ou lors de la durée d'injection de la soupape de carburant (300).

3. Appareil de commande selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les effets de la perte de course stationnaire sur la course de la soupape de carburant et/ou sur la quantité de carburant à injecter dans le moteur à combustion interne sont pris en compte dans des formules, des caractéristiques ou des champs caractéristiques, tels qu'ils sont mémorisés aux fins de la commande de la soupape de carburant (300) dans un élément de mémoire (52) de l'appareil de commande (50).

4. Appareil de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'appareil de commande (50) est réalisé pour calculer la perte de course stationnaire Hvstat de l'élément d'accouplement (200) comme suit :

$$h_{v.stat} = \frac{t_i \cdot F_S}{r_k} \cdot \frac{e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}{1 - e^{-\frac{c_v}{r_k} \cdot t_B}}$$

avec

r_k étant la constante d'amortissement de l'élément d'accouplement [N/(m/s)] ;
t_i étant la durée de commande ;
F_S étant la force de charge ;
C_v étant la rigidité de toute la soupape ;
t_B étant la durée de la pause de commande (phase de remplissage) ; et
$h_{v.stat}$ étant la perte de course stationnaire.

5. Programme informatique pour un appareil de commande (50) pour commander au moins une soupape de carburant (300) d'un moteur à combustion interne par le biais d'un élément d'accouplement hydraulique (200),
dans lequel, pendant le fonctionnement de l'élément d'accouplement hydraulique, une perte de course stationnaire s'établit en fonction de la durée de la période de commande, de la durée de commande de la soupape de carburant, de la force de charge de la soupape de carburant et de la constante d'amortissement de l'élément d'accouplement hydraulique (200),
le programme informatique comprenant un code programme qui est réalisé pour compenser la perte de course stationnaire de l'élément d'accouplement (200) lors de la commande de la soupape de carburant (300).

6. Programme informatique selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** son code programme est mémorisé sur un support de données mobile.

Fig. 1

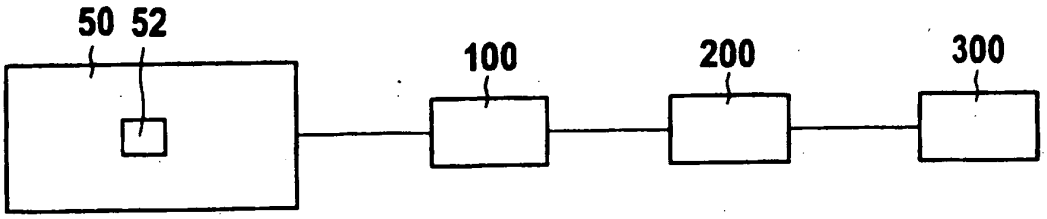
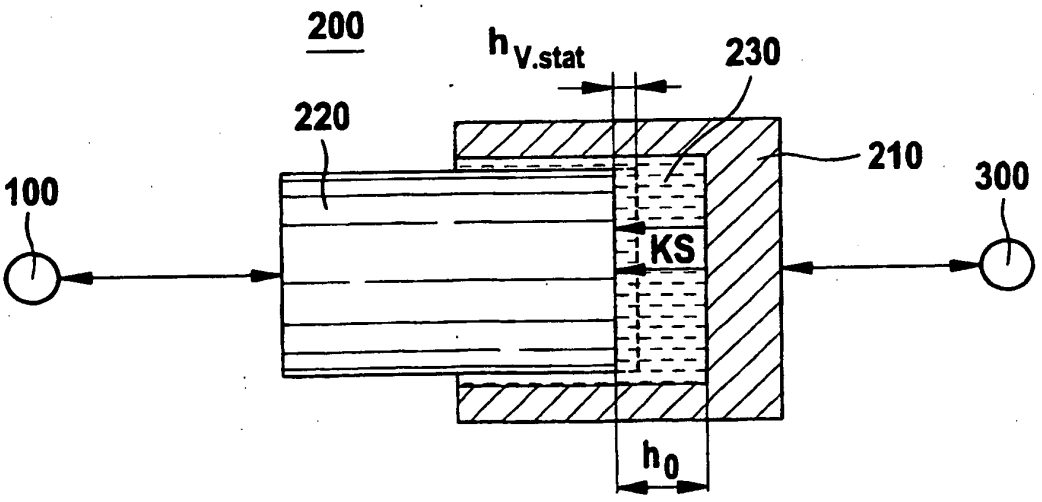


Fig. 2



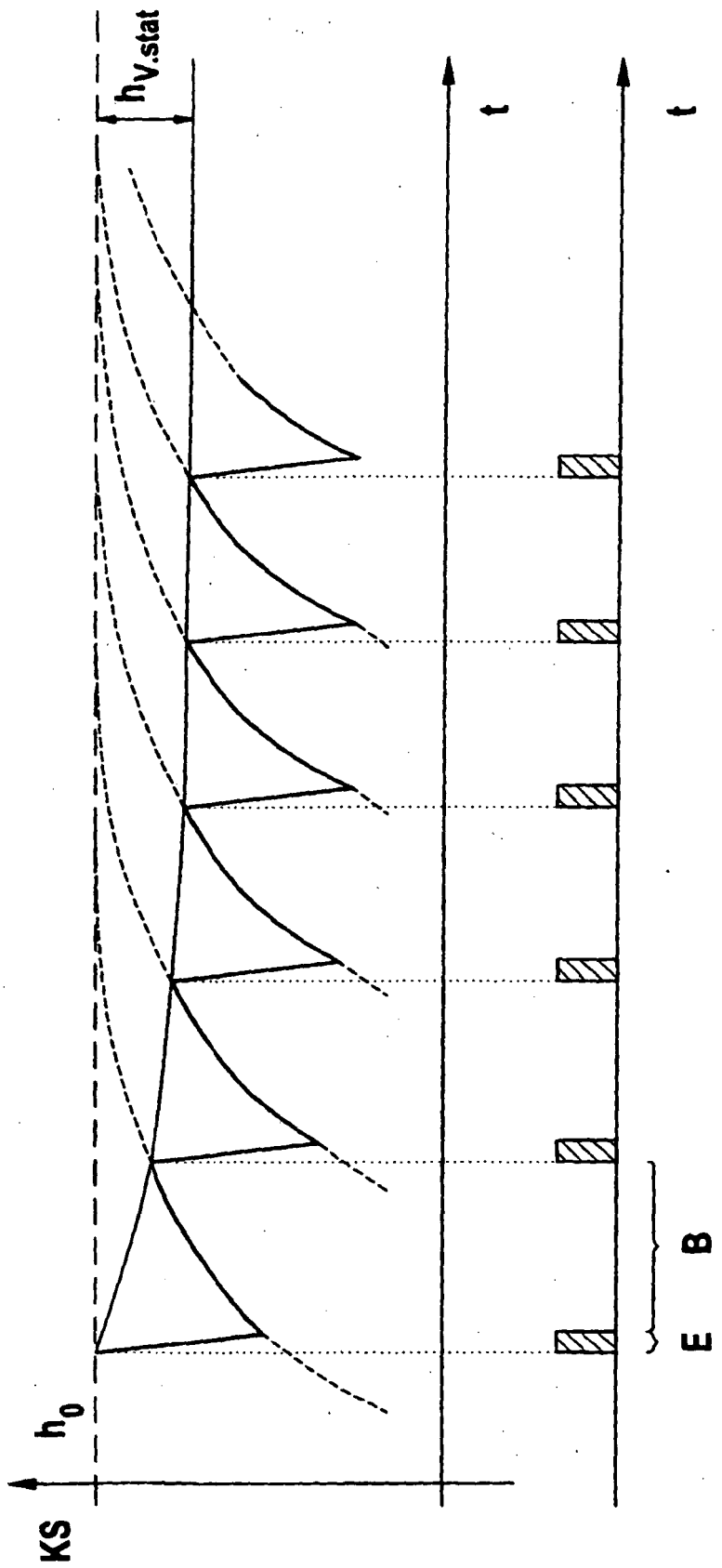


Fig. 3