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

(11) **EP 2 432 980 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.04.2015 Patentblatt 2015/17

(21) Anmeldenummer: **10717139.9**

(22) Anmeldetag: **03.05.2010**

(51) Int Cl.:
F02D 41/20 *(2006.01)* ***F02M 51/06*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/055957

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/133441 (25.11.2010 Gazette 2010/47)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES KRAFTSTOFFEINSPRITZVENTILS EINER BRENNKRAFTMASCHINE UND STEUERGERÄT FÜR EINE BRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD FOR THE OPERATION OF A FUEL INJECTION VALVE IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AND CONTROL DEVICE FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE SOUPAPE D'INJECTION DE CARBURANT D'UN VÉHICULE À MOTEUR ET APPAREIL DE COMMANDE POUR UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **19.05.2009 DE 102009003214**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.03.2012 Patentblatt 2012/13

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
- **JOOS, Klaus**
  74399 Walheim (DE)
- **SCHLUETER, Ruben**
  70188 Stuttgart (DE)
- **NEUBERG, Jens**
  70563 Stuttgart (DE)
- **KEMMER, Helerson**
  71665 Vaihingen (DE)
- **RAPP, Holger**
  71254 Ditzingen (DE)
- **HAMEDOVIC, Haris**
  71696 Moeglingen (DE)
- **KOENIG, Joerg**
  70197 Stuttgart (DE)
- **HOANG, Anh-Tuan**
  El Paso 79982-0000 (US)
- **WICHERT, Bernd**
  71394 Kernen (DE)
- **HIRCHENHEIN, Achim**
  54311 Trierweiler (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
CA-A1- 2 600 323
DE-A1- 3 942 836
DE-A1-102007 025 619
DE-A1-102008 042 556
DE-T2- 60 026 415
US-A1- 2009 139 490

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 2 432 980 B1

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Brennkraftmaschinen, die nach dem Otto- oder Dieselverfahren arbeiten und den Kraftstoff direkt in den Brennraum der Brennkraftmaschine einspritzen, sind hinsichtlich Wirkungsgrad, Emissionsverhalten und Leistungsabgabe besonders vorteilhaft. Um die Vorteile dieser sogenannten Direkteinspritzung möglichst weitgehend ausnutzen zu können, werden insbesondere bei strahlgeführten Brennverfahren höchste Anforderungen an die Zumessgenauigkeit der Einspritzventile, insbesondere bei kleinen Einspritzmengen, gestellt.

[0002] Insbesondere ist die Zumessung kleinster Kraftstoffmengen bei Mehrfacheinspritzungen vor allem für den Start, den Warmlauf und das Aufheizen des Katalysators der Brennkraftmaschine erforderlich. Des weiteren werden die Anforderungen an die Zumessgenauigkeit durch die steigenden Einspritzdrücke weiter erhöht. Aus der DE 10 2004 015745 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzventils und zur Bestimmung der Flugdauer der Ventilnadel des Einspritzventils bekannt auf die hiermit Bezug genommen wird. Ein weiteres Verfahren ist aus der Patentschrift DE 39 42 836 A1 bekannt.

[0003] Die aus dem Stand der Technik bekannten Einspritzventile haben eine Kennlinie der Flugdauer des Ventilglieds des Einspritzventils in Abhängigkeit von der Ansteuerdauer, die sich im wesentlichen in drei Bereiche aufteilen lässt. Dabei besteht grundsätzlich ein direkter Zusammenhang zwischen der Flugdauer und der eingespritzten Kraftstoffmenge: Je länger die Flugdauer, desto größer die eingespritzte Kraftstoffmenge bei sonst gleichen Randbedingungen. In einem ersten Bereich, dem sogenannten Teilhubbereich, wird das Einspritzventil nur sehr kurz angesteuert und es ergibt sich ein monoton steigender, aber nicht immer linearer Kennlinienabschnitt. In einem zweiten Bereich, dem sogenannten Übergangsbereich, sinkt die Flugdauer mit zunehmender Ansteuerdauer des Einspritzventils wieder ab, so dass zwischen dem Teilhubbereich und dem Übergangsbereich ein lokales Maximum erreicht wird.

[0004] Dieser Übergangsbereich endet an einem lokalen Minimum. Bei Ansteuerdauer die größer sind als die zu dem lokalen Minimum gehörende Ansteuerdauer T_2, beginnt ein dritter Kennlinienabschnitt in dem die Kennlinie der Flugdauer wieder monoton ansteigt und einen sehr ausgeprägt linearen Verlauf hat.

[0005] Da die Lage des Übergangsbereichs und die zu dem lokalen Maximum und lokalen Minimum gehörenden Flugdauern des Ventilglieds für jedes Einspritzventil individuell sind und sich im übrigen auch über die Lebensdauer des Einspritzventils ändern, ist es derzeit nicht möglich, den Teilhubbereich und den Übergangsbereich der Kennlinie zum Ansteuern des Einspritzventils, insbesondere zur Zumessung kleinster Einspritzmengen mit der geforderten Genauigkeit darzustellen. Daher wird derzeit nur der sogenannte Vollhubbereich zu der Kennlinie angesteuert, was die Zumessung kleinster Kraftstoffmengen unmöglich macht.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Einsatzbereich der Einspritzventile vor allem hin zu kleinen und kleinsten Einspritzmengen zu erweitern und die Zumessgenauigkeit zu erhöhen.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Übergangsbereich der Kennlinie für jedes Einspritzventil individuell zu ermitteln und während des Betriebs der Brennkraftmaschine ausgeblendet beziehungsweise übersprungen wird. Der Ubergangsbereich ÜB von einem lokalen Maximum und einem lokalen Minimum einer Kennlinie der Flugdauer eines Ventilglieds des Kraftstofffeinspritzventils wird in Abhängigkeit der Ansteuerdauer begrenzt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine monoton steigende Kennlinie zwischen der Ansteuerdauer und der Flugdauer beziehungsweise des Ventilglieds des Einspritzventils beziehungsweise der Einspritzmenge gebildet. Dies ermöglicht eine deutliche Erweiterung des Betriebs- oder Einsatzbereichs innerhalb dessen Kraftstoffeinspritzmengen zugemessen werden können. Insbesondere können dadurch kürzere Ansteuerdauern und in Folge dessen kleinere Einspritzmengen realisiert werden. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass eine Verbesserung der Zumessgenauigkeit erreicht wird.

[0008] Die lokalen Extremwerte können mit einer Vielzahl der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren aus den Stützstellen der Kennlinie ermittelt werden, so dass die individuelle Ermittlung des Übergangsbereichs für jedes Einspritzventil möglich ist. Des weiteren ist es auch möglich, die Extremwerte während des Betriebs der Brennkraftmaschine und über die gesamte Lebensdauer der Einspritzventile regelmäßig zu ermitteln und gegebenenfalls zu korrigieren, so dass ein Drift des Betriebsverhaltens der Einspritzventile erfasst und bei der Ansteuerdauer berücksichtigt werden kann. Dadurch lassen sich über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine und des Einspritzventils gleichbleibend hohe Zumessgenauigkeiten realisieren und somit die gesetzlich geforderten Emissionsgrenzwerte auch über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine einhalten.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren stützt sich dabei auf an und für sich bekannte Verfahren zur Ermittlung der Flugdauer des Ventilglieds eines Einspritzventils, die zum Beispiel aus der DE 10 2004 015745 A1 bekannt sind. Die Flugdauer des Ventilglieds wird letztendlich dadurch ermittelt, dass der Strom und/oder der Spannungsverlauf an den Anschlüssen des Einspritzventils zeitlich hoch aufgelöst erfasst und ausgewertet wird. Somit ist auch hierzu kein zusätzlicher Hardwareaufwand erforderlich und das Verfahren kann bei laufender Brennkraftmaschine regelmäßig wiederholt wer-

den, so dass die Ermittlung der Kennlinien über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine in regelmäßigen Abständen durchgeführt und die daraus resultierenden Wendepunkte beziehungsweise lokalen Maxima/Minima ermittelt werden können.

[0010] Ein vergleichsweise einfaches Verfahren zur Ermittlung des lokalen Maximums und/oder lokalen Minimums der Kennlinie des Kraftstoffeinspritzventils sieht vor, die zu verschiedenen Ansteuerdauern des Einspritzventils gehörenden Flugdauern zu ermitteln und aus den Ansteuerdauern und den zugehörigen Flugdauern eine Kennlinie zu generieren. In einem weiteren Schritt wird diese Kennlinie in Bereiche mit monotoner Änderung der Flugdauern bei geänderten Ansteuerdauern unterteilt, insbesondere einen Teilhubbereich TH, einen Übergangsbereich ÜB und einen Vollhubbereich VH. Diese Bereiche werden erfindungsgemäß durch einen Wendepunkt oder einen lokalen Extremwert voneinander abgegrenzt. Somit kann erfindungsgemäß durch Anwendung an sich bekannter Verfahren zur Ermittlung von lokalen Extremwerten der Übergangsbereich bestimmt werden. Somit ist es durch das erfindungsgemäße Verfahren einfach und ohne zusätzlichen Hardware-Aufwand möglich, ein lokales Maximum und ein lokales Minimum jederzeit und während des Betriebs der Brennkraftmaschine zu erfassen und auf der Basis dieser Werte den Übergangsbereich der Kennlinie zu ermitteln und das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

[0011] Dem lokalen Maximum kann eine bestimmte Flugdauer FDWP1 zugeordnet werden. In entsprechender Weise ist es möglich, dem lokalen Minimum eine Flugdauer FDWP2 zuzuordnen. Dabei gilt, dass die Flugdauer FDWP1 am lokalen Maximum größer ist als die Flugdauer FDWP2 am lokalen Minimum, Nur dann nämlich gibt es einen Übergangsbereich in der Kennlinie, innerhalb dessen die Kennlinie nicht monoton ansteigt. Um nun zu einer monotonen Kennlinie des Einspritzventils zu gelangen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein Wechsel von der Verwendung der Kennlinie im Teilhubbereich zu der Kennlinie im Vollhubbereich erfolgt, wenn die gewünschte Flugdauer, die sich aus der erforderlichen Einspritzmenge ergibt, größer als die Flugdauer FDWP2 am lokalen Minimum ist und kleiner als die Flugdauer am lokalen Maximums ist. Dadurch wird sichergestellt, dass auf die Kennlinie im Vollhubbereich umgeschaltet wird, wenn das Einspritzventil schon im Vollhubbereich so angesteuert werden kann, dass die gewünschte Flugdauer erreicht wird.

[0012] Um Instabilitäten des Verfahrens zu vermeiden, erfolgt der Wechsel von der Verwendung der Kennlinie im Teilhubbereich zu der Kennlinie im Vollhubbereich auf jeden Fall, so lange die gewünschte Flugdauer kleiner als die Flugdauer am ersten Wendepunkt abzüglich eines ersten Mindestabstands ΔFD,1 ist. Dadurch wird sichergestellt, dass das Verfahren nie auf eine Stützstelle der Kennlinie zurückgreift, die sich in unmittelbarer Nähe oder direkt am lokalen Maximum befindet, was zu Instabilitäten des Verfahrens führen kann. Der erste Mindestabstand ΔFD,1 wird vorteilhafterweise so gewählt, dass er die im Normalbetrieb zu erwartende Drift der Kennlinie zwischen zwei turnusgemäßen Erfassungen der Kennlinie abfängt und somit jederzeit eine stabile Ansteuerung des Einspritzventils möglich ist.

[0013] In entsprechender Weise ist weiterhin vorgesehen, dass ein Wechsel von der Verwendung der Kennlinie im Vollhubbereich zu der Kennlinie im Teilhubbereich spätestens dann erfolgt, wenn die gewünschte Flugdauer kleiner als die Flugdauer am lokalen Minimum zuzüglich eines zweiten Mindestabstands ΔFD,2 ist. Auch hierdurch wird sichergestellt, die Kennlinie in unmittelbarer Nähe des lokalen Minimums nicht benutzt wird und das erfindungsgemäße Verfahren stabil abläuft.

[0014] Um den während des Betriebs auftretenden Drift der Kennlinie erfassen zu können, wird lokale Maximum und das lokale Minimum in regelmäßigen Abständen neu ermittelt. So kann beispielsweise eine bestimmte Betriebsdauer der Brennkraftmaschine gezählt werden und nach Ablauf einer vorgegebenen Betriebsdauer die Kennlinie des Einspritzventils inklusive der lokalen Extremwerte erfasst und die zu den lokalen Extremwerten gehörenden Flugdauern in einem Speicher aktualisiert und abgespeichert werden.

[0015] Um die Vorzüge des erfindungsgemäßen Verfahrens voll auszunützen, ist weiter vorgesehen, dass jedes Einspritzventil einer Brennkraftmaschine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird und dass für jedes Einspritzventil individuell die lokalen Extremwerte ermittelt werden. Dadurch ist es möglich, jeden Zylinder der Brennkraftmaschine über die gesamte Lebensdauer optimal zu betreiben, so dass sich die Gesamtemissionen der Brennkraftmaschine ebenfalls auf einem konstant niedrigen Niveau halten. Dadurch, dass der Wechsel von der Kennlinie des Teilhubbereichs in die Kennlinie des Vollhubbereichs und umgekehrt an unterschiedlichen Grenzen, nämlich dem Abstands zum lokalen Maximum beziehungsweise lokalen Minimum festgemacht wird, ergibt sich eine Hysterese beim Wechsel zwischen den Bereichen der Kennlinie, so dass das Verfahren länger in einem Bereich der Kennlinie verweilt und die Zahl der Wechsel von einem Bereich der Kennlinie zu einem anderen Bereich der Kennlinie reduziert werden kann. Außerdem wird das sogenannte Toggeln in unmittelbarer Nähe des lokalen Maximums und lokalen Minimums vermieden. Auch dieses Toggeln ist unerwünscht, da es die Stabilität der Ansteuerung des Einspritzventils reduziert.

[0016] Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms, das auf einem Computer beziehungsweise einer Recheneinheit eines Steuergeräts ablauffähig und zur Ausführung des Verfahrens geeignet ist. Das Computerprogramm kann beispielsweise auf einem elektronischen Speichermedium abgespeichert sein, wobei das Speichermedium seinerseits zum Beispiel in dem Steuergerät enthalten sein kann.

[0017] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten

ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0018] In der Zeichnung zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Einspritzventils,
Figur 2 eine exemplarische, schematische Darstellung Kennlinie eines Einspritzventils
Figur 3 die Kennlinie gemäß Figur 2 mit ausgeblendetem Übergangsbereich
Figur 4 eine Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit Hysterese und
Figur 5 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0019] Figur 1a bis 1c zeigt eine Ausführungsform eines für die Kraftstoffeinspritzung vorgesehenen Einspritzventils 10 für eine Brennkraftmaschine in verschiedenen Betriebszuständen eines Einspritzzyklus.

[0020] Figur 1a zeigt das Einspritzventil 10 in seinem Ruhezustand, in dem es nicht durch das Ihm zugeordnete Steuergerät 22 angesteuert wird. Eine Magnetventilfeder 111 presst hierbei eine Ventilkugel 105 in einen hierfür vorgesehenen Sitz der Ablaufdrossel 112, so dass sich in dem Ventilsteuerraum 106 ein dem Raildruck entsprechender Kraftstoffdruck aufbauen kann, wie er auch im Bereich des Hochdruckanschlusses 113 herrscht.

[0021] Der Raildruck steht auch in dem Kammervolumen 109 an, das die Ventilnadel 116 des Einspritzventils 10 umgibt. Die durch den Raildruck auf die Stirnfläche des Steuerkolbens 115 aufgebrachten Kräfte sowie die Kraft der Düsenfeder 107 halten die Ventilnadel 116 gegen eine öffnende Kraft, die an der Druckschulter 108 der Ventilnadel 116 angreift, geschlossen.

[0022] Figur 1b zeigt das Einspritzventil 10 in seinem geöffneten Zustand, den es unter Ansteuerung durch das Steuergerät 22 auf die folgende Weise ausgehend von dem in Figur 2a abgebildeten Ruhezustand einnimmt: Der vorliegend durch die in Figur 2a bezeichnete Magnetspule 102 und den mit der Magnetspule 102 zusammenwirkenden Magnetanker 104 gebildete elektromagnetische Aktor 102, 104 wird durch das Steuergerät 22 mit einem ein Ansteuersignal bildenden Ansteuerstrom I beaufschlagt, um ein Öffnen des vorliegend als Steuerventil arbeitenden Magnetventils 104, 105, 112 zu bewirken. Die Magnetkraft des elektromagnetischen Aktors 102, 104 übersteigt hierbei die Federkraft der Ventilfeder 111 (Figur 1a), so dass der Magnetanker 104 die Ventilkugel 105 von ihrem Ventilsitz abhebt und hiermit die Ablaufdrossel 112 öffnet.

[0023] Mit dem Öffnen der Ablaufdrossel 112 kann nun Kraftstoff aus dem Ventilsteuerraum 106 in dem gemäß Figur 2b darüber liegenden Hohlraum, vgl. die Pfeile, und über einen Kraftstoffrücklauf 101 zurück zu einem nicht abgebildeten Kraftstoffbehälter abfließen. Die Zulaufdrossel 114 verhindert einen vollständigen Druckausgleich zwischen dem im Bereich des Hochdruckanschlusses 113 anliegenden Raildruck und dem Druck in dem Ventilsteuerraum 106, so dass der Druck in dem Ventilsteuerraum 106 sinkt. Dies führt dazu, dass der Druck in dem Ventilsteuerraum 106 kleiner wird als der Druck in dem Kammervolumen 109, der nach wie vor dem Raildruck entspricht. Der verringerte Druck in dem Ventilsteuerraum 106 bewirkt eine dementsprechend verringerte Kraft auf den Steuerkolben 115 und führt somit zum Öffnen des Einspritzventils 10, das heißt zu dem Abheben der Ventilnadel 116 aus ihrem Ventilnadelsitz im Bereich der Spritzlöcher 110. Dieser Betriebszustand ist in Figur 1b veranschaulicht.

[0024] Anschließend, das heißt nach dem Abheben aus dem Ventilnadelsitz, vollführt die Ventilnadel 116 primär unter Einwirkung der hydraulischen Kräfte in dem Kammervolumen 119 und in dem Ventilsteuerraum 106 eine im Wesentlichen ballistische Trajektorie. Bei einer hinreichend großen Ansteuerdauer, während der die Magnetspule 102 mit dem Ansteuerstrom I beaufschlagt wird, kann die Ventilnadel 116 in ihrer Öffnungsbewegung jedoch auch einen nicht abgebildeten Nadelhubanschlag erreichen, der den maximalen Nadelhub definiert. In diesem Fall wird von einem Betrieb des Einspritzventils 10 in seinem Vollhubbereich gesprochen.

[0025] Sobald der elektromagnetische Aktor 102, 104 (Figur 1a) zu einem Ende der Ansteuerdauer nicht mehr durch das Steuergerät 22 angesteuert wird, drückt die Ventilfeder 111 den Magnetanker 104 wie in Figur 2c abgebildet, nach unten, so dass die Ventilkugel 105 daraufhin die Ablaufdrossel 112 verschließt. Hierdurch baut sich im Steuerraum 106 erneut der Raildruck auf. Dieser nunmehr erhöhte Druck in dem Steuerraum 106 übt eine größere Kraft auf den Steuerkolben 115 aus, die zusammen mit der Kraft der Düsenfeder 107 die im Bereich des Kammervolumens 109 auf die Ventilnadel 116 einwirkende Kraft überschreitet und die Ventilnadel 116 somit wieder in ihre Schließlage verbringt.

[0026] Die Kraftstoffeinspritzung ist beendet, sobald die Ventilnadel 116 ihren Ventilnadelsitz im Bereich der Spritzlöcher 110 erreicht und diese verschließt, vgl. Figur 1c. In der Figur 2 ist exemplarisch die Kennlinie eines Einspritzventils 10 dargestellt, wobei auf der X-Achse die Ansteuerdauer T_A und auf der Y-Achse die Flugdauer FD aufgetragen ist.

[0027] Die Kennlinie 25 lässt sich in drei Bereiche aufteilen. Der erste Bereich beginnt in unmittelbarer Nähe des Ursprungs und endet zum Zeitpunkt T_1. Dieser erste Bereich wird als Teilhubbereich TH bezeichnet, da sich in diesem Bereich die Ventilnadel 13 nicht vollständig öffnet und nicht an dem Hubanschlag anschlägt. In dem Teilhub-Bereich TH ist die Kennlinie 25.1 relativ steil und

häufig nicht linear. Aus Gründen der Vereinfachung ist jedoch in der Figur 2 der erste Bereich der Kennlinie 25.1 als Gerade dargestellt. Charakteristisch für den ersten Bereich TH ist, dass die Kennlinie 25.1 monoton steigt. Bei einer Ansteuerdauer $t_A = T_1$ hat die Kennlinie 25 ein erstes lokales Maximum. Bei Ansteuerdauern $t_A > T_1$ sinkt die Flugdauer FD wieder ab, bis zum Zeitpunkt bei einer Ansteuerdauer $t_A = T_2$ ein ein zweites lokales Maximum erreicht ist. Wenn nun die Ansteuerdauer $t_A > T_2$ gewählt wird, steigt die Kennlinie 25.3 wieder monoton an und hat üblicherweise einen ausgeprägt linearen Verlauf. Dies bedeutet, dass die Ansteuerung des Einspritzventils mit Ansteuerdauern $t_A > T_2$ steuerungstechnisch einfach zu beherrschen ist und ein guter linearer Zusammenhang zwischen der Ansteuerdauer und der Flugdauer FD beziehungsweise der daraus resultierenden eingespritzten Kraftstoffmenge besteht.

[0028] Bislang ist der Betriebsreich des Einspritzventils auf den Vollhubbereich VH mit Ansteuerdauern $t_A > T_2$ beschränkt, da vor allem im Übergangsbereich ÜB die Zumessgenauigkeit abnimmt und insbesondere die Streuung zwischen verschiedenen Exemplaren baugleicher Einspritzventile stark zunimmt. Auch hierdurch wird die Zumessgenauigkeit verringert.

[0029] Um dieses Problem zu umgehen, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, den Übergangsbereich 25.2 der Kennlinie auszublenden und aus den Bereichen 25.1 und 25. 3 der Kennlinie 25 eine monoton steigende Kennlinie zusammenzusetzen. Eine solche zusammengesetzte monoton steigende Kennlinie ist in Figur 3 dargestellt. Damit eine monoton steigende Kennlinie erreicht wird, muss bei einer bestimmten Flugdauer, nämlich der sogenannten Umschaltflugdauer FD_U (siehe Figur 2) zwischen den beiden Teilen 25.1 und 25.3 der Kennlinie 25 umgeschaltet werden. Dies bedeutet, dass bei einer Ansteuerdauer $FD < FD_U$, der erste Bereich 25.1 der Kennlinie herangezogen wird und bei Ansteuerdauern beziehungsweise Flugdauern $FD > FD_U$ der Bereich 25.3 der Kennlinie ausgewertet wird. Dadurch kann das Einspritzventil 10 bei kleinen Einspritzmengen mit Ansteuerdauern $t_A < TU_1$ angesteuert werden. Bei größeren Einspritzmengen ist die Ansteuerdauer $t_A > TU_2$. Der Bereich zwischen TU_1 und TU_2 wird außer zur Bestimmung der Extermwerte nie angesteuert, so dass der Übergangsbereich ÜB ausgeblendet wird. Damit ist es möglich, die Zumessgenauigkeit zu erhöhen und somit das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0030] Wesentliches Merkmal des Übergangsbereichs ist, dass zwischen dem ersten Abschnitt 25.1 und dem zweiten Abschnitt 25.2 der Kennlinie 25 ein lokales Maximum vorhanden ist. Das lokale Maximum kann erfindungsgemäß dazu herangezogen werden, um den Teilhubbereich TH vom Übergangsbereich ÜB zu trennen. In entsprechender Weise ist es möglich, durch das lokale Minimum WP_2, der sich zwischen dem zweiten Abschnitt 25.2 und dem dritten Abschnitt 25.3 der Kennlinie 25 befindet, diese Bereiche voneinander zu trennen. In der vereinfachten Darstellung gemäß der Figuren 2 bis 4 ist die Kennlinie 25 aus drei geraden Stücken zusammengesetzt. Allerdings sind insbesondere der erste Abschnitt 25.1 und der zweite Abschnitt 25.2 bei vielen in Serie gefertigten Einspritzventilen nicht linear, so dass es auch gekrümmte und nicht lineare Abschnitte der Kennlinie 25 auftreten können, die auch mit dem erfindungsgemäßen Verfahren handhabbar sind.

[0031] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen in regelmäßigen Abständen, das heißt beispielsweise nach einhundert Betriebsstunden des Einspritzventils, das lokale Maximum WP_1 und das lokale Minimum WP_2 zu ermitteln und die zugehörigen Ansteuerdauern T_1 und T_2 und die zugehörigen Flugdauern FD_{WP1} und FD_{WP2} zu erfassen und abzuspeichern. Alternativ zu der Erfassung der Extremwerte WP_1 und WP_2 ist es auch möglich, die Grenze zwischen dem Teilhubbereich TH und dem Übergangsbereich ÜB dadurch zu erfassen, dass ein lokales Maximum der Kennlinie 25 ermittelt wird. In entsprechender Weise kann die Grenze zwischen dem Übergangsbereich ÜB und dem Vollhubbereich VH durch die Ermittlung eines lokalen Minimums erfasst und festgelegt werden.

[0032] In Figur 2 ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, bei dem eine Hysterese beim Ausblenden des Übergangsbereichs ÜB vorgesehen ist, so dass der Wechsel von dem ersten Abschnitt 25.1 der Kennlinie zum dritten Abschnitt 25.3 der Kennlinie weniger häufig durchgeführt wird und sich dadurch ein stabileres Verfahren ergibt.

[0033] Ausgehend von kleinen Ansteuerdauern t_A sehr viel kleiner T_1, wird der Abschnitt 25.1 der Kennlinie für die Berechnung der Flugdauer FD herangezogen. Dies wird so lange durchgeführt, bis sich die Ansteuerdauer t_A dem Wert T_1 annähert. Genauer gesagt, wird die aus der Ansteuerdauer resultierende Flugdauer FD dahingehend überprüft, ob die gewünschte Flugdauer, die zur Erzielung einer vorgegebenen Einspritzmenge erforderlich ist, kleiner als die Flugdauer FD_{WP1} am lokalen Maximum abzüglich eines ersten Mindestabstands ΔFD_1 ist. Der erste Mindestabstand ΔFD_1 ist in Figur 4 eingetragen. Dieser Wechsel vom ersten Teil 25.1 zum dritten Teil 25.3 der Kennlinie bei zunehmender Ansteuerdauer t_A ist durch einen ersten Pfeil 27 in Figur 4 angedeutet. Für weiter zunehmende Einspritzmengen wird dann die Ansteuerdauer t_A mit Hilfe des dritten Bereichs 25.3 der Kennlinie 25 berechnet.

[0034] Wenn die Einspritzmenge reduziert werden soll, führt dies naturgemäß zu verkürzten Ansteuerdauern t_A. Da sich das Verfahren in diesem Zustand auf den dritten Abschnitt 25.3 der Kennlinie stützt, wandert mit zunehmender geringerer Einspritzmenge die Ansteuerdauer t_A hin zu kleineren Werten in Richtung von T_2. Dabei ist T_2 die Ansteuerdauer, die sich ergibt, wenn das lokale Minimum WP_2 der Kennlinie angesteuert wird. Sobald die Ansteuerdauer t_A beziehungsweise die daraus resultierende Flugdauer FD kleiner ist als die Flugdauer FD_{WP2} am zweiten Wendepunkt zuzüglich eines zweiten Mindestabstands $\Delta FD_{,2}$, wird wieder auf den ersten Be-

reich 25.1 der Kennlinie gewechselt. Dieser Wechsel ist durch einen zweiten Pfeil 29 angedeutet. Da der erste Pfeil 27 und der zweite Pfeil 29 in Richtung der Y-Achse beabstandet zueinander sind, ergibt sich dadurch eine Hysterese des Verfahrens beziehungsweise beim Umschalten oder dem Wechsel von einem Bereich der Kennlinie zum anderen Bereich der Kennlinie, was die Stabilität des Verfahrens erhöht. Da der erste Mindestabstand $\Delta FD_{,1}$ und der zweite Mindestabstand $\Delta FD_{,2}$ jeweils von dem lokalen Maximum WP_1 beziehungsweise dem lokalen Minimum WP_2 abhängen, wird auch durch eine Neuermittlung der Extremwerte WP_1 und WP_2 die Hysterese automatisch angepasst, infolgedessen ist auch diese Hysteresefunktion über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine aktiv und zwar unabhängig von dem Drift der Kennlinie 25.

[0035] In Figur 5 ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens als Blockschaltbild dargestellt. In einem ersten Funktionsblock 31 wird die sogenannte Vorsteuerung des Einspritzventils vorgenommen. In einem ersten Entscheidungsblock 33 wird abgefragt, ob ein erstes lokales Maximum und ein zweites lokales Minimum vorhanden sind. Wenn diese Abfrage mit nein beantwortet wird, wird in einem zweiten Funktionsblock 35 der Übergangsbereich ÜB der Kennlinie vermessen.

[0036] Dies erfolgt dadurch, dass das Einspritzventil 10 mit verschiedenen Ansteuerdauern t_A angesteuert wird und die zugehörigen Flugdauern FD erfasst werden. Die Erfassung der Flugdauern kann nach einem aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren erfolgen. So kann man zum Beispiel die Stützstellen der Kennlinie im Normalbetrieb und erweitertem Kennlinien-Nutzbereich oder in einem Sondereinspritzmodus erfassen.

[0037] Durch die Erfassung der Flugdauern ergeben sich bei verschieden langen Ansteuerdauern Stützstellen einer aktuellen Kennlinie 25. Sobald ausreichend viele Stützstellen erfasst wurden, kann die so gebildete neue aktuelle Kennlinie dahingehend untersucht werden, wo ein lokales Maximum und ein lokales Minimum zu finden sind. Wenn das lokale Maximum $WP_{1,neu}$ und das lokale Minimum $WP_{2,neu}$ sich von den zuvor abgespeicherten Extrempunkten deutlich unterscheidet, hat eine Drift der Kennlinie 25 stattgefunden und es werden die neuen Werte für den Extrempunkt abgespeichert und das erfindungsgemäße Verfahren auf der Basis der neu abgespeicherten Extrempunkte durchgeführt. Wenn die Extrempunkte detektiert wurden, so dass die Abfrage in der Verzweigung 33 mit "ja" beantwortet werden kann, wird in einem zweiten Abfrageblock 37 abgefragt, ob eine zyklische Neuvermessung der Kennlinie 25 und Ermittlung der Extrempunkte beziehungsweise des Übergangsbereichs erforderlich ist. Wenn diese Abfrage mit "ja" beantwortet wird, verzweigt das Verfahren zum zweiten Funktionsblock 35 und es erfolgt eine Neuvermessung der Kennlinie und Ermittlung des Übergangsbereichs ÜB in Abhängigkeit der neu ermittelten Extrempunkte WP_1 und WP_2. Wenn die Abfrage im zweiten Verzweigungsblock 37 negativ ist, wird der Übergangsbereich ÜB in der Kennlinie übersprungen und es wird eine monotone Kennlinie aus den Bereichen 25.1 und 25.3 der Kennlinie 25 zusammengesetzt.

[0038] Mit Hilfe dieser monotonen Kennlinie 25, wie sie beispielsweise in der Figur 3 dargestellt ist, kann nun die Ansteuerung des Einspritzventils 10 erfolgen und über den gesamten Betriebsbereich des Einspritzventils eine sehr hohe Zumessgenauigkeit erreicht werden. Besonders vorteilhaft an dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass auch ein Drift des Einspritzventils erkannt und entsprechend durch eine geänderte/angepasste Definition des Übergangsbereichs ÜB und seiner Ausblendung erfolgt. Dadurch ist die Zumessgenauigkeit über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine nahezu konstant.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Ventils (10), insbesondere eines Kraftstoffeinspritzventils (10) einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, wobei das Kraftstoffeinspritzventil (10) mit mindestens einer Ansteuergröße, insbesondere einem Ansteuerstrom (I) und/oder einer Ansteuerspannung (U), während einer Ansteuerdauern (t_A) beaufschlagt wird, um einen Betriebszustand des Kraftstoffeinspritzventils (10) zu beeinflussen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerdauern (t_A) des Kraftstofffeinspritzventils (10) in einem Übergangsbereich (T_{WP2}-T_{WP1}) ausgeblendet werden, wobei der Übergangsbereich (T_{WP2}-T_{WP1}) von einem lokalen Maximum (WP1) und einem lokalen Minimum (WP2) einer Kennlinie (25) der Flugdauer (FD) eines Ventilglieds des Kraftstofffeinspritzventils (10) in Abhängigkeit der Ansteuerdauer (t_A) begrenzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das lokale Maximum (WP_1) und/oder das lokale Minimum (WP_2) der Kennlinie (25) des Kraftstoffeinspritzventils (10) ermittelt wird, indem die zu verschiedenen Ansteuerdauern ($t_{A,i}$) gehörenden Flugdauern (FD_i) ermittelt werden und die Kennlinie (25) in Bereiche mit monotoner Änderung der Flugdauern (FD_i) bei geänderten Ansteuerdauern ($t_{A,i}$), insbesondere einen Teilhubbereich (TH mit $0 < t_A < T_1$), einen Übergangsbereich (ÜB mit $T_1 < t_A < T_2$) und einen Vollhubbereich (VH mit $T_2 < t_A$), unterteilt wird, dass der erste Wendepunkt (WP_1) am Übergang (T_1, $FD_{WP,1}$) zwischen dem Teilhubbereich (TH) und dem Übergangsbereich (ÜB) liegt, und dass der zweite Wendepunkt (WP_2) am Übergang (T_2, $FD_{WP,2}$) zwischen dem Übergangsbereich (ÜB) und dem Vollhubbereich (VH) liegt.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass dem lokalen Maximum (WP_1) eine Flugdauer (FD_{WP1}) zugeordnet ist, und dass dem lokalen Minimum (WP_2) eine Flugdauer (FD_{WP2}) zugeordnet ist, und dass die Flugdauer (FD_{WP1}) am lokalen Maximum (WP1) größer als die Flugdauer (FD_{WP2}) am zweiten lokalen Minimum (WP_2) ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Wechsel von der Verwendung der Kennlinie (25.1) im Teilhubbereich (TH) zu der Kennlinie (25.3) im Vollhubbereich (VH) erfolgt, wenn die gewünschte Flugdauer (FD) größer als die Flugdauer (FD_{WP2}) am lokalen Minimum (WP_2) und kleiner als die Flugdauer (FD_{WP1}) am lokalen Maximum (WP_1) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Wechsel von der Verwendung der Kennlinie (25.1) im Teilhubbereich (TH) zu der Kennlinie (25.3) im Vollhubbereich (VH) erfolgt, wenn die gewünschte Flugdauer (FD) größer als die Flugdauer (FD_{WP1}) am lokalen Maximum (WP_1) abzüglich eines ersten Mindestabstands ($\Delta FD,1$) ist ($FD > [FD_{WP1}-\Delta FD,1]$).

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Wechsel von der Verwendung der Kennlinie (25.3) im Vollhubbereich (VH) zu der Kennlinie (25.1) im Teilhubbereich (TH) erfolgt, wenn die gewünschte Flugdauer (FD) kleiner als die Flugdauer (FD_{WP2}) am lokalen Minimum (WP_2) zuzüglich eines zweiten Mindestabstands ($\Delta FD,2$) ist ($FD < [FD_{WP2} + \Delta FD,2]$).

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das lokale Maximum (WP_1) und/oder das lokale Maximum (WP_2) der Kennlinie (25) in regelmäßigen Abständen neu ermittelt werden.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mehrere Kraftstoffeinspritzventile (10) in einer Brennkraftmaschine vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Kraftstoffeinspritzventil (10) individuell nach einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche betrieben werden.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stützstellen der Kennlinien (25) während des Normal-Betriebs und/oder in einem Sonderbetriebs-Modus ermittelt werden.

10. Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 programmiert ist.

11. Steuergerät (22) für ein Kraftstoffeinspritzventil (10) einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist.

Claims

1. Method for operating a valve (10), in particular a fuel injection valve (10) of an internal combustion engine of a motor vehicle, wherein at least one actuation variable, in particular an actuation current (I) and/or an actuation voltage (U) are/is applied to the fuel injection valve (10) during an actuation period (t_A) in order to influence an operating state of the fuel injection valve (10), **characterized in that** the actuation periods (t_A) of the fuel injection valve (10) are gated out in a transition region (T_{WP2}-T_{WP1}), wherein the transition region (T_{WP2}-T_{WP1}) is bounded by
a local maximum (WP1) and
a local minimum (WP2) of a characteristic curve (25) of the flight time (FD) of a valve element of the fuel injection valve (10) as function of the actuation period (t_A).

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the local maximum (WP_1) and/or the local minimum (WP_2) of the characteristic curve (25) of the fuel injection valve (10) are/is determined **in that** the flight times (FD_i) which are associated with various actuation periods ($t_{A,i}$) are determined, and the characteristic curve (25) is divided into regions with a monotonous change of the flight times (FD_i) given changed actuation periods ($t_{A,i}$), in particular a partial stroke region (TH where $0 < t_A < T_1$), a transition region (ÜB where $T_1 < t_A < T_2$) and a full stroke region (VH where $T_2 < t_A$), **in that** the first inflection point (WP_1) at the transition (T_1, $FD_{WP,1}$) lies between the partial stroke region (TH) and the transition region (ÜB), and **in that** the second inflection point (WP_2) lies at the transition (T_2, $FD_{WP,2}$) between the transition region (ÜB) and the full stroke region (VH).

3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the local maximum (WP_1) is assigned a flight time (FD_{WP1}), and **in that** the local minimum (WP_2) is assigned a flight time (FD_{WP2}), and **in that** the flight time (FD_{WP1}) at the local maximum (WP1) is longer than the flight time (FD_{WP2}) at the second local minimum ((WP_2).

4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a changeover occurs from the use of the characteristic curve (25.1) in the partial stroke region (TH) to the characteristic curve (25.3) in the full stroke region (VH) if the desired flight time (FD) is longer than the flight time (FD_{WP2}) at the local

minimum (WP_2) and shorter than the flight time (FD_{WP1}) at the local maximum (WP_1).

5. Method according to Claim 4, **characterized in that** a changeover from the use of the characteristic curve (25.1) in the partial stroke region (TH) to the characteristic curve (25.3) in the full stroke region (VH) takes place when the desired flight time (FD) is longer than the flight time (FD_{WP1}) at the local maximum (WP_1) minus a first minimum interval ($\Delta FD,1$) (FD > [FD_{WP1} - $\Delta FD,1$]).

6. Method according to Claim 4 or 5, **characterized in that** a changeover from the use of the characteristic curve (25.3) in the full stroke region (VH) to the characteristic curve (25.1) in the partial stroke region (TH) takes place if the desired flight time (FD) is shorter than the flight time (FD_{WP2}) at the local minimum (WP_2) plus a second minimum interval ($\Delta FD,2$) (FD < [FD_{WP2} + $\Delta FD,2$]).

7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the local maximum (WP_1) and/or the local minimum (WP_2) of the characteristic curve (25) are newly determined at regular intervals.

8. Method according to one of the preceding claims, wherein a plurality of fuel injection valves (10) are provided in an internal combustion engine, **characterized in that** each fuel injection valve (10) is operated individually according to a method according to one of the preceding claims.

9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reference points for the characteristic curves (25) are determined during the normal operation and/or in a special operating mode.

10. Computer programme, **characterized in that** the said computer programme is programmed to carry out the method according to one of Claims 1 to 8.

11. Control device (22) for a fuel injection valve (10) of an internal combustion engine of a motor vehicle, **characterized in that** the said control device (22) is designed to carry out the method according to one of Claims 1 to 9.

Revendications

1. Procédé pour le fonctionnement d'une soupape (10), en particulier d'une soupape d'injection de carburant (10) d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile, la soupape d'injection de carburant (10) étant sollicitée avec au moins une grandeur de commande, en particulier un courant de commande (I) et/ou une tension de commande (U), pendant une durée de commande (t_A), afin d'influencer un état de fonctionnement de la soupape d'injection de carburant (10), **caractérisé en ce que** les durées de commande (t_A) de la soupape d'injection de carburant (10) sont supprimées dans une plage de transition (T_{WP2}-T_{WP1}), la plage de transition (T_{WP2}-T_{WP1}) étant limitée par un maximum local (WP1) et par un minimum local (WP2) d'une courbe caractéristique (25) de la durée de vol (FD) d'un organe de soupape de la soupape d'injection de carburant (10) en fonction de la durée de commande (t_A).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le maximum local (WP_1) et/ou le minimum local (WP_2) de la courbe caractéristique (25) de la soupape d'injection de carburant (10) sont déterminés en déterminant les durées de vol (FD_i) appartenant à différentes durées de commande ($t_{A,i}$) et la courbe caractéristique (25) est divisée en des régions de variation monotone des durées de vol (FD_i) dans le cas de durées de commande modifiées ($t_{A,i}$), en particulier en une plage de course partielle (TH avec $0<t_A<T_1$), une plage de transition (ÜB avec $T_1<t_A<T_2$) et une plage de course totale (VH avec $T_2<t_A$), **en ce que** le premier point d'inflexion (WP_1) se situe à la transition (T_1, $FD_{WP,1}$) entre la région de course partielle (TH) et la région de transition (ÜB), et **en ce que** le deuxième point d'inflexion (WP_2) se situe au niveau de la transition (T_2, $FD_{WP,2}$) entre la région de transition (ÜB) et la région de course totale (VH).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une durée de vol (FD_{WP1}) est associée au maximum local (WP_1) et **en ce qu'**une durée de vol (FD_{WP2}) est associée au minimum local (WP_2), et **en ce que** la durée de vol (FD_{WP1}) au niveau du maximum local (WP1) est supérieure à la durée de vol (FD_{WP2}) au niveau du deuxième minimum local (WP_2.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**un changement d'utilisation de la courbe caractéristique (25.1) dans la région de course partielle (TH) à la courbe caractéristique (25.3) dans la région de course totale (VH) se produit lorsque la durée de vol souhaitée (FD) est supérieure à la durée de vol (FD_{WP2}) au minimum local (WP_2) et est inférieure à la durée de vol (FD_{WP1}) au maximum local (WP_1).

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'**un changement d'utilisation de la courbe caractéristique (25.1) dans la région de course partielle (TH) à la courbe caractéristique (25.3) dans la région de course totale (VH) se produit lorsque la durée de vol souhaitée (FD) est supérieure à la durée de vol (FD_{WP1}) au maximum local (WP_1) moins une pre-

mière distance minimale (ΔFD,1) (FD > [FD_{WP1} - ΔFD,1]).

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce qu'**un changement d'utilisation de la courbe caractéristique (25.3) dans la région de course totale (VH) à la courbe caractéristique (25.1) dans la région de course partielle (TH) se produit lorsque la durée de vol souhaitée (FD) est inférieure à la durée de vol (FD_{WP2}) au minimum local (WP_2) plus une deuxième distance minimale (ΔFD,2) (FD < [FD_{WP2} + ΔFD,2]).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le maximum local (WP_1) et/ou le minimum local (WP_2) de la courbe caractéristique (25) sont déterminés à nouveau à intervalles réguliers.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel plusieurs soupapes d'injection de carburant (10) sont prévues dans un moteur à combustion interne, **caractérisé en ce que** chaque soupape d'injection de carburant (10) est entraînée individuellement selon un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les points nodaux des courbes caractéristiques (25) sont déterminés pendant le fonctionnement normal et/ou pendant un mode de fonctionnement spécial.

10. Programme informatique, **caractérisé en ce qu'**il est programmé pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

11. Appareil de commande (22) pour une soupape d'injection de carburant (10) d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile, **caractérisé en ce qu'**il est réalisé pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

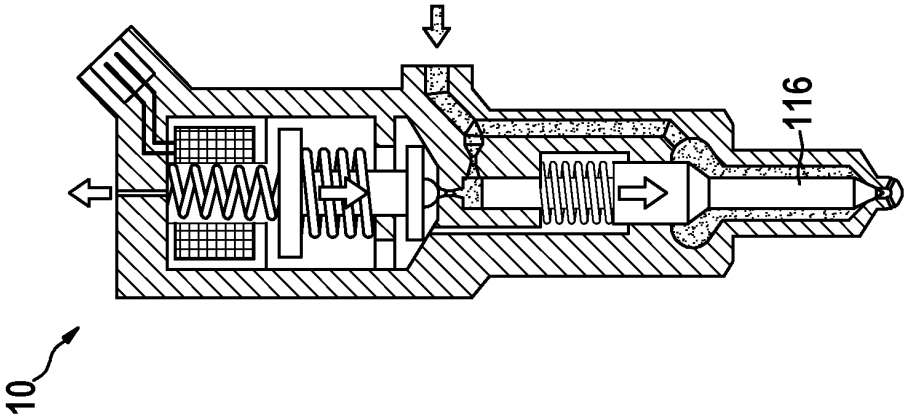


Fig. 1c

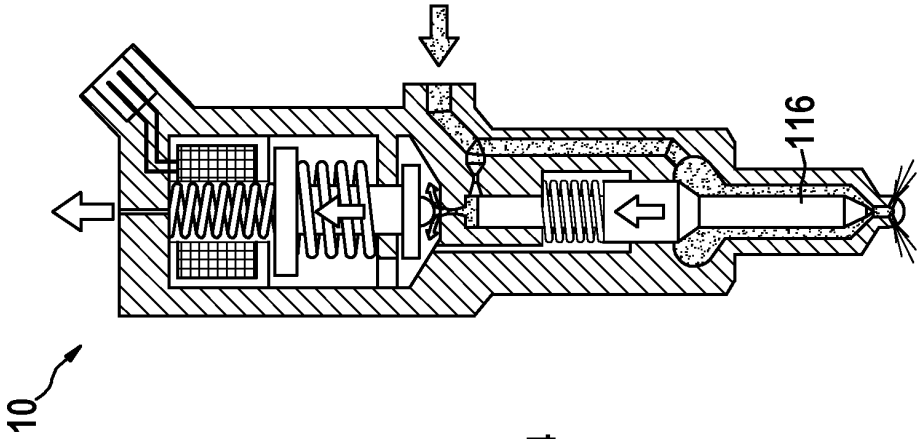


Fig. 1b

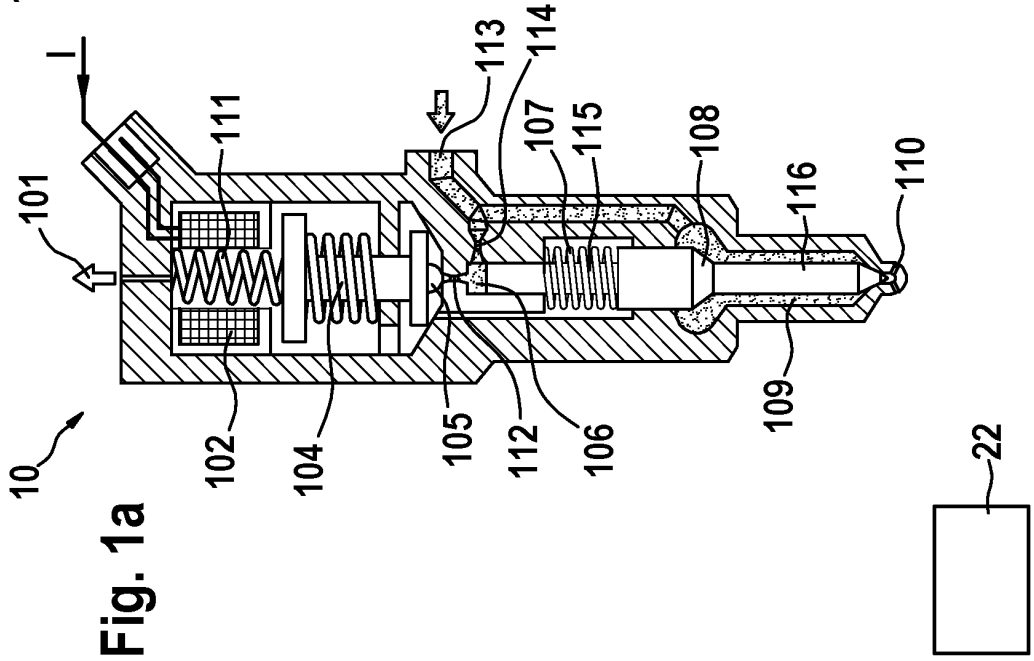


Fig. 1a

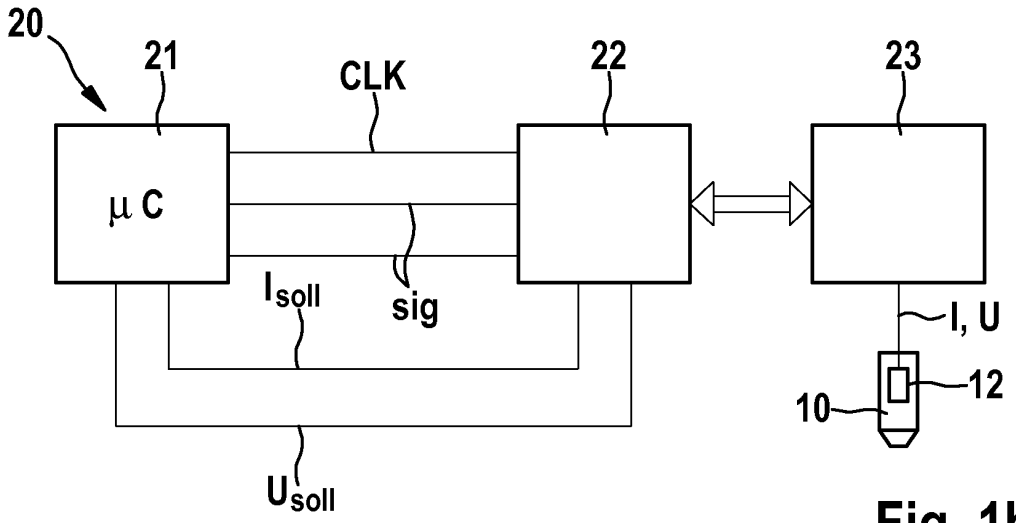

20
21
CLK
22
23
µ C
I soll
sig
I, U
12
10
U soll

Fig. 1b

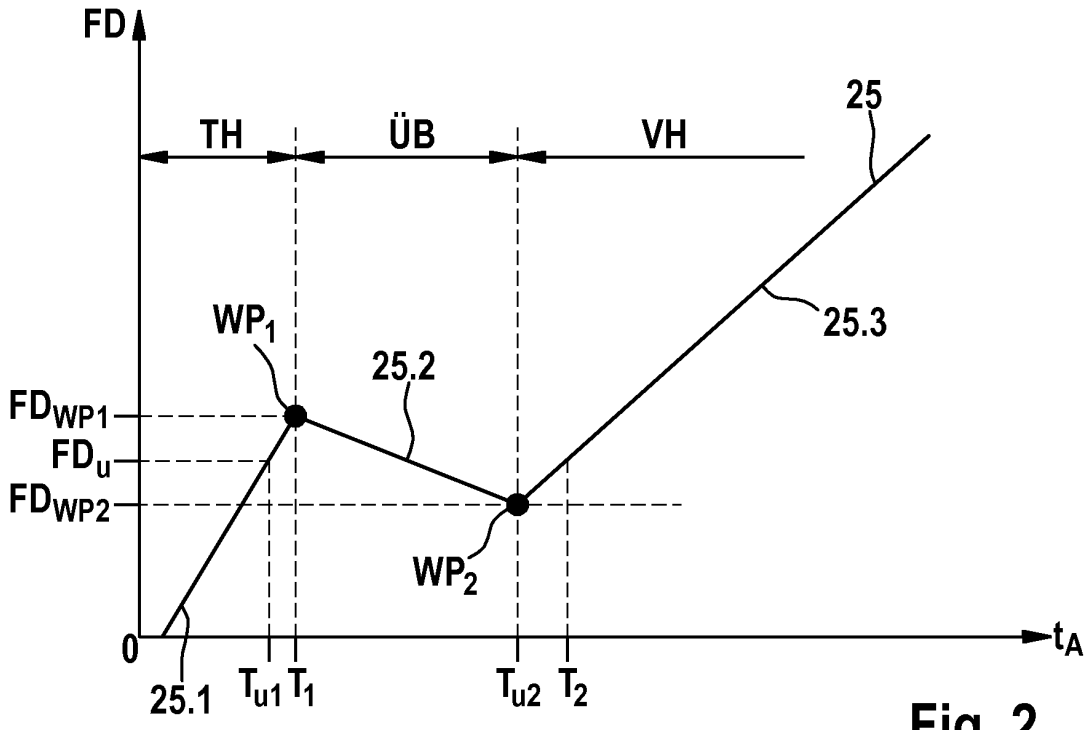

FD
TH
ÜB
VH
25
WP1
25.2
25.3
FDWP1
FDu
FDWP2
WP2
0
tA
25.1
Tu1
T1
Tu2
T2

Fig. 2

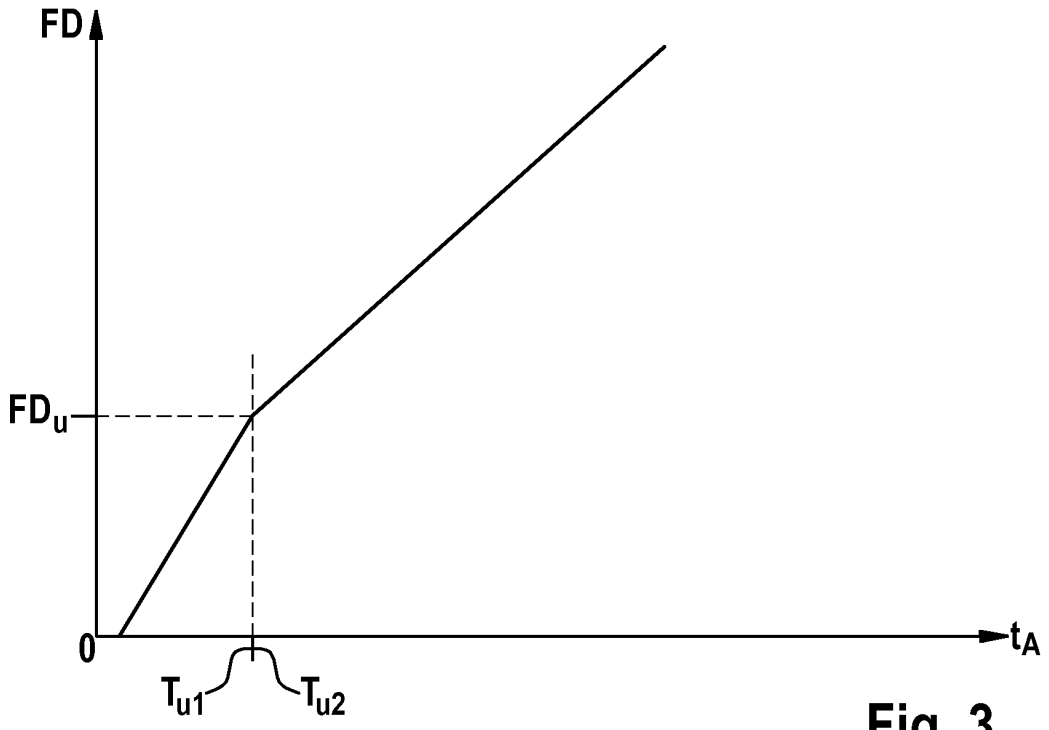

FD
FDu
0
tA
Tu1
Tu2

Fig. 3

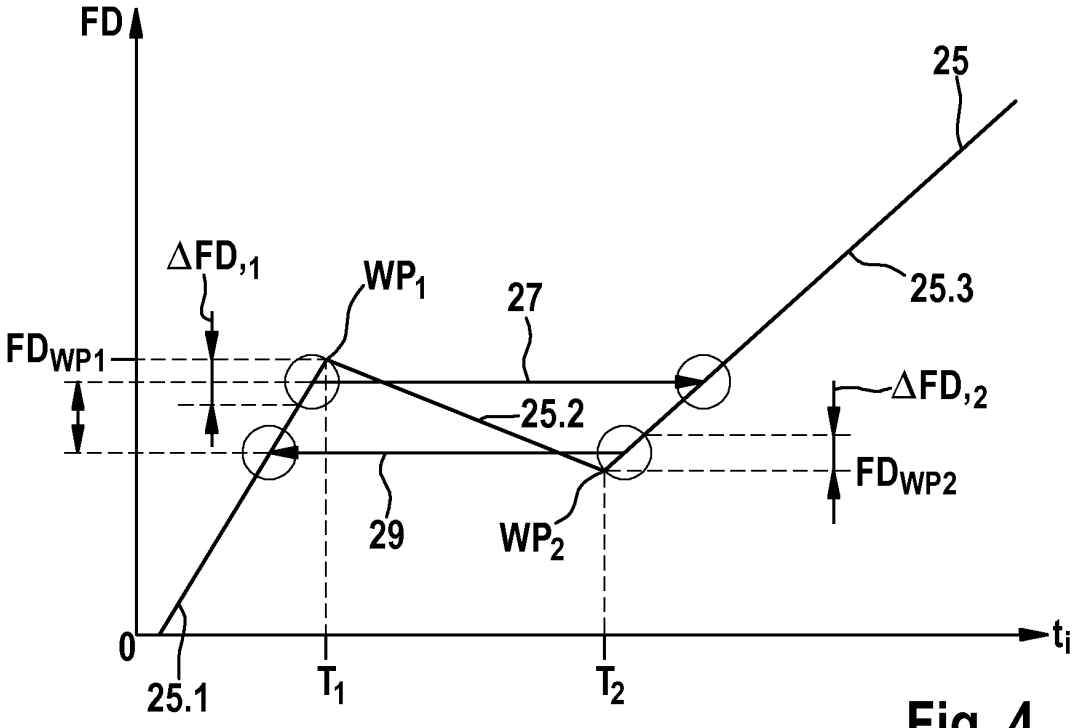

FD
25
ΔFD,1
WP1
27
25.3
FDWP1
ΔFD,2
25.2
FDWP2
29
WP2
0
ti
25.1
T1
T2

Fig. 4

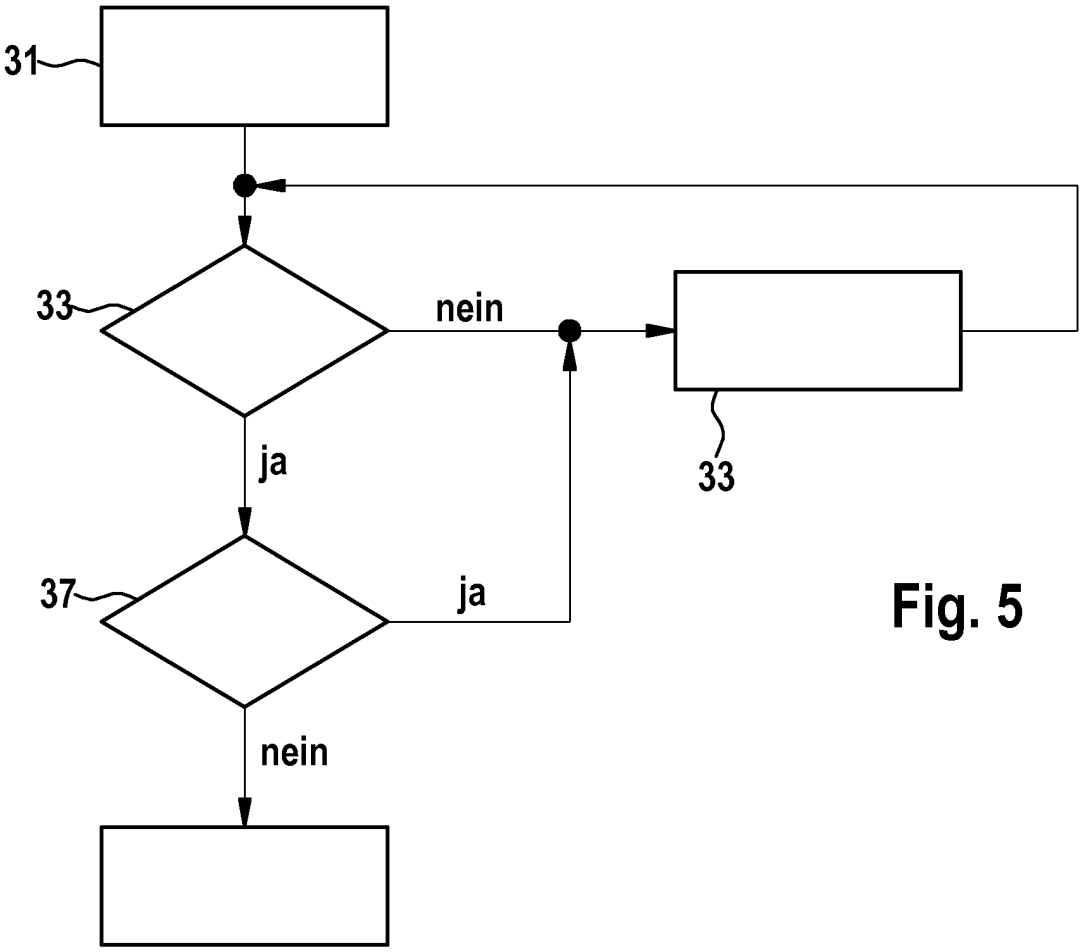


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102004015745 A1 **[0002] [0009]**
- DE 3942836 A1 **[0002]**