

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Februar 2005 (17.02.2005)

PCT

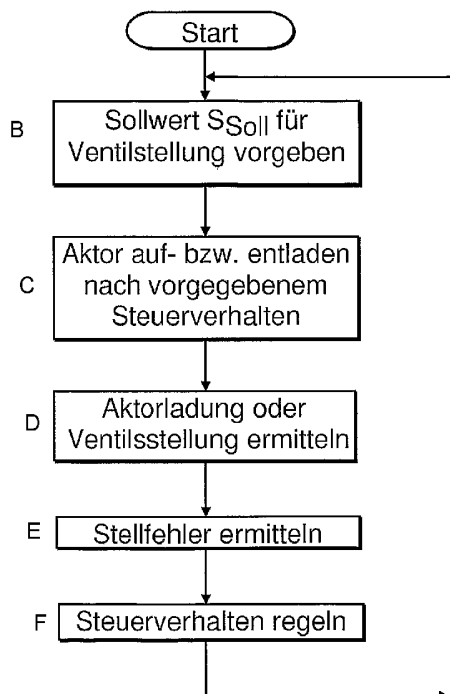
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/014991 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/20
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/051467
- (22) Internationales Anmeldedatum:
13. Juli 2004 (13.07.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 36 606.7 8. August 2003 (08.08.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ASPELMAYR, Josef [AT/DE]; An der Irlter Höhe 34, 93055 Regensburg (DE). FALKE, Bernd [DE/DE]; Haidstr. 23, 93080 Pentling (DE). FRANZ, Thomas [DE/DE]; Höfener Str. 152 a, 90431 Nürnberg (DE). LÖBUS, Diego [DE/DE]; Zollerstr. 4a, 93053 Regensburg (DE). SCHROD, Walter [DE/DE]; Nittenauer Str. 8, 93057 Regensburg (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ADJUSTMENT METHOD AND ADJUSTMENT DEVICE FOR AN ACTUATOR

(54) Bezeichnung: STELLVERFAHREN UND STELLVORRICHTUNG FÜR EINEN AKTOR



- B FIX SET VALUE S_{SOLL} FOR VALVE POSITION
- C CHARGE OR DISCHARGE ACTUATOR ACCORDING TO GIVEN CONTROL PROCEDURE
- D DETERMINED ACTUATOR CHARGE OR VALVE POSITION
- E DETERMINE SET ERROR
- F REGULATE CONTROL PROCEDURE

(57) Abstract: The invention relates to an adjustment method and an adjustment device for an actuator of a valve, in particular, for a piezoelectric actuator of an injection valve for an internal combustion engine, whereby the actuator is charged to various charge states, following a given control procedure, which each correspond to a position of the valve. According to the invention, a regulation of the control procedure is carried out, depending on a regulation parameter, whereby the regulation parameter describes the charge state of the actuator and/or the valve position and, in addition, an external measured parameter, namely the pressure on the valve.

(57) Zusammenfassung: Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, wobei der Aktor gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten auf verschiedene Ladungszustände geladen wird, die jeweils einer Stellung des Ventils entsprechen. Es wird vorgeschlagen, dass eine Regelung des Steuerverhaltens in Abhängigkeit von einer Regelungsgröße vorgenommen wird, wobei die Regelungsgröße den Ladungszustand des Aktors und/oder die Ventilstellung und zusätzlich eine externe Messgröße, die nämlich der Druck an dem Ventil ist, wieder gibt.

WO 2005/014991 A1



FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Stellverfahren und Stellvorrichtung für einen Aktor

- 5 Die Erfindung betrifft ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 8.
- 10 In modernen Einspritzanlagen für Brennkraftmaschinen werden piezoelektrische Aktoren als Stellglieder für Einspritzventile eingesetzt, was im Vergleich zu herkömmlichen Magnetventilen eine hochdynamische Steuerung des Einspritzvorgangs ermöglicht. Der Hub eines derartigen piezoelektrischen Aktors und damit die Ventilstellung des zugehörigen Einspritzventils hängt von dem Ladungszustand ab, so dass der piezoelektrische Aktor entsprechend dem gewünschten Hub aufgeladen bzw. entladen werden muss.
- 20 Um den Verbrennungsverlauf in einer Brennkraftmaschine zu optimieren, ist es wünschenswert, dass der Kraftstoff in einem Arbeitstakt der Brennkraftmaschine in mehrere Portionen aufgeteilt werden kann. Um mit einem piezoelektrischen Aktor mehrere Voreinspritzungen sehr kleiner Kraftstoffmengen und darauffolgend eine Haupteinspritzung sowie bei Bedarf mehrere Nacheinspritzungen in schneller Abfolge darstellen zu können, muss der Aktor sehr schnell auf unterschiedliche Ladungszustände aufgeladen bzw. entladen werden. Zwischen den einzelnen Einspritzungen eines Arbeitstaktes sollte die Möglichkeit bestehen, den Aktor nicht vollständig zu entladen, d.h. das Ventil in einer minimal geöffneten Stellung zu halten, um ein schnelleres Ansprechen des Aktors bei der nächsten Ansteuerung zu ermöglichen und um Druckgradienten im Injektor zu vermeiden, die eine schnelle Abfolge von Einspritzungen unmöglich machen würden.
- 35

Außerdem ist es wünschenswert, dass der Aktor über Zwischenstellungen, bei denen das Ventil teilweise geöffnet ist, bis zu einem bestimmten Hub aufgeladen oder entladen werden kann, um störende Geräuscentwicklungen und Vibrationen möglichst gering zu halten und um Verschleißerscheinungen am Aktor oder am Ventil zu minimieren.

Zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren entsprechend dem gewünschten Hub ist aus DE 199 44 733 A1 eine Treiberschaltung mit einem Transformator bekannt, wobei die Primärseite des Transformators über einen Ladeschalter mit einer Versorgungsspannung verbunden ist, während die Sekundärseite über einen Entladeschalter mit dem piezoelektrischen Aktor verbunden ist. Durch eine geeignete pulswertenmodulierte Ansteuerung des Ladeschalters und des Entladeschalters lässt sich der Ladezustand des piezoelektrischen Aktors entsprechend der gewünschten Stellung des Ventils einstellen, so dass das Einspritzventil zu den vorgegebenen Zeiten öffnet bzw. schließt. Bei der Ansteuerung eines bestimmten Hubs des Aktors zum Öffnen des Ventils auf einen Zwischenzustand, bei dem es teilweise geöffnet ist, wird eine Aktorkennlinie berücksichtigt, die einen Zusammenhang zwischen der auf den Aktor aufgebrauchten Ladung und dem Hub des Aktors darstellt.

Mit diesem Verfahren ist zwar eine Ansteuerung des Aktors auf einen bestimmten Hub möglich. Vor dem nächsten Öffnungszyklus des Ventils muss der Aktor allerdings vollständig entladen werden, wobei das Ventil geschlossen wird, um wieder einen definierten Ausgangszustand zu erreichen. Dies ist notwendig, da der Aktor beim Entladen nicht derselben Kennlinie folgt wie beim Laden. Gründe hierfür sind beispielweise die Systemhysterese des Aktors oder parasitäre Widerstände.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zu Grunde, piezoelektrische Einspritzventile direkt nacheinander und in schneller Abfolge auf beliebige Hübe exakt anzusteuern, um optimale Einspritzabfolgen zu ermöglichen. Dabei soll es möglich sein,

diese Hübe über beliebige Ansteuerwege zu erreichen, um Geräuschemissionen, Vibrationen und Verschleiß minimieren zu können.

- 5 Die Aufgabe wird durch ein Stellverfahren und eine Stellvorrichtung für einen piezoelektrischen Aktor gemäß den Ansprüchen 1 bzw. 8 gelöst.

Die Erfindung geht von der physikalischen Erkenntnis aus,
10 dass nicht nur beim Laden des piezoelektrischen Aktors eine Aktorkennlinie verwendet werden kann, sondern auch für das Entladen, wobei die beiden Aktorkennlinien über die Systemhysterese in Verbindung stehen. Dadurch ist es möglich, von jeder beliebigen Ventilstellung jede beliebige andere Ventil-
15 stellung direkt anzusteuern. Um dies zu ermöglichen, müssen die Aktorkennlinien und die Hysterese des Aktors genau bekannt sein, um die Steuerung zu regeln. Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass sich die von der Steuerung angenommenen Aktorkennlinien und die tatsächliche Hysterese
20 im laufenden Betrieb ändern können.

Das erfindungsgemäße Stellverfahren lädt oder entlädt den Aktor auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen. Die Steuerung der Aufladung bzw.
25 Entladung erfolgt dabei gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert für den Ladungszustand. Das Steuerungsverhalten wird in Abhängigkeit einer Regelgröße, die den Ladungszustand des Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt, geregelt.

30 Die Regelung des Steuerungsverhaltens kann grundsätzlich in Abhängigkeit mindestens einer Regelgröße erfolgen, wobei die oben genannten Größen nur Beispiele sind. So ist auch eine Regelung in Kombination mit verschiedenen anderen Regelgrößen
35 vorstellbar.

Vorzugsweise werden die im Rahmen der Regelung ermittelten Größen mit einem Sollwert verglichen. So kann die Abweichung der gemessenen Ventilstellung von der Sollstellung, also die Abweichung von dem Sollwert des letzten Lade-/Entlade-

5 vorgangs, dazu verwendet werden, die Parameter der verwendeten Aktorkennlinien den physikalischen Eigenschaften des Aktors anzupassen und außerdem kann die Soll/Ist-Abweichung beim nächsten Lade-/Entladevorgang ausgeglichen werden.

10 Die Regelungsgröße wird vorzugsweise in einer Steuerpause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt. Dabei ist als geeigneter Zeitpunkt jede mögliche Wartezeit zwischen dem Ansteuern verschiedener Ladungszustände vorstellbar. Dies ist von Vorteil, da dadurch die Ermitt-

15 lung der Regelgröße nicht im zeitkritischen Bereich der Ansteuerung stattfindet. Während einer Ansteuerung mit hoher Geschwindigkeit ist eine exakte Messung unter Umständen schwierig.

20 Vorteilhafterweise wird auch das Steuerungsverhalten in einer Steuerungsphase zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt. Dadurch kann das Ansteuern eines gewünschten Ladungszustandes mit sehr hoher Geschwindigkeit erfolgen, da während des Ansteuerns keine Regelung notwendig

25 ist. In einer Steuerpause kann in der zur Verfügung stehenden Zeit das Steuerungsverhalten, insbesondere die Aktorkennlinie und die Hysterese, neu berechnet werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Stellverfahren

30 darauf ausgelegt, dass der Aktor auch auf Ladungszustände, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen, aufgeladen und/oder entladen werden kann. Mit dem teilweisen Öffnen des Ventils können Voreinspritzungen vorgenommen werden. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn während dem Ansteuern

35 des vollständig geöffneten Zustands Zwischenzustände angefahren werden, auf denen das Ventil eine Zeit lang gehalten wird, um die Geräuschentwicklung und um Vibrationen zu mini-

mieren. Durch ein derartiges gestuftes Öffnen bzw. Schließen des Einspritzventils lassen sich auch die strömungsdynamischen Vorgänge beim Einspritzvorgang optimieren. Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Stellverfahrens ist dabei, dass auch
5 nach dem Ansteuern mehrerer Zwischenzustände (Laden/Entladen) die Ventilstellung noch exakt bekannt ist.

Vorzugsweise finden als Regelgrößen die Spannung am Aktor oder die Ladung des Aktors Verwendung. Diese Größen können
10 auf unterschiedliche Weise ermittelt werden. So kann die Aktorspannung direkt abgegriffen werden oder auch relativ zu einem Bezugsniveau gemessen werden, falls der Aktor mit einem Widerstand gegen Masse abgeschlossen ist. Die Ladung des Aktors kann beispielsweise aus dem Integral der aufgebracht
15 Stromstöße, wobei sowohl Lade- als auch Entladestrom zu berücksichtigen ist, gewonnen werden. Es sind jedoch auch andere Größen als Regelgrößen vorstellbar, beispielsweise die Temperatur des Aktors.

20 Vorteilhafterweise wird das Steuerungsverhalten beim Laden von einer vorgegebenen Ladekennlinie bestimmt. Die Ladekennlinie kann beispielsweise einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Ladezeit darstellen. Umso größer die aufzubringende Ladung ist, umso größer ist die Ladezeit bei Pulsen konstanter Frequenz. Dieser Zusammenhang ist
25 unter Umständen nicht linear, falls beispielsweise die Stärke der Stromstöße mit steigender Ladung des Aktors abnimmt. Die Ladekennlinie kann aber auch einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden Ladung und der Anzahl der Pulse, mit denen
30 der Aktor geladen wird, darstellen, wobei auch andere Zusammenhänge sinnvoll sein können. Dasselbe gilt auch für die Entladevorgänge, auch diese werden vorzugsweise durch eine oder mehrere unterschiedliche Entladekennlinien bestimmt. Dies ermöglicht das Ansteuern gewünschter Ventilstellungen
35 mit hoher und einstellbarer Geschwindigkeit. Außerdem kann vorteilhafterweise der Lade-/Entladevorgang in einer Lade-/Entladekurve über die Zeit eingestellt werden. In der Lade-

kurve wird beispielsweise festgelegt, dass während des Ladevorgangs das Ventil zu Beginn relativ langsam beschleunigt und zum Ende des Ladevorgangs relativ langsam gebremst wird, dazwischen jedoch mit hoher Geschwindigkeit bewegt wird. Solche über den Lade-/Entladevorgang variablen Geschwindigkeiten können vorzugsweise mit einer Pulsweitenmodulation der Ladungspulse gesteuert werden. Dies kann dazu dienen, hohe Druckgradienten zu vermeiden. Für unterschiedliche Lade-/Entladevorgänge können auch verschiedene Ladekurven Verwendung finden. Durch eine geeignete Wahl der Formen der Ladekurven kann die Geräuschemission, die Vibrationsanregung und der Verschleiß im Betrieb gesenkt werden. Die Lade-/Entladekennlinien, die Aktorkennlinien, die Hysterese und die Ladekurven können abrufbar in einer Speichereinheit gespeichert sein.

Die Regelung der Steuerung kann über eine Veränderung der Steilheit der Lade-/Entladekennlinie erfolgen. Dies könnte beispielsweise bedeuten, dass für eine bestimmte aufzubringende Ladung, entsprechend einem bestimmten Weg, pro Puls mehr Ladung aufgebracht wird. Dies kann vorteilhafterweise mit einer Pulsweitenmodulation der Stromstöße eingestellt werden. Analog können auch die Aktorkennlinien und die Ladekurven variiert werden.

Es ist jedoch auch alternativ vorstellbar, die Form der Lade-/Entladekennlinie zu variieren. Genauso können auch die Formen der Aktorkennlinien und der Ladekurven verändert werden.

Das Steuerungsverhalten kann auch durch die Ladedauer und/oder Entladedauer eines Lade-/Entladevorgangs bestimmt sein. Wird beispielsweise der Aktor mit Pulsen gleicher Stärke mit konstanter Frequenz geladen, so kann mit einer Verlängerung der Ladedauer entsprechend einer Erhöhung der Anzahl der pro Ladevorgang aufgebrauchten Pulse eine höhere Ladung, die in einem Vorgang aufgebracht wird, eingestellt werden. Mit einer Verkürzung der Ladedauer wird die aufgebrauchte La-

dung eines Ladevorganges verringert. Analoges gilt für den Entladevorgang. Neben den genannten Möglichkeiten zur Regelung der Steuerung entsprechen auch andere dem erfindungsgemäßen Gedanken. Insbesondere können Kombinationen der oben
5 genannten Regelungsmöglichkeiten eingesetzt werden.

In einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung werden auch externe Messgrößen für die Regelung erfasst. Mit externen Messgrößen werden hier solche Messgrößen bezeichnet,
10 die außerhalb des Bereichs Aktor mit dazugehöriger Treiberschaltung liegen. Dies kann beispielsweise der Druck am Injektor oder eine andere Messgröße aus dem Bereich der Brennkraftmaschine sein. Da der Druck am Ventil die Aktorkennlinie beeinflussen kann, ist es vorteilhaft, wenn die Regelung der
15 Steuerung des Aktors unter Berücksichtigung dieser Größe erfolgt. Es sind aber auch andere Regelgrößen vorstellbar.

Vorteilhafterweise wird als externe Messgröße bei der Regelung der Steuerung die Kühlflüssigkeitstemperatur der Brennkraftmaschine oder die Öltemperatur der Brennkraftmaschine
20 berücksichtigt.

Viele verschiedene Größen haben Einfluss auf das Hystereseverhalten und die Kennlinien des Aktors, weswegen es vorteilhaft sein kann, auch andere als die hier genannten Messgrößen
25 zur Regelung der Steuerung heranzuziehen.

Dem Stellverfahren zugehörig ist eine erfindungsgemäße Stellvorrichtung zur gesteuerten Aufladung und/oder Entladung eines Aktors eines Ventils auf vorgegebene Ladungszustände mit einem vorgegebenen Steuerverhalten. Zur Anpassung des Steuerungsverhaltens weist die Stellvorrichtung vorzugsweise einen Regler auf, der eingangsseitig mit dem Aktor oder dem Ventil verbunden ist, wobei die Regelgröße den Ladungszustand des
30 Aktors und/oder die Ventilstellung wiedergibt. Dadurch können beispielsweise Soll/Ist-Abweichungen ermittelt und für die
35 Regelung herangezogen werden. Der Regler weist vorzugsweise

eine Speichereinheit auf, in der vorangegangene Ladevorgänge und Abweichungen gespeichert sind, damit auch Informationen von weiter zurückliegenden Lade- oder Entladevorgängen bei der Regelung berücksichtigt werden können.

5

Vorteilhafterweise ist der Steuerung der Ladungsvorgänge ein Regler überlagert, der eine der ermittelten Regelgrößen und/oder die Soll/Ist-Abweichung einer Regelgröße als Einganggröße verwendet.

10

Der Regler nutzt vorzugsweise Steuerpausen zum diskontinuierlichen Erfassen der Regelgröße und/oder zum diskontinuierlichen Einstellen des Steuerungsverhaltens.

15

Vorteilhaft ist auch, einen Sensor zur Erfassung der Öltemperatur oder der Kühlflüssigkeitstemperatur des Fahrzeugs mit dem Regler zu verbinden, damit dieser eine oder mehrere dieser Größen als Regelgrößen verwenden kann. Dies sind nur Beispiele, auch eine eingangsseitige Verbindung des Reglers mit anderen Sensoren zur Erfassung weiterer Regelgrößen kann sinnvoll sein.

20

Besonders vorteilhaft eignet sich das erfindungsgemäße Stellverfahren mit zugehöriger Stellvorrichtung für Pumpe-Düse-Einspritzanlagen, jedoch ist die Erfindung auch mit Common-Rail-Einspritzanlagen realisierbar. Darüber hinaus ist die Erfindung auch bei einer Benzin-Direkteinspritzung (HPDI - High Pressure Direct Injection) anwendbar.

25

30

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

35

Figur 1 ein Schaltbild einer herkömmlichen Treiberschaltung zur elektrischen Ansteuerung eines Piezoak-

tors mit der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung,

- Figur 2a-2c drei beispielhafte Regelschaubilder für die Steuereinheit aus Figur 1 sowie
- 5 Figur 3 das erfindungsgemäße Steuerverfahren als Flussdiagramm.

Die in Figur 1 dargestellte Treiberschaltung dient zur elektrischen Ansteuerung piezoelektrischer Aktoren von Einspritz-

10 ventilen einer Brennkraftmaschine. Zur Vereinfachung ist hierbei nur ein einziger Aktor CP dargestellt, obwohl bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine entsprechend der Anzahl von Brennräumen mehrere Aktoren vorhanden sind. Die nicht dargestellten Aktoren sind jedoch identisch aufgebaut

15 und parallel zu dem Aktor CP angeschlossen, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet ist.

Der Aktor CP ist - wie die nicht dargestellten weiteren Aktoren für die anderen Brennräume der Brennkraftmaschine - in

20 Reihe mit einem Auswahlschalter 1 und einem Widerstand R1 geschaltet, wobei der Auswahlschalter 1 aus einer Parallelschaltung aus einem Schaltelement S1 und einer Diode D1 besteht. Der Auswahlschalter 1 ermöglicht es, einen der Aktoren für einen Lade- bzw. Entladevorgang auszuwählen, indem der

25 jeweilige Schalter S1 durchschaltet, während die entsprechenden Schalter für die anderen Aktoren trennen.

Die Stromversorgung der Treiberschaltung erfolgt durch einen Spannungswandler 2, der ausgangsseitig durch einen Kondensator C1 gepuffert ist und beim Einsatz in einem Kraftfahrzeug

30 von dem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung $V_{CC}=12V$ versorgt wird. Alternativ hierzu kann die Erfindung auch in einem Kraftfahrzeugbordnetz mit einer Netzspannung von 42V eingesetzt werden.

35

Zwischen dem Aktor CP und dem Spannungswandler 2 ist hierbei ein Transformator 3 mit einer Primärwicklung W1 und einer Se-

kundärwicklung W2 angeordnet, wobei die Primärwicklung W1 mit dem Spannungswandler 2 verbunden ist, während die Sekundärwicklung mit dem Aktor CP verbunden ist.

5 Die Primärwicklung W1 des Transformators 3 ist in Reihe mit einem Widerstand R2 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D2 und einem Ladeschalter S2 geschaltet. Zum Aufladen des Stellgliedes wird der Ladeschalter S2 beispielsweise mit vorgegebener Frequenz und vorgegebenem Tastverhältnis im Pulsbetrieb mit einer vorgegebenen Zahl von pulsweitenmodulierten Signalen bei der vorgegebenen Ladespannung angesteuert. Alternativ kann der Ladeschalter S2 beispielsweise auch mit variabler Frequenz angesteuert werden. Während des leitenden Zustandes des Ladeschalters S2 steigt der Strom durch die Primärspule W1 an und wird zu einem vorgegebenen Zeitpunkt durch Öffnen (nichtleitendsteuern) des Ladeschalters S2 abgebrochen. In dieser nichtleitenden Phase der Primärseite fließt über die Sekundärwicklung W2 bei einem dem Windungsverhältnis $W2/W1$ entsprechenden Strom eine impulsförmige Spannung, die von einem Kondensator C2 geglättet wird, und lädt den Aktor CP mit jedem Strompuls weiter auf, bis schließlich nach der vorgegebenen Zahl von Pulsen eine vorgegebene Aktorspannung in etwa erreicht ist. Der Sekundärkreis wird beim Laden des Aktors CP über den Auswahlshalter 1 geschlossen.

Die Sekundärwicklung W2 des Transformators 3 ist dagegen in Reihe mit einem Widerstand R3 und einer Parallelschaltung aus einer Diode D3 und einem Schalter S3 geschaltet.

30 Die Entladung des Aktors CP erfolgt ebenfalls dadurch, dass der Entladeschalter S3 pulsförmig leitend und nichtleitend gesteuert wird, wodurch die Aktorspannung sinkt. Dabei fließt der Strom von dem Aktor CP über die Sekundärwicklung W2, den Entladeschalter S3 und den Auswahlshalter 1 zurück zu dem Aktor CP.

Bei jedem Öffnen des Entladeschalters S3 wird ein Teil der Entladeenergie auf die Primärseite des Transformators 3 übertragen und in den Ladekondensator C1 rückgespeichert. Der Primärstromkreis schließt sich über die Diode D2.

5

Die Ansteuerung des Auswahl Schalters 1, des Ladeschalters S2 sowie des Entladeschalters S3 erfolgt durch eine Steuereinheit 4, die hier nur schematisch dargestellt ist.

10 Hierbei berücksichtigt die Steuereinheit 4 in der dargestellten Version den Ladestrom, den Entladestrom, den Aktorstrom, die Aktorspannung, die primärseitige Spannung sowie externe Regelgrößen wie beispielsweise die Öltemperatur $T_{\text{Öl}}$ und die Kühlflüssigkeitstemperatur $T_{\text{Kühlflüssigkeit}}$. Die Steuereinheit 4
15 weist deshalb mehrere Messeingänge auf, die mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Widerstände R1, R2 bzw. R3 sowie mit den spannungsseitigen Anschlüssen der Primärwicklung W1 bzw. der Sekundärwicklung W2 und mit Sensoren zur Ermittlung der anderen oben genannten Größen verbunden sind.

20

Die Figuren 2a bis 2c zeigen beispielhafte einfache Ausführungsformen des Regelkreises der Steuereinheit 4 aus Figur 1. Die Steuerung 5 erhält einen Sollwert S_{Soll} für die Aktorstellung, der einer Ventilstellung entspricht. Die Steuereinheit
25 lädt oder entlädt den Aktor 6 über die Treiberschaltung aus Figur 1 mit einer vorgegebenen Ladekennlinie entsprechend des Sollwerts S_{Soll} . Die Steuerung 5 in Figur 2a verwendet dazu eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem Weg und der aufzubringenden Ladung darstellt und eine Ladekennlinie, die einen Zusammenhang zwischen der aufzubringenden La-
30 dung und der Ladezeit T_{Lad} darstellt. Der Aktor 6 erreicht nach dem Lade-/Entladevorgang die Aktorstellung S_{Ist} , die in etwa der Vorgabe S_{Soll} entspricht. Die Differenz ΔS zwischen S_{Soll} und S_{Ist} verwendet ein Regler 7 um Parameter der Steuerung 5, insbesondere um die verwendete Aktorkennlinie dem er-
35 mittelten Aktorverhalten anzupassen. Beispielsweise wird dann der gleiche vorgegebene Aktorweg in einem der folgenden Lade-

/Entladevorgänge mit einer anderen Ladung und dementsprechend mit einer anderen Ladezeit T_{Lade} angesteuert.

In Figur 2b ist ein anderer einfacher Regelkreis dargestellt. Er entspricht weitgehend dem der Figur 2a, mit dem Unterschied, dass die Steuerung 5' hier eine Ladekennlinie verwendet, die einen Zusammenhang zwischen der Anzahl n der Pulse, mit denen der Aktor 6' während eines Lade-/Entladevorgangs angesteuert wird, und der vorgegebenen Ladung darstellt.

10

In Figur 2c erfolgt das Laden bzw. Entladen des Aktors 6'' mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Dadurch kann nicht nur die Steilheit der Ladekennlinie oder die Dauer des Ladevorgangs sondern auch die Form der Ladekennlinie durch den Regler 7'' beeinflusst werden. Außerdem ist hier beispielhaft ein Eingang für ein externes Sensorsignal dargestellt. Der Regler 7'' berücksichtigt bei der Regelung der Steuerung auch die Öltemperatur $T_{\text{Öl}}$ des die Steuereinheit enthaltenden Fahrzeugs.

20

Figur 3 enthält ein schematisches Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Stellverfahrens. Es wird ein Sollwert S_{Soll} für die Ventilstellung vorgegeben. Die Steuerung 5, 5', 5'' lädt/entlädt den Aktor CP, 6, 6', 6'' entsprechend des Sollwertes S_{Soll} . Dabei verwendet sie eine Aktorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen dem gewünschten Weg und der aufzubringenden Ladung (positiv oder negativ) herstellt. Mit der so für den Weg ermittelten Ladung wird entsprechend einer vorgegebenen Lade-/Entladekennlinie der Aktor CP, 6, 6', 6'' aufgeladen bzw. entladen. Dies erfolgt vorzugsweise mit pulsweitenmodulierten Stromstößen. Die vom Ventil tatsächlich angefahrne Stellung S_{Ist} wird direkt oder aus einer anderen Größe, beispielsweise der Aktorladung, ermittelt. Durch einen Vergleich des Sollwerts S_{Soll} mit dem Istwert S_{Ist} wird der Stellfehler ermittelt. Dieser Stellfehler wird verwendet, um das Steuerungsverhalten der Steuereinheit neu zu regeln. Hierbei können auch externe Regelgrößen berücksichtigt wer-

35

den. Das neu geregelte Steuerungsverhalten wirkt sich bei der nächsten Auf- bzw. Entladung des Aktors CP, 6, 6', 6'' auf einen neuen Sollwert $S_{\text{Soll}'}$ aus.

- 5 Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen.

Patentansprüche

1. Stellverfahren für einen Aktor eines Ventils, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6) eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:
- Aufladung und/oder Entladung des Aktors (CP, 6) auf verschiedene Ladungszustände, die jeweils einer Ventilstellung entsprechen,
 - 10 - Steuerung der Aufladung und/oder der Entladung gemäß einem vorgegebenen Steuerungsverhalten entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (S_{Soll}) für den Ladungszustand,
 - Ermittlung einer Regelgröße (S_{Ist}), die den Ladungszustand des Aktors (CP, 6) und/oder die Ventilstellung wiedergibt, wobei die Regelgröße (S_{Ist}) in einer Steuerpause zwischen 15 zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen ermittelt wird,
 - Regelung des Steuerungsverhaltens in Abhängigkeit von der Regelgröße (S_{Ist}), wobei das Steuerungsverhalten in einer 20 Steuerpause zwischen zwei aufeinander folgenden Auf- bzw. Entladungen eingestellt wird,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
- dass zusätzlich mindestens eine externe Messgröße erfasst und das Steuerungsverhalten in Abhängigkeit von der externen 25 Messgröße geregelt wird, wobei die externe Messgröße der Druck an dem Ventil ist.
2. Stellverfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
- 30 dass der Aktor (CP, 6) auch auf Ladungszustände aufgeladen und/oder entladen wird, die einer teilweise geöffneten Ventilstellung entsprechen.
3. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass zur Ermittlung der Regelgröße (S_{Ist}) die Spannung an dem Aktor (CP, 6) und/oder die Ladung des Aktors (CP, 6) gemessen wird.

- 5 4. Stellverfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Steuerungsverhalten für die Aufladung durch eine
vorgegebene Ladekennlinie und/oder das Steuerungsverhalten
10 für die Entladung durch eine vorgegebene Entladekennlinie be-
stimmt wird, wobei die Ladekennlinie und die Entladekennlinie
eine vorgegebene Form und Steilheit aufweisen.
5. Stellverfahren nach Anspruch 4,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass im Rahmen der Regelung die Steilheit der Ladekennlinie
und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.
6. Stellverfahren nach Anspruch 4 oder 5,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass im Rahmen der Regelung die Form der Ladekennlinie
und/oder der Entladekennlinie eingestellt wird.
7. Stellverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Steuerungsverhalten durch die Ladedauer und/oder die
Entladedauer (T_{Lade}) bestimmt wird, wobei im Rahmen der Rege-
lung die Ladedauer und/oder die Entladedauer (T_{Lade}) einge-
stellt wird.
- 30 8. Stellvorrichtung für mindestens einen Aktor eines Ven-
tils, insbesondere einen piezoelektrischen Aktor (CP, 6) ei-
nes Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine, mit
- einer Steuerung (5) zur gesteuerten Aufladung und/oder
35 Entladung des Aktors (CP, 6) auf vorgegebene Ladungszu-
stände entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (S_{Soll}),
wobei

16

- die Ladungszustände jeweils einer Ventilstellung entsprechen und
die Steuerung (5) ein vorgegebenes Steuerungsverhalten aufweist,
- 5 - einem Regler (7) zur Anpassung des Steuerungsverhaltens der Steuerung (5), wobei
der Regler (7) zur Erfassung einer Regelgröße (S_{Ist}) ein-
gangsseitig mit dem Aktor (CP, 6) und/oder dem Ventil ver-
bunden ist und
- 10 die Regelgröße (S_{Ist}) den Ladungszustand des Aktors (CP, 6) und/oder die Ventilstellung wiedergibt und
der Regler (7) die Regelgröße (S_{Ist}) diskontinuierlich je-
weils in Steuerpausen erfasst und das Steuerungsverhalten
diskontinuierlich jeweils in Steuerpausen einstellt,
- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass' der Regler (7) zur Erfassung mindestens einer weiteren
Regelgröße eingangsseitig mit mindestens einem Sensor verbun-
den ist, der den Druck an dem Ventil erfasst.
- 20 9. Vorrichtung nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Regler (7) der Steuerung (5) überlagert ist.

25

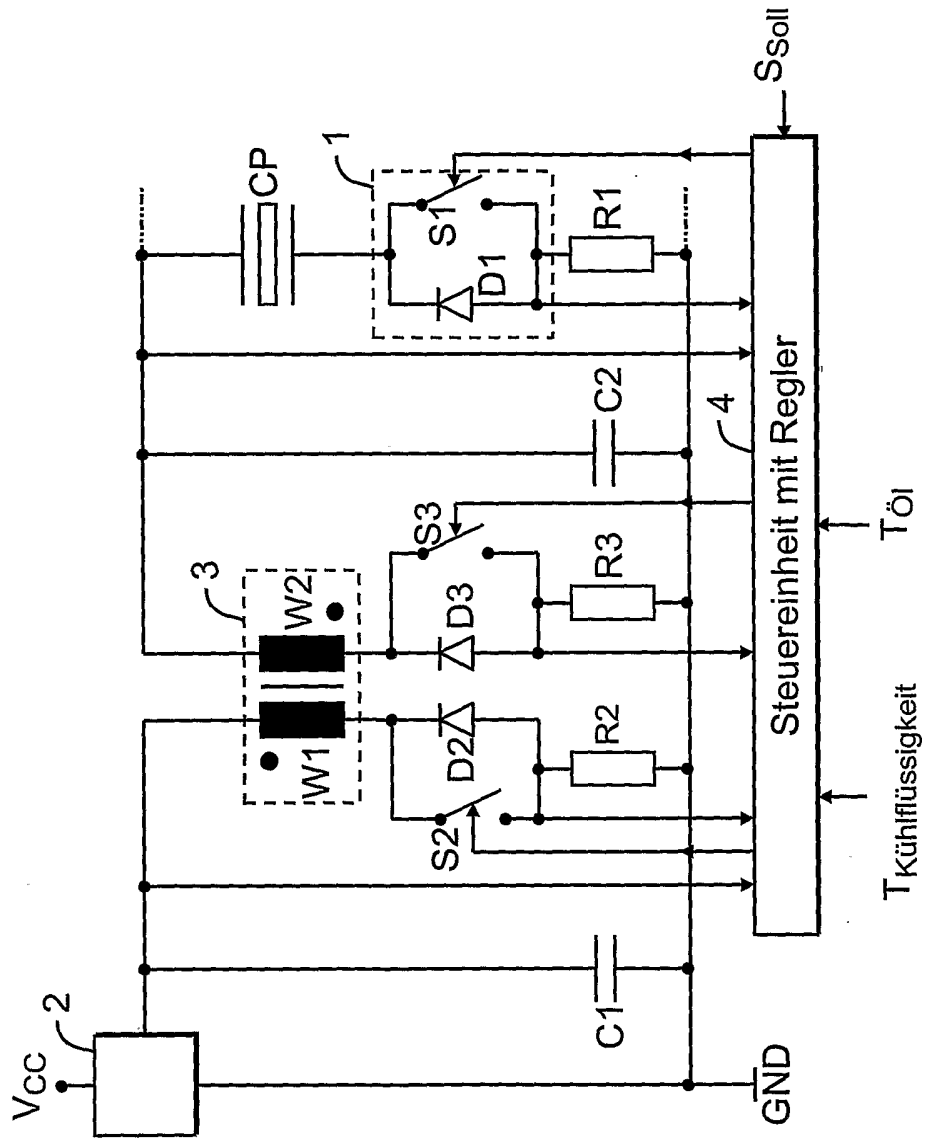


FIG 1

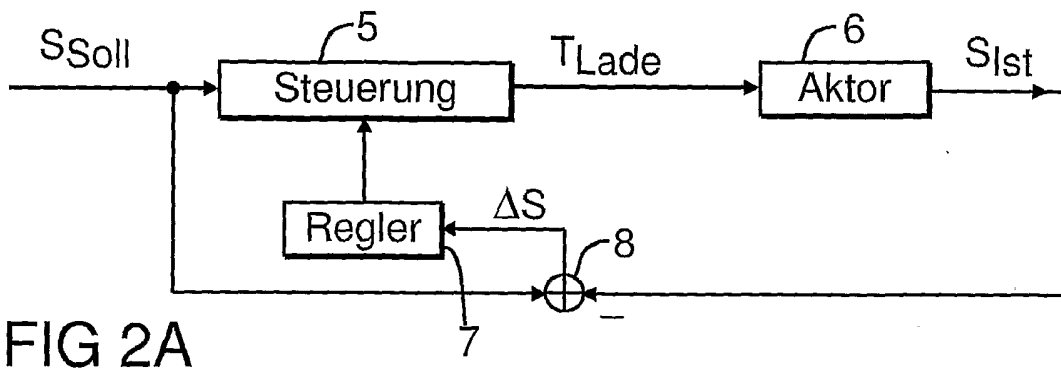


FIG 2A

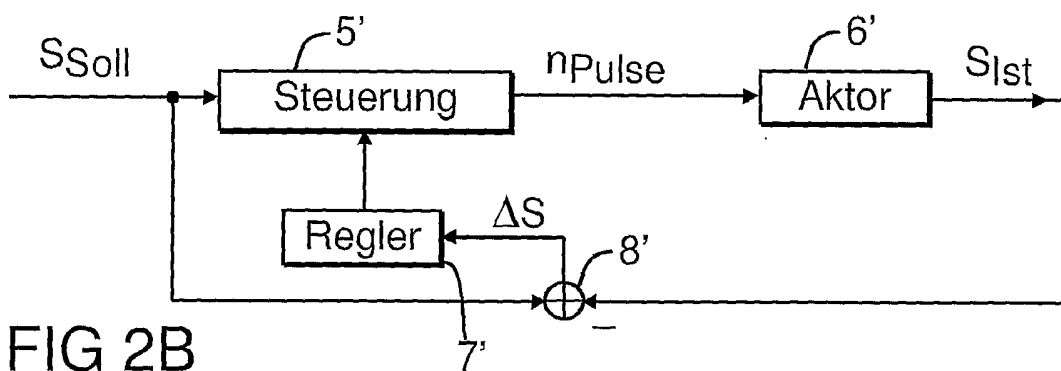


FIG 2B

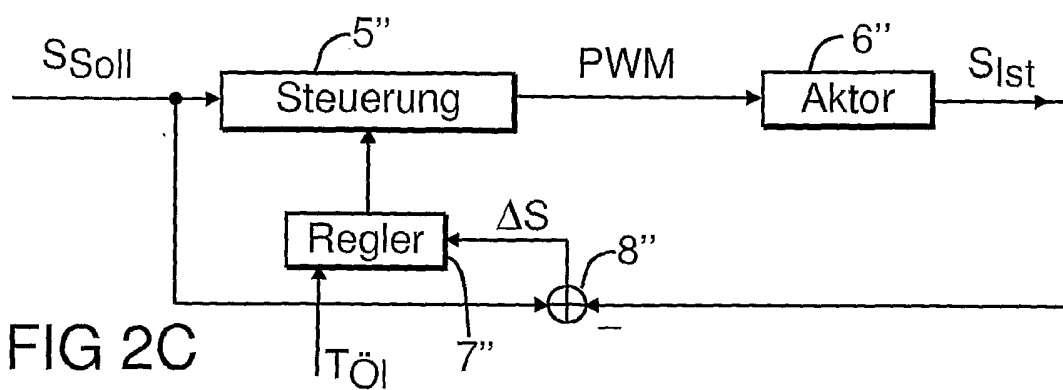


FIG 2C

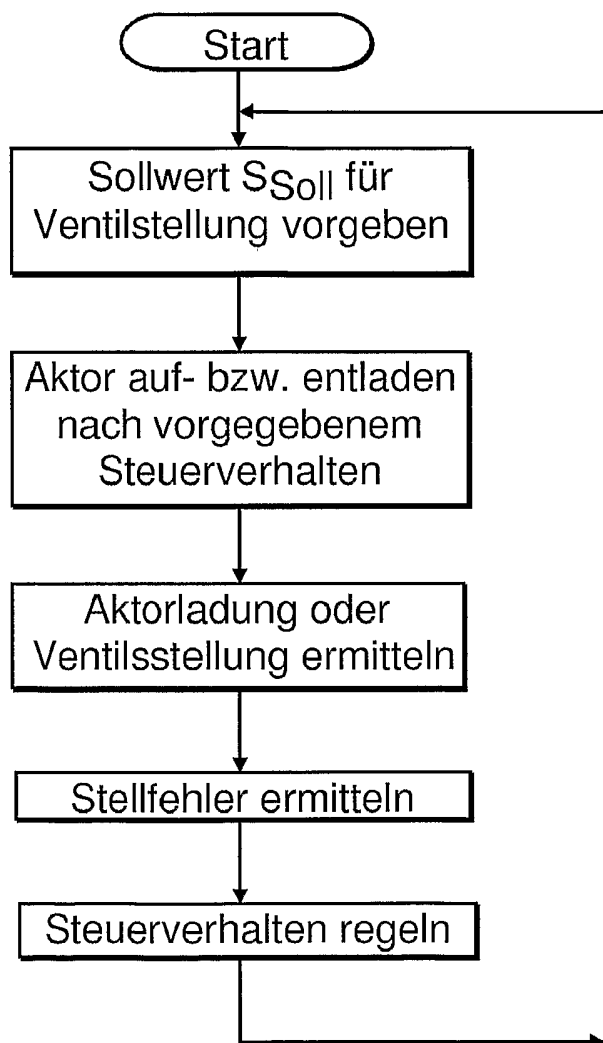


FIG 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/051467

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D H01L F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2002/011762 A1 (STEFANI ALEXANDER ET AL) 31 January 2002 (2002-01-31) paragraphs '0024!, '0028!, '0031!, '0036!; claims; figures	1-9
Y	US 6 563 252 B2 (SCHROD WALTER) 13 May 2003 (2003-05-13) cited in the application the whole document	1-9
Y	DE 198 41 460 A (SIEMENS AG) 16 March 2000 (2000-03-16) claims	1-9
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 October 2004

Date of mailing of the international search report

20/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ulivieri, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/051467

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 164 271 A (NISSAN MOTOR) 19 December 2001 (2001-12-19) paragraphs '0010!, '0012!, '0016! - '0019!, '0036!; claims; figures 1,4,5,8,14,23-27 -----	1-9
Y	DE 199 38 037 A (HITACHI LTD) 11 May 2000 (2000-05-11) column 14; figures 1,6 -----	1-9
Y	US 6 148 791 A (OHSUGA MINORU ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) column 4, lines 3-9; figures 1,9 -----	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/051467

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002011762 A1	31-01-2002	DE 19903555 A1 WO 0045046 A1 EP 1147307 A1 JP 2002535559 T	10-08-2000 03-08-2000 24-10-2001 22-10-2002
US 6563252 B2	05-09-2002	DE 19944733 A1 CA 2385080 A1 CN 1375115 T WO 0122502 A1 EP 1212799 A1 US 2002121958 A1	29-03-2001 29-03-2001 16-10-2002 29-03-2001 12-06-2002 05-09-2002
DE 19841460 A	16-03-2000	DE 19841460 A1 FR 2784204 A1	16-03-2000 07-04-2000
EP 1164271 A	19-12-2001	JP 2001323832 A EP 1164271 A2 US 2001045200 A1	22-11-2001 19-12-2001 29-11-2001
DE 19938037 A	11-05-2000	JP 2000054906 A DE 19938037 A1 US 6330510 B1 US 2001039473 A1	22-02-2000 11-05-2000 11-12-2001 08-11-2001
US 6148791 A	21-11-2000	JP 7189799 A JP 7189767 A US 5875761 A US 2002069850 A1 US 2003005908 A1 US 6343585 B1 DE 69416502 D1 DE 69416502 T2 DE 69430596 D1 DE 69430596 T2 DE 69433853 D1 EP 1136685 A2 EP 0661432 A2 EP 0890725 A2 US 5666916 A	28-07-1995 28-07-1995 02-03-1999 13-06-2002 09-01-2003 05-02-2002 25-03-1999 24-06-1999 13-06-2002 14-11-2002 22-07-2004 26-09-2001 05-07-1995 13-01-1999 16-09-1997

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F02D41/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F02D H01L F02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2002/011762 A1 (STEFANI ALEXANDER ET AL) 31. Januar 2002 (2002-01-31) Absätze '0024!', '0028!', '0031!', '0036!'; Ansprüche; Abbildungen	1-9
Y	US 6 563 252 B2 (SCHROD WALTER) 13. Mai 2003 (2003-05-13) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-9
Y	DE 198 41 460 A (SIEMENS AG) 16. März 2000 (2000-03-16) Ansprüche	1-9
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Oktober 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/10/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ulivieri, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 164 271 A (NISSAN MOTOR) 19. Dezember 2001 (2001-12-19) Absätze '0010!, '0012!, '0016! - '0019!, '0036!; Ansprüche; Abbildungen 1,4,5,8,14,23-27	1-9
Y	DE 199 38 037 A (HITACHI LTD) 11. Mai 2000 (2000-05-11) Spalte 14; Abbildungen 1,6	1-9
Y	US 6 148 791 A (OHSUGA MINORU ET AL) 21. November 2000 (2000-11-21) Spalte 4, Zeilen 3-9; Abbildungen 1,9	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/051467

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002011762 A1	31-01-2002	DE 19903555 A1	10-08-2000
		WO 0045046 A1	03-08-2000
		EP 1147307 A1	24-10-2001
		JP 2002535559 T	22-10-2002
US 6563252 B2	05-09-2002	DE 19944733 A1	29-03-2001
		CA 2385080 A1	29-03-2001
		CN 1375115 T	16-10-2002
		WO 0122502 A1	29-03-2001
		EP 1212799 A1	12-06-2002
		US 2002121958 A1	05-09-2002
DE 19841460 A	16-03-2000	DE 19841460 A1	16-03-2000
		FR 2784204 A1	07-04-2000
EP 1164271 A	19-12-2001	JP 2001323832 A	22-11-2001
		EP 1164271 A2	19-12-2001
		US 2001045200 A1	29-11-2001
DE 19938037 A	11-05-2000	JP 2000054906 A	22-02-2000
		DE 19938037 A1	11-05-2000
		US 6330510 B1	11-12-2001
		US 2001039473 A1	08-11-2001
US 6148791 A	21-11-2000	JP 7189799 A	28-07-1995
		JP 7189767 A	28-07-1995
		US 5875761 A	02-03-1999
		US 2002069850 A1	13-06-2002
		US 2003005908 A1	09-01-2003
		US 6343585 B1	05-02-2002
		DE 69416502 D1	25-03-1999
		DE 69416502 T2	24-06-1999
		DE 69430596 D1	13-06-2002
		DE 69430596 T2	14-11-2002
		DE 69433853 D1	22-07-2004
		EP 1136685 A2	26-09-2001
		EP 0661432 A2	05-07-1995
		EP 0890725 A2	13-01-1999
US 5666916 A	16-09-1997		