(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
24. September 2009 (24.09.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/115360 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16K 31/00 (2006.01) *F01L 9/04* (2006.01)
F02M 51/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/050849

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Januar 2009 (26.01.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102008000731.5 18. März 2008 (18.03.2008) DE
102008040412.8 15. Juli 2008 (15.07.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **CHASSAGNOUX, Violaine** [DE/DE]; Burgenlandstrasse 78b, 70469 Stuttgart (DE). **SCHUERG, Stefan** [DE/DE]; Engelbergstr. 9, 71636 Ludwigsburg (DE). **STOECKLEIN, Wolfgang** [DE/DE]; Haydnweg 2, 71332 Waiblingen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR BOUNCE SUPPRESSION OF A VALVE SWITCHED BY A PIEZO ACTUATOR

(54) **Bezeichnung**: VERFAHREN ZUR PRELLUNTERDRÜCKUNG EINES DURCH EINEN PIEZOAKTOR GESCHALTETEN VENTILS

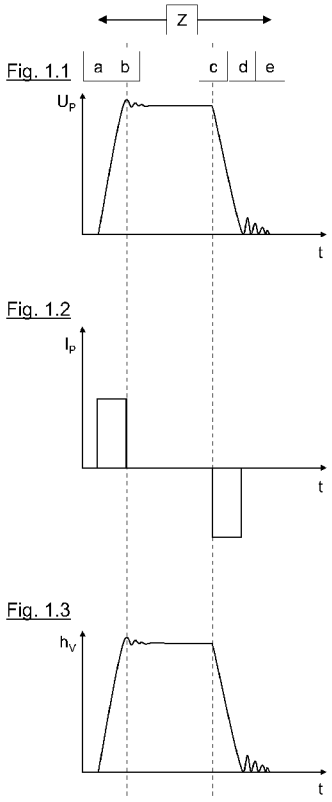


Fig. 1.1

Fig. 1.2

Fig. 1.3

(57) **Abstract**: The invention relates to a method for bounce suppression of a valve member operated by a piezo actuator during the closing phase of a valve in an internal combustion engine, comprising the following steps: partially discharging the piezo actuator, whereby the valve member is braked prior to reaching the valve seat, interrupting the discharging of the piezo actuator, whereby the piezo actuator is rammed by the valve member and electric charge is built up, again discharging the piezo actuator, wherein the residual charge after partial discharge and the charge built up during charging interruption is at least partially dissipated. According to the invention, it is proposed that the discharging process be interrupted for a brief period, whereupon the piezo actuator absorbs the kinetic energy of the valve member and the piezo actuator is recharged before an elastic recoil occurs so as to dissipate the energy absorbed by the piezo actuator.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor betriebenen Ventilglieds während der Schließphase eines Ventils in einem Verbrennungsmotor aufweisend die folgenden Schritte teilweises Entladen des Piezoaktors, wodurch das Ventilglied noch vor Erreichen des Ventilsitzes gebremst wird, Unterbrechen der Entladung des Piezoaktors, wodurch der Piezoaktor durch das Ventilglied gestaucht wird und elektrische Ladung aufbaut, erneutes Entladen des Piezoaktors, wobei die Restladung nach teilweisem Entladen und während der Ladungsunterbrechung aufgebaute Ladung zumindest teilweise abgeführt wird. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, den Entladevorgang kurzzeitig zu unterbrechen, wodurch der Piezoaktor die kinetische Energie des Ventilgliedes aufnimmt und noch bevor ein elastischer Rückstoß eintritt, wird der Piezoaktor erneut entladen, um die vom Piezoaktor aufgenommene Energie abzuleiten.

WO 2009/115360 A1

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, 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 (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Titel

Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor geschalteten Ventils

TECHNISCHES GEBIET

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor betriebenen Ventilglieds während der Schließphase in einem Verbrennungsmotor und eine korrespondierende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

STAND DER TECHNIK

In Verbrennungsmotoren, insbesondere in Otto- und Dieselmotoren, steuern Ventile die Zu- und Abfuhr der Verbrennungsgase, wobei die Ventilöffnungs- und -schließzeiten einen erheblichen Einfluss auf die Leistung, den Kraftstoffverbrauch, auf die schadstoffarme Verbrennung und auf die Laufeigenschaften des Verbrennungsmotors bei vorgegebener Drehzahl haben. Diese Ventile sind üblicher Weise als Tellerventile ausgebildet, wobei im geschlossenen Zustand des Ventils ein Ventilglied mit seinem Ventilteller in einem Ventilsitz passgenau und abdichtend aufgenommen ist. Zum Öffnen des Ventils wird der Ventilteller vom Ventilsitz abgehoben und dabei öffnet sich ein Ringspalt, durch welchen die Verbrennungsgase strömen können. Angetrieben wird das Tellerventil über die Ventilspindel, die Teil des Ventilglieds ist. Um die Ventile zu öffnen und zu schließen, werden in modernen Motoren Piezoaktoren eingesetzt, die mit hoher Geschwindigkeit ein Ventil öffnen und wieder schließen. Insbesondere beim schnellen Schließen des Tellerventils prallt der Ventilteller in den Ventilsitz, wobei die Dichtflächen der beiden Elemente aufeinander stoßen. Bei höheren Schließgeschwindigkeiten führt der Aufprall des Ventiltellers auf den Ventilsitz zu einem elastischen Stoß, wodurch das Tellerventil nicht schlagartig schließt, sondern nach dem ersten Schließen mehrfach geringfügig öffnet und erneut schließt. Dieses Aufprallen beeinträchtigt die Präzision des Schließvorganges und beeinflusst damit die oben erwähnten Eigenschaften des Verbrennungsmotors in unerwünschter Weise. Des Weiteren führt das Aufprallen des Ventiltellers auf den Ventilsitz zu einem schnelleren Materialverschleiß. Insbesondere das Auslassventil eines Verbrennungsmotors ist besonders korrosiven Bedingungen ausge-

setzt, weil die Dichtflächen am Ventilteller und am Ventilsitz den hohen Temperaturen und den korrosiven Wirkungen der heißen und abgebrannten Verbrennungsgase ausgesetzt sind.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung stellt Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor betriebenen Ventilglieds während der Schließphase in einem Verbrennungsmotor und eine korrespondierende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Verfügung.

Erfindungsgemäß wird der Piezoaktor elektronisch so gesteuert, dass dieser während des Schließvorgangs zunächst die kinetische Energie des Ventilgliedes kurz vor dem Aufprall aufnimmt, sich dabei selbst verformt, Ladung im Innern erzeugt und damit seine Rückstellkraft erhöht. Noch bevor der Piezoaktor in die elastische Rückstoßphase übergeht, wird die im Innern des Piezoaktors aufgebaute Ladung abgeführt, so dass das Ventilglied letztlich durch einen unelastischen Stoß beim Aufprall gedämpft und mit geringerer kinetischer Energie in den Ventilsitz geführt wird, wo der Ventilteller dann ohne die unerwünscht Prallbewegung verbleibt.

Das erfindungsgemäße Verfahren während der Schließphase des Ventils umfasst die Schritte: teilweises Entladen des Piezoaktors, wodurch das Ventilglied noch vor Erreichen des Ventilsitzes gebremst wird, Unterbrechen der Entladung des Piezoaktors, wodurch der Piezoaktor durch das Ventilglied gestaucht wird und elektrische Ladung aufbaut, erneutes Entladen des Piezoaktors, wobei im Piezoaktor verbliebene Restladung nach teilweisem Entladen und während der Ladungsunterbrechung aufgebaute Ladung zumindest teilweise abgeführt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor betriebenen Ventilglieds während der Schließphase in einem Verbrennungsmotor beinhaltet also eine Unterbrechung des Entladevorgangs des Piezoaktors beim Schließen des Ventils, wobei die Wahl der Zeitpunkte des Starts der Unterbrechung und des Endes der Unterbrechung maßgeblich für die optimale Prellunterdrückung sind.

In Ausgestaltung der Erfindung ist es alternativ möglich, den Vorgang innerhalb eines Ventilschließzyklus ein- bis mehrfach zu wiederholen, wodurch das Ventilglied stotternd in den Ventilsitz zurückgeführt wird. Dabei wird jeder Entladungsvorgang kontrolliert unterbrochen. In den jeweiligen Unterbrechungszeiten weist das Ventilglied eine durch den Unterbrechungszeitraum bestimmte Schließgeschwindigkeit auf und diese Geschwindigkeit sowie die Masse des Ventilglieds bestimmen die kinetische Energie des Ventilgliedes. Ab dem Zeit-

punkt der Unterbrechung wird das Ventilglied, das direkt oder Indirekt kraftschlüssig mit dem Piezoaktor verbunden ist, über die elastische Wirkung des Piezoaktors gebremst. Beim Bremsen wird der Piezoaktor durch den Impuls des Ventilgliedes verformt und dabei baut der Piezokristall im Piezoaktor eine Ladespannung auf, welche die Rückstellkraft des Piezokristalls erhöht. Noch bevor der Piezokristall selbst in eine Rückschwingung gerät und damit selbst als Prallfläche statt des Ventilsitzes dient, wird die im Piezoaktor aufgebaute Ladung entladen. Der durch die kinetische Energie des Ventilgliedes mechanisch gespannte Piezoaktor verliert durch die Entladung seine Rückstellkraft, wodurch die elastische Rückschwingung nicht eintritt. Insofern wirkt der Piezoaktor beim Unterbrechen der Entladung wie ein plastisches Prallkissen, in welchem die kinetische Energie in Verformungsenergie umgewandelt und abgeführt wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Die Erfindung wird anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert.
Es zeigen:

Figur 1.1	ein Diagramm des Ladespannungsverlaufes eines ungedämpften Piezoaktors über einen Ventilzyklus,
Figur 1.2	ein Diagramm des Lade- und Entladestroms eines ungedämpften Piezoaktors über denselben Ventilzyklus,
Figur 1.3	ein Diagramm des Ventilhubs des ungedämpften Piezoaktors über denselben Ventilzyklus,
Figur 2.1	ein Diagramm des Ladespannungsverlaufes eines Piezoaktors mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Prallunterdrückung,
Figur 2.2	ein Diagramm des Lade- und Entladestroms eines Piezoaktors über den Ventilzyklus nach Figur 2.1,
Figur 2.3	ein Diagramm des erfindungsgemäß prallunterdrückten Ventilhubes,
Figur 3.1 bi 3.6	ein Diagramm zur Verdeutlichung der automatischen Einstellung der Entladeunterbrechungszeiten,

Figur 4 ein Blockschaltbild einer einfachen Vorrichtung zum Laden und erfindungsgemäßen Entladen eines Piezoaktors, und

Figur 5 ein Blockschaltbild einer Regelvorrichtung als weitere Ausgestaltung der Vorrichtung gemäß Figur 4.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

In Figur 1 ist ein Diagramm des zeitlichen Verlaufes der Ladespannung U_P eines Piezoaktors über einen Ventilzyklus Z entlang der Zeit t dargestellt. Angefangen an Zeitpunkt a im Diagramm in Figur 1.3, an welchem der Piezoaktor nicht geladen ist und das Ventil schließt, der Ventilhub h_V zum Zeitpunkt a also null beträgt, beginnt der Ladestrom I_P gemäß dem Diagramm in Figur 1.2 zu fließen. Ladestrom I_P fließt mit konstantem Strom von Zeitpunkt a bis Zeitpunkt b. Innerhalb dieses Zeitintervalls a-b baut der Piezoaktor die Ladespannung U_P an Zeitpunkt b im Diagramm in Figur 1.1 auf. Durch die ungebremste Ausdehnung und durch die mit dem Piezoaktor kraftschlüssig verbundenen Massen, schwingt das Ventilglied gemäß Diagramm in Figur 1.3 noch um den Öffnungspunkt zum Zeitpunkt b und kurz danach hin- und her. Diese mechanische Schwingung spiegelt sich in der Ladespannung U_P in dem Ladespannungsdiagramm in Figur 1.1 wider. Das nun geöffnete Ventil verharrt in der offenen Position von Zeitpunkt b bis Zeitpunkt c. Innerhalb dieses Zeitintervalls b-c ändert sich weder der Ventilhub h_V, noch die Ladespannung U_P noch der Lade- und Entladestrom I_P, abgesehen von den eingangs erwähnten geringfügigen mechanischen Schwingungen des Ventilhubs h_V und der dazu korrespondierenden Ladespannung U_P. Bei Zeitpunkt c wird der Piezoaktor durch den negativen Stromimpuls I_P , der an Zeitpunkt c (Figur 1.2) einsetzt, von Zeitpunkt c bis Zeitpunkt d entladen. Innerhalb dieses Zeitintervalls c-d folgt der Ventilhub h_V der negativen Flanke in Figur 1.3 zwischen den Zeitpunkten c und d. Zum Zeitpunkt d trifft das Ventilglied gemäß Diagramm in Figur 1.3 auf Hubhöhe null, gleichbedeutend mit dem Aufprall des Ventiltellers in den Ventilsitz, wo es dann elastisch gegen die Rückstellkraft einer Ventilfeder oder des Piezoaktors zurückgestoßen wird und noch mehrfach aufprallt und wieder elastisch zurückgeworfen wird, bis diese Prallschwingung abgeebbt ist zum Zeitpunkt e im Diagramm in Figur 1.3. Diese nach dem Schließen stattfindende Prallschwingung spiegelt sich im Verlauf der Ladespannung U_P des Piezoaktors im Diagramm in Figur 1.1 wider. Diese Prallschwingung zwischen Zeitpunkt d und e nach Ende des Entladevorgangs zu unterdrücken, ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

In den Figuren 2.1, 2.2 und 2.3 ist der korrespondierende Verlauf der Ladespannung U_P des Piezoaktors in Figur 2.1, der Verlauf des Entladestroms in Figur 2.2 und der Ventilhub h_V

über einen Ventilzyklus Z dargestellt, wobei die Entladung des Piezoaktors erfindungsgemäß unterbrochen wird. Die Unterbrechung ist dargestellt auf der rechten Seite des Diagramms in Figur 2.2. Der Ventilzyklus beginnt bei Zeitpunkt f wie in den Figuren 1.1, 1.2 und 1.3 zum Zeitpunkt a und verläuft über Zeitpunkt g bis zum Zeitpunkt h. Hier unterscheidet sich der Zyklusteil f-g-h in den Figuren 2.1, 2.2 und 2.3 nicht vom Zyklusteil a-b-c in den Figuren 1.1, 1.2 und 1.3. Beginnend bei Zeitpunkt h beginnt der Entladevorgang des Piezoaktors durch einen ersten negativen Entladestromimpuls gemäß Diagramm in Figur 2.2 von Zeitpunkt h bis Zeitpunkt i. Innerhalb dieses Zeitintervalls h-i fällt gemäß Diagramm in Figur 2.1 die Ladespannung U_P des Piezoaktors auf ca. die Hälfte bis ein Drittel der maximalen Ladespannung ab. Korrespondierend dazu verringert sich der Ventilhub h_V in Figur 2.3 auf ebenfalls etwa die Hälfte bis ein Drittel des Maximalhubs. An dieser Stelle, zum Zeitpunkt i, wird der Entladestrom I_P (Figur 2.2) unterbrochen. In der Folge wird der Piezoaktor nicht weiter entladen und wird von nun an durch die kinetische Energie des Ventilglieds weiter verformt. Durch die Verformung, also die weitere Stauchung durch die gebremste Ventilgliedmasse, baut der Piezoaktor Ladung auf und erhöht seine Ladespannung U_P im Zeitintervall i-j (Figur 2.1). Diese Erhöhung der Ladespannung U_P erhöht die Rückstellkraft des Piezoaktors, wodurch das Ventilglied zunehmend stärker abgebremst wird. Der Piezoaktor nimmt also die kinetische Energie des Ventilglieds auf. Die Energieaufnahme ist begrenzt durch die Kapazität des Piezoaktors, also den maximal möglichen Ladungsaufbau innerhalb Piezoaktors. Reicht diese aus, das Ventilglied zunächst ganz zu stoppen, so würde an diesem Punkt die mechanische Spannung und die Ladung des Piezoaktors dazu führten, dass der Piezoaktor eine Rückschwingung unter Abbau der mechanischen Spannung und unter Abbau der inneren Ladung durchführt. Aber an exakt diesem Punkt, zu Zeitpunkt j, wird die innere Ladung des Piezoaktors durch einem erneuten Entladestromimpuls (Figur 2.2) im Zeitintervall j-k abgeführt, so dass die Rückschwingung unterbunden wird. Zwischen Zeitpunkt j und k wird das Ventilglied durch Entladen des Piezoaktors erneut zur Verringerung des Ventilhubs gebracht. Je nach Intensität dieser erneuten Beschleunigung oder noch restlicher in dem Ventilglied gebundener kinetischer Energie führt diese erneute Entladung und der erneute Rückhub zu einem sanfteren Aufprall des Ventiltellers in den Sitz, ohne dass es dadurch zu einem ein- oder mehrfachen Rückprall kommt.

In den Figuren 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 und 3.6 ist dargestellt, wie eine Vorrichtung zur Prellunterdrückung den richtigen Zeitpunkt der Unterbrechung des Ladevorganges und den richtigen Zeitpunkt zur erneuten Entladung des Piezoaktors findet. Figur 3.1 zeigt hierzu eine Diagrammschar vierer Verläufe der Ladespannung U_P des Piezoaktors, wobei Verlauf 1 in Figur 3.1 zum Entladediagramm in Figur 3.2 gehört, Verlauf 2 zu Entladediagramm in Figur 3.3, Verlauf 3 zu Entladediagramm in Figur 3.4 und Verlauf 4 zu Entladediagramm in Figur

3.5. Der zu den Verläufen korrespondierende Ventilhub ist im Diagramm in Figur 3.6 dargestellt.

Beginnend mit Verlauf 1 in Figur 3.1 startet der erste, noch nicht optimierte Entladevorgang an Zeitpunkt l und der Entladeimpuls dauert gemäß Figur 3.2 bis zum Zeitpunkt o. Durch diesen langen Entladeimpuls baut das Ventilglied eine hohe kinetische Energie auf und staucht den zum großen Teil entladenen Piezoaktor bis zur maximalen Stauchung und bis zum maximalen, von diesem Niveau der mechanischen Spannung des Piezoaktors aus möglichen Ladungsaufbau, korrespondierend zum Aufbau der Ladespannung U_P. Der erneute energieaufnehmende Ladungsaufbau ist aber zu gering, um die kinetische Energie des Ventilgliedes abzupuffern. Daher ist es notwendig, den ersten Entladeimpuls zu verkürzen, damit durch die am Ende des ersten Entladeimpuls noch mögliche Stauchung des Piezoaktors aufgebaute Ladung auf ein Mindestniveau angehoben wird. In diesem, nicht optimierten Entladevorgang nach Verlauf 1 in Figur 3.1 beginnt erst zum Zeitpunkt r ein neuer Entladeimpuls, durch welchen das sich die vorher auf einem zeitlich stabilen Niveau befindliche Ladespannung U_P abgebaut wird. Dieses Niveau im Zeitintervall p-r soll aber genau vermieden werden und wird daher von einer Regelelektronik detektiert und der erste Entladeimpuls wird darauf im nächsten Ventilzyklus verkürzt.

Beim nächsten Ventilzyklus beginnt der Entladevorgang erneut bei Zeitpunkt l, wird aber schon früher als zum Zeitpunkt o, nämlich an Zeitpunkt n unterbrochen. Der dann statt findende Ladungsaufbau in Verlauf 2 nach Zeitpunkt n ist entsprechend größer als nach Zeitpunkt o in Verlauf 1, weil der Piezoaktor noch genügende Kapazität zum Ladungsaufbau und zur mechanischen Stauchung aufweist. Danach stellen sich gleiche Verhältnisse unter Bildung eines zeitlichen Plateaus der Ladespannung U_P ein, wie im Verlauf 1 der Ladespannung U_P.

In einem noch späteren Ventilzyklus, das Entladediagramm ist in Figur 3.4 dargestellt, der Verlauf der Ladespannung U_P ist in Verlauf 3 in Figur 3.1 dargestellt, steigt die Ladespannung U_P beginnend an Zeitpunkt m bis zum Niveau in Zeitpunkt o in Figur 3.1, nachdem in Zeitpunkt o der Entladestrom unterbrochen wurde. Dieser Ladungsaufbau, repräsentiert durch Anstieg der Ladespannung U_P in Verlauf 3 , ist nun hoch genug, um die im Ventilglied gebundene kinetische Energie aufzunehmen, wobei der Betrag der ausreichenden kinetischen Energie vorbestimmt ist und nicht aus dem Diagramm des Ladespannungsverlaufs selbst ableitbar ist.

Um die Ausbildung des zeitlich gleich bleibenden Niveaus zu unterdrücken, wird an dieser Stelle der zweite Entladeimpuls so weit nach vorne geschoben, dass direkt im Anschluss an den maximalen Aufbau der Ladespannung an Zeitpunkt o, Verlauf 4 in Figur 3.1 und Entladediagramm 3.5, die erneute Entladung des Piezoaktors beginnt und die Ladespannung U_P sofort wieder auf ein Minimum absenkt.

Während der Optimierungsphase unterscheiden sich die Verläufe der Ventilhübe h_V nicht stark voneinander. Jedoch unterscheidet sich die vom Piezoaktor aufgenommene Last. Bei der optimierten Entladung wird der Piezoaktor im elastischen Bereich belastet und wieder entlastet.

In Figur 4 ist schließlich eine erfindungsgemäße Vorrichtung 10 zur Entladung eines Piezoaktors P dargestellt, der einen Lade-/ Entladeschalter S_1 und einen Schalter S_2 zur Unterbrechung des Entladevorgangs aufweist. Während der Entladung des Piezoaktors P durch den Schalter S_1 unterbricht Schalter S_2 den Entladevorgang um den Aufprall des Ventilgliedes zu dämpfen. Alternativ ist es statt der Verwendung von zwei Schaltern S_1 und S_2 auch möglich, einen einzigen Schalter mit drei Zuständen zu verwenden, der in einem ersten Zustand den Piezoaktor P lädt, in einem zweiten Zustand hochohmig ist und in einem dritten Zustand den Piezoaktor P entlädt.

Wie in Figur 5 dargestellt, wird zur automatischen Einstellung der Zeiten des Entladestromimpulse in Ausgestaltung der Vorrichtung 10 eine Regelvorrichtung 20 verwendet, welche die Ladespannung des Piezoaktors P überwacht. Die Regelvorrichtung 20 zur Steuerung eines Piezoaktors P für ein Ventilglied in einem Verbrennungsmotor weist dazu folgende Komponenten auf: mindestens ein variables Zeitglied 21 zur Einstellung eines Zeitpunktes zur Unterbrechung des Entladevorgangs des Piezoaktors P, mindestens ein variables Zeitglied 22 zur Einstellung eines Zeitpunktes zur erneuten Entladung nach Unterbrechung der Entladung des Piezoaktors P, mindestens eine Vorrichtung 25 zur Messung der Ladungsspannung des Piezoaktors P, mindestens eine Vorrichtung 24 zur Speicherung der Messdaten und mindestens eine Vorrichtung 23 zur automatischen Variation der Zeitglieder.

Zur Einstellung der Entladestromzeiten detektiert die Regelvorrichtung 20 ein Ansteigen der Ladespannung des Piezoaktors P nach Unterbrechung des ersten Entladestroms und misst die Höhe des Ladespannungsanstiegs. Erst wenn die Höhe des Ladespannungsanstiegs einen vorbestimmten Wert erreicht oder übersteigt, dann regelt die Regelelektronik 20 den Zeitpunkt des erneuten Entladeimpulses, wobei die Regelvorrichtung 20 in diesem Fall eine zeitliche Plateauausbildung detektiert und solange den zweiten Entladeimpuls in aufeina-

nanderfolgenden Ventilzyklen zeitlich nach vorne schiebt, bis die zeitliche Plateauausbildung der Ladespannung ausbleibt. Um die beiden Zeitpunkte einzustellen, regelt die Regelvorrichtung 20 die Zeitpunkte nach folgender Strategie: Zunächst erfolgt das Einstellen des Zeitpunktes der ersten Unterbrechung nach teilweiser Entladung durch die Regelvorrichtung 20, dass die Unterbrechung so spät statt findet, dass die nach Unterbrechung auftretende Stauchung des Piezoaktors P so gering ist, dass der damit einhergehende Ladungsaufbau einen vorgegebenen Wert unterschreitet. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Regelvorrichtung 20 das Ventilglied nicht zu einem zu frühen Schließzeitpunkt schließt. Sodann beginnt das Einstellen des Zeitpunktes der erneuten Entladung durch die Regelvorrichtung 20, dass die erneute Entladung so spät stattfindet, dass sich die durch Stauchung aufgebaute Ladung des Piezoaktors P über einen vorgegebenen Zeitintervall nicht ändert. Hierdurch wird ein zeitliches Plateau detektiert, das im nachfolgenden Regelzyklus minimiert wird. Von diesem nicht optimalen Zustand regelt die Regelvorrichtung die Zeitpunkte erneut durch darauf folgendes Verstellen des Zeitpunkts der Unterbrechung nach teilweiser Entladung bis dieser zeitlich so weit nach vorne verschoben ist, dass der Ladungsaufbau einen vorgegeben Wert erreicht oder überschreitet. Erst darauf folgend findet das Verstellen des Zeitpunkts der erneuten Entladung statt, bis dieser so weit nach vorne verschoben ist, dass sich die durch Stauchung aufgebaute Ladung des Piezoaktors innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls um einen vorgegebenen Betrag ändert, so dass keine zeitliche Plateauausbildung detektiert wird.

Die zur Regelung eingesetzte Regelvorrichtung 20 weist in vorteilhafter Weise eine Vorrichtung auf, die das Aufprallen des Ventilgliedes detektiert, vorzugsweise über die Überwachung der Ladespannung nach Entladung des Piezoaktors P. Wenn ein Aufprallen detektiert wird, wird die Regelvorrichtung 20 zur Einstellung der Entladezeitpunkte aktiviert und wenn kein Aufprallen mehr detektiert wird, dann wird die Regelvorrichtung 20 deaktiviert.

Zur Implementierung der Regelvorrichtung 20 kann ein Mikrocontroller 23 eingesetzt werden oder auch eine Regelelektronik, wobei der Eingang der Regelvorrichtungen die Ladespannung und der Ausgang ein Signal zur Auslösung des Entladevorgangs ist.

Ansprüche

1. Verfahren zur Prellunterdrückung eines durch einen Piezoaktor betriebenen Ventilglieds während der Schließphase eines Ventils in einem Verbrennungsmotor aufweisend die folgenden Schritte:
   - teilweises Entladen des Piezoaktors, wodurch das Ventilglied noch vor Erreichen des Ventilsitzes gebremst wird,
   - Unterbrechen der Entladung des Piezoaktors, wodurch der Piezoaktor durch das Ventilglied gestaucht wird und elektrische Ladung aufbaut,
   - erneutes Entladen des Piezoaktors, wobei die Restladung nach teilweisem Entladen und während der Ladungsunterbrechung aufgebaute Ladung zumindest teilweise abgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Zyklus aus teilweisem Entladen, Unterbrechen der Entladung und erneutem Entladen mindestens einmal wiederholt wird und dadurch das Ventil beim Schließen stottert.

3. Verfahren nach einem er Ansprüche 1 oder 2, wobei der Zeitpunkt der Unterbrechung und/oder der Zeitpunkt der erneuten Entladung durch eine Regelvorrichtung variiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Ladespannung des Piezoaktors durch die Regelvorrichtung überwacht wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, aufweisend die zusätzlichen Schritte über mehr als einen Ventilzyklus:
   - Einstellen des Zeitpunktes der Unterbrechung nach teilweiser Entladung durch die Regelvorrichtung, dass die Unterbrechung so spät statt findet, dass die nach Unterbrechung auftretende Stauchung des Piezoaktors so gering ist, dass der damit einhergehende Ladungsaufbau einen vorgegebenen Wert unterschreitet,
   - Einstellen des Zeitpunktes der erneuten Entladung durch die Regelvorrichtung, dass die erneute Entladung so spät stattfindet, dass sich die durch Stauchung aufgebaute Ladung des Piezoaktors über einen vorgegebenen Zeitintervall nicht ändert,

- darauf folgend Verstellen des Zeitpunkts der Unterbrechung nach teilweiser Entladung bis dieser zeitlich so weit nach vorne verschoben ist, das der Ladungsaufbau einen vorgegeben Wert erreicht oder überschreitet,
- und darauf folgend Verstellen des Zeitpunkts der erneuten Entladung bis dieser so weit nach vorne verschoben ist, das sich die durch Stauchung aufgebaute Ladung des Piezoaktors über innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls um einen vorgegebenen Betrag ändert.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die Zeitpunkte der Unterbrechung und erneuter Entladung für aufeinander folgende Zyklen beim Stottern nacheinander eingestellt werden.

7. Regelvorrichtung zur Steuerung eines Piezoaktors für ein Ventil in einem Verbrennungsmotor, aufweisend:
- mindestens eine Vorrichtung zur Entladung des Piezoaktors,
- mindestens eine Vorrichtung zur Unterbrechung des Entladevorgangs des Piezoaktors innerhalb eines Entladezyklus.

8. Regelvorrichtung nach Anspruch 7 aufweisend:
- mindestens ein variables Zeitglied zur Einstellung eines Zeitpunktes zur Unterbrechung des Entladevorgangs des Piezoaktors,
- mindestens ein variables Zeitglied zur Einstellung eines Zeitpunktes zur erneuten Entladung nach Unterbrechung der Entladung des Piezoaktors,
- mindestens eine Vorrichtung zur Messung der Ladungsspannung des Piezoaktors,
- mindestens eine Vorrichtung zur Speicherung der Messdaten und
- mindestens eine Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder,

wobei die Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder die Zeitpunkte zur Unterbrechung des Entladevorgangs und der erneuten Entladung nach Unterbrechung nach dem Verfahren nach Anspruch 5 oder 6 variiert.

9. Regelvorrichtung nach Anspruch 8, wobei die mindestens eine Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder eine Regelelektronik ist.

10. Regelvorrichtung nach Anspruch 8, wobei die mindestens eine Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder ein Mikrocontroller ist.

11. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, welche eine Vorrichtung zur Detektion des Ventilpralls aufweist, welche bei positiver Detektion des Ventilpralls die Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder aktiviert und/oder bei negativer Detektion die Ventilpralls die Vorrichtung zur automatischen Variation der Zeitglieder deaktiviert..

Fig. 1.1

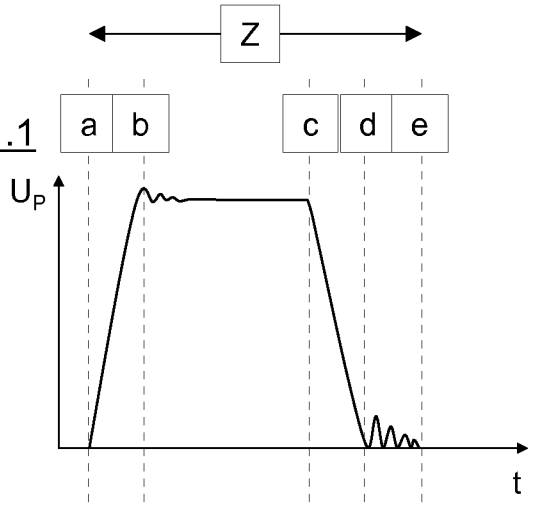


Fig. 1.2

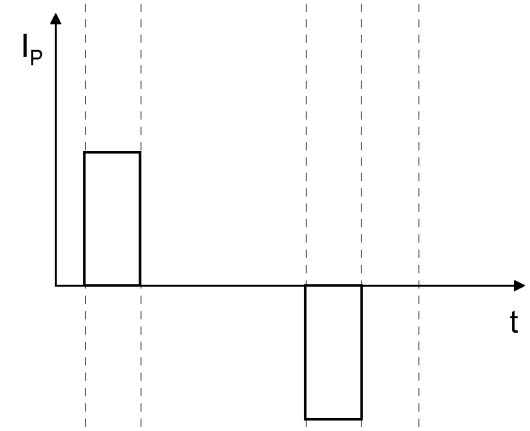


Fig. 1.3

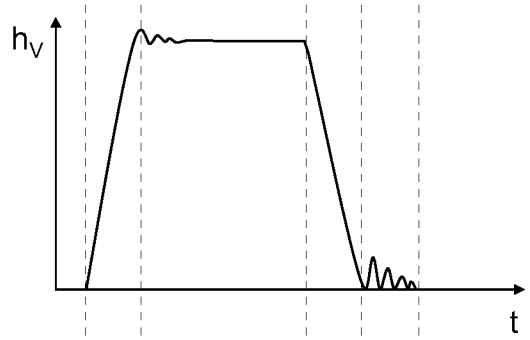


Fig. 2.1

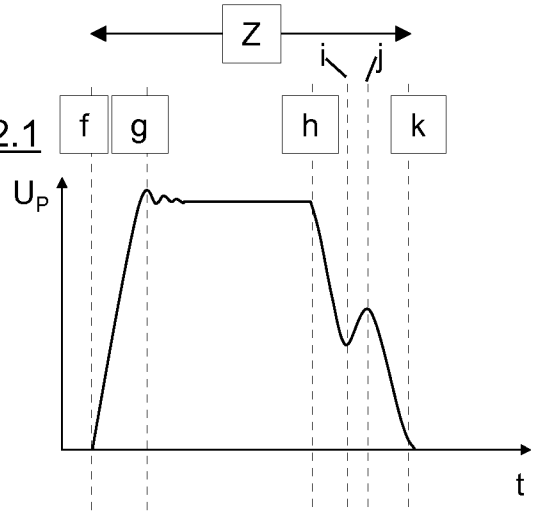


Fig. 2.2

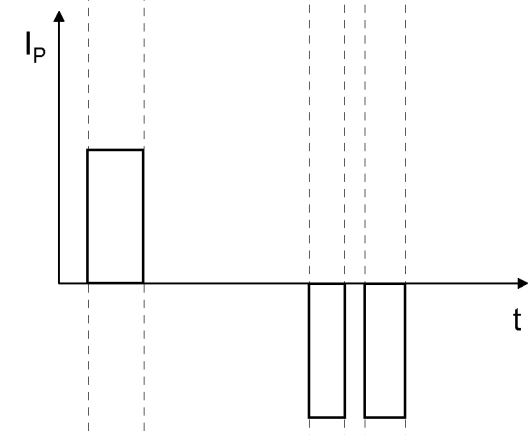


Fig. 2.3

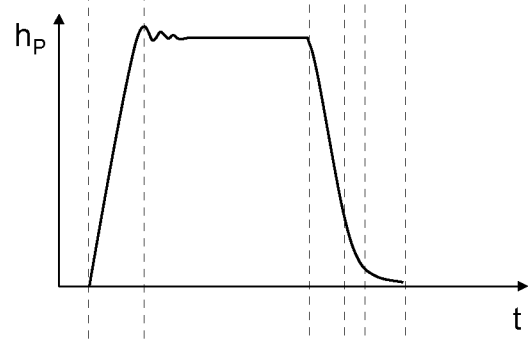


Fig. 3.1

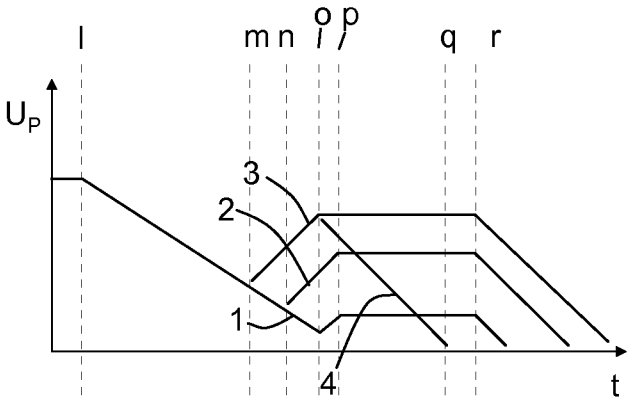


Fig. 3.2

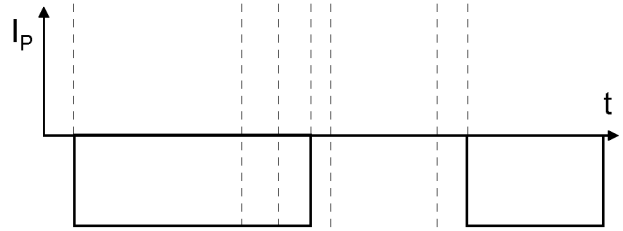


Fig. 3.3

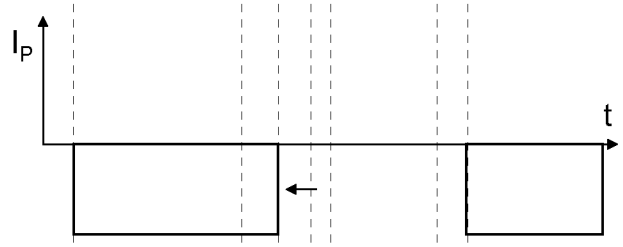


Fig. 3.4

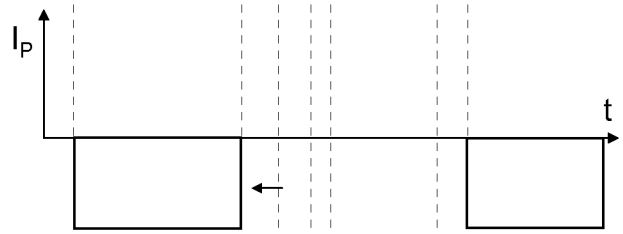


Fig. 3.5

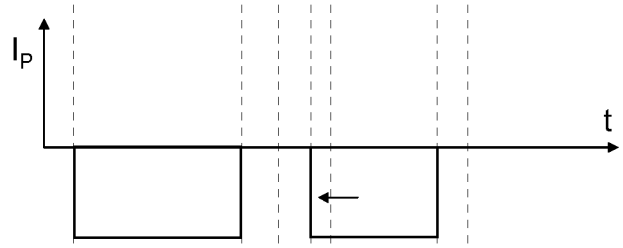


Fig. 3.6

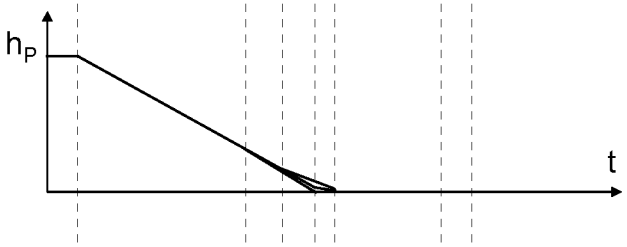


Fig. 4

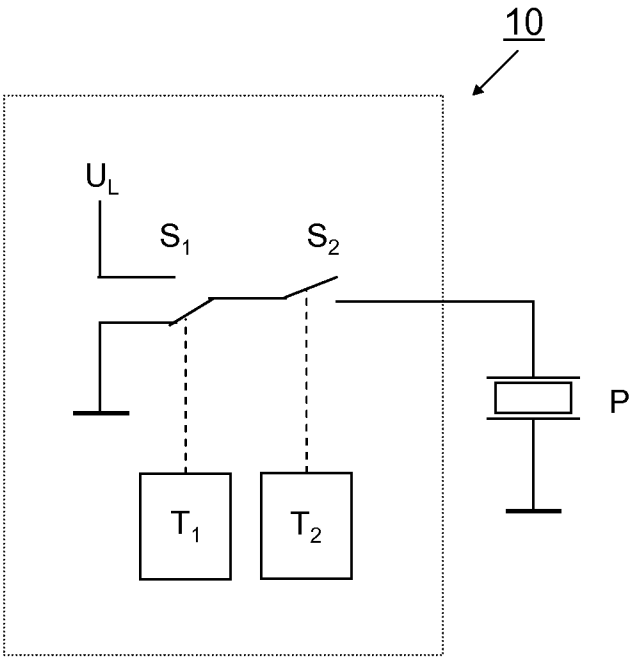
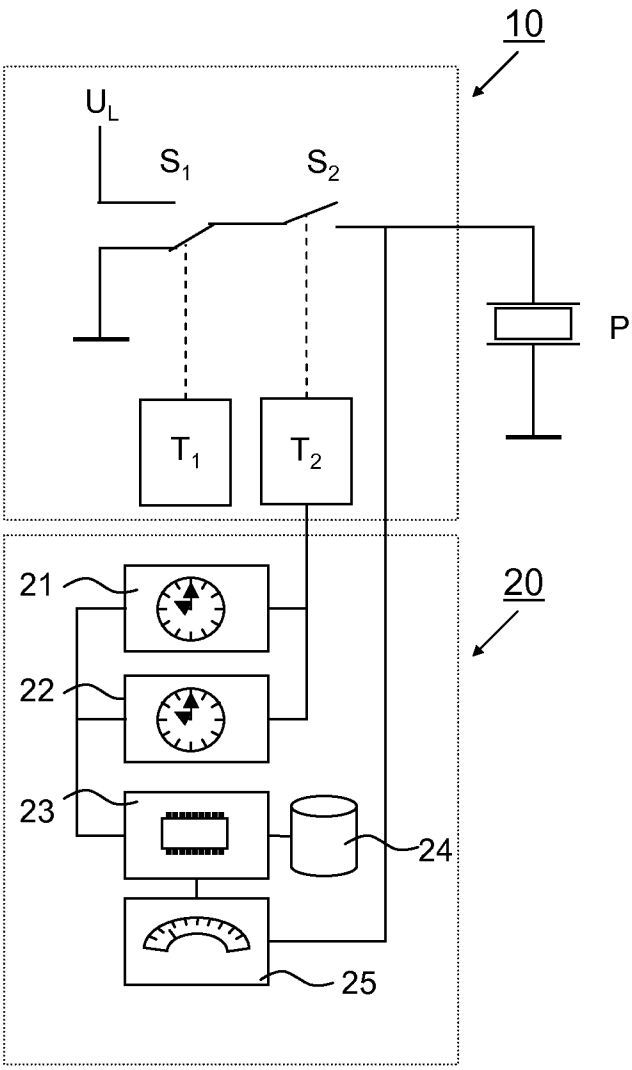


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/050849

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16K31/00 F02M51/06 F01L9/04

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)
F16K F02M F01L H01L F02D

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.
X	EP 0 995 899 A (ISUZU MOTORS LTD [JP]) 26 April 2000 (2000-04-26) figures 1,6-8	1,3,4,7
Y	EP 1 199 446 A (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 24 April 2002 (2002-04-24) paragraphs [0038], [0048]; figure 1	1,2,7
Y	DE 199 21 456 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16 November 2000 (2000-11-16) the whole document	1,7
X	DE 10 2004 015002 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13 October 2005 (2005-10-13)	7
Y		1,2

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family 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	Date of mailing of the international search report
23 Juni 2009	02/07/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Clot, Pierre

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/050849

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/069750 A (SIEMENS AG [DE]; WIEHOFF HANS-JOERG [DE]; LEDERLE REINER [DE]; ASCHER) 6 July 2006 (2006-07-06) figures 5,6A,6B,7	1-11
A	US 4 593 658 A (MOLONEY PAUL J [GB]) 10 June 1986 (1986-06-10) figure 1	1
A	WO 01/53662 A (SIEMENS AG [DE]; AIGN TORSTEN [DE]; BURKHARDT THOMAS [DE]; KILGER MICH) 26 July 2001 (2001-07-26) figure 6A	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members.

International application No
PCT/EP2009/050849

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0995899 A	26-04-2000	DE 69923516 D1	10-03-2005
		DE 69923516 T2	09-02-2006
		JP 2000023474 A	21-01-2000
		US 6155500 A	05-12-2000
EP 1199446 A	24-04-2002	DE 60034340 T2	03-01-2008
DE 19921456 A1	16-11-2000	CN 1349590 A	15-05-2002
		WO 0068558 A1	16-11-2000
		EP 1179129 A1	13-02-2002
		JP 2002544424 T	24-12-2002
DE 102004015002 A1	13-10-2005	NONE	
WO 2006069750 A	06-07-2006	DE 102004062073 A1	13-07-2006
		EP 1828582 A1	05-09-2007
US 4593658 A	10-06-1986	NONE	
WO 0153662 A	26-07-2001	DE 10002322 C1	30-08-2001
		EP 1248899 A2	16-10-2002
		JP 2003520319 T	02-07-2003
		US 2003026056 A1	06-02-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/050849

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16K31/00 F02M51/06 F01L9/04

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16K F02M F01L H01L F02D

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.
X	EP 0 995 899 A (ISUZU MOTORS LTD [JP]) 26. April 2000 (2000-04-26) Abbildungen 1,6-8	1,3,4,7
Y	EP 1 199 446 A (FORD GLOBAL TECH INC [US]) 24. April 2002 (2002-04-24) Absätze [0038], [0048]; Abbildung 1	1,2,7
Y	DE 199 21 456 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16. November 2000 (2000-11-16) das ganze Dokument	1,7
X	DE 10 2004 015002 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13. Oktober 2005 (2005-10-13)	7
Y		1,2

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23. Juni 2009	02/07/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Clot, Pierre

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/050849

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2006/069750 A (SIEMENS AG [DE]; WIEHOFF HANS-JOERG [DE]; LEDERLE REINER [DE]; ASCHER) 6. Juli 2006 (2006-07-06) Abbildungen 5,6A,6B,7	1-11
A	US 4 593 658 A (MOLONEY PAUL J [GB]) 10. Juni 1986 (1986-06-10) Abbildung 1	1
A	WO 01/53662 A (SIEMENS AG [DE]; AIGN TORSTEN [DE]; BURKHARDT THOMAS [DE]; KILGER MICH) 26. Juli 2001 (2001-07-26) Abbildung 6A	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/050849

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0995899 A	26-04-2000	DE 69923516 D1	10-03-2005
		DE 69923516 T2	09-02-2006
		JP 2000023474 A	21-01-2000
		US 6155500 A	05-12-2000
EP 1199446 A	24-04-2002	DE 60034340 T2	03-01-2008
DE 19921456 A1	16-11-2000	CN 1349590 A	15-05-2002
		WO 0068558 A1	16-11-2000
		EP 1179129 A1	13-02-2002
		JP 2002544424 T	24-12-2002
DE 102004015002 A1	13-10-2005	KEINE	
WO 2006069750 A	06-07-2006	DE 102004062073 A1	13-07-2006
		EP 1828582 A1	05-09-2007
US 4593658 A	10-06-1986	KEINE	
WO 0153662 A	26-07-2001	DE 10002322 C1	30-08-2001
		EP 1248899 A2	16-10-2002
		JP 2003520319 T	02-07-2003
		US 2003026056 A1	06-02-2003