

(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
22. Januar 2009 (22.01.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/010374 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/20 (2006.01) *F02D 41/40* (2006.01)
F02M 51/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/058130

(22) Internationales Anmeldedatum:

26. Juni 2008 (26.06.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2007 033 469.0 18. Juli 2007 (18.07.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**
[DE/DE]; Vahrenwalder Strasse 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BEILHARZ, Jörg**
[DE/DE]; Am Lappjagen 55, 14169 Berlin (DE). **LIN-
GENER, Uwe** [DE/DE]; Nürnbergerstr. 367 F, 93059 Re-
gensburg (DE). **PFEIFER, Andreas** [AT/DE]; Hochweg
4A, 93161 Sinzing (DE). **PIRKL, Richard** [DE/DE];
Neptunweg 5, 93055 Regensburg (DE). **SCHMIDT,
Harald** [AT/AT]; Geissfussg. 2/5, A-1100 Wien (AT).
WENZLAWSKI, Klaus [DE/DE]; Spittlertorgraben 19,
90429 Nürnberg (DE). **WIEHOFF, Hans-Jörg** [DE/DE];
Burgfriedenweg 18, 93051 Regensburg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMO-
TIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

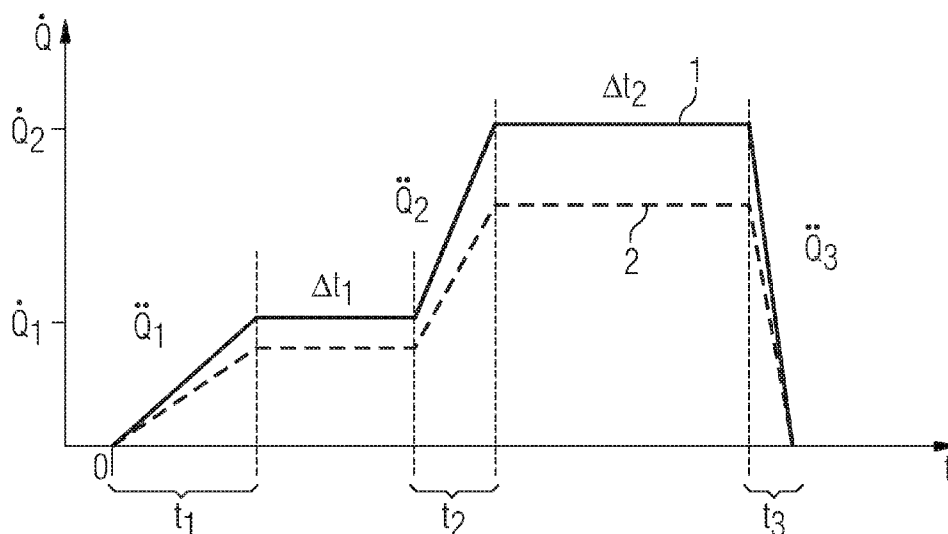
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR FORMING AN ELECTRIC CONTROL SIGNAL FOR AN INJECTION IMPULSE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR FORMUNG EINES ELEKTRISCHEN STEUERSIGNALS FÜR
EINEN EINSPRITZIMPULS

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method or a device for forming an electric control signal for an injection impulse of a position-controlled fuel injector, particularly of a common-rail or pump-nozzle injection system. The course of the electric control signal can be selected freely in regard to the pulse edges (injection rate changes $\dot{Q}$), the holding period (Δt) and the injection rate ($\dot{Q}$). This offers the advantage that the combustion process can be better optimized with respect to low emissions, low consumption and for meeting tightened legal regulations.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/010374 A1



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, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, 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, 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).

(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,

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren beziehungsweise eine Vorrichtung zur Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritzimpuls eines positionsgeregelten Kraftstoffinjektors, insbesondere eines Common-Rail- oder Pumpe-Düse-Einspritzsystems. Der Verlauf des elektrischen Steuersignals ist frei wählbar bezüglich der Impulsflanken (Einspritzratenänderungen Q), der Haltedauer (Δt) und der Einspritzrate (Q). Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass der Verbrennungsprozess im Hinblick auf geringere Emissionen, geringen Verbrauch und zur Erfüllung verschärfter gesetzlicher Vorschriften besser optimiert werden kann.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Formung eines elektrischen
Steuersignals für einen Einspritzimpuls

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur
Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritz-
impuls eines positionsgeregelten Kraftstoffinjektors eines
Common-Rail- oder Pumpe-Düse-Einspritzsystems nach der Gat-
10 tung der nebengeordneten Ansprüche 1 und 10.

Es sind schon Kraftstoffinjektoren bekannt, die beispielswei-
se mit einem piezoelektrischen Aktor ausgebildet sind. Der
piezoelektrische Aktor hat die Eigenschaft, dass er einer-
15 seits ein elektrisches Signal sehr schnell in eine mechani-
sche Hubbewegung umsetzen kann. Des Weiteren hat der piezo-
elektrische Aktor die Eigenschaft, dass er bei einer mechani-
schen Druckbelastung ein elektrisches Signal abgibt, so dass
er gleichzeitig als Sensor für die Erfassung des vorherr-
20 schenden Drucks im Kraftstoffinjektor bzw. im Einspritzsystem
nutzbar ist.

Mit Hilfe der mechanischen Hubbewegung des Aktors wird eine
Düsennadel gesteuert, mit der Spritzlöcher innerhalb einer
25 Düseneinheit mehr oder weniger weit geöffnet werden können.
Durch Erfassung des aktuellen Drucks bzw. der dynamischen
Druckänderung im Kraftstoffinjektor kann auf die Hubbewegung
der Düsennadel geschlossen werden. Die Düsennadel kann somit
bei einer entsprechenden Formung eines elektrischen Steuer-
30 signals auf eine bestimmte, vorgegebene Position geregelt
werden.

Bekannte elektronische Managementsystemen zur Steuerung von
Verbrennungsmotoren sind jedoch noch nicht in der Lage, mit
35 Hilfe eines positionsgeregelten Kraftstoffinjektors in aus-
reichendem Maße einen emissions- und verbrauchsarmen Betrieb
für die Brennkraftmaschine zu erzielen.

Es ist des Weiteren bekannt, dass der Gemischbildungsprozess innerhalb eines Zylinders der Brennkraftmaschine im Wesentlichen durch den Gasaustausch sowie die Kraftstoffeinspritzmenge und durch den Verlauf der Einspritzrate beeinflusst werden kann. Bisher wurde dieses Problem dadurch gelöst, dass der verwendete Kraftstoffinjektor durch konstruktive Maßnahmen entsprechende hydraulisch-mechanische Eigenschaften erhält. Allerdings reichen diese Maßnahmen nicht aus, um alle Anforderungen von zukünftigen Verbrennungsverfahren, insbesondere auch im Hinblick auf geplante gesetzliche Vorschriften zu erfüllen.

Ein weiteres Problem besteht auch darin, dass die exakte Erfassung der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge sowie des Einspritzzeitpunktes bisher nur unbefriedigend gelöst werden kann. Insbesondere treten Probleme dadurch auf, dass die verwendeten Kraftstoffinjektoren mit einer unvermeidbaren Fertigungstoleranz gefertigt werden, so dass die exakte Erfassung der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge bisher nur unbefriedigend gelöst wurde.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zu schaffen, mit dem die Kraftstoffeinspritzung in einen Zylinder einer Brennkraftmaschine im Hinblick auf eine Optimierung des Verbrennungsvorgangs verbessert wird.

Diese Aufgabe wird verfahrensgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 und vorrichtungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der Vorrichtung zur Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritzimpuls eines positionsgeregelten Kraftstoffinjektors mit den kennzeichnenden Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche 1 und 10 ergibt sich der Vorteil, dass die Formung des Einspritzim-

pulses frei wählbar ist. Dadurch kann für eine vorgegebene Einspritzmenge das elektrische Steuersignal beliebig geformt werden. Dadurch kann die Kraftstoffeinspritzung beziehungsweise die Gemischbildung an ideale Vorgänge angepasst und optimiert werden. Als besonders vorteilhaft wird angesehen, dass der Systementwickler nun mehr Freiheitsgrade hat und insbesondere eine oder mehrere Impulsflanken und/oder wenigstens eine weitere Amplitude frei formen kann. Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht auch darin, dass die vorgesehene Gesamtmenge des Einspritzimpulses unabhängig von der Formung des elektrischen Steuersignals konstant gehalten wird. Dadurch werden unerwünschte energetische Auswirkungen auf das Drehmoment der Brennkraftmaschine vermieden.

Durch die in den nebengeordneten Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Verfahrens gegeben. Als besonders vorteilhaft wird angesehen, dass das elektrische Steuersignal zunächst mit einem Zwischenniveau mit einer niedrigeren Amplitude ausgebildet ist, so dass die Düsennadel des Kraftstoffinjektors beim Öffnen der Spritzlöcher in eine Zwischenposition bewegt wird. Dadurch kann eine erste Teilmenge der vorgegebenen Kraftstoffmenge eingespritzt werden.

Für die Formung des elektrischen Steuersignals für die erste Teilmenge ist in weiterer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Einspritzratenänderung vorgegeben wird.

Ein weiterer Freiheitsgrad für die erste Teileinspritzung wird auch darin gesehen, dass die Haltezeit für die Einhaltung der Zwischenposition des Kraftstoffinjektors vorgegeben wird. Durch Variation der Einspritzratenänderung und/oder auch der Haltezeit für die Zwischenposition kann ein nahezu beliebiges Einspritzverhalten erzeugt werden und dadurch die Verbrennung des Kraftstoff-Luftgemisches im Zylinder der Brennkraftmaschine weiter optimiert werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Einleitung zur Einspritzung eines zweiten Teils der vorgegebenen Einspritzmenge das elektrische Steuersignal auf ein höheres Niveau mit höherer Amplitude gesetzt wird. Dadurch
5 wird die Düsennadel des Kraftstoffinjektors auf eine zweite Halteposition geregelt, so dass ein zweiter, höherer Pegel für die Kraftstoffeinspritzung erreicht wird.

Erfindungsgemäß ist weiter vorgesehen, dass für die Öffnungs-
10 dauer der Düsennadel eine zweite Haltezeit vorgegeben ist.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht darin, dass die Anzahl der Zwischenniveaus, der Haltedauer und/oder der Einspritzratenänderungen beliebig wählbar ist. Dadurch ergibt
15 sich eine sehr einfache Anpassung an jede beliebige Gestaltung des Einspritzvorgangs. Insbesondere kann die Düsennadel beim Aufsetzen auf ihren Ventilsitz gezielt abgefangen werden. Dadurch ergibt sich in vorteilhafter Weise eine verbesserte Reproduzierbarkeit der Dosierung der Kraftstoffmenge
20 sowie eine Verringerung der Geräuscentwicklung. Des Weiteren wird in Verbindung mit einem geringeren Verbrennungsgeräusch auch der Fahrkomfort verbessert.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung
25 dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Die Figuren 1 A, B, C zeigen drei Diagramme mit dem Verlauf des Steuerstromes und der Steuerspannung am Aktor sowie den
30 zeitlichen Zusammenhang mit der eingespritzten Kraftstoffmenge,

Figur 2 zeigt beispielhaft ein zweites Diagramm mit zwei erfindungsgemäßen Steuersignalen,
35

Figur 3 zeigt einen schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Figur 4 zeigt ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

5 Zum besseren Verständnis der Erfindung werden zunächst nachfolgend die in den Figuren 1 A, B, C dargestellten Diagramme näher erläutert. Die drei Diagramme zeigen den prinzipiellen Verlauf von dem Steuerstrom I , der Steuerspannung U für einen piezoelektrischen Aktor eines Kraftstoffinjektors sowie einen
10 entsprechenden Verlauf einer eingespritzten Kraftstoffmenge in zeitlichem Zusammenhang.

In Figur 1A ist der Strom I in Abhängigkeit von der Zeit t dargestellt, der direkt an einem piezoelektrischen Aktor ge-
15 messen werden kann. Der piezoelektrische Aktor weist ein kapazitives Verhalten auf, d.h. dass ein positiver Ladestrom in den Aktor fließt, wenn die Spannung erhöht wird und ein negativer Strom fließt, wenn die Spannung erniedrigt wird. Erfolgt keine Spannungsänderung, dann geht der Stromfluss auf 0
20 zurück.

Wie bereits erwähnt wurde, weist der piezoelektrische Aktor auch sensorische Eigenschaften auf. Insbesondere erkennt man, dass nach der ansteigenden Stromflanke bzw. der abfallenden
25 Stromflanke eine mehr oder weniger ausgeprägte Schwingung des Stromverlaufs entsteht. Diese Schwingung entsteht beispielsweise durch das Auftreffen der Düsennadel, auf ihren Ventilsitz. Sie entsteht aber auch durch die Schwankungen des Kraftstoffdrucks, der durch Öffnen bzw. Schließen der Spritz-
30 löcher der Einspritzdüse bestimmt wird. Durch eine entsprechend ausgebildete Formung des elektrischen Steuersignals kann somit die Schwingung, die auch als Sitzprellung bezeichnet wird, erfasst und kontrolliert gesteuert werden. Aus diesem Grunde ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass bei einem
35 Einspritzimpuls von der vorgesehenen Einspritzmenge zunächst wenigstens eine oder mehrere Teilmengen und anschließend die restliche Kraftstoffmenge bei einer weiter geöffneten Stel-

lung der Düsennadel eingespritzt wird. Dabei kann als frei wählbarer Parameter sowohl eine Einspritzratenänderung als ansteigende Flanke des elektrischen Steuersignals als auch eine Amplitude mit einem Zwischenniveau und/oder eine Haltezeit vorgegeben werden. Aus dem Integral über der Einspritzratenänderung als auch der Haltezeit ergibt sich die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge, wie später noch näher erläutert wird.

10 Bezüglich Figur 1A erkennt man im linken Teil des Diagramms zum Zeitpunkt $t = 0$ einen ersten Stromimpuls. Danach fällt der Strom auf den Wert 0 ab. Bei $t = 5,7$ erfolgt der zweite Stromimpuls, der jedoch breiter als der erste Stromimpuls ist. Zum Zeitpunkt $t = 10$ erfolgt ein dritter negativer
15 Stromimpuls und zum Zeitpunkt $t = 12$ erfolgt ein vierter negativer Stromimpuls.

Auf die Flanken der einzelnen Stromimpulse wird noch näher eingegangen.

20

Bei dem Diagramm der Figur 1B ist analog zum Stromverlauf I der Spannungsverlauf U am piezoelektrischen Aktor aufgezeichnet. Die Spannung steigt zum Zeitpunkt $t = 0$ mit einer vorgegebene Flanke auf einen Zwischenwert von ca. 50 Volt an. Danach erfolgt eine längere Haltezeit, bis die Spannung zum
25 Zeitpunkt $t = 5,7$ parallel zum zweiten Stromimpuls der Figur 1A auf etwa 140 Volt ansteigt. Die Spannung bleibt in etwa in diesem Bereich, bis bei $t = 10$ die Spannung mit einer vorgegebenen Flanke auf ein weiteres Zwischenniveau, beispielsweise 50 Volt, abfällt. Nach einer weiteren kurzen Haltezeit
30 fällt dann die Spannung auf den Wert 0 wieder ab.

Die abfallende Spannungsflanke entspricht jeweils einem abfallenden Strom am piezoelektrischen Aktor.

35

Analog zu den beiden Diagrammen der Figuren 1A und 1B ist in Figur 1c die resultierende Einspritzmenge $\dot{Q}$ aufgetragen.

Durch mechanische und hydraulische Verzögerungen beginnt die tatsächliche Einspritzung etwa bei $t = 1$ mit einem Spitzenwert von etwa $\dot{Q} = 2,5$. Danach fällt die Einspritzmenge $\dot{Q}$ mit einer vorgegebenen Flanke ab und steigt dann schließlich bei etwa $t = 6,5$ auf einen vorgegebenen Wert von etwa $\dot{Q} = 7$ bei $t = 8,5$ an. In diesem Bereich erfolgt die Einspritzung einer größeren Teilmenge, bis zum Zeitpunkt $t = 12$ der Einspritzimpuls mit einer weiteren vorgegebenen Einspritzratenänderung $\ddot{Q}$ bis auf etwa 0 abfällt. Die Darstellung der drei Diagramme erfolgt auf einer vergleichbaren Zeitachse t im Bereich von 10^{-4} Sekunden.

Wie den drei Diagramme der Figuren 1 A, B, C entnehmbar ist, kann erfindungsgemäß auf sehr einfache Weise durch Vorgabe eines entsprechenden Spannungsverlaufs für das elektrische Steuersignal die Einspritzmenge $\dot{Q}$ beziehungsweise die Einspritzrate $\ddot{Q}$ gesteuert werden. Des Weiteren kann durch einen entsprechenden Kurvenverlauf die Sitzdrosselung der Düsenan-del sowie ihre Stabilität bezüglich der Einspritzrate vorteilhaft beeinflusst werden.

Figur 2 zeigt ein Diagramm mit beispielsweise zwei erfindungsgemäßen Kurven 1 und 2 für die Formung eines elektrischen Steuersignals. In diesem Diagramm sind alle Parameter dargestellt, durch die ein Einspritzverlauf beeinflusst werden kann. Zu diesem Zweck sind im Diagramm auf der Y-Achse die Einspritzrate (Einsspritzmenge pro Zeiteinheit) $\dot{Q}$ und auf der X-Achse die Zeit t aufgetragen. Dargestellt sind die Kurven 1 und 2 als Beispiele für unterschiedliche Steuersignale beziehungsweise unterschiedliche Einspritzverläufe. Da die Kurven 1 und 2 schematisch den gleichen Verlauf haben, wird im Folgenden nur die Kurve 1 näher erläutert. Die Kurve 2 unterscheidet sich dagegen nur in kleineren Amplituden der Einspritzrate $\dot{Q}$ und niedrigeren Einspritzratenänderungen $\ddot{Q}$.

Die Kurve 1 steigt zunächst vom Wert 0 bis zum Erreichen einer ersten Einspritzrate $\dot{Q}_1$ innerhalb der Zeitdauer t_1 an.

Die Einspritzratenänderung hat den Wert $\ddot{Q}_1$. Anschließend

wird während einer Haltezeit Δt_1 die Einspritzrate $\dot{Q}_1$ kon-

stant gehalten. Danach steigt innerhalb der Zeitdauer t_2 das elektrische Steuersignal mit einer Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_2$

bis zur Einspritzrate $\dot{Q}_2$. Danach wird die Einspritzrate $\dot{Q}_2$

während der Zeitdauer Δt_2 konstant gehalten. Anschließend

fällt die Kurve 1 während der Zeitdauer Δt_3 auf den Wert 0

ab. Für die abfallende Flanke wird eine Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_3$ gewählt. Dieser prinzipielle Verlauf für ein erfindungsgemäßes elektrisches Steuersignal lässt sich variieren, wie beispielhaft durch die Kurve 2 gezeigt ist. Für die Kurve

2 werden niedrigere Einspritzratenänderungen $\ddot{Q}_1, \ddot{Q}_2, \ddot{Q}_3$ gewählt. Die Einspritzzeiten t_1, t_2 und t_3 sind identisch zu denen der Kurve 1. Lediglich die maximalen Einspritzraten $\dot{Q}_1, \dot{Q}_2$ sind reduziert. Dadurch ergibt sich eine verringerte gesamte Einspritzmenge, die durch Integralbildung sehr einfach berechnet werden kann, wie nachfolgend gezeigt wird.

20 Für die Festlegung eines elektrischen Steuersignals zur Ansteuerung eines positionsgesteuerten Kraftstoffinjektors wurden bisher lediglich folgende Parameter verwendet:

Eine Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_2$,

eine Einspritzdauer t_2 ,

eine Einspritzrate $\dot{Q}_2$,

eine Haltezeit Δt_2 und

eine Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_3$

Die genannten Parameter sind für zukünftige Einspritzverfahren bei piezoelektrisch betriebenen Einspritzsystemen nicht mehr ausreichend. Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen,

dass die bekannten Parameter um folgende Parameter erweitert werden:

Eine Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_1$,

eine Zeitdauer t_1 ,

5 eine Einspritzrate $\dot{Q}_1$,

eine Haltezeit Δt_1 .

Die erfindungsgemäßen Parameter sind frei wählbar. In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das
10 elektrische Steuersignal für weitere Zwischenniveaus ausgebildet ist.

Bei dem Ausführungsbeispiel wurde aus Vereinfachungsgründen nur eine einzige Teilmenge dargestellt. Diese Teilmenge ist
15 durch die erfindungsgemäßen, neuen Parameter festgelegt:

Mit einer Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_1$ steigt die erste Teilmenge innerhalb der Zeitdauer t_1 auf die Einspritzrate $\dot{Q}_1$ an. Die Einspritzrate $\dot{Q}_1$ wird während der Haltezeit Δt_1 konstant gehalten. Anschließend wird innerhalb der Zeitdauer t_2
20 mit einer Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_2$ die Einspritzrate $\dot{Q}_2$ erreicht. Die Einspritzrate $\dot{Q}_2$ bleibt während der Haltezeit Δt_2 konstant. Anschließend fällt die das Steuersignal während der Zeitdauer Δt_3 und mit der Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_3$ auf den Wert 0.

25

Die gesamte Einspritzmenge lässt sich durch Integralbildung über der gesamten Kurve berechnen.

Erfindungswesentlich ist, dass eine Variation der zusätzlichen Parameter keine Beeinflussung der angestrebten Gesamtmenge für die vorgegebene Kraftstoffeinspritzung nach sich zieht. Hierzu ist es insbesondere notwendig, dass eine Transformation der gewünschten Einspritzraten und ihrer Einspritzratenverläufe vorgenommen wird. Dabei ist auch zu berücksich-
30

tigen, dass die elektrischen Ansteuerparameter auch auf die hydraulischen Größen in der Aktorstrecke einen entsprechenden Einfluss ausüben. Bei Berücksichtigung aller Faktoren gelingt es, die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge exakt und reproduzierbar zu bestimmen, so dass der Verbrennungsablauf des Kraftstoff-Luftgemisches optimal geregelt werden kann.

Im Folgenden wird ein Algorithmus angegeben, mit dem eine gewünschte Einspritzmenge Q allgemein nach folgenden Formeln berechnet werden kann:

$$Q = \int \dot{Q}(t) dt = f(\bar{P}, [t_1, t_2, t_3])$$

$$\text{mit } \bar{P} = [\ddot{Q}_1, \ddot{Q}_2, \ddot{Q}_3, \Delta t_1, \Delta t_2]$$

$$\text{und } \ddot{Q} = d\dot{Q}(t)/dt = \text{const}$$

$$\text{sowie } Q = \dot{Q} * t$$

Für einen gewünschten Verbrennungsverlauf werden die nachfolgend aufgeführten Parameter des elektrischen Steuersignals

- gewünschte einzuspritzende Kraftstoffmenge Q ,

- die Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_1$,

- die Einspritzrate $\dot{Q}_1$ sowie

- die Haltezeit Δt_1

beispielsweise an einem entsprechend ausgerüsteten Prüfmotor oder in einem Fahrzeug experimentell bestimmt und in einer Tabelle gespeichert, wobei die Bestimmung abhängig ist von dem Kraftstoffinjektortyp eines Common-Rail oder eines Pumpe-Düse-Einspritzsystems. Nach geeigneter Wahl der Einspritzratenänderung $\ddot{Q}_3$ und Festlegung von systembedingten Grenzwerten ergeben sich die restlichen Parameter als Lösung einer nicht linearen Optimierung mit entsprechenden Randbedingungen.

Nachdem die Lösung gefunden wurde, erfolgt anschließend eine Transformation auf die elektrischen Ansteuergrößen entspre-

chend den Figuren 1A, 1B, die den Lade-, Halte- und Entladevorgang einer idealen Düsennadelantriebsstrecke bestimmen. Die Vorgabe von Ladedauer und Ladungsänderung pro Zeiteinheit bestimmt einen Energiesollwert für einen nachfolgenden Energiereglerkreis. Dabei wird für jeden Zylinder individuell eine
5 Adaption und Gleichstellung unterschiedlicher Wirkungsgrade im Antrieb berücksichtigt.

Alternativ ist vorgesehen, dass der Vorsteuerwert selbst
10 durch geeignete Rückmeldesignale aus dem Einspritzsystem für jeden Zylinder individuell nachgeführt wird. Dieses können zum Beispiel eine modellbasierte oder eine phänomenologische Detektion des Einspritzbeginns, des Zeitpunkts des Erreichens der vollständigen Öffnung der Düsennadel oder die erzielte
15 Einspritzrate selbst sein. Hierdurch lassen sich fertigungs- und betriebspunktbedingte Toleranzen der Kraftstoffinjektoren minimieren.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung für die Modellierung
20 ist in Figur 3 dargestellt. Figur 3 zeigt in schematischer Darstellung eine Vorrichtung 10 mit einem Algorithmus, mit dem eine Regelungsfunktion für einen Einspritzratenverlauf ein elektrisches Steuersignal festgelegt werden kann. Zunächst werden in eine ersten Einheit 11 diverse Systemparameter, insbesondere eine Mengenvorgabe, der Raildruck, eine
25 Einspritzratenänderung, eine Rate für eine Booteinspritzung und eine Haltezeit für die Booteinspritzung eingegeben, zwischengespeichert und aufbereitet. Die erste Einheit 11 bestimmt aus den eingegebenen Daten den Verlauf des elektrischen Steuersignals, mit dem der Kraftstoffinjektor angesteuert wird, um die gewünschte hydraulische Einspritzdauer zu
30 erreichen.

Die Einspritzratenänderung, die Rate für die Booteinspritzung
35 und die Haltezeit für die Booteinspritzung werden parallel einem Transformer 12 zugeführt und entsprechend umgeformt. Der Eingang des Transformers 12 ist gleichzeitig mit dem Aus-

gang der ersten Einheit 11 verbunden. Aus den eingegebenen Daten ermittelt der Transformator 12 eine Ladungsänderung pro Zeiteinheit, Ladezeiten und eine Einspritzdauer. Diese Daten stehen ausgangsseitig zur Verfügung und werden mit den Ausgangsdaten eines ersten Steuerrechners (Controller) 13 verknüpft. Der erste Steuerrechner 13 ist mit einer Systemrückkopplung verbunden und liefert entsprechende Vorgaben für die Ladungsänderung pro Zeiteinheit und für die Ladezeiten. Die Ergebnisse werden einem zweiten Steuerrechner 14 zugeführt. Aus den eingegangenen Werten wird die endgültige Ladungsänderung pro Zeiteinheit ermittelt und steht an einem Ausgang zur Verfügung. Des Weiteren ist der zweite Rechner mit einer energetischen Rückkopplung verbunden.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren bzw. Algorithmus ist es möglich, auf Basis eines langzeitstabilen Einspritzsystems mit einer Gleichstellungsfunktion bzw. mit einer Adaption für den Einspritzbeginn und die erforderliche Einspritzmenge eine freie Formung des Einspritzratenverlaufs zu bestimmen.

Gleichzeitig ist eine einfache Parametrierbarkeit darstellbar.

Figur 4 zeigt in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Vorrichtung 10 zur Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritzimpuls eines positionsgeregelten Kraftstoffinjektors 2, insbesondere eines Common-Rail- oder Pumpe-Düse-Einspritzsystems 10. Der Kraftstoffinjektor 2 ist an einem Zylinderkopf eines Zylinders 6 einer Brennkraftmaschine angeordnet. Das Steuergerät 1 ist über eine elektrische Leitung 7 mit einem vorzugsweise piezoelektrischen Aktor 3 des Kraftstoffinjektors 2 verbunden. Bei Ansteuerung des Aktors 3 durch ein elektrisches Steuersignal des Steuergerätes 1 betätigt der Aktor 3 eine Düsennadel, die innerhalb einer Einspritzdüse 4 angeordnet ist. Dadurch werden Spritzlöcher geöffnet oder verschlossen, die sich im unteren Teil der Einspritzdüse 4 befinden. Der Kraftstoffinjektor 2 wird über eine Kraftstoffleitung 5 mit Kraftstoff versorgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritzimpuls eines Kraftstoffinjektors (2), insbesondere eines Common-Rail- oder Pumpe-Düse-Einspritzsystems (10), wobei das elektrische Steuersignal vorzugsweise einen piezoelektrischen Aktor (3) des Kraftstoffinjektors (2) betätigt, um eine vorgegebene Kraftstoffmenge in einen Zylinder (6) einer Brennkraftmaschine einzuspritzen und wobei mit Hilfe des Kurvenverlaufs des elektrischen Steuersignals eine Einspritzrate ($\dot{Q}$) des Kraftstoffinjektor (2) in Abhängigkeit insbesondere vom Raildruck, vom Hubweg und/oder der Öffnungsdauer des Kraftstoffinjektors (2) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet,
- dass für wenigstens eine einzuspritzende Teilmenge der Verlauf des elektrischen Steuersignals bezüglich wenigstens einer Impulsflanke und/oder einer Amplitude frei formbar ist,
- wobei die Formung des Einspritzimpulses derart ausgebildet ist, dass die vorgegebene einzuspritzende Kraftstoffmenge ($\dot{Q}$) unabhängig vom Verlauf des elektrischen Steuersignals konstant gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Einspritzimpuls für die Einspritzung einer Teilmenge zunächst mit einem Zwischenniveau ($\dot{Q}_1$) mit einer ersten Amplitude ausgebildet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Formung des Einspritzimpulses eine Einspritzratenänderung ($\ddot{Q}_1$) vorgegeben wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für das Zwischenniveau ($\dot{Q}_1$) eine Haltezeit (Δt_1) vorgegeben wird.
- 5 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einspritzimpuls ausgehend vom Zwischenniveau ($\dot{Q}_1$) mit einer zweiten Einspritzratenänderung ($\ddot{Q}_2$) auf ein höheres Niveau mit einer zweiten Amplitude ($\dot{Q}_2$) gesetzt wird.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für die zweite Amplitude ($\dot{Q}_2$) eine vorgegebene zweite Haltezeit (Δt_2) vorgegeben wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von der zweiten Amplitude ($\dot{Q}_2$) eine Abregelung mit einer dritten Einspritzratenänderung ($\ddot{Q}_3$) vorgegeben wird.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Zwischenniveaus ($\dot{Q}$), der Haltedauer (Δt) und/oder der Einspritzratenänderungen ($\ddot{Q}$) beliebig wählbar ist.
- 25 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass entsprechend dem Kurvenverlauf eine tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge bestimmt wird und dass die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge mit einer vorgegebenen Kraftstoffmenge verglichen
- 30 wird.
10. Vorrichtung zur Formung eines elektrischen Steuersignals für einen Einspritzimpuls eines Kraftstoffinjektors (2), insbesondere eines Common-Rail- oder Pumpe-Düse-

Einspritzsystems (10), mit einem Steuergerät (1), mit dem ein vorzugsweise piezoelektrischer Aktor (3) des Kraftstoffinjektors (2) steuerbar ist, um eine vorgegebene Kraftstoffmenge in einen Zylinder (6) einer Brennkraftmaschine einzuspritzen und wobei mit Hilfe des Kurvenverlaufs des elektrischen Signals eine Einspritzrate ($\dot{Q}$) des Kraftstoffinjektor (2) in Abhängigkeit insbesondere vom Raildruck, vom Hubweg und/oder der Öffnungsdauer des Kraftstoffinjektors (2) regelbar ist, dadurch gekennzeichnet,

- dass das Steuergerät (1) ausgebildet ist, den Kurvenverlauf des elektrischen Signals bezüglich wenigstens einer Impulsflanke und/oder einer Amplitude frei zu formen,
- wobei die Formung des elektrischen Signals derart ausgebildet ist, dass die vorgegebene einzuspritzende Kraftstoffmenge (Q) unabhängig vom Verlauf des elektrischen Steuersignals konstant gehalten wird.

FIG 1A

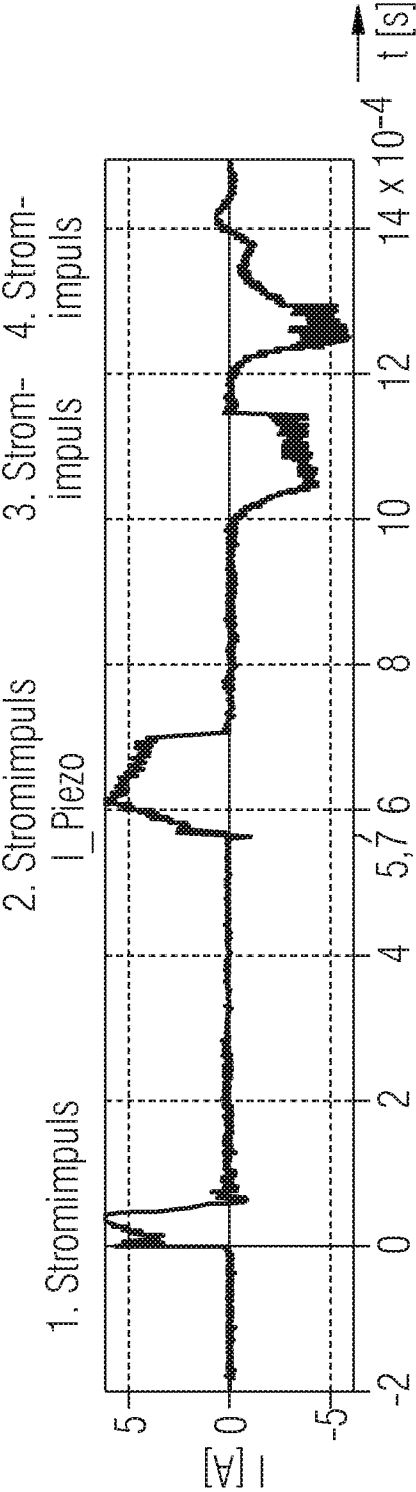


FIG 1B

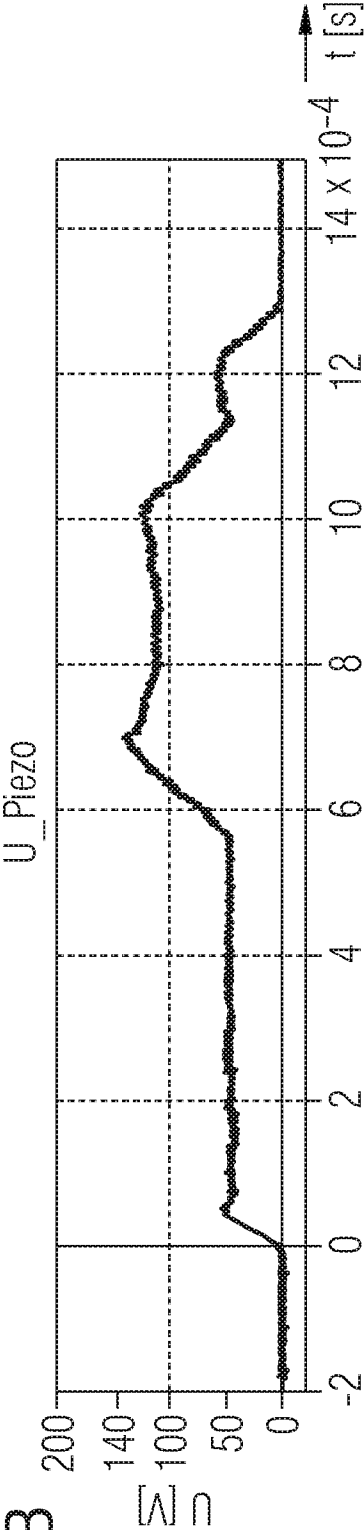


FIG 1C

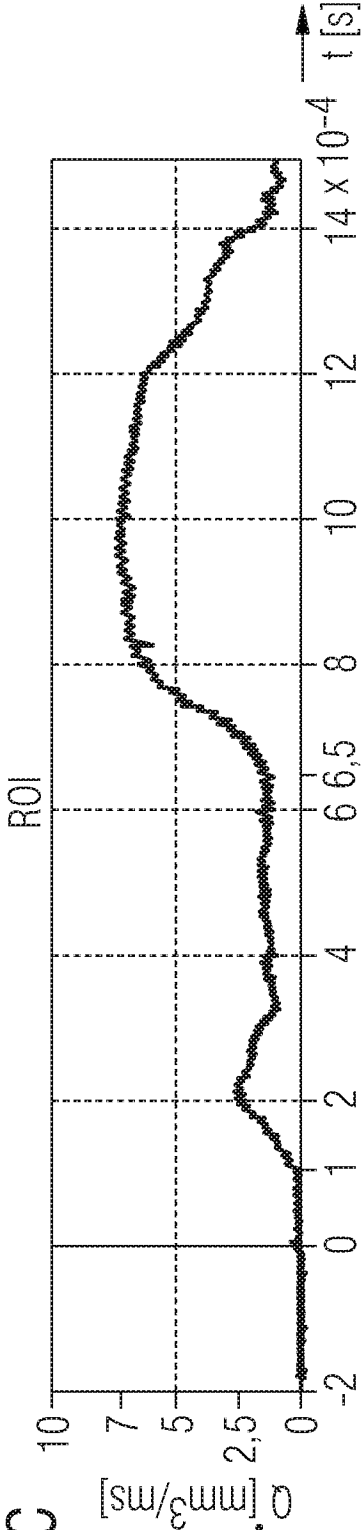
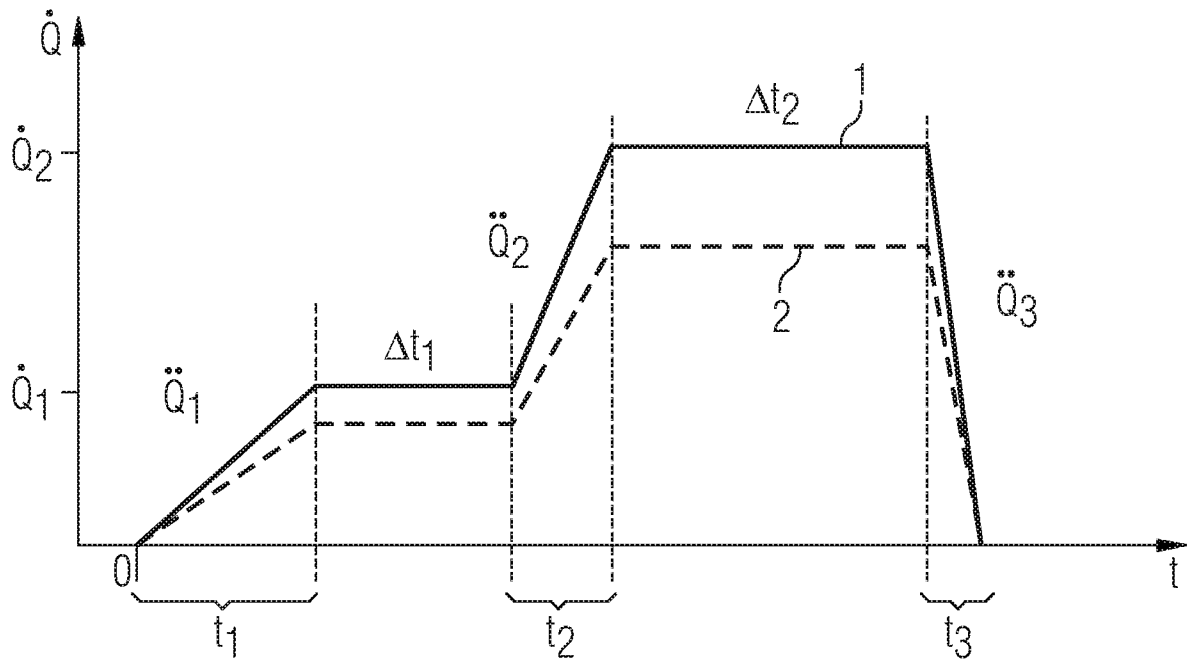


FIG 2



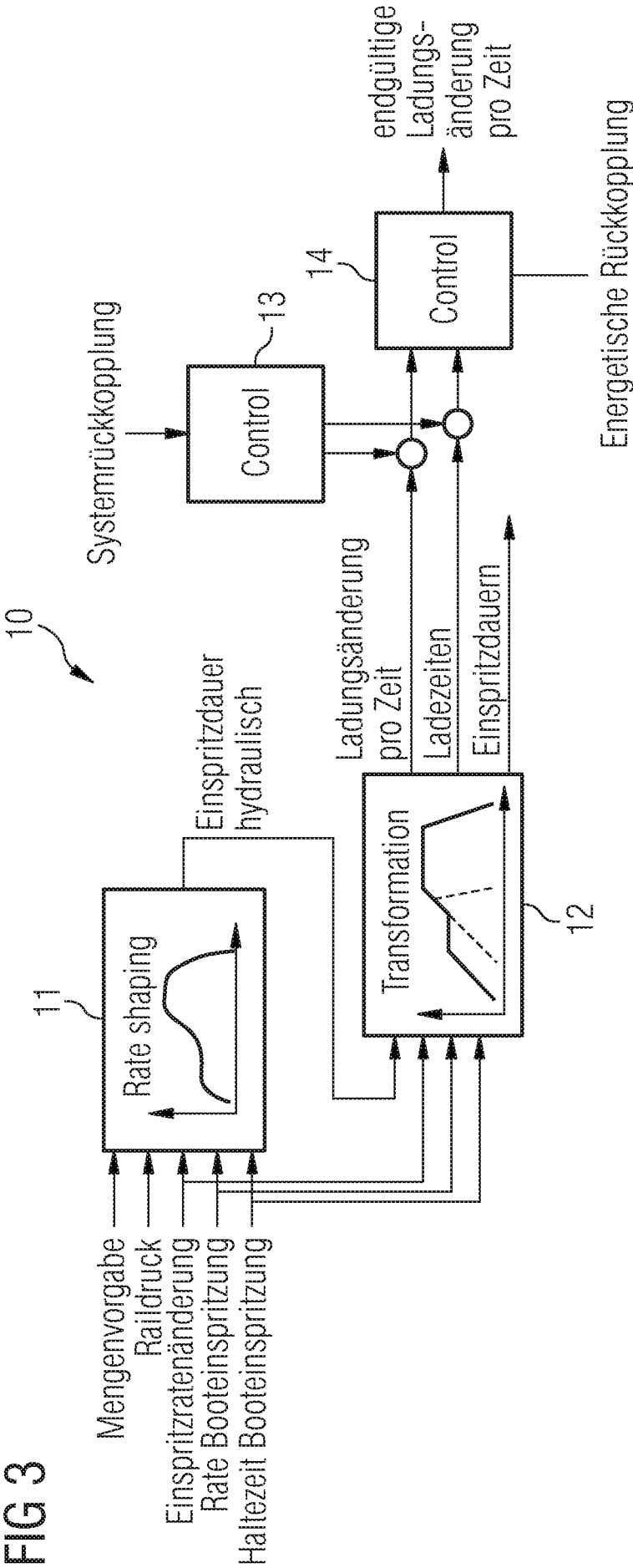
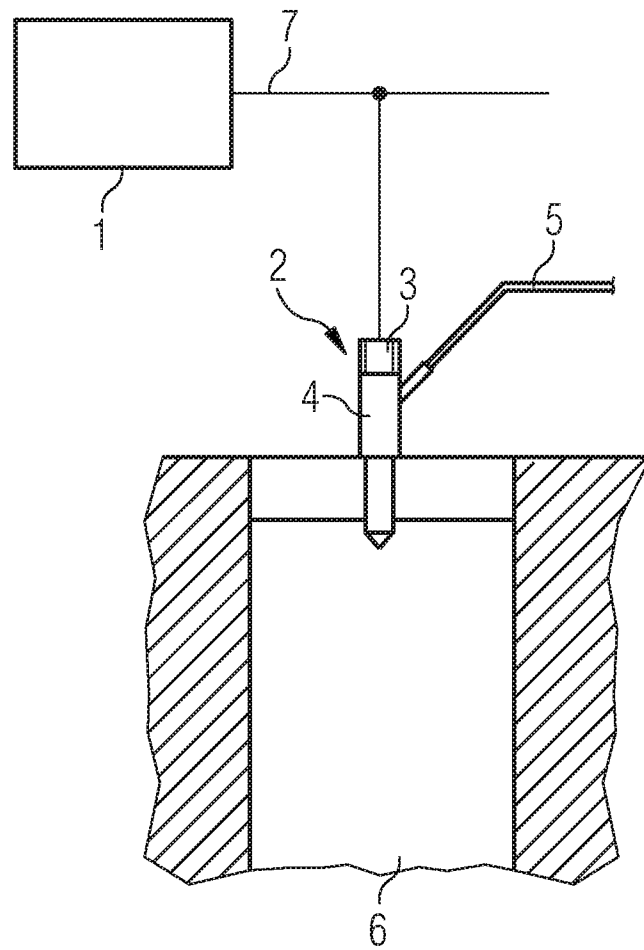


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/058130

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02D41/20 F02M51/06

ADD. F02D41/40

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)

F02D 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.
X	WO 2004/038203 A (SIEMENS AG [DE]; LIXL HEINZ [DE]) 6 May 2004 (2004-05-06) page 3, line 12 - line 32 page 11, line 9 - line 23; figure 2 -----	1, 3, 10
X	DE 100 11 711 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 4 October 2001 (2001-10-04) paragraphs [0005], [0019] -----	1, 10
X	EP 1 607 609 A (FIAT RICERCHE [IT]) 21 December 2005 (2005-12-21) paragraphs [0031] - [0034] -----	1, 10
A	DE 10 2004 006558 B3 (SIEMENS AG [DE]) 8 September 2005 (2005-09-08) paragraphs [0009], [0023] -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ 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.

8 document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 Oktober 2008

Date of mailing of the international search report

04/11/2008

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Pileri, Pierluigi

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/058130

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2004038203 A	06-05-2004	DE 10249218 A1 EP 1556603 A1	19-05-2004 27-07-2005
DE 10011711 A1	04-10-2001	NONE	
EP 1607609 A	21-12-2005	JP 2006002760 A US 2005274352 A1	05-01-2006 15-12-2005
DE 102004006558 B3	08-09-2005	EP 1618296 A1 WO 2005080778 A1 US 2007068484 A1	25-01-2006 01-09-2005 29-03-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/058130

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F02D41/20 F02M51/06

ADD. F02D41/40

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F02D 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.
X	WO 2004/038203 A (SIEMENS AG [DE]; LIXL HEINZ [DE]) 6. Mai 2004 (2004-05-06) Seite 3, Zeile 12 - Zeile 32 Seite 11, Zeile 9 - Zeile 23; Abbildung 2 -----	1, 3, 10
X	DE 100 11 711 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Absätze [0005], [0019] -----	1, 10
X	EP 1 607 609 A (FIAT RICERCHÉ [IT]) 21. Dezember 2005 (2005-12-21) Absätze [0031] - [0034] -----	1, 10
A	DE 10 2004 006558 B3 (SIEMENS AG [DE]) 8. September 2005 (2005-09-08) Absätze [0009], [0023] -----	1



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

27. Oktober 2008

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/11/2008

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Pileri, Pierluigi

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/058130

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2004038203 A	06-05-2004	DE 10249218 A1	19-05-2004
		EP 1556603 A1	27-07-2005
DE 10011711 A1	04-10-2001	KEINE	
EP 1607609 A	21-12-2005	JP 2006002760 A	05-01-2006
		US 2005274352 A1	15-12-2005
DE 102004006558 B3	08-09-2005	EP 1618296 A1	25-01-2006
		WO 2005080778 A1	01-09-2005
		US 2007068484 A1	29-03-2007