



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.02.2008 Patentblatt 2008/06

(51) Int Cl.:
F02D 41/38 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07012743.6**

(22) Anmeldetag: **29.06.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **26.07.2006 DE 102006034514**

(71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH**
88045 Friedrichshafen (DE)

(72) Erfinder:
• **Kloos, Albert**
88045 Friedrichshafen (DE)
• **Kunz, Andreas**
88048 Friedrichshafen (DE)
• **Schmidt, Günther**
88046 Friedrichshafen (DE)
• **Speetzen, Ralf**
88048 Friedrichshafen (DE)
• **Willmann, Michael**
88697 Bermatingen (DE)

(54) **Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine**

(57) Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Railsystem, bei dem eine Kraftstoff-Masse aus einem gemessenen Kraftstoff-Druckverlauf berechnet wird und bei dem die Kraftstoff-Masse als maßgeblich für die Steuerung einer Einspritzung gesetzt wird. Das Verfahren ist

dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoff-Masse berechnet wird, indem der Druckverlauf (pE) eines Einzelspeichers (7) gemessen wird, ein modellierter Druckverlauf über ein hydraulisches Modell dem gemessenen Druckverlauf (pE) nachgebildet wird und aus dem hydraulischen Modell die Kraftstoff-Masse berechnet wird.

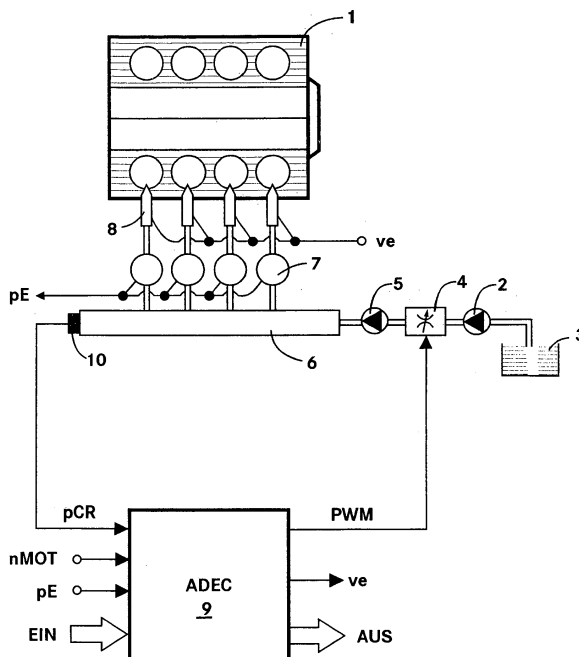


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine mit Common-Railsystem nach dem Oberbegriff von Anspruch eins.

[0002] Bei einer Brennkraftmaschine bestimmen der Spritzbeginn, die eingespritzte Kraftstoffmasse und das Spritzende maßgeblich die Güte der Verbrennung und die Zusammensetzung des Abgases. Um die gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten, werden der Spritzbeginn und das Spritzende üblicherweise von einem elektronischen Steuergerät geregelt. Zwischen dem Bestromungsbeginn des Injektors, dem Nadelhub des Injektors und dem tatsächlichen Spritzbeginn besteht ein zeitlicher Versatz, so dass sich der Ist-Spritzbeginn vom Soll-Spritzbeginn unterscheidet. Dies verursacht ungleiche zylinderspezifische Betriebswerte und Abgaswerte der Brennkraftmaschine für ein und denselben Betriebspunkt. Für das Spritzende gilt dies entsprechend. Eine weitere Unsicherheit besteht darin, dass in der Praxis die Kraftstoffmasse nicht direkt gemessen sondern aus anderen Messgrößen berechnet wird.

[0003] Aus der DE 197 26 756 A1 ist ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Railsystem bekannt, bei dem der Raildruck als direkte Messgröße erfasst und die Kraftstoff-Masse über eine mathematische Funktion, beispielsweise einer linearen oder Wurzelfunktion, oder über ein Kennfeld berechnet wird. Entsprechend den Angaben dieser Fundstelle soll das Verfahren echtzeitfähig sein, indem aus dem aktuellen Raildruck unmittelbar die Kraftstoffmasse bestimmt wird. Systembedingt sind dem Raildrucksignal jedoch beispielsweise die Einspritzfrequenz und die Förderfrequenz der Hochdruckpumpe als Störgrößen überlagert, so dass die in Echtzeit berechnete Kraftstoffmasse fehlerbehaftet ist oder der Raildruck zuvor gefiltert werden muss, wie dies in der DE 31 18 425 A1 dargestellt ist.

[0004] Das in der DE 197 26 756 A1 dargestellte Verfahren ist für ein konventionelles Common-Railsystem vorgesehen. Das Verfahren ist bei einem Common-Railsystem mit Einzelspeichern nicht unmittelbar anwendbar. Das Common-Railsystem mit Einzelspeichern unterscheidet sich von einem konventionellen Common-Railsystem darin, dass der einzuspritzende Kraftstoff aus dem Einzelspeicher entnommen wird. Die Zulaufleitung vom Rail zum Einzelspeicher ist in der Praxis so ausgelegt, dass eine Rückkoppelung von Störfrequenzen in das Rail gedämpft wird. Während der Einspritzpause fließt gerade soviel Kraftstoff aus dem Rail nach, dass der Einzelspeicher zu Beginn der Einspritzung wieder gefüllt ist. Der hydraulische Widerstand des Einzelspeichers und der Zulaufleitung sind aufeinander abgestimmt, d.h. die Verbindungsleitung vom Rail zum Einzelspeicher besitzt einen möglichst hohen hydraulischen Widerstand. Bei einem konventionellen Common-Railsystem ohne Einzelspeicher soll der hydraulische Widerstand zwischen dem Rail und dem Injektor mög-

lichst gering sein um eine ungehinderte Einspritzung zu erreichen.

[0005] Aus der DE 195 16 923 A1 ist ebenfalls ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem das Druckniveau in einer Leitung, welche die Einspritzpumpe und die Einspritzdüse verbindet, gemessen wird. Die Kraftstoff-Masse wird berechnet indem die Druckverlaufskurve normiert, das Flächenintegral gebildet und über eine Proportionalitäts-Konstante bewertet wird. Das darin dargestellte Verfahren ist bei einem Common-Railsystem mit Einzelspeichern auf Grund der Strukturunterschiede nicht anwendbar. Beispielsweise handelt es sich bei einer von einer Einspritzpumpe angesteuerten Einspritzdüse um ein passives Element, während der Injektor bei einem Common-Railsystem aktiv ansteuerbar ist.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, für ein Common-Railsystem mit Einzelspeichern ein Steuerungsverfahren zu entwerfen bei dem die Kraftstoff-Masse mit berücksichtigt wird.

[0007] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des ersten Anspruchs gelöst. Die Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Kraftstoff-Masse berechnet, indem der Druckverlauf eines Einzelspeichers gemessen wird, ein modellierter Druckverlauf über ein hydraulisches Modell dem gemessenen Druckverlauf nachgebildet wird und anschließend aus dem hydraulischen Modell die Kraftstoff-Masse berechnet wird.

[0009] Zur Erzielung einer möglichst exakten Kraftstoff-Berechnung ist vorgesehen, dass eine Abweichung aus dem gemessenen Druckverlauf des Einzelspeichers zum modellierten Druckverlauf berechnet wird und die Modellparameter solange angepasst werden bis die Abweichung kleiner einem Grenzwert wird. Hierbei wird die Abweichung aus den die Einspritzung kennzeichnenden Größen bestimmt. Dies sind der Spritzbeginn, das Spritzende, einer Druckdifferenz von Spritzbeginn-Druckniveau zum Spritzende-Druckniveau und einem Spritzwinkelbereich alternativ einer Spritzdauer.

[0010] Da das hydraulische Modell ein redundantes System zur Sollwert-Vorgabe einer Einspritzung darstellt, kann auf dieses im Fehlerfall zurückgegriffen werden. Für die Berechnung wird der ungefilterte Einzelspeicher-Druck verwendet, wodurch das System robust ist. Selbstverständlich ist dadurch auch eine genauere Injektorbewertung möglich.

[0011] In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt.

[0012] Es zeigen:

Figur 1 ein Systemschaubild;

Figur 2 ein Zeitdiagramm einer Einspritzung;

Figur 3 das Modell.

[0013] Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild einer

elektronisch gesteuerten Brennkraftmaschine 1. Bei dieser wird der Kraftstoff über ein Common-Railsystem eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: eine Niederdruck-Pumpe 2 zur Kraftstoff-Förderung aus einem Kraftstofftank 3, eine Saugdrossel 4 zur Festlegung eines Volumenstroms, eine Hochdruck-Pumpe 5 zur Förderung des Kraftstoffs unter Druckerhöhung in ein Rail 6, Einzelspeicher 7 zum Zwischenspeichern des Kraftstoffs und Injektoren 8 zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1.

[0014] Das Common-Railsystem mit Einzelspeichern unterscheidet sich von einem konventionellen Common-Railsystem darin, dass der einzuspritzende Kraftstoff aus dem Einzelspeicher 7 entnommen wird. Die Zulaufleitung vom Rail 6 zum Einzelspeicher 7 ist in der Praxis so ausgelegt, dass eine Rückkoppelung von Störfrequenzen in das Rail 6 gedämpft wird. Während der Einspritzpause fließt gerade soviel Kraftstoff aus dem Rail 6 nach, dass der Einzelspeicher 7 zu Beginn der Einspritzung wieder gefüllt ist. Der hydraulische Widerstand des Einzelspeichers 7 und der Zulaufleitung sind aufeinander abgestimmt, d.h. die Verbindungsleitung vom Rail 6 zum Einzelspeicher 7 besitzt einen möglichst hohen hydraulischen Widerstand. Bei einem konventionellen Common-Railsystem ohne Einzelspeicher soll der hydraulische Widerstand zwischen dem Rail 6 und dem Injektor 8 möglichst gering sein um eine ungehinderte Einspritzung zu erreichen.

[0015] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (ADEC) 9 geregelt. Das elektronische Steuergerät 9 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 9 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Raildruck p_{CR} , der mittels eines Rail-Drucksensors 10 gemessen wird, ein Drehzahl-Signal n_{MOT} der Brennkraftmaschine 1, Drucksignale p_E der Einzelspeicher 7 und eine Eingangsgröße EIN. Unter der Eingangsgröße EIN sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

[0016] In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 9 ein Signal PWM zur Steuerung der Saugdrossel 4, ein leistungsbestimmendes Signal v_e , beispielsweise eine Einspritzmenge zur Darstellung eines Sollmoments bei einer momentenbasierten Regelung, und eine Ausgangsgröße AUS dargestellt. Die Ausgangsgröße AUS steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1.

[0017] Die Figur 2 zeigt ein Diagramm eines gemessenen Druckverlaufs p_E in einem Einzelspeicher und ei-

nes modellierten Druckverlaufs p_{EMOD} . Der gemessene Druckverlauf p_E ist als durchgezogene Linie eingezeichnet. Der modellierte Druckverlauf p_{EMOD} ist als strichpunktierte Linie eingezeichnet. Hierbei ist der modellierte Druckverlauf p_{EMOD} nach dem ersten Berechnungsdurchgang dargestellt, d. h. der modellierte Druckverlauf p_{EMOD} unterscheidet sich noch wesentlich vom gemessenen Druckverlauf p_E .

[0018] Auf der Abszisse ist der Kurbelwellen-Winkel Φ aufgetragen. Auf der Ordinate ist der gemessene Einzelspeicher-Druck p_E bzw. der modellierte Einzelspeicher-Druck p_{EMOD} aufgetragen. Der Druckverlauf im Einzelspeicher wird über ein Messintervall gemessen und gespeichert. Das Messintervall kann hierbei einem Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine entsprechen, d. h. 720 Grad Kurbelwellen-Winkel. Das in Figur 2 dargestellte Messintervall umfasst exemplarisch den Bereich von 320 bis 460 Grad Kurbelwellen-Winkel.

[0019] Das Verfahren läuft folgendermaßen ab, wobei die beschriebenen Schritte einem Programm-Ablauf eines ausführbaren Programms entsprechen:

[0020] In einem ersten Schritt werden aus dem gemessenen Druckverlauf p_E die Kenngrößen der Einspritzung bestimmt. Die Kenngrößen sind der Spritzbeginn SB, das Spritzende SE, eine Druckdifferenz dp und ein Spritzwinkelbereich $d\Phi$. Die Druckdifferenz berechnet sich aus dem Unterschied von Spritzbeginn-Druckniveau $p_E(SB)$ minus Spritzende-Druckniveau $p_E(SE)$. Der Spritzwinkelbereich $d\Phi$ berechnet sich aus dem Unterschied von Spritzende-Winkel $\Phi(SE)$ minus Spritzbeginn-Winkel $\Phi(SB)$. Der Spritzbeginn SB kann auch aus dem Spritzende SE über eine mathematische Funktion bestimmt werden. Ein entsprechendes Verfahren ist aus der DE 103 44 181 A1 bekannt.

[0021] In einem zweiten Schritt wird anhand der vom elektronischen Steuergerät ausgegebenen Sollgrößen für die Einspritzung über das hydraulische Modell der modellierte Druckverlauf p_{EMOD} dem gemessenen Druckverlauf p_E nachgebildet. Die den modellierten Druckverlauf kennzeichnenden Größen sind vorzugsweise der modellierte Spritzbeginn SB_{MOD} , das modellierte Spritzende SE_{MOD} , die modellierte Druckdifferenz dp_{MOD} und der modellierte Winkelbereich $d\Phi_{MOD}$.

[0022] In einem dritten Schritt wird dann eine Differenz der Kenngrößen des gemessenen Druckverlaufs p_E zum modellierten Druckverlauf p_{EMOD} gebildet. Die Bezugszeichen dSB , dSE , ddp und $dd\Phi$ entsprechen der jeweiligen Differenz. Hierbei berechnet sich ddp aus der modellierten Druckdifferenz dp_{MOD} minus der Druckdifferenz dp . Entsprechend berechnet sich $dd\Phi$ aus dSE minus dSB .

[0023] In einem vierten Schritt werden dann die Modellparameter des hydraulischen Modells solange angepasst bis die Abweichung kleiner einem Grenzwert GW wird, beispielsweise $GW < 0,5^\circ$ Kurbelwellenwinkel. Ist dies der Fall, so entspricht die aus dem hydraulischen Modell berechnete Kraftstoff-Masse der tatsächlichen Kraftstoff-Masse. Die aus dem Modell berechnete Kraft-

stoff-Masse wird dann als maßgeblich für die weitere Steuerung der Brennkraftmaschine gesetzt.

[0024] In der Figur 2 wurde der Druckverlauf p_E und der modellierte Druckverlauf p_{EMOD} über dem Kurbelwellen-Winkel Φ dargestellt. Alternativ kann der Druckverlauf auch über der Zeit dargestellt werden. In diesem Fall sind die Bezugnahmen im Text als Bezugnahme auf die Zeit zu verstehen.

[0025] In Figur 3 ist das hydraulische Modell dargestellt. Die Eingangsgrößen sind ein erster Druck p_1 , welcher dem von der Hochdruckpumpe 5 bereitgestellten Druckniveau entspricht, und ein erster Massenstrom m_1 . Die Ausgangsgrößen sind ein zweiter Druck p_2 , ein zweiter Massenstrom m_2 , ein dritter Druck p_3 und ein dritter Massenstrom m_3 . Der zweite Druck p_2 entspricht dem Druckniveau im Niederdruckbereich. Der zweite Massenstrom m_2 steht für die Leckage des Systems. Der dritte Druck p_3 entspricht dem Zylinderdruck und ist in etwa konstant. Der dritte Massenstrom m_3 steht für die eingespritzte Kraftstoff-Masse. Das Bezugszeichen D1 steht für eine erste, D2 für eine zweite und D3 für eine dritte Drosselstelle. Letztere entspricht der Einspritzdüse. Das Bezugszeichen 11 kennzeichnet das Einzelspeichervolumen. Die hydraulischen Kenngrößen der ersten Drosselstelle D1 sind aus Prüfstands-Messungen bekannt und bleiben im Betrieb konstant. Die hydraulischen Kenngrößen der zweiten Drosselstelle D2 sind veränderlich, können jedoch aus der Druckanstiegsphase im Einzelspeicherdruck und dessen Abweichung bestimmt werden. Die hydraulischen Kenngrößen der dritten Drosselstelle D3, also der Einspritzdüse, verändern sich mit dem Nadelhub. Deren zeitliche Veränderung können auf einem Komponentenprüfstand gemessen werden, zum Beispiel mittels eines aus der DE 198 50 221 C1 bekannten Verfahrens.

[0026] Aus der vorstehenden Beschreibung bietet das erfindungsgemäße Verfahren folgende Vorteile:

- über die Modellierung des Einzelspeicherverlaufs kann die Kraftstoff-Masse genau bestimmt werden;
- der hydraulische Zustand des Injektors wird abgebildet;
- das hydraulische Modell stellt ein redundantes System dar und kann daher einen Weiterbetrieb im Fehlerfall gewährleisten.

Bezugszeichen

[0027]

- | | | |
|---|--------------------|----|
| 1 | Brennkraftmaschine | |
| 2 | Niederdruck-Pumpe | |
| 3 | Kraftstofftank | |
| 4 | Saugdrossel | |
| 5 | Hochdruck-Pumpe | 55 |
| 6 | Rail | |
| 7 | Einzelspeicher | |
| 8 | Injektor | |

- | | |
|----|-----------------------------------|
| 9 | elektronisches Steuergerät (ADEC) |
| 10 | Rail-Drucksensor |
| 11 | Einzelspeichervolumen |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Railsystem, bei dem eine Kraftstoff-Masse aus einem gemessenen Kraftstoff-Druckverlauf berechnet wird und bei dem die Kraftstoff-Masse als maßgeblich für die Steuerung einer Einspritzung gesetzt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kraftstoff-Masse berechnet wird, indem der Druckverlauf (p_E) eines Einzelspeichers (7) gemessen wird, ein modellierter Druckverlauf (p_{EMOD}) über ein hydraulisches Modell dem gemessenen Druckverlauf (p_E) nachgebildet wird und aus dem hydraulischen Modell die Kraftstoff-Masse berechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass Abweichungen aus dem gemessenen Druckverlauf des Einzelspeichers (p_E) zum modellierten Druckverlauf (p_{EMOD}) berechnet werden und die Modellparameter solange angepasst werden bis die Abweichungen kleiner einem Grenzwert (GW) werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Abweichungen für die die Einspritzung kennzeichnenden Größen bestimmt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Größen einem Spritzbeginn (SB), einem Spritzende (SE), einer Druckdifferenz (dp) von Spritzbeginn-Druckniveau (p_{SB}) zum Spritzende-Druckniveau (p_{SE}) und einem Spritzwinkelbereich ($d\Phi$) alternativ einer Spritzdauer (dt) entsprechen.

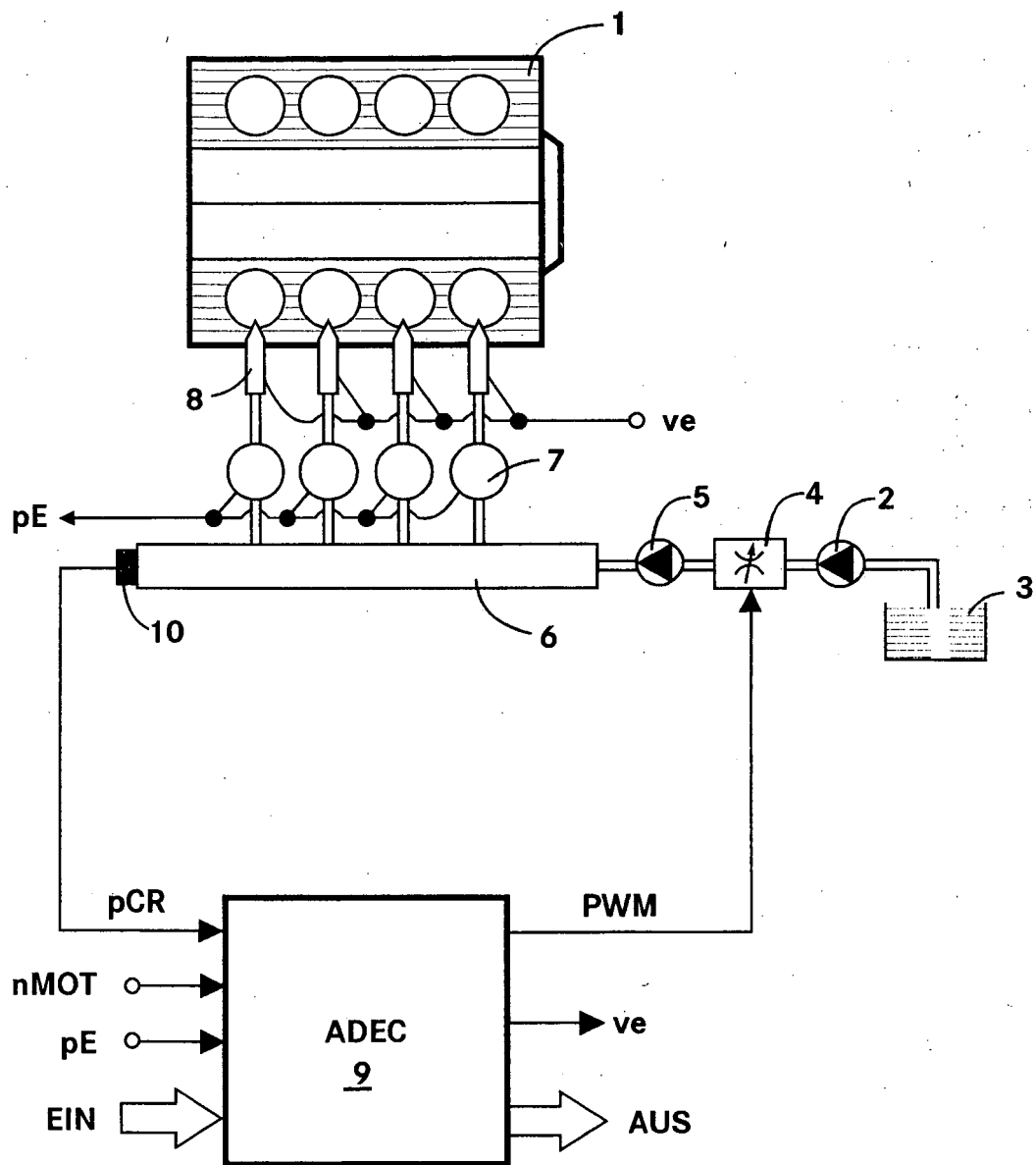


Fig. 1

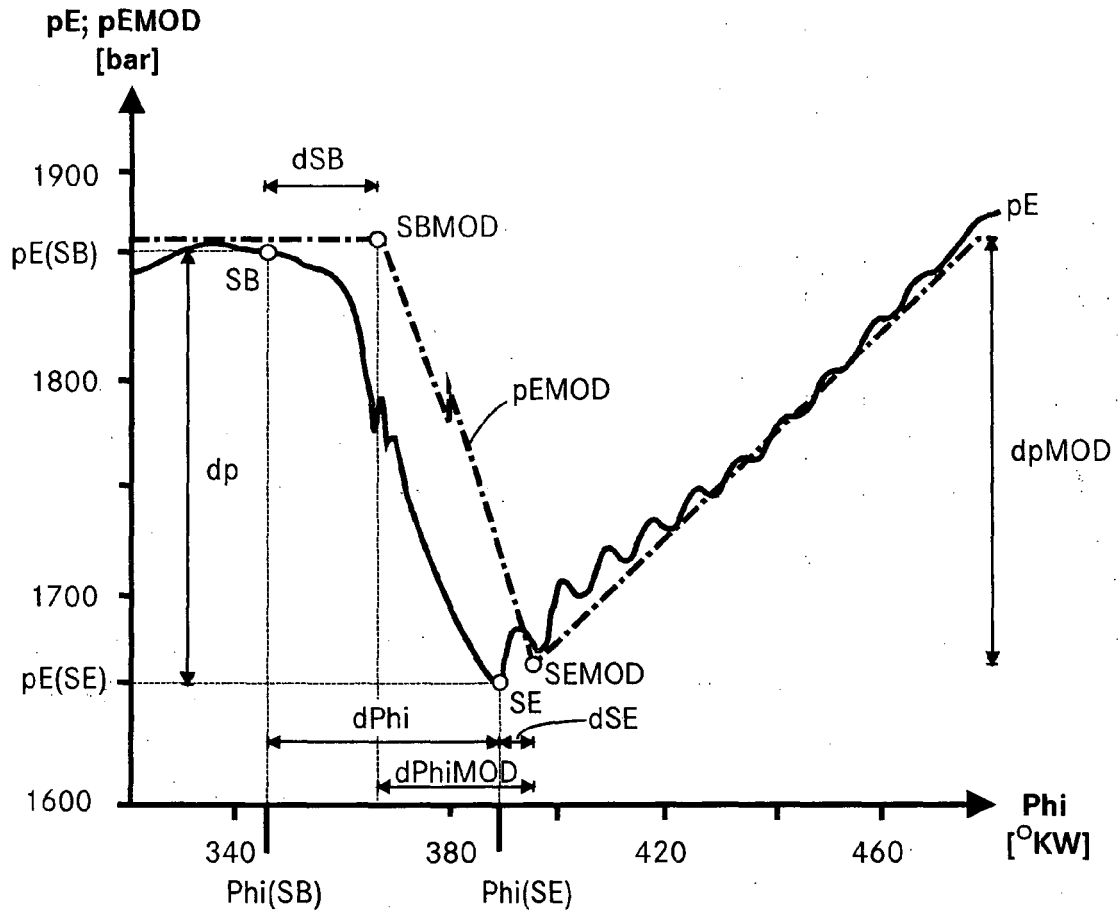


Fig. 2

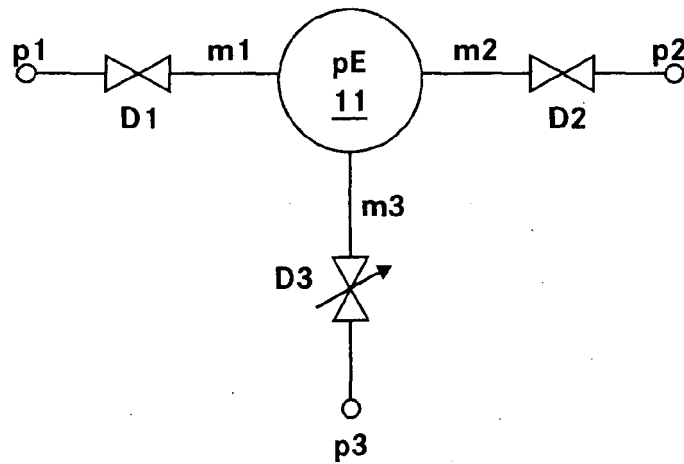


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19726756 A1 [0003] [0004]
- DE 3118425 A1 [0003]
- DE 19516923 A1 [0005]
- DE 10344181 A1 [0020]
- DE 19850221 C1 [0025]