



(11) **EP 2 006 521 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.12.2008 Patentblatt 2008/52

(51) Int Cl.:
F02D 41/38^(2006.01) F02D 41/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08010497.9**

(22) Anmeldetag: **10.06.2008**

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

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

(72) Erfinder: **Dölker, Armin**
88045 Friedrichshafen (DE)

(30) Priorität: **18.06.2007 DE 102007027943**

(54) **Verfahren zur Regelung des Railldrucks während eines Startvorgangs**

(57) Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Regelung des Railldrucks (pCR) bei einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Railsystem während des Startvorgangs, bei dem eine Regelabweichung aus einem Ist-Raildruck sowie einem Soll-Raildruck berechnet wird, bei dem aus der Regelabweichung über einen Druckregler eine Stellgröße zur Beaufschlagung einer Saugdrossel (4) berechnet

wird und bei dem über die Saugdrossel (4) die geförderte Kraftstoffmenge festgelegt wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Motorstart bei Erkennen einer negativen Regelabweichung mit anschließender positiver Regelabweichung des Railldrucks (pCR) eine Adaption aktiviert wird, über welche die Stellgröße temporär im Sinne einer größeren Fördermenge verändert wird.

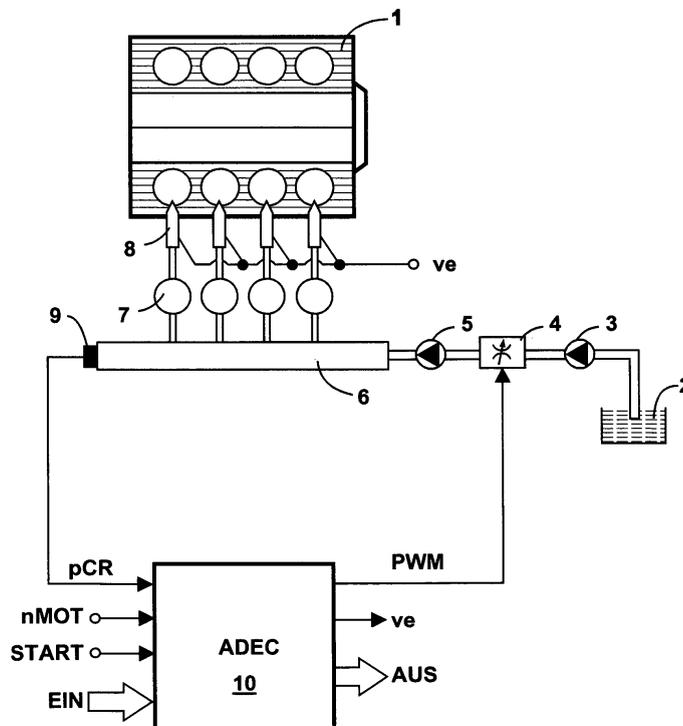


Fig. 1

EP 2 006 521 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Raildrucks bei einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Railsystem während des Startvorgangs nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Zur Erzielung einer hohen Einspritzgüte und eines geringen Schadstoffausstoßes wird der Raildruck bei einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Railsystem geregelt. Ein entsprechender Regelkreis ist aus der DE 103 30 466 B3 bekannt, bei welchem der Ist-Raildruck aus den gemessenen Rohwerten des Raildrucks berechnet und mit dem Soll-Raildruck, der Führungsgröße, verglichen wird. Aus der hieraus resultierenden Regelabweichung berechnet ein Druckregler als Stellgröße einen Volumenstrom, welcher anschließend begrenzt und in ein PWM-Signal umgesetzt wird. Mit dem PWM-Signal wird dann die Magnetspule einer Saugdrossel beaufschlagt. Über die Saugdrossel wird der Förderstrom von einer Niederdruck- zu einer Hochdruckpumpe beeinflusst, wobei letztere unter Druckerhöhung den Kraftstoff in das Rail fördert. In diesem Regelkreis entsprechen die beiden Pumpen, die Saugdrossel und das Rail der Regelstrecke. Die nicht vorveröffentlichte deutsche Patentanmeldung mit dem amtlichen Aktenzeichen DE 10 2006 049 266.8 zeigt denselben Regelkreis mit der Präzisierung, dass der Volumenstrom über eine Pumpenkennlinie in einen elektrischen Soll-Strom umgesetzt wird, welcher dann die Eingangsgröße für die PWM-Berechnung ist.

[0003] In der Praxis kann bei diesem Druckregelkreis während des Startvorgangs folgendes Problem auftreten:

Zur Berechnung des PWM-Signals wird der elektrische Soll-Strom mit dem ohmschen Widerstand der Saugdrossel-Spule und der Leitung multipliziert. Die Saugdrossel wird in negativer Logik angesteuert, das heißt, diese ist stromlos offen. Bei vollständig geöffneter Saugdrossel gelangt der von der Niederdruckpumpe geförderte Volumenstrom ungedrosselt zur Hochdruckpumpe. Wird die Saugdrossel bestromt, so verschließt diese die Kraftstoffleitung. Um ein sicheres Absteuern, also ein vollständiges Verschließen der Kraftstoffleitung zu gewährleisten, muss der ohmsche Widerstand der Saugdrossel-Spule und der Leitung als maximal vorgegeben werden. Der maximale Wert des Widerstands ergibt sich bei maximaler Temperatur der Saugdrossel. Bei einem zulässigen Temperaturbereich von zum Beispiel -20 °C bis 120 °C ändert sich der ohmsche Widerstand der Saugdrossel von circa 2 Ohm auf 4 Ohm, also um 100%. Um den Hochdruck bei allen möglichen Umgebungsbedingungen sicher absteuern zu können, muss im elektronischen Steuergerät der maximale Festwert von 4 Ohm abgelegt werden. Bei kalten Temperaturen verursacht dies jedoch eine Fehlberechnung, da bei tatsächlichem kleinem

Widerstand ein zu großes PWM-Signal berechnet wird und daher die Saugdrossel in Richtung der Schließstellung gesteuert wird. Beim Starten der Brennkraftmaschine in kalter Umgebung bewirkt dies, dass der Ist-Raildruck nach dem ersten Überschwingen (negative Regelabweichung) unter den Soll-Raildruck abfällt (positive Regelabweichung) und immer mehr abnimmt, bis der Öffnungsdruck der Injektordüsen unterschritten wird und ein Abstellen der Brennkraftmaschine verursacht wird.

[0004] Dieses Problem kann gelöst werden, indem dem Raildruck-Regelkreis eine Stromregelung des Spulenstroms unterlagert wird, wie dies beispielsweise aus der DE 10 2004 061 474 A1 für den zuvor beschriebenen Regelkreis bekannt ist. Auf Grund der zusätzlichen Hardware ist diese Lösung jedoch aufwendig.

[0005] Aus der DE 101 56 637 C1 ist zwar ein Verfahren zur Steuerung und Regelung des Startbetriebs einer Brennkraftmaschine bekannt, Ziel des Verfahrens ist es jedoch, Druckschwingungen dadurch zu unterdrücken, dass ein Pendeln zwischen dem Steuerungs- und Regelungsbetrieb verhindert wird. In Bezug auf die zuvor beschriebene Problematik sind der Fundstelle keine weiteren Hinweise zu entnehmen.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, mit wenig zusätzlichem Aufwand den Startvorgang sicher zu gestalten.

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

[0008] Nach dem Motorstart wird zunächst einmal geprüft, ob ein adaptionauslösendes Ereignis auftritt. Das auslösende Ereignis ist eine erkannte negative Regelabweichung mit anschließender positiver Regelabweichung des Raildrucks, das heißt, der Ist-Raildruck schwingt zunächst über den Soll-Raildruck hinaus und unterschwingt danach wieder den Soll-Raildruck. Mit Erkennen des auslösenden Ereignisses wird die Adaption aktiviert, über welche die Stellgröße temporär im Sinne einer größeren Fördermenge verändert wird. Dies geschieht, indem entweder die Stellgröße mittelbar über die Veränderung der Regleranteile oder unmittelbar der elektrische Soll-Strom oder das PWM-Signal verändert werden. Die Regleranteile werden über einen Proportionalbeiwert zur Bestimmung eines P-Anteils und/oder einer Nachstellzeit zur Bestimmung eines I-Anteils des Druckreglers verändert. Zur Berechnung sind Adaption-Kennlinien für den Proportionalbeiwert, die Nachstellzeit, den Soll-Strom und das PWM-Signal vorgesehen. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit wird die Adaption deaktiviert und bis zum Neustart der Brennkraftmaschine verriegelt, wenn die Regelabweichung kleiner als ein Grenzwert wird.

[0009] Durch die Adaption wird -ohne zusätzliche Sensorik- die Temperaturabhängigkeit des Saugdrossel-Widerstands kompensiert. Die Hochdruckregelung wird dadurch robuster gegenüber Temperaturschwankungen.

In der Praxis tritt ein Abstellen der Brennkraftmaschine beim Motorstart nicht mehr auf.

[0010] In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Systemschaubild,
- Fig. 2 ein Blockschaltbild des Regelkreises mit Adaption,
- Fig. 3 eine Kennlinie,
- Fig. 4 eine Kennlinie,
- Fig. 5A-5H einen Startvorgang als Zeitdiagramm,
- Fig. 6 einen Programm-Ablaufplan und
- Fig. 7 einen Unterprogramm-Ablaufplan.

[0011] Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild einer Brennkraftmaschine 1 mit Common-Railsystem. Das Common-Railsystem hat folgende Komponenten: eine Niederdruckpumpe 3 zur Förderung von Kraftstoff aus einem Kraftstofftank 2, eine veränderbare Saugdrossel 4 zur Beeinflussung des durchströmenden Kraftstoff-Volumenstroms, eine Hochdruckpumpe 5 zur Förderung des Kraftstoffs unter Druckerhöhung, ein Rail 6, (optionale) Einzelspeicher 7 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 8 zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1.

[0012] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (ADEC) 10 bestimmt. Das elektronische Steuergerät 10 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 10 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: der Raildruck pCR, der mittels eines Rail-Drucksensors 9 gemessen wird, eine Motordrehzahl nMOT, ein Signal START zur Aktivierung der Brennkraftmaschine 1 durch den Betreiber und eine Eingangsgröße EIN. Unter der Eingangsgröße EIN sind beispielsweise der Ladeluftdruck der Abgasturbolader und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel sowie des Kraftstoffs zusammengefasst.

[0013] In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 ein Signal PWM zur Ansteuerung der Saugdrossel 4, ein Signal ve zur Ansteuerung der Injektoren 8 und eine Ausgangsgröße AUS dargestellt. Die Ausgangsgröße AUS steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1, beispielsweise für ein Stellsignal zur Aktivierung eines zweiten Abgasturboladers bei einer Registeraufladung.

[0014] In Figur 2 ist ein Druck-Regelkreis dargestellt. Die Eingangsgrößen sind ein Soll-Raildruck pCR(SL) als Führungsgröße, die Motordrehzahl nMOT und Eingangsgrößen E1 bis E3. Die Ausgangsgröße entspricht dem Rohwert des Raildrucks pCR, welcher die Regel-

größe darstellt. Aus dem Rohwert des Raildrucks pCR wird mittels eines Filters 17 ein Ist-Raildruck pCR(IST) bestimmt. Dieser wird mit dem Sollwert pCR(SL) an einem Summationspunkt verglichen, woraus eine Regelabweichung ep resultiert. Aus der Regelabweichung ep wird mittels eines Druckreglers 11 eine Stellgröße berechnet. Typischerweise ist der Druckregler 11 als PIDT1-Regler ausgeführt. Die Stellgröße entspricht einem Volumenstrom VR. Die physikalische Einheit des Volumenstroms ist Liter/Minute. Optional ist vorgesehen, dass zum Volumenstrom VR der berechnete Sollverbrauch addiert wird. Der Volumenstrom VR entspricht der Eingangsgröße für eine Begrenzung 12. Die Begrenzung 12 kann drehzahlabhängig ausgeführt sein, Eingangsgröße nMOT. Die Ausgangsgröße der Begrenzung 12 entspricht einem Soll-Volumenstrom VSL, welchem über eine Pumpen-Kennlinie 13 ein elektrischer Soll-Strom iSL zugeordnet wird. An einem Punkt A wird der Soll-Strom iSL mit der Eingangsgröße E1 multipliziert. Die Eingangsgröße E1 steht für den ohmschen Widerstand der Saugdrossel-Spule und der Leitung. Dieser berechnete Spannungswert wird über einen Funktionsblock Berechnung PWM-Signal 14 in ein PWM-Signal PWM umgesetzt. Bei der Umrechnung werden Schwankungen der Betriebsspannung als Eingangsgröße E2 mitberücksichtigt. Mit dem PWM-Signal PWM wird dann die Regelstrecke 15 beaufschlagt. Diese besteht aus der Saugdrossel mit Hochdruckpumpe, Bezugszeichen 16, und dem Rail 6 mit den (optionalen) Einzelspeichern. Über das PWM-Signal wird der Weg des Magnetkerns der Saugdrossel verändert, wodurch der Förderstrom der Hochdruckpumpe frei beeinflusst wird. Die Saugdrossel wird in negativer Logik angesteuert, das heißt, diese ist stromlos vollständig geöffnet. Die Eingangsgröße E3 steht stellvertretend für die Motordrehzahl nMOT und dem von der Niederdruckpumpe 3 bereitgestellten Vor-
druck. Aus dem Rail 6 und den Einzelspeichern 7 wird über die Injektoren 8 ein Verbrauchsvolumenstrom V3 abgeführt. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

[0015] Die Erfindung sieht nun vor, dass der Regelkreis ergänzt wird um einen Funktionsblock 18 zur Berechnung der mittelbaren Adaption oder eine Berechnung 21 zur Bestimmung des Strom-Adaptionswerts di oder eine Berechnung 22 zur Bestimmung eines PWM-Adaptionswerts dPWM. Über den Funktionsblock 18 werden die Regleranteile und damit die Stellgröße mittelbar verändert. Über die Berechnung 21 oder Berechnung 22 wird die Stellgröße unmittelbar verändert. Im Funktionsblock 18 ist eine Berechnung 19 zur Bestimmung eines Proportional-Adaptionswerts dkp und eine Berechnung 20 zur Bestimmung eines Nachstellzeit-Adaptionswerts dTn zusammengefasst. Die beiden Berechnungen 19 und 20 können alternativ oder zusammen im Funktionsblock 18 angeordnet sein.

[0016] Zur Darstellung der mittelbaren Adaption mittels des Funktionsblocks 18 wird über die Berechnung 19 in Abhängigkeit der Regelabweichung ep und einer Eingangsgröße E4 der Proportional-Adaptionswert dkp

über eine Kennlinie ADAP1 bestimmt, welche in der Figur 3 dargestellt ist. Unter der Eingangsgröße E4 sind die Motordrehzahl n_{MOT} , zwei Grenzwerte der Regelabweichung und eine Abtastzeit zusammengefasst. An einem Punkt C wird der Proportional-Adaptionswert dkp mit einem Konstantwert $K1$ addiert. Das Ergebnis entspricht dem Proportionalbeiwert kp . Der P-Anteil des Druckreglers 11 berechnet sich dann aus dem Proportionalbeiwert kp und der Regelabweichung ep . Über die Berechnung 20 wird in Abhängigkeit der Regelabweichung ep und einer Eingangsgröße E5 der Nachstellzeit-Adaptionswert dTn über eine Kennlinie ADAP2 bestimmt, welche in der Figur 4 dargestellt ist. Unter der Eingangsgröße E5 sind die Motordrehzahl n_{MOT} , zwei Grenzwerte der Regelabweichung und die Abtastzeit zusammengefasst. An einem Punkt D wird der Nachstellzeit-Adaptionswert dTn mit einem Konstantwert $K2$ addiert. Das Ergebnis entspricht der Nachstellzeit Tn .

[0017] Zur Darstellung der unmittelbaren Adaption wird in einer ersten Ausführungsform über die Berechnung 21 der Strom-Adaptionswert di in Abhängigkeit der Regelabweichung ep und einer Eingangsgröße E6 über die Kennlinie ADAP2, siehe Figur 4, berechnet. Unter der Eingangsgröße E6 sind die Motordrehzahl n_{MOT} , zwei Grenzwerte der Regelabweichung und die Abtastzeit zusammengefasst. An einer Stelle E werden der über die Pumpen-Kennlinie 13 berechnete Soll-Strom i_{SL} und der Strom-Adaptionswert di addiert. Anschließend wird die Summe an der Stelle A mit der Eingangsgröße E1, also dem ohmschen Widerstand, multipliziert. In einer zweiten Ausführungsform wird über die Berechnung 22 der PWM-Adaptionswert $dPWM$ in Abhängigkeit der Regelabweichung ep und einer Eingangsgröße E7 über die Kennlinie ADAP2, siehe Figur 4, berechnet. Unter der Eingangsgröße E7 sind die Motordrehzahl n_{MOT} , zwei Grenzwerte der Regelabweichung und die Abtastzeit zusammengefasst. An einer Stelle B werden der über die PWM-Berechnung 14 ermittelte PWM-Wert und der PWM-Adaptionswert $dPWM$ addiert.

[0018] Die Funktionalität der Figur 2 besteht darin, dass, nachdem ein adaptionsauslösendes Ereignis erkannt wurde, die Stellgröße zur Beaufschlagung der Saugdrossel entweder mittelbar oder unmittelbar im Sinne einer größeren zulässigen Fördermenge verändert wird. Die mittelbare Veränderung erfolgt über den Proportionalbeiwert kp und/oder die Nachstellzeit Tn . Die unmittelbare Veränderung erfolgt über den Strom-Adaptionswert di oder den PWM-Adaptionswert $dPWM$. Das adaptionsauslösende Ereignis liegt dann vor, wenn nach dem Motorstart der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ über den Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ hinausschwingt und danach diesen unterschwingt.

[0019] Die Figur 3 zeigt die Kennlinie ADAP1, über welche einer Regelabweichung ep ein Proportional-Adaptionswert dkp zugeordnet wird. Die Kennlinie ADAP1 setzt sich aus einem mit der Abszisse identischen ersten Geradenabschnitt, einem zweiten Geradenabschnitt mit positiver Steigung und einem zur Abszisse parallelen

dritten Geradenabschnitt zusammen. In einem Bereich vom Koordinatenursprung bis zum ersten Grenzwert $GW1$ wird der Regelabweichung ep über den ersten Geradenabschnitt ein Proportional-Adaptionswert dkp von Null zugeordnet. Im Bereich zwischen dem ersten Grenzwert $GW1$ und dem zweiten Grenzwert $GW2$ wird einer zunehmenden Regelabweichung ep ein zunehmender Proportional-Adaptionswert dkp zugeordnet, beispielsweise der Regelabweichung $ep1$ über den Punkt A der positive Wert $dkp1$. An Stelle des ansteigenden Geradenabschnitts können auch andere mathematische Funktionen (Parabel, Hyperbel) vorgesehen sein. Im Bereich oberhalb des zweiten Grenzwerts $GW2$ wird der Regelabweichung ep stets der gleiche maximale Wert MAX zugewiesen.

[0020] Die Figur 4 zeigt die Kennlinie ADAP2, über welche einer Regelabweichung ep der Nachstellzeit-Adaptionswert dTn oder der Strom-Adaptionswert di oder der PWM-Adaptionswert $dPWM$ zugeordnet wird. Die Kennlinie ADAP2 besteht aus einem mit der Abszisse identischen ersten Geradenabschnitt, einem zweiten Geradenabschnitt mit negativer Steigung und einem abszissenparallelen dritten Geradenabschnitt. Beispielsweise wird einer Regelabweichung $ep1$ über den dritten Geradenabschnitt, Punkt B, der Wert MIN zugewiesen. In der Praxis kann die Kennlinie ADAP2 für die unterschiedlichen Adaptionswerte (dTn , di , $dPWM$) unterschiedlich hinsichtlich der Grenzwerte als auch der Steigung ausgeführt sein. An Stelle des zweiten Geradenabschnitts kann auch eine andere mathematische Funktion, beispielsweise Parabel oder Hyperbel, vorgesehen sein.

[0021] In der Figur 5 sind ein Start- und ein Stoppvorgang dargestellt. Die Figur 5 besteht aus den Teilfiguren 5A bis 5H. Diese zeigen jeweils über der Zeit: die Motordrehzahl n_{MOT} (Figur 5A), den Raildruck p_{CR} (Figur 5B), ein Zustandssignal Motor AN (Figur 5C), ein Zustandssignal eines ersten Merkers M_{neg} (Figur 5D), ein Zustandssignal eines zweiten Merkers M_{pos} (Figur 5E), ein Signal Adaption (Figur 5F), den Verlauf des Proportionalbeiwerts kp (Figur 5G) und den Verlauf der Nachstellzeit Tn (Figur 5H). In den beiden Figuren 5A und 5B sind zwei Fallbeispiele eingezeichnet. Die gestrichelte Linie kennzeichnet einen Verlauf gemäß dem Stand der Technik. Die durchgezogene Linie kennzeichnet einen Verlauf nach der Erfindung. Bei der weiteren Erläuterung wird von einem konstanten Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ von 600 bar ausgegangen, welcher als strichpunktierte Linie in Figur 5B eingezeichnet ist.

[0022] Das Verfahren gemäß dem Stand der Technik (gestrichelte Linie) bei niedriger Umgebungstemperatur läuft folgendermaßen ab:

Zum Zeitpunkt t_0 wird der Startvorgang durch Bestromung des Anlassers aktiviert. Die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine beginnt sich zu drehen. Es erfolgt jedoch noch keine Einspritzung. Nach dem Zeitpunkt t_0 erhöht sich die Motordrehzahl n_{MOT} ,

bis sie eine Anlasserdrehzahl n_1 erreicht. Zum Zeitpunkt t_1 erreicht die Motordrehzahl n_{MOT} eine Drehzahlschwelle bei der das Drehzahlsignal vom Drehzahlsensor sicher erfasst werden kann. Das Signal Motor AN wird dann auf 1 gesetzt, siehe Figur 5C. Da die Hochdruckpumpe 5 mechanisch mit der Kurbelwelle verbunden ist, beginnt diese mit dem Drehen der Kurbelwelle den Kraftstoff in das Rail zu fördern. Hierdurch vergrößert sich der Raildruck p_{CR} . Zum Zeitpunkt t_2 ist die Synchronisierung abgelaufen, so dass die Einspritzung in die Brennräume der Brennkraftmaschine beginnt. Hierdurch vergrößert sich die Drehzahl n_{MOT} der Brennkraftmaschine in Richtung des Leerlauf-Drehzahl-niveaus von 600 Umdrehungen. Zum Zeitpunkt t_3 überschreitet die Motordrehzahl n_{MOT} das Leerlauf-Drehzahl-niveau und schwingt über dieses hinaus. Der Grund hierfür ist die Reaktionszeit des Drehzahl-Regelkreises. Zum Verlauf der Motordrehzahl n_{MOT} korrespondiert der Verlauf des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$, welcher im Zeitraum t_2 bis t_3 ebenfalls stark zunimmt und danach über das Soll-Raildruck-niveau von 600 bar hinausschwingt. Da nunmehr der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ größer als der Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ ist, liegt eine negative Regelabweichung ep vor. Auf Grund der negativen Regelabweichung ep reduziert der Druckregler die Stellgröße, wodurch die Saugdrossel in Richtung ihrer Schließstellung gesteuert wird. Da nunmehr von der Hochdruckpumpe weniger Kraftstoff gefördert wird, verringert sich der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ bis dieser nach dem Zeitpunkt t_4 den Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ unterschwingt. Auf Grund der niedrigen Umgebungstemperatur ist der ohmsche Widerstand der Saugdrossel-Spule geringer als der im elektronischen Steuergerät abgelegte Festwert. Dies führt dazu, dass für den Soll-Strom i_{SL} und das PWM-Signal PWM zu kleine Werte berechnet werden. Als Folge wird der Durchlaufquerschnitt der Saugdrossel zu klein eingestellt. Dadurch wird durch die Hochdruckpumpe 5 weniger Kraftstoff in das Rail gefördert, wodurch der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ weiter sinkt. Beispielsweise sinkt nach dem Zeitpunkt t_5 der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ unter das Druckniveau von 580 bar mit fallender Tendenz. Zum Zeitpunkt t_6 fällt der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ unter den Öffnungsdruck der Injektoren, beispielsweise 300 bar. Die Injektoren können nun keinen Kraftstoff mehr in die Brennräume der Brennkraftmaschine einspritzen, wodurch ein Abstellen der Brennkraftmaschine bewirkt wird, siehe hierzu Figur 5A.

[0023] Das Verfahren nach der Erfindung (durchgezogene Linie) läuft wie folgt ab:

Nach dem Motorstart wird geprüft, ob eine negative Regelabweichung ($ep < 0$) festgestellt wird. In der Praxis wird hierzu die Regelabweichung ep mit einem Grenzwert verglichen, zum Beispiel -10bar.

Dies ist nach dem Zeitpunkt t_3 der Fall, da der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ über den Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ hinausschwingt. Mit Erkennen des Überschwingens des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$ über den Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ wird der erste Merker M_{neg} gesetzt. In der Figur 5D wechselt dessen Status von Null nach Eins. Anschließend wird geprüft, ob eine positive Regelabweichung ($ep > 0$) vorliegt. In der Praxis wird hierzu die Regelabweichung ep mit einem Grenzwert verglichen, zum Beispiel +10bar. Dies ist nach dem Zeitpunkt t_4 der Fall. Mit Erkennen des Unterschwingens des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$ unter den Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ wird der zweite Merker M_{pos} gesetzt. In der Figur 5E wechselt dessen Status von Null nach Eins. Ein Überschwingen des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$ mit anschließendem Unterschwingen des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$ wird als adaptionauslösendes Ereignis interpretiert und daher die Adaption aktiviert. In der Figur 5F wechselt daher deren Status von Null nach Eins. Mit Aktivierung der Adaption wird die Stellgröße temporär im Sinne einer größeren Fördermenge verändert. Beim dargestellten Beispiel wird die Stellgröße über den Proportional-Beiwert k_p (Fig. 5G) und die Nachstellzeit T_n (Fig. 5H) verändert. Die Veränderung dieser Reglerparameter erfolgt bei gesetzter Adaption über die Kennlinie ADAP1 der Figur 3 und die Kennlinie ADAP2 der Figur 4. Die aus der Adaption resultierenden Verläufe der beiden Reglerparameter sind im Zeitraum t_5 bis t_7 in den beiden Figuren 5G und 5H dargestellt. Beendet wird die Adaption, wenn die Regelabweichung ep wieder Null beträgt. Dies ist zum Zeitpunkt t_8 der Fall. In der Figur 5F wird daher der Status der Adaption von Eins auf Null zurückgesetzt. Zum Zeitpunkt t_9 wird die Brennkraftmaschine abgestellt, wodurch die Motordrehzahl n_{MOT} in der Figur 5A abfällt. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit bleibt die Adaption solange verriegelt, bis ein Motorstillstand erkannt wird. Ein Motorstillstand wird erkannt, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} während eines vorgebbaren Zeitraums, zum Beispiel 2.5 Sekunden, kleiner als 80 1/min wird. Mit Erkennen dieser Bedingung, Zeitpunkt t_{10} , werden die beiden Merker und das Signal Motor AN auf Null gesetzt.

[0024] Der Vergleich der beiden Verläufe des Ist-Raildrucks $p_{CR}(IST)$ nach dem Stand der Technik (gestrichelte Linie) und nach der Erfindung (durchgezogene Linie) zeigt deutlich, dass der Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$ bei Verwendung der Adaption nach dem Motorstart weniger abfällt, wodurch ein Abstellen der Brennkraftmaschine verhindert wird.

[0025] In der Figur 6 ist ein Programm-Ablaufplan dargestellt. Nach dem Programmstart werden die beiden Merker, die Adaption und Motor AN mit dem Wert Null initialisiert. Bei S1 wird geprüft, ob das Signal Motor AN gleich eins ist, das heißt, ob die Brennkraftmaschine läuft. Ist dies nicht der Fall, wird der Programmpfad mit

den Schritten S13 und S14 durchlaufen, anderenfalls wird der Programmteil mit den Schritten S2 bis S11 durchlaufen.

[0026] Ergibt die Prüfung bei S1, dass das Signal Motor AN nicht gesetzt ist, Ergebnis S1: nein, so wird bei S13 geprüft, ob die Motordrehzahl nMOT größer/gleich einem Grenzwert GW ist, zum Beispiel 80 1/min. Ist dies nicht der Fall, Ergebnis S13: nein, so ist dieser Programmteil beendet. Wird hingegen festgestellt, dass die Motordrehzahl nMOT größer oder gleich als der Grenzwert GW ist, Ergebnis S13: ja, wird bei S14 das Signal Motor AN gesetzt und dieser Programmteil verlassen. Ergibt die Prüfung bei S1, dass das Signal Motor AN gesetzt ist, Ergebnis S1: ja, so wird bei S2 geprüft, ob die Adaption aktiviert ist. Ist diese noch nicht aktiviert, Ergebnis S2: nein, so wird bei S12 in ein Unterprogramm Prüfung Adaption verzweigt, welches in der Figur 7 dargestellt und in Verbindung mit dieser erläutert wird. Ergibt die Prüfung bei S2, dass die Adaption bereits aktiviert ist, Ergebnis S2: ja, so wird bei S3 die Stellgröße über den Proportionalbeiwert k_p und/oder die Nachstellzeit T_n oder unmittelbar über den elektrischen Soll-Strom oder das PWM-Signal verändert. Bei S4 wird geprüft, ob die Regelabweichung e_p kleiner als ein Grenzwert $ep3$ ist, zum Beispiel -10 bar. Ist dies nicht der Fall, Ergebnis S4: nein, wird das Programm am Punkt A fortgesetzt. Ergibt die Prüfung bei S4, dass die Regelabweichung kleiner als der Grenzwert $ep3$ ist, so wird bei S5 die Adaption deaktiviert und danach bei S6 geprüft, ob die Drehzahl nMOT der Brennkraftmaschine kleiner als ein Grenzwert GW ist, zum Beispiel 80 1/min. Ist dies nicht der Fall, Ergebnis S6: nein, wird bei S15 eine Zeitstufe t auf Null gesetzt und das Programm beendet. Ergibt die Prüfung bei S6, dass die Motordrehzahl nMOT kleiner als der Grenzwert GW ist, Ergebnis S6: ja, so wird bei S7 die Zeitstufe t um eine Zeitspanne dt inkrementiert. Danach wird bei S8 deren aktueller Stand geprüft. Ist die Zeitstufe t kleiner als ein Grenzwert GW, so ist das Programm beendet. Ergibt die Prüfung bei S8, dass die Zeitstufe t größer/gleich als der Grenzwert GW ist, Ergebnis S8: ja, so werden bei S9, S10 und S11 die beiden Merker Mpos, Mneg und das Signal Motor AN auf Null gesetzt. Damit ist der Programm-Durchlauf beendet.

[0027] In der Figur 7 ist ein Unterprogramm dargestellt, über welches geprüft wird, ob die Adaption aktiviert ist. Bei S1 wird geprüft, ob der erste Merker Mneg gesetzt ist. Ist dies nicht der Fall, Ergebnis S1: nein, so wird bei S7 die Regelabweichung e_p mit einem Grenzwert $ep1$, zum Beispiel -10 bar, verglichen und entweder dieser Programmteil verlassen, Ergebnis S7: nein, oder bei S8 der erste Merker Mneg auf Eins gesetzt und dann zum Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A zurückgekehrt. Ergibt die Prüfung bei S1, dass der erste Merker Mneg gesetzt ist, Ergebnis S1: ja, so wird bei S2 der Status des zweiten Merkers Mpos geprüft. Ist dieser bereits auf Eins gesetzt, Ergebnis S2: ja, so wird dieser Programmteil beendet und es wird zum Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A zurückgekehrt. Ergibt hingegen die Prüfung bei

S2, dass der zweite Merker Mpos noch nicht gesetzt ist, Ergebnis S2: nein, so wird bei S3 die Regelabweichung e_p mit einem Grenzwert $ep2$, zum Beispiel +10 bar, verglichen. Ist diese nicht größer als der Grenzwert $ep2$, wird dieser Programmteil verlassen und zum Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A zurückgekehrt. Ergibt die Prüfung bei S3, dass die Regelabweichung e_p größer als der Grenzwert $ep2$ ist, Ergebnis S3: ja, so wird bei S4 der zweite Merker Mpos auf Eins gesetzt und bei S5 die Adaption aktiviert. Bei S6 wird dann die Stellgröße im Sinne einer größeren Fördermenge verändert. Damit ist das Unterprogramm beendet und es wird zum Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A, zurückgekehrt.

[0028] Aus der bisherigen Beschreibung ergeben sich für die Adaption nach der Erfindung folgende Vorteile:

- die Temperaturabhängigkeit des Saugdrossel-Widerstands wird kompensiert, ohne dass eine Erweiterung der Elektronik-Hardware erforderlich ist;
- Beim Startvorgang wird ein zu starkes Absinken des Ist-Raildruck verhindert, wodurch die Hochdruckregelung robuster gegenüber Temperaturschwankungen ist;
- Ein unbeabsichtigtes Abstellen der Brennkraftmaschine beim Motorstart tritt in der Praxis nicht mehr auf.

Bezugszeichen

[0029]

- | | |
|----|-----------------------------------|
| 1 | Brennkraftmaschine |
| 2 | Kraftstofftank |
| 3 | Niederdruckpumpe |
| 4 | Saugdrossel |
| 5 | Hochdruckpumpe |
| 6 | Rail |
| 7 | Einzel Speicher |
| 8 | Injektor |
| 9 | Rail-Drucksensor |
| 10 | elektronisches Steuergerät (ADEC) |
| 11 | Druckregler |
| 12 | Begrenzung |
| 13 | Pumpen-Kennlinie |
| 14 | Berechnung PWM-Signal |

- 15 Regelstrecke
- 16 Saugdrossel mit Pumpe
- 17 Filter
- 18 Funktionsblock zur Berechnung der mittelbaren Adaption
- 19 Berechnung dkp
- 20 Berechnung dTn
- 21 Berechnung di
- 22 Berechnung dPWM

Patentansprüche

- 1. Verfahren zur Regelung des Raildrucks (pCR) bei einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Railsystem während des Startvorgangs, bei dem eine Regelabweichung (ep) aus einem Soll-Raildruck (pCR (SL)) sowie einem Ist-Raildruck (pCR(IST)) berechnet wird, bei dem aus der Regelabweichung (ep) über einen Druckregler (11) eine Stellgröße zur Beaufschlagung einer Saugdrossel (4) berechnet wird und bei dem über die Saugdrossel (4) die geförderte Kraftstoffmenge festgelegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Motorstart bei Erkennen einer negativen Regelabweichung mit anschließender positiver Regelabweichung des Raildrucks (pCR) eine Adaption aktiviert wird, über welche die Stellgröße temporär im Sinne einer größeren Fördermenge verändert wird. 30
- 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellgröße mittelbar über die Veränderung der Regleranteile (PI) oder unmittelbar verändert wird. 40
- 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei aktivierter Adaption der P-Anteil des Druckreglers (11) über einen Proportionalbeiwert (kp) und/oder der I-Anteil des Druckreglers (11) über eine Nachstellzeit (Tn) verändert wird. 50
- 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Proportionalbeiwert (kp) in Abhängigkeit eines Proportional-Adaptionswerts (dkP) und die Nachstellzeit (Tn) in Abhängigkeit eines Nachstellzeit-Adaptionswerts (dTn) berechnet wird. 55

- 5. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellgröße unmittelbar verändert wird, indem ein elektrischer Soll-Strom (iSL) oder ein PWM-Signal (PWM) verändert wird. 5
- 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektrische Sollstrom (iSL) über einen Strom-Adaptionswert (di) und das PWM-Signal über einen PWM-Adaptionswert (dPWM) verändert wird. 10
- 7. Verfahren nach einem der vorausgegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Proportional-Adaptionswert (dkp), der Nachstellzeit-Adaptionswert (dTn), der Strom-Adaptionswert (di) und der PWM-Adaptionswert (dPWM) über eine Adaptionkennlinie (ADAP1, ADAP2) in Abhängigkeit der Regelabweichung (ep) berechnet wird. 20
- 8. Verfahren nach einem der vorausgegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Adaption deaktiviert und bis zum Neustart der Brennkraftmaschine verriegelt wird, wenn die Regelabweichung (ep) negativ wird. 25

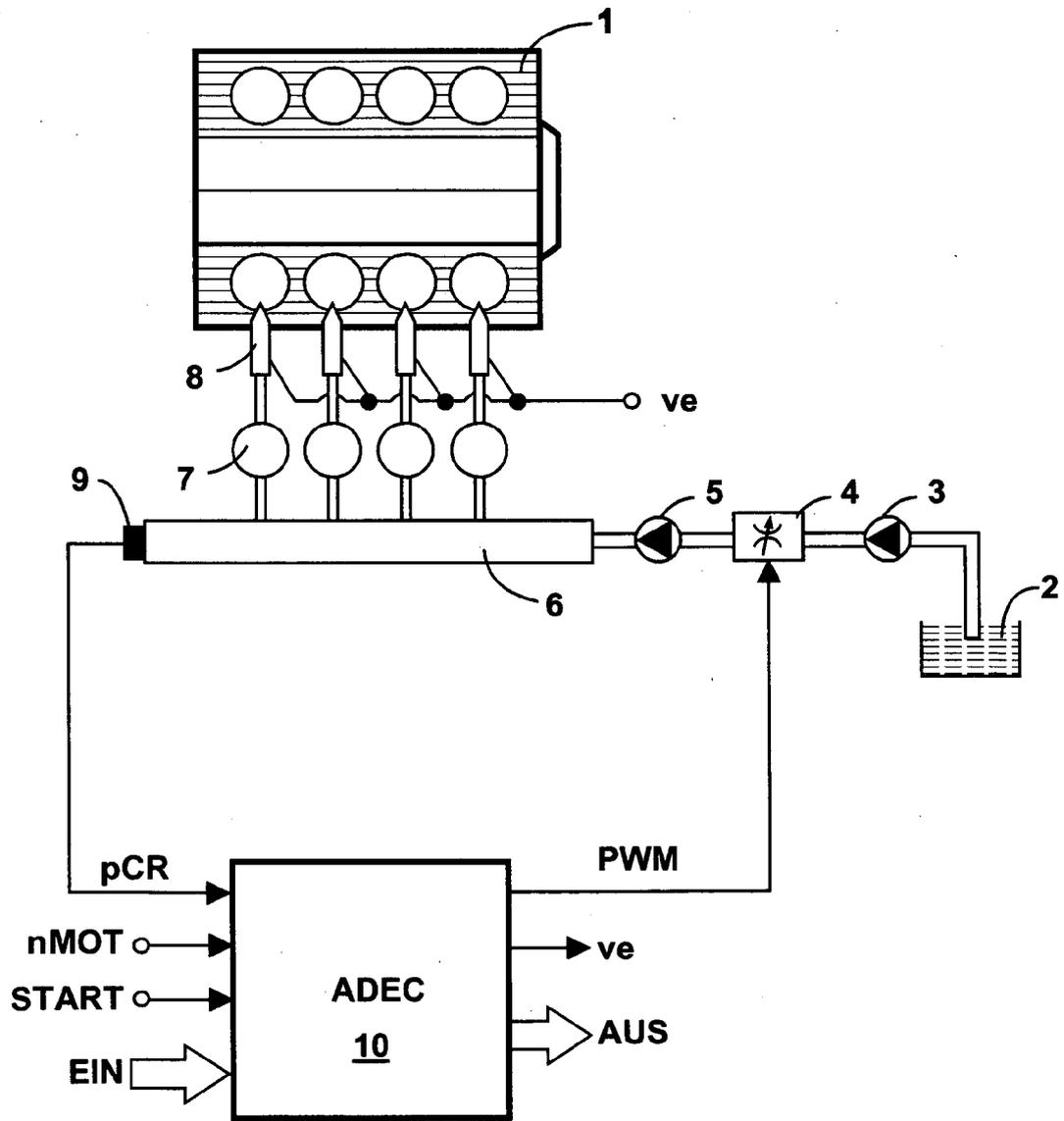


Fig. 1

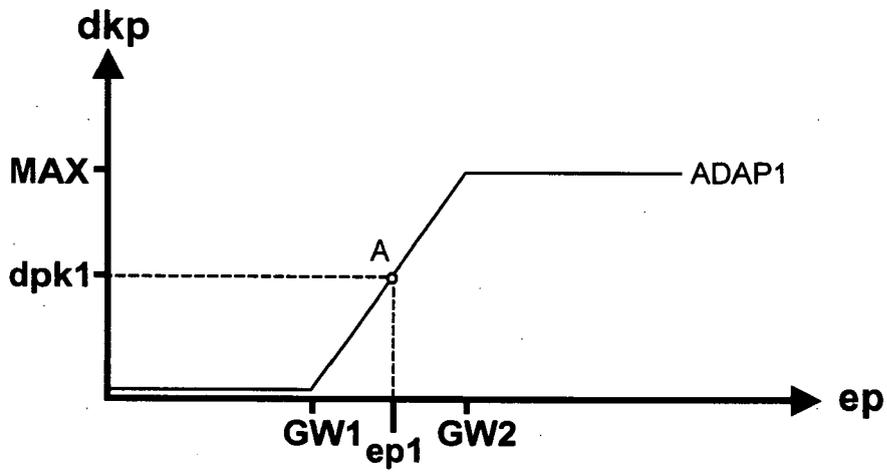


Fig. 3

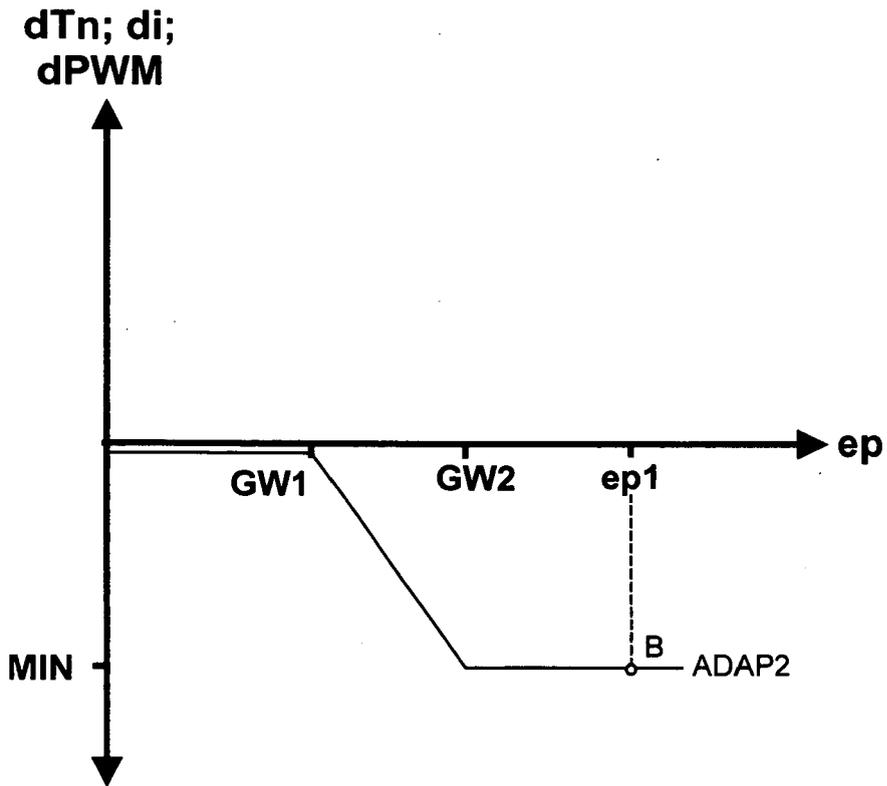


Fig. 4

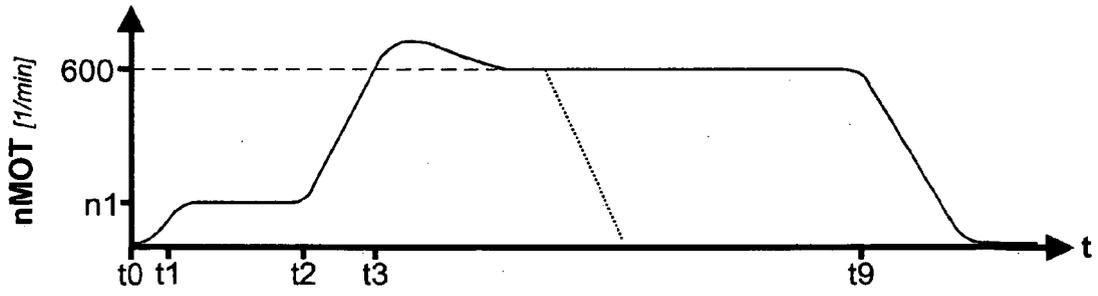


Fig. 5A

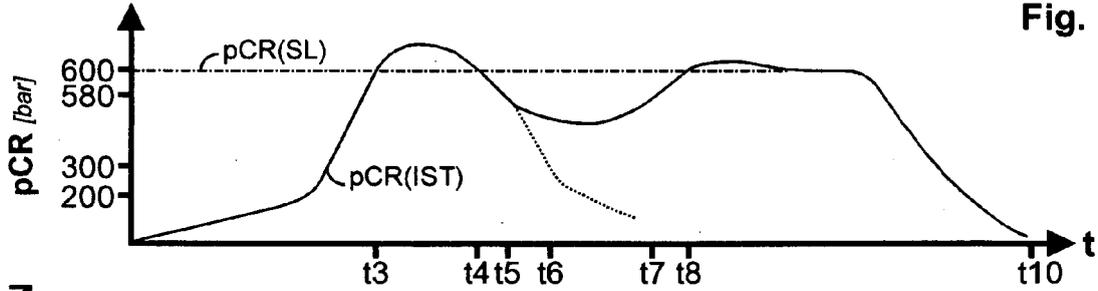


Fig. 5B

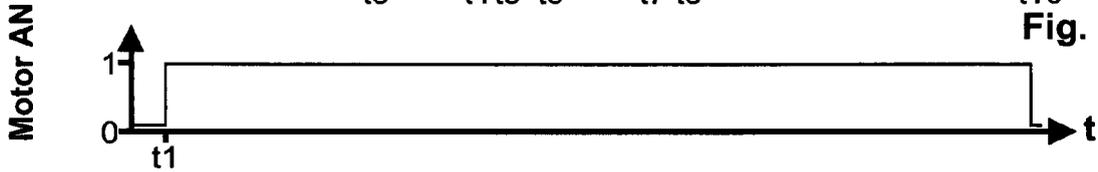


Fig. 5C

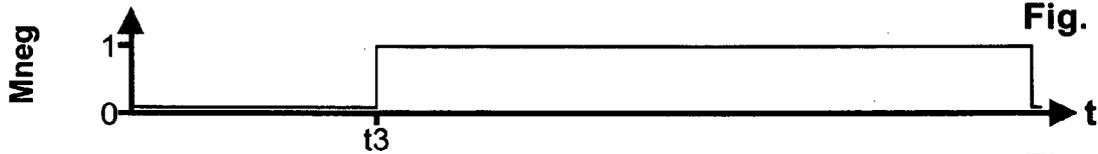


Fig. 5D

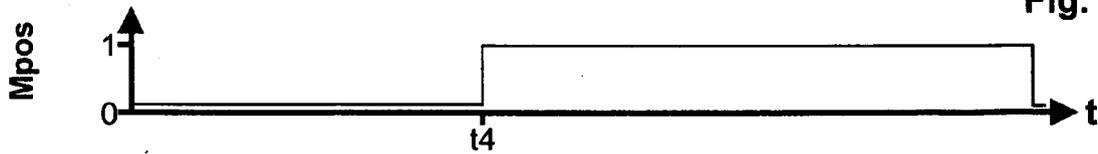


Fig. 5E

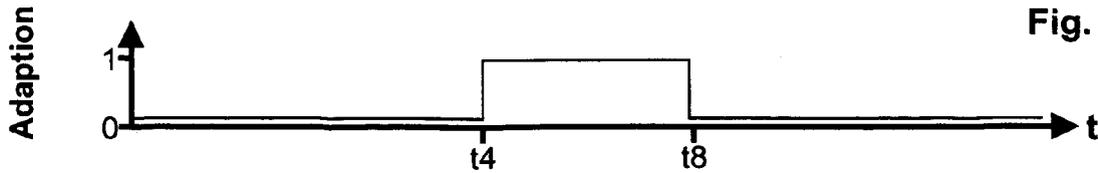


Fig. 5F

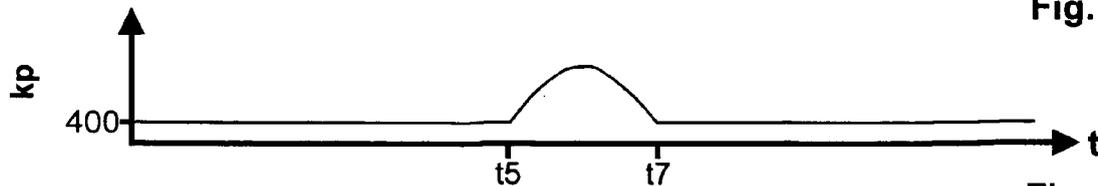


Fig. 5G

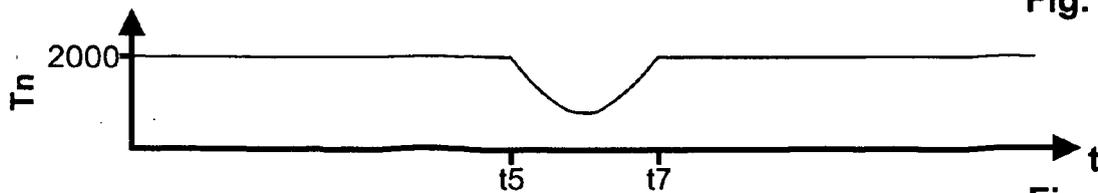


Fig. 5H

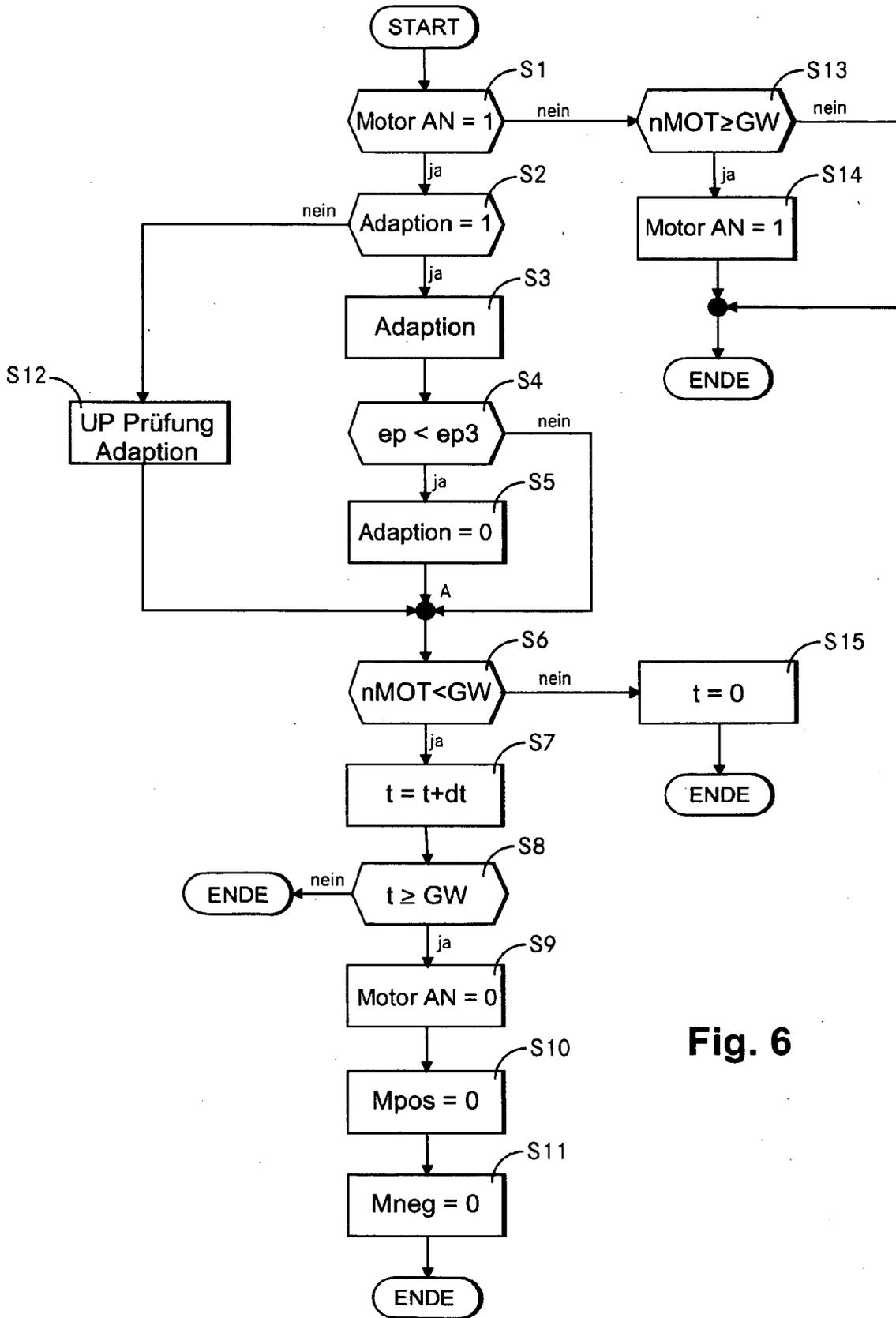


Fig. 6

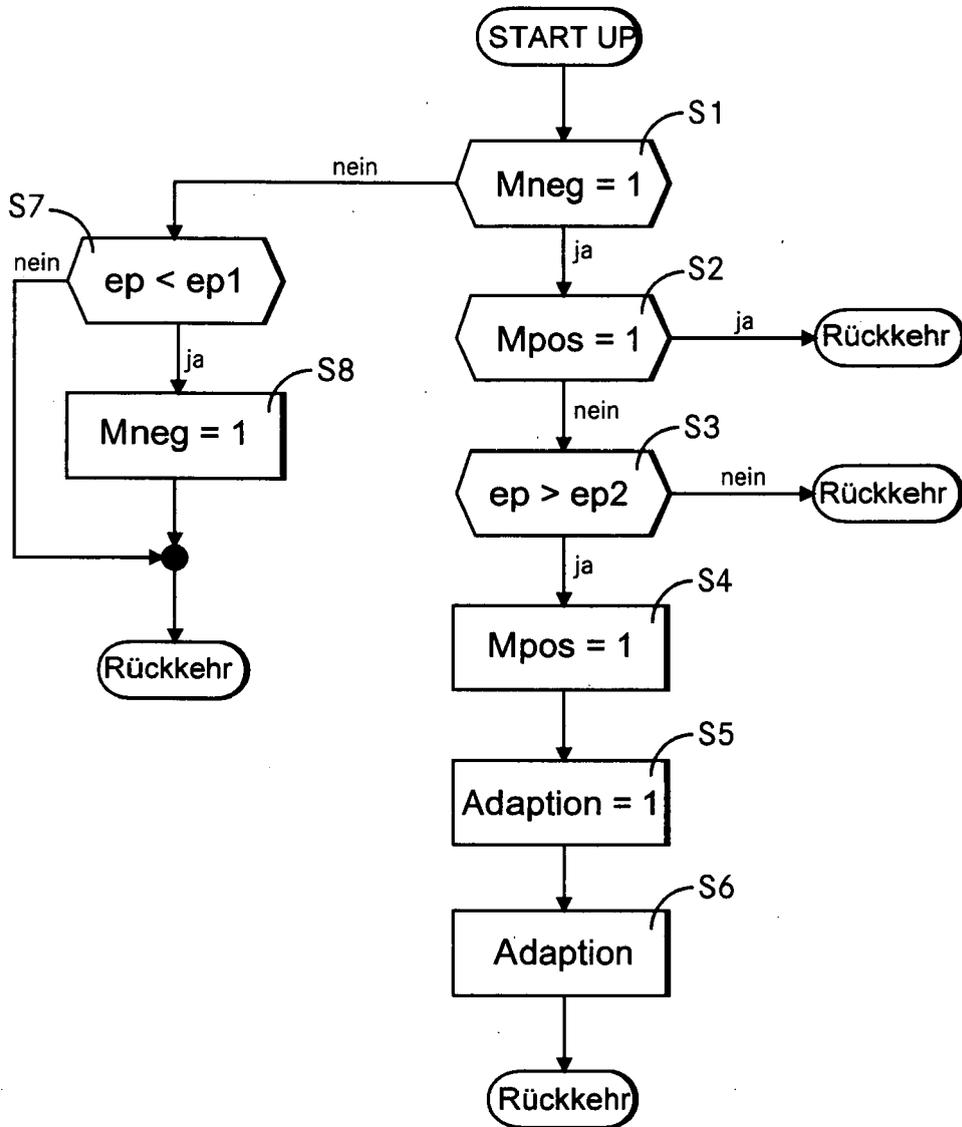


Fig. 7



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 01 0497

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2006/130813 A1 (DOLKER ARMIN [DE] DOELKER ARMIN [DE]) 22. Juni 2006 (2006-06-22) * Absatz [0007] - Absatz [0010] * * Anspruch 1 * * Abbildungen 1-5 * -----	1-8	INV. F02D41/38 F02D41/14
A	DE 103 30 466 B3 (MOTOREN TURBINEN UNION [DE]) 21. Oktober 2004 (2004-10-21) * Zusammenfassung * * Anspruch 1 *	1	
A	DE 199 16 100 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12. Oktober 2000 (2000-10-12) * das ganze Dokument * -----	1	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			F02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 25. September 2008	Prüfer Calabrese, Nunziante
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 01 0497

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-09-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006130813 A1	22-06-2006	DE 102004061474 A1	29-06-2006
DE 10330466 B3	21-10-2004	EP 1496232 A2	12-01-2005
		US 2005051137 A1	10-03-2005
DE 19916100 A1	12-10-2000	WO 0061933 A1	19-10-2000
		EP 1086307 A1	28-03-2001
		JP 2002541383 T	03-12-2002
		US 6578553 B1	17-06-2003

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 10330466 B3 [0002]
- DE 102006049266 [0002]
- DE 102004061474 A1 [0004]
- DE 10156637 C1 [0005]