



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.01.2005 Patentblatt 2005/02

(51) Int Cl.7: **F02D 41/38**

(21) Anmeldenummer: **04015476.7**

(22) Anmeldetag: **01.07.2004**

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

(71) Anmelder: **MTU Friedrichshafen GmbH
88045 Friedrichshafen (DE)**

(72) Erfinder: **Dölker, Armin
88090 Immenstaad (DE)**

(30) Priorität: **05.07.2003 DE 10330466**

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

(57) Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Common-Rail-Einspritzsystem und einem Hochdruck-Regelkreis. Bei diesem wird eine Pumpe mit Saugdrossel (3) von einem elektronischen Steuergerät (4) über ein PWM-Signal mit einer ersten Frequenz angesteuert. Die Erfindung sieht nun vor, dass aus dem Winkelabstand zweier Einspritzungen und der ersten Frequenz des PWM-Si-

gnals eine kritische Drehzahl berechnet wird. In Abhängigkeit der kritischen Drehzahl wird danach ein Drehzahlbereich festgelegt. Bei Motordrehzahl-Werten außerhalb dieses Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf die erste Frequenz gesetzt. Bei Motordrehzahl-Werten innerhalb des Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf eine zweite Frequenz gesetzt. Durch die Umschaltung des PWM-Signals werden die Druckschwingungen im Rail (6) verringert.

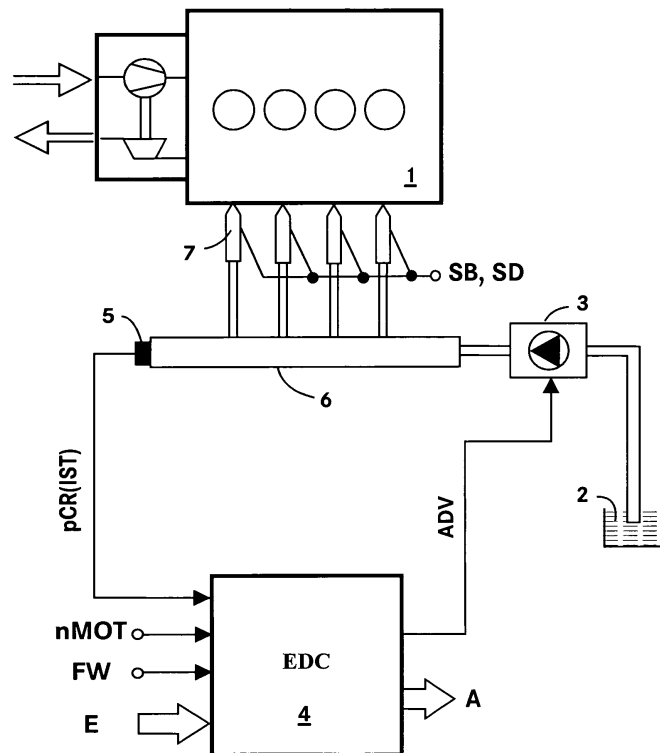


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Bei einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem fördert eine Hochdruck-Pumpe den Kraftstoff aus einem Kraftstofftank in einen Hochdruckspeicher. Im weiteren Text wird der Hochdruckspeicher als Rail bezeichnet. Der Förderstrom der Hochdruck-Pumpe wird durch eine Saugdrossel bestimmt. Deren Stellung wiederum wird durch ein elektronisches Steuergerät in Abhängigkeit von Eingangsgrößen vorgegeben, z. B. dem Leistungswunsch. Üblicherweise ist die Ansteuerung der Saugdrossel als PWM-moduliertes Signal mit einer konstanten Frequenz ausgeführt, z. B. 100 Hz. Bedingt durch diese Förderart des Kraftstoffs wird dem Rail folglich ein periodisches Signal eingeprägt. Die Signal-Frequenz entspricht der Frequenz des PWM-Signals. Dem Rail wird periodisch Kraftstoff entnommen, sodass der periodisch schwankende Kraftstoffhochdruck abgetastet wird. Erfolgt die Kraftstoffentnahme z. B. mit einer Frequenz von 99 Hz, so entsteht ein Differenz-Signal von 1 Hz. Dies bedeutet, dass dem Kraftstoffhochdruck ein 1 Hz-Signal überlagert ist.

[0003] Wird die Drehzahl der Brennkraftmaschine langsam erhöht, so entsteht im Bereich um bestimmte Motordrehzahl-Werte ein aufklingendes, symmetrisches Hochdruck-Signal. Im weiteren Text werden diese bestimmten Motordrehzahl-Werte als kritische Drehzahlen bezeichnet. Die Schwingungen des Kraftstoffhochdrucks werden erst dann sichtbar, wenn die Dämpfung des Rails nicht mehr ausreicht, d. h. bei Frequenzen von 0 bis ca. 2 Hz. Diese Druckschwingungen treten immer dann auf, wenn die Einspritzperiode mit der PWM-Frequenz identisch wird. Bei einer 16-zyllindrigen Brennkraftmaschine beträgt die Einspritzperiode 45 Grad bezogen auf die Kurbelwelle, d. h. die Kurbelwelle durchläuft diesen Winkel zwischen einer ersten und zweiten Einspritzung. Dieser Winkel entspricht bei der Drehzahl von 750 Umdrehungen je Minute einer Frequenz von 100 Hz. Beträgt die PWM-Frequenz ebenfalls 100 Hz, so klappt das periodisch entstehende Hochdruck-Signal bei dieser kritischen Drehzahl um. Die Druckschwingungen klingen unterhalb der kritischen Drehzahl auf und oberhalb dieser Drehzahl wieder ab. Dasselbe gilt für ganzzahlige Vielfache dieses Drehzahlwerts. Diese Druckschwingungen im Rail sind problematisch, da hierdurch keine konstante Güte der Einspritzung mehr gewährleistet ist.

[0004] Aus der DE 40 20 654 C2 ist ein Regelverfahren für ein PWMgesteuertes Stellglied bekannt. Bei diesem Verfahren wird die Endflanke des PWM-Signals in Abhängigkeit eines Sollwerts verändert. Hierdurch soll auf einen sich rasch verändernden Sollwert, z. B. Fahrpedal-Wert, reagiert werden. Aus der gleichen Fund-

stelle ist ebenfalls bekannt, die Periode des PWM-Signals in Abhängigkeit des Sollwerts zu verändern. Das zuvor beschriebene Problem der Schwingungsanregung wird jedoch durch dieses Regelverfahren nicht entschärft.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde die Druckschwingungen im Rail aufgrund äußerer Anregung durch die Saugdrossel zu verringern.

[0006] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Ausgestaltungen hierzu sind in den Unteransprüchen dargestellt.

[0007] Die Erfindung sieht vor, dass aus dem Winkelabstand zweier Einspritzungen, welcher die Einspritzperiode definiert, sowie der ersten Frequenz des PWM-Signals (Grundfrequenz) eine kritische Drehzahl berechnet wird. In Abhängigkeit der kritischen Drehzahl wird danach ein Drehzahlbereich festgelegt. Bei Motordrehzahl-Werten innerhalb des Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf eine zweite Frequenz gesetzt. Bei Motordrehzahl-Werten außerhalb des Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf die erste Frequenz gesetzt. Mit anderen Worten: Das PWM-Signal wird im Bereich der kritischen Drehzahl von der ersten auf die zweite Frequenz umgeschaltet. Für eine steigende Motordrehzahl und für eine fallende Motordrehzahl ist jeweils ein eigener Drehzahlbereich vorgesehen. Ebenso sieht die Erfindung vor, dass die Frequenzumschaltung bei den ganzzahlig Vielfachen der kritischen Drehzahl ausgeführt wird.

[0008] Durch die Umschaltung des PWM-Signals im Bereich um die kritischen Drehzahlen wird der Hochdruck-Regelkreis stabilisiert. Eine zusätzliche Optimierung von Hochdruck-Regelparametern ist hierbei jedoch nicht erforderlich. Der P-, I- und D-Anteil des Hochdruck-Reglers bleiben unverändert. Die Auswirkungen auf die Hysterese der Saugdrossel sind gering, wenn sich die erste und zweite Frequenz nur wenig unterscheiden, z. B. für die erste Frequenz 100 Hz und für die zweite Frequenz 120 Hz. Da die Zeitkonstanten der Regelstrecke, d. h. der Pumpen mit Saugdrossel und des Rails, im Allgemeinen deutlich größer sind als der Kehrwert der ersten und zweiten Frequenz des PWM-Signals, erfolgt das Umschalten auf die zweite Frequenz nahezu störungsfrei. Die Auswirkungen auf den Kraftstoffhochdruck sind folglich minimal. Ganz allgemein bietet die Erfindung den Vorteil, dass sie mit einfachen Mitteln und wenig Aufwand nachträglich in ein elektronisches Steuergerät einer Brennkraftmaschine appliziert werden kann.

[0009] In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt.

[0010] Es zeigen:

- Fig. 1 ein Systemschaubild;
- Fig. 2 einen Hochdruck-Regelkreis;
- Fig. 3 ein Zeitdiagramm;
- Fig. 4 ein Drehzahldiagramm;
- Fig. 5A, B zwei Zustandsdiagramme;

- Fig. 6 einen Programm-Ablaufplan;
 Fig. 7 einen Programm-Ablaufplan;
 Fig. 8 einen Programm-Ablaufplan.

[0011] Die Figur 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1. Bei der dargestellten Brennkraftmaschine 1 wird der Kraftstoff über ein Common-Rail-System eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: Pumpen 3 mit einer Saugdrossel zur Förderung des Kraftstoffs aus einem Kraftstofftank 2, ein Rail 6 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 7 zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Rail 6 in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1.

[0012] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (EDC) 4 geregelt. Das elektronische Steuergerät 4 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 4 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$, der mittels eines Rail-Drucksensors 5 gemessen wird, ein Drehzahl-Signal n_{MOT} der Brennkraftmaschine 1, eine Eingangsgröße E und ein Signal FW zur Leistungs-Vorgabe durch den Betreiber. Unter der Eingangsgröße E sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

[0013] In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 4 ein Signal ADV zur Steuerung der Saugdrossel und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1, beispielsweise den Einspritzbeginn SB und die Einspritzdauer SD . Das Signal ADV ist in der Praxis als pulsweitenmoduliertes Signal (PWM) ausgeführt.

[0014] In Figur 2 ist ein Hochdruck-Regelkreis dargestellt. Die Eingangsgröße entspricht dem Sollwert des Raildrucks $p_{CR}(SL)$. Die Ausgangsgröße entspricht dem Rohwert des Raildrucks p_{CR} . Aus dem Rohwert des Raildrucks p_{CR} wird mittels eines Filters 12 der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ bestimmt. Dieser wird mit dem Sollwert $p_{CR}(SL)$ an einem Summationspunkt verglichen, woraus die Regelabweichung dp resultiert. Aus der Regelabweichung dp wird mittels eines Hochdruck-Reglers 8 eine Stellgröße berechnet. Die Stellgröße entspricht einem Volumenstrom qV . Die physikalische Einheit des Volumenstroms kann z. B. Liter/Minute sein. Optional ist vorgesehen, dass zum Volumenstrom qV der berechnete Sollverbrauch addiert wird. Der Volumenstrom qV entspricht der Eingangsgröße für eine Begrenzung 9. Die Begrenzung 9 kann drehzahlabhängig ausgeführt sein, Eingangsgröße n_{MOT} . Die Ausgangs-

größe $qV(SL)$ der Begrenzung 9 wird danach in einem Funktionsblock 10 in ein PWM-Signal umgerechnet. Bei der Umrechnung werden Schwankungen der Betriebsspannung und des Kraftstoffvordrucks mitberücksichtigt. Mit dem PWM-Signal wird dann die Magnetspule der Saugdrossel beaufschlagt. Dadurch wird der Weg des Magnetkerns verändert, wodurch der Förderstrom der Hochdruck-Pumpe frei beeinflusst wird. Die Pumpen 3 mit Saugdrossel und das Rail 6 entsprechen der Regelstrecke 11. Aus dem Rail 6 wird über die Injektoren 7 ein Volumenstrom $qV(VER)$ abgeführt. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

[0015] In Figur 3 ist ein Zeitdiagramm für einen Drehzahl-Hochlauf einer Brennkraftmaschine mit sechzehn Zylindern dargestellt. Bei dieser beträgt die Einspritzperiode 45 Grad bezogen auf die Kurbelwelle. Zu Grunde gelegt wurde bei diesem Zeitdiagramm ein PWM-Signal mit einer ersten Frequenz f_1 von 102.4 Hz. Auf den Ordinaten sind die Werte des Raildrucks p_{CR} und die Werte der Motordrehzahl n_{MOT} aufgetragen. Als Abszisse sind verschiedene Zeitwerte dargestellt. Im Diagramm selber ist der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ und die Motordrehzahl n_{MOT} abgebildet. Der Winkelabstand zwischen zwei Einspritzungen, die Einspritzperiode, ist von der Anzahl der Zylinder der Brennkraftmaschine abhängig. Bei einer 20-zylindrigen Brennkraftmaschine kann der Winkelabstand z. B. 72 Grad betragen.

[0016] Zwischen den Zeitpunkten t_7 und t_8 übersteigt die Motordrehzahl n_{MOT} im Punkt A den Drehzahlwert 768 Umdrehungen/Minute. Dieser Drehzahlwert entspricht einer Einspritzfrequenz von 102.4 Hz. Diese Frequenz wiederum ist identisch mit der ersten Frequenz des PWM-Signals. Der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ zeigt ab dem Zeitpunkt t_6 deutliche Druckschwingungen mit zunehmender Amplitude. Die maximale Amplitude (Spitze/Spitze) beträgt etwa 40 bar. Nach dem Zeitpunkt t_8 verringert sich wieder die Amplitude.

[0017] Aus dem Diagramm der Figur 3 wird deutlich, dass bei Erhöhung der Motordrehzahl n_{MOT} sich im Bereich der kritischen Drehzahl, hier: 768 Umdrehungen/Minute, ein aufklingendes, symmetrisches Hochdrucksignal ausbildet. Die Schwingungen des Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ werden dann sichtbar, wenn die Dämpfung des Rails nicht mehr ausreicht, d. h. bei Frequenzen von 0 bis ca. 2 Hz. Höhere Frequenzen als 2 Hz werden vom Rail so stark gedämpft, dass diese kaum noch sichtbar sind. Die Druckschwingungen des Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ treten immer dann auf, wenn die Einspritzperiode mit der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals identisch wird. Dies gilt auch für die ganzzahlig Vielfachen der Einspritzperiode. Damit ergeben sich weitere kritische Drehzahlen bei Vielfachen von 768 Umdrehungen/Minute, also bei 1536 und 2304 Umdrehungen/Minute.

[0018] In Figur 4 ist ein Drehzahldiagramm für eine steigende Motordrehzahl (Pfeilrichtung nach rechts) und eine fallende Motordrehzahl (Pfeilrichtung nach links) dargestellt. Eine steigende oder fallende Motor-

drehzahl kann z. B. anhand des Drehzahl-Gradienten n_{GRAD} identifiziert werden. Die Erfindung sieht nun vor, dass aus der Einspritzperiode und der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals eine kritische Drehzahl n_{KR} berechnet wird. Die kritische Drehzahl n_{KR} entspricht z. B. 768 Umdrehungen/Minute, entsprechend dem Punkt A der Figur 3. In Abhängigkeit der kritischen Drehzahl n_{KR} werden danach ein erster Drehzahlbereich BER1 und ein zweiter Drehzahlbereich BER2 festgelegt. Diese können z. B. 120 Umdrehungen/Minute betragen. Der erste Drehzahlbereich BER1 wird durch einen ersten Grenzwert n_1 und einen zweiten Grenzwert n_2 definiert. Der zweite Drehzahlbereich BER2 wird durch einen dritten Grenzwert n_3 und einen vierten Grenzwert n_4 definiert. Der erste n_1 und dritte Grenzwert n_3 sind auf kleinere Motordrehzahl-Werte als die kritische Drehzahl n_{KR} gesetzt. Der zweite n_2 und vierte Grenzwert n_4 sind auf höhere Motordrehzahl-Werte als die kritische Drehzahl n_{KR} gesetzt. Bei ansteigender Motordrehzahl n_{MOT} wird das PWM-Signal beim ersten Grenzwert n_1 von der ersten Frequenz f_1 auf die zweite Frequenz f_2 umgeschaltet. Bei fallender Motordrehzahl n_{MOT} erfolgt das Zurückschalten auf die erste Frequenz f_1 unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} erst dann, wenn die Motordrehzahl den dritten Grenzwert n_3 unterschreitet. Der dritte Grenzwert n_3 ist gegenüber dem ersten Grenzwert n_1 um einen ersten Hysteresewert $Hyst1$ zu kleineren Motordrehzahl-Werten verschoben. Der Wert der ersten Hysterese $Hyst1$ kann z. B. 20 Umdrehungen/Minute betragen. Sie verhindert ein Hin- und Herschalten zwischen beiden Frequenzen im stationären Betrieb.

[0019] Oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} wird bei steigender Motordrehzahl n_{MOT} von der zweiten Frequenz f_2 wieder auf die erste Frequenz f_1 zurückgeschaltet, wenn der zweite Grenzwert n_2 überschritten wird. Ein Zurückschalten auf die zweite Frequenz f_2 erfolgt bei fallender Drehzahl erst dann, wenn der vierte Grenzwert n_4 unterschritten wird. Der vierte Grenzwert n_4 ist gegenüber dem dritten Grenzwert n_3 um einen zweiten Hysteresewert $Hyst2$ zu kleineren Motordrehzahl-Werten verschoben. Insgesamt ergeben sich die zwei Drehzahlbereiche BER1 und BER2, innerhalb derer die zweite Frequenz f_2 gültig ist. Außerhalb dieser Drehzahlbereiche ist die Frequenz des PWM-Signals mit der ersten Frequenz f_1 identisch. Beträgt die erste Frequenz f_1 z. B. 102.4 Hz, so ergibt sich bei einer Einspritzperiode von 45 Grad Kurbelwinkel eine kritische Drehzahl n_{KR} von 768 Umdrehungen/Minute. Bei einer zweiten Frequenz f_2 von 120 Hz würde sich eine kritische Drehzahl n_{KR} von 900 Umdrehungen/Minute ergeben. Wird der erste Grenzwert n_1 auf den Wert 700 Umdrehungen/Minute und der zweite Grenzwert n_2 auf den Wert 820 Umdrehungen/Minute gesetzt, so können sich keine Hochdruckschwingungen ausbilden.

[0020] Die Figuren 5A und 5B verdeutlichen als Zustandsdiagramme nochmals den Umschaltmechanismus von der ersten Frequenz f_1 auf die zweite Frequenz

f_2 und umgekehrt.

[0021] Die Figur 5A zeigt, dass für Motordrehzahlen n_{MOT} unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} von der ersten f_1 auf die zweite Frequenz f_2 umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} größer als der erste Grenzwert n_1 wird. Auf die erste Frequenz f_1 wird dann zurückgeschaltet, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner als der dritte Grenzwert n_3 wird, entsprechend der Differenz des ersten Grenzwerts n_1 und der ersten Hysterese $Hyst1$.

[0022] Die Figur 5B zeigt, dass für Motordrehzahlen n_{MOT} oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} von der zweiten f_2 auf die erste Frequenz f_1 umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} den zweiten Grenzwert n_2 überschreitet. Auf die zweite Frequenz f_2 wird dann zurückgeschaltet, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner wird als der vierte Grenzwert n_4 , entsprechend der Differenz des zweiten Grenzwerts n_2 minus der zweiten Hysterese $Hyst2$.

[0023] Die Figur 6 zeigt einen Programm-Ablaufplan. Bei S1 wird die kritische Drehzahl n_{KR} aus dem Winkelabstand zweier Einspritzungen, also der Einspritzperiode, und der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals berechnet. Bei S2 wird geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner als die kritische Drehzahl n_{KR} ist. Ist diese kleiner, so wird bei S3 zum Programm-Ablaufplan der Figur 7 verzweigt. Ist diese größer, so wird bei S4 zum Programm-Ablaufplan der Figur 8 verzweigt.

[0024] In Figur 7 ist ein Programm-Ablaufplan für Motordrehzahlen n_{MOT} unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} dargestellt. Nach dem Starten der Brennkraftmaschine wird bei S1 ein Merker auf Eins gesetzt. Bei S2 wird danach das PWM-Signal auf die erste Frequenz f_1 gesetzt, z. B. 102.4 Hz. Danach wird bei S3 geprüft, ob der Merker den Wert Eins hat. Ist dies der Fall, so wird bei S4 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} den ersten Grenzwert n_1 überschritten hat. Ist dies der Fall, so wird die Frequenz des PWM-Signals auf die zweite Frequenz f_2 gesetzt, Schritt S5. Das PWM-Signal wird also umgeschaltet. Bei S6 wird anschließend der Merker auf den Wert Null gesetzt und zum Punkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S4 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0025] Ergibt die Prüfung bei S3, dass der Merker den Wert Null hat, so wird bei Schritt S7 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} den dritten Grenzwert n_3 unterschreitet, entsprechend der Differenz des ersten Grenzwerts n_1 minus der ersten Hysterese $Hyst1$. Ist dies der Fall, so wird die Frequenz des PWM-Signals wieder auf den Wert f_1 gesetzt, Schritt S8. Im Schritt S9 wird anschließend der Merker wieder auf den Wert Eins gesetzt und zum Punkt A zurückverzweigt. Ist die Abfrage bei S7 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0026] In Figur 8 ist ein Programm-Ablaufplan für Motordrehzahlen n_{MOT} oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} dargestellt. Zunächst wird ein Merker auf den Wert Eins gesetzt. Bei S2 wird das PWM-Signal auf die zweite Frequenz f_2 gesetzt. Beim S3 wird geprüft, ob der

Merker den Wert Eins hat. Ist dies der Fall, so wird bei S4 geprüft, ob die Motordrehzahl nMOT den zweiten Grenzwert n2 überschreitet. Bei positivem Ergebnis wird das PWM-Signal auf die erste Frequenz f1 gesetzt und der Merker auf den Wert Null gesetzt, S5 und S6. Anschließend wird zum Programmpunkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S4 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0027] Ergibt die Prüfung bei S3, dass der Merker den Wert Null hat, so wird bei S7 geprüft, ob die Motordrehzahl nMOT kleiner als der vierte Grenzwert n4 ist, entsprechend der Differenz aus zweitem Grenzwert n2 minus der zweiten Hysterese Hyst2. Ist dies der Fall, so wird bei S8 das PWM-Signal auf die zweite Frequenz f2 gesetzt und der Merker auf den Wert Eins gesetzt, S9. Danach wird wieder zum Programmpunkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S7 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0028] Aus der vorigen Beschreibung ergeben sich für die Erfindung folgende Vorteile:

- Durch die Umschaltung der Frequenz des PWM-Signals wird das Entstehen von Hochdruckschwingungen im Rail verhindert.
- Da sich die beiden Frequenz-Werte des PWM-Signals nur geringfügig unterscheiden, sind die Auswirkungen auf die Hysterese der Saugdrossel gering.
- Zur Stabilisierung des Hochdruck-Regelkreises in den kritischen Drehzahlbereichen ist keine weitere Optimierung von Hochdruck-Regelparametern notwendig.
- Da die Zeitkonstanten der Regelstrecke (Pumpen mit Saugdrossel und Rail) im Allgemeinen deutlich größer sind als der Kehrwert der PWM-Frequenz, erfolgt das Umschalten von der ersten Frequenz auf die zweite Frequenz und vice versa nahezu störungsfrei, d. h. ohne Auswirkung auf den Kraftstoffhochdruck.

Bezugszeichen

[0029]

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1 | Brennkraftmaschine |
| 2 | Kraftstofftank |
| 3 | Pumpen mit Saugdrossel |
| 4 | Elektronisches Steuergerät (EDC) |
| 5 | Rail-Drucksensor |
| 6 | Rail |
| 7 | Injektor |
| 8 | Hochdruck-Regler |
| 9 | Begrenzung |
| 10 | Funktionsblock |
| 11 | Regelstrecke |
| 12 | Filter |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Rail-Einspritzsystem, bei dem aus einem Istwert (pCR(IST)) und einem Sollwert (pCR(SL)) des Raildrucks mittels eines Hochdruck-Reglers (8) eine Stellgröße berechnet wird und in Abhängigkeit der Stellgröße ein PWM-Signal mit einer ersten Frequenz (f1) zur Ansteuerung der Regelstrecke (11) bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Winkelabstand (Phi) zweier Einspritzungen sowie der ersten Frequenz (f1) des PWM-Signals eine kritische Drehzahl (nKR) berechnet wird ($nKR = f(\Phi, f1)$), in Abhängigkeit der kritischen Drehzahl (nKR) ein Drehzahlbereich (BER) festgelegt wird und bei Motordrehzahl-Werten (nMOT) außerhalb des Drehzahlbereichs (BER) das PWM-Signal auf die erste Frequenz (f1) gesetzt wird oder bei Motordrehzahl-Werten (nMOT) innerhalb des Drehzahlbereichs (BER) das PWM-Signal auf eine zweite Frequenz (f2) gesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzahlbereich (BER) einem ersten Drehzahlbereich (BER1) mit einem ersten Grenzwert (n1) und einem zweiten Grenzwert (n2) entspricht und der erste Drehzahlbereich (BER1) bei steigender Motordrehzahl (nMOT) gesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Grenzwert (n1) unterhalb der kritischen Drehzahl (nKR) liegt ($n1 < nKR$) und der zweite Grenzwert (n2) oberhalb der kritischen Drehzahl (nKR) liegt ($n2 > nKR$).
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das PWM-Signal von der ersten (f1) auf die zweite Frequenz (f2) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (nMOT) größer als der erste Grenzwert (n1) des ersten Bereichs (BER1) wird ($nMOT > n1$) und von der zweiten (f2) auf die erste Frequenz (f1) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (nMOT) größer als der zweite Grenzwert (n2) des ersten Bereichs (BER1) wird ($nMOT > n2$).
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzahlbereich (BER) einem zweiten Drehzahlbereich (BER2) mit einem dritten Grenzwert (n3) und einem vierten Grenzwert (n4) entspricht und der zweite Drehzahlbereich (BER2) bei fallender Motordrehzahl gesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 2 und Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der zweite Drehzahlbereich (BER2) gegenüber dem ersten Drehzahlbereich (BER1) um einen Hysteresewert (Hyst) zu kleinen Motordrehzahlwerten verschoben wird.

5

7. Verfahren nach Anspruch 2 und Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der dritte Grenzwert (n_3) aus dem ersten Grenzwert (n_1) minus einem ersten Hysteresewert (Hyst1) berechnet wird ($n_3 = n_1 - \text{Hyst1}$) und der vierte Grenzwert (n_4) aus dem zweiten Grenzwert (n_2) minus einem zweiten Hysteresewert (Hyst2) berechnet wird ($n_4 = n_2 - \text{Hyst2}$).

10

15

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass das PWM-Signal von der ersten (f_1) auf die zweite Frequenz (f_2) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) kleiner als der vierte Grenzwert (n_4) des zweiten Bereichs (BER2) wird ($n_{\text{MOT}} < n_4$) und von der zweiten (f_2) auf die erste Frequenz (f_1) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) kleiner als der dritte Grenzwert (n_3) des zweiten Bereichs (BER2) wird ($n_{\text{MOT}} < n_3$).

20

25

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass die ganzzahlig Vielfachen ($n_{\text{KR}(i)}$, $i = 2, 3 \dots$) der kritischen Drehzahl (n_{KR}) berechnet werden.

30

10. Verfahren nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass bei den ganzzahlig Vielfachen ($n_{\text{KR}(i)}$) der kritischen Drehzahl (n_{KR}) eine Umschaltung der Frequenz des PWM-Signals nach einem der Ansprüche 1 bis 8 erfolgt.

35

40

45

50

55

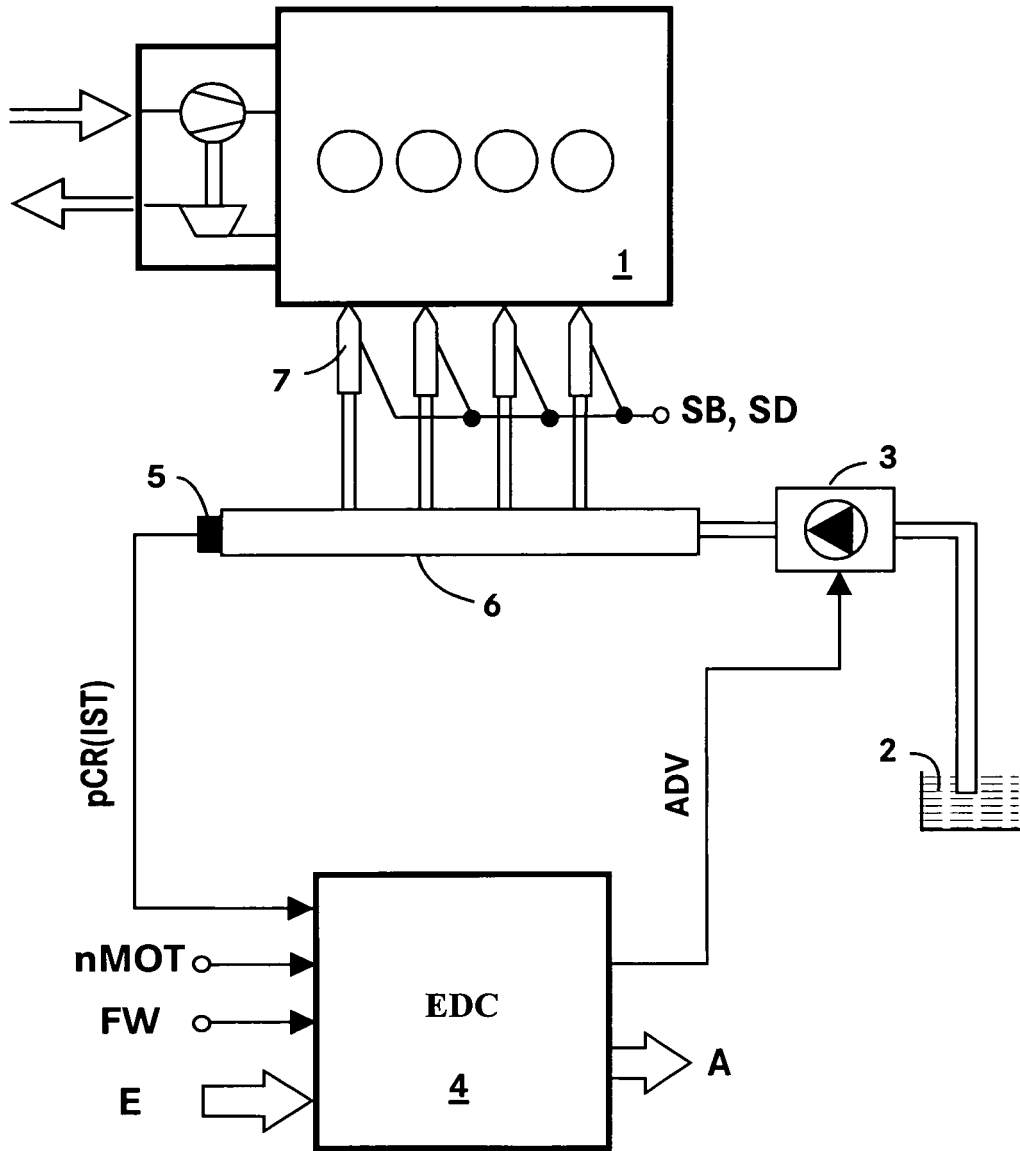


Fig. 1

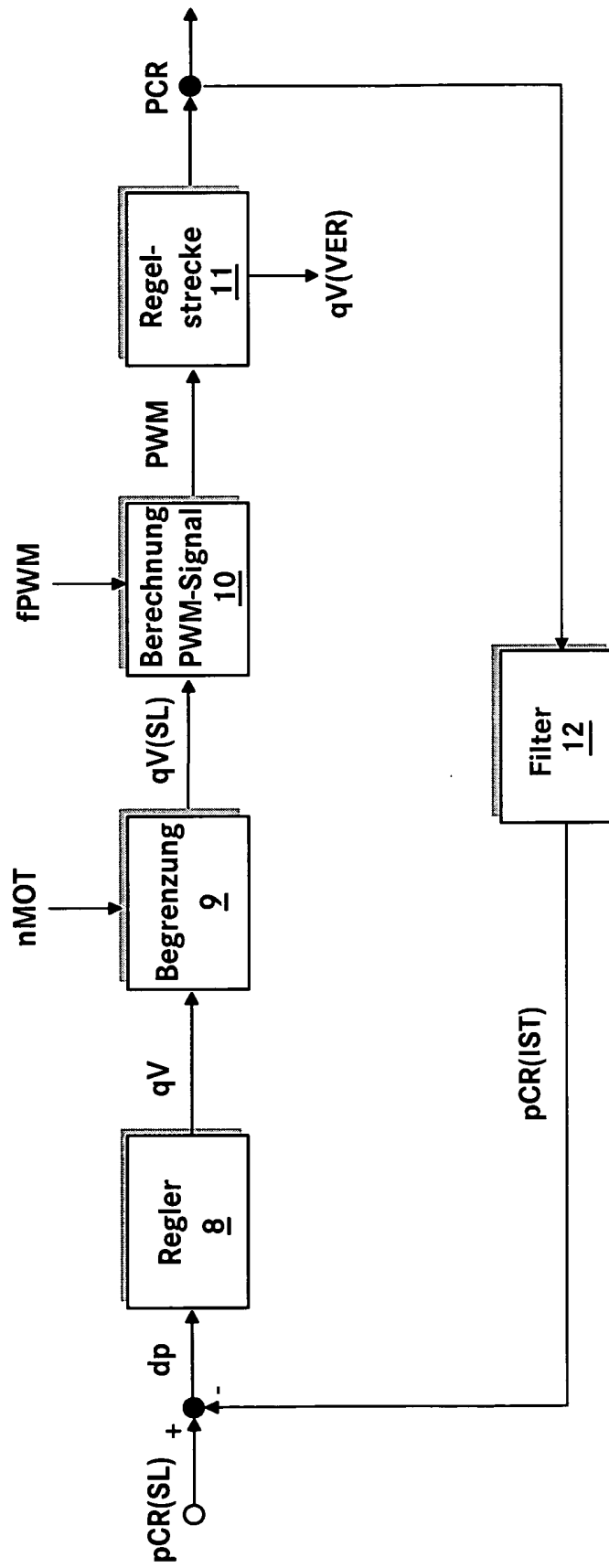


Fig. 2

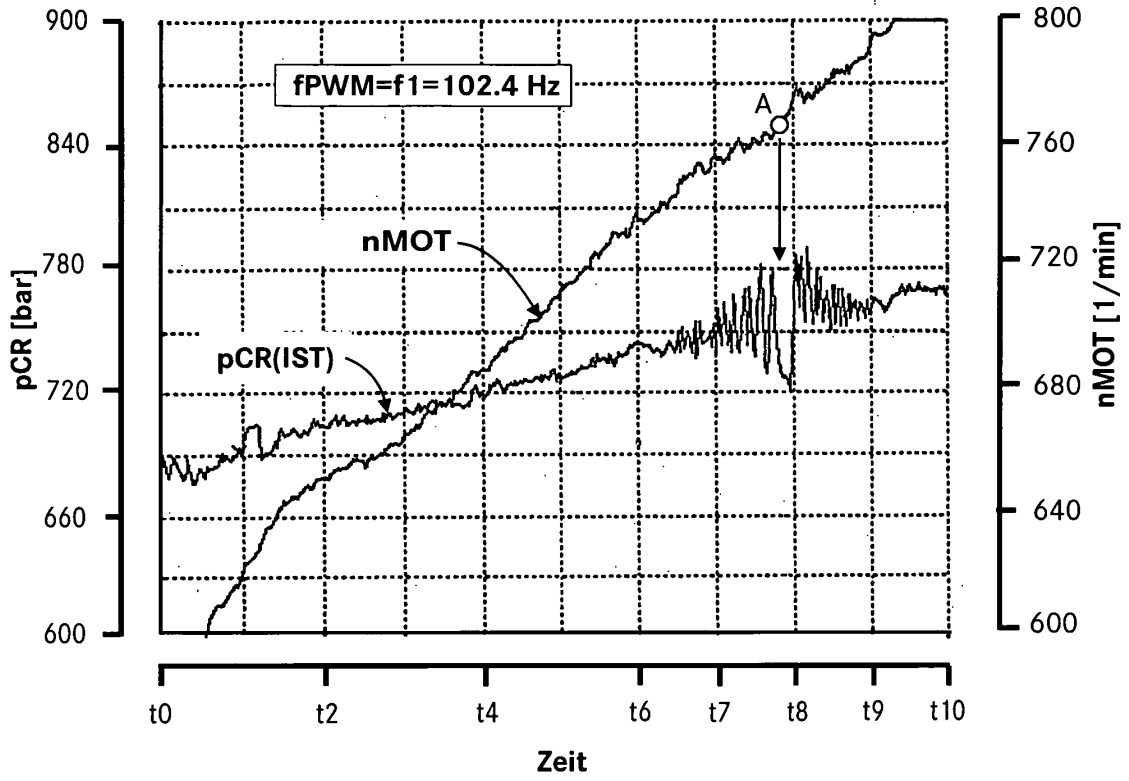


Fig. 3

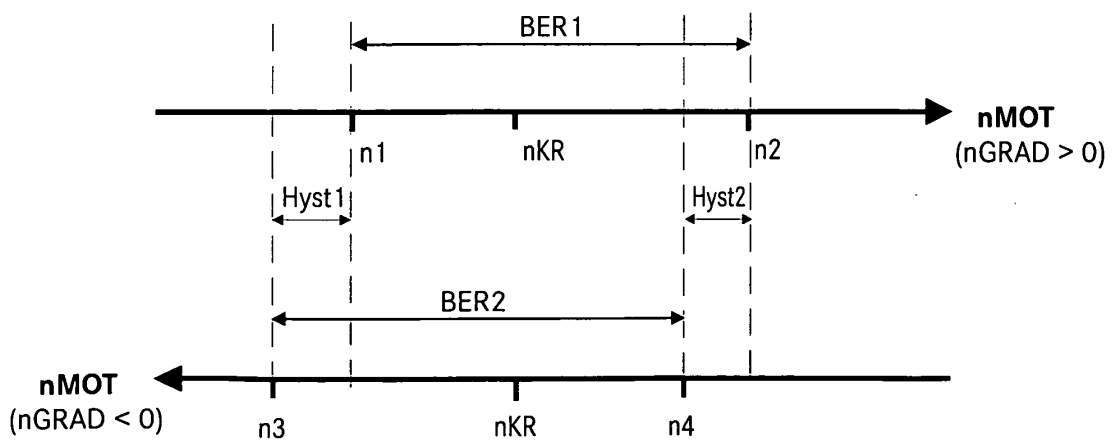


Fig. 4

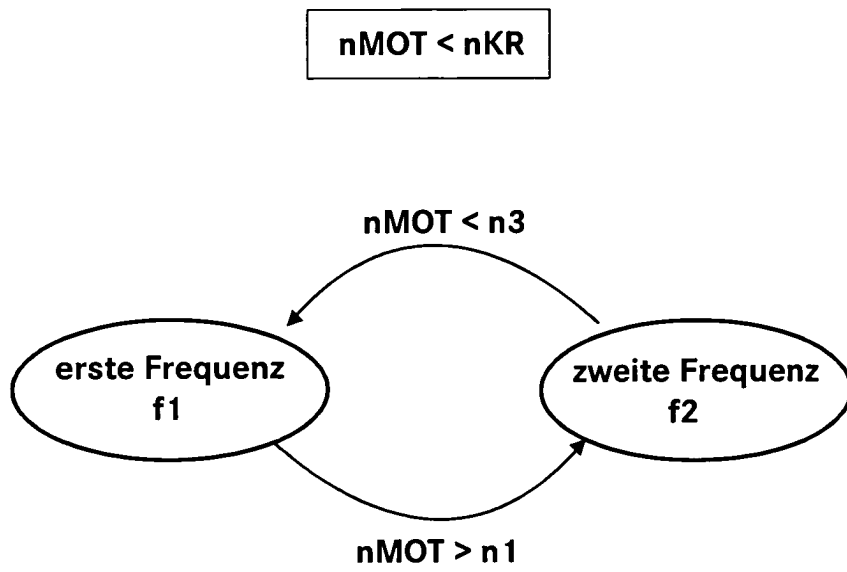


Fig. 5A

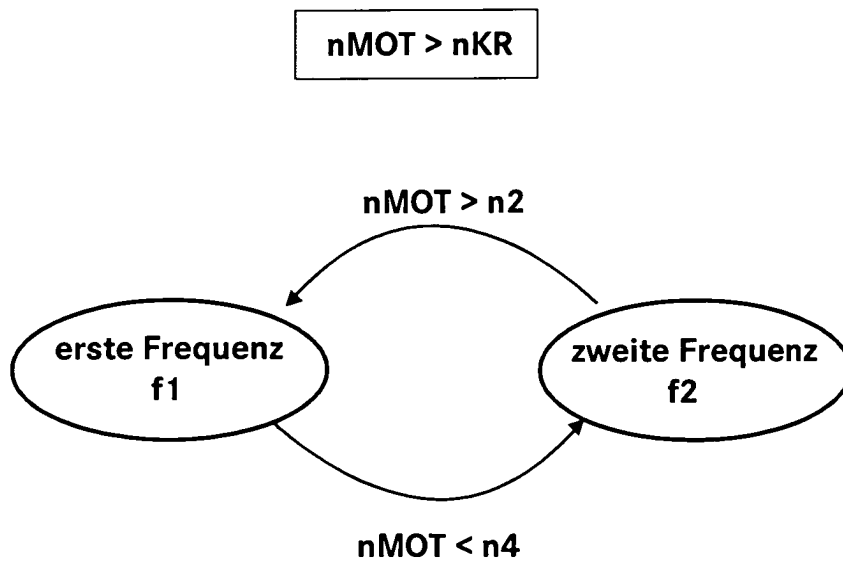


Fig. 5B

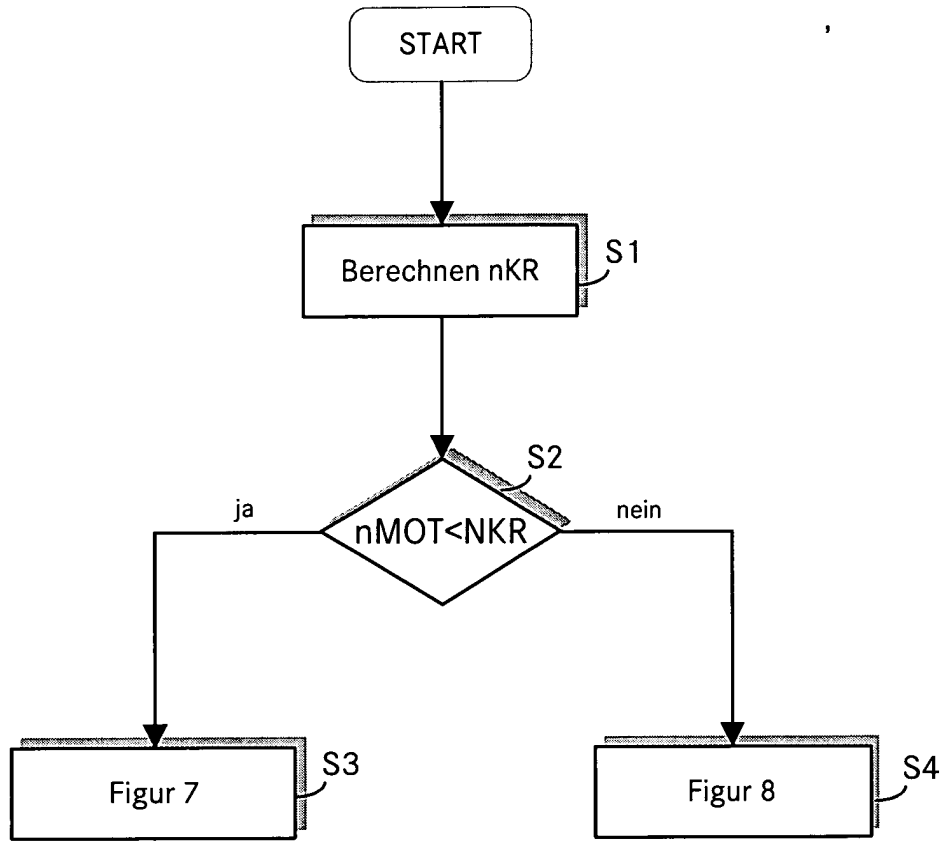


Fig. 6

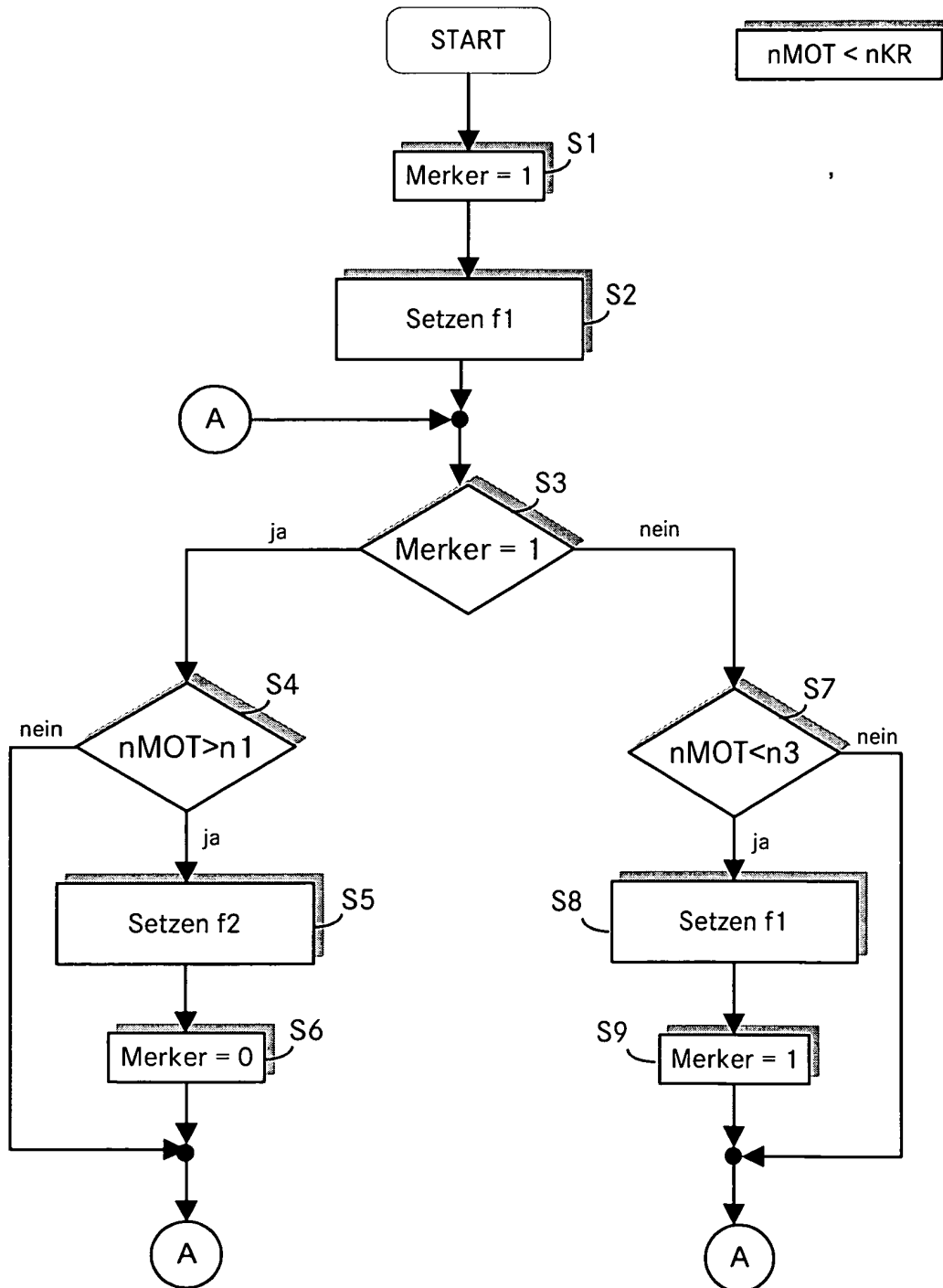


Fig. 7

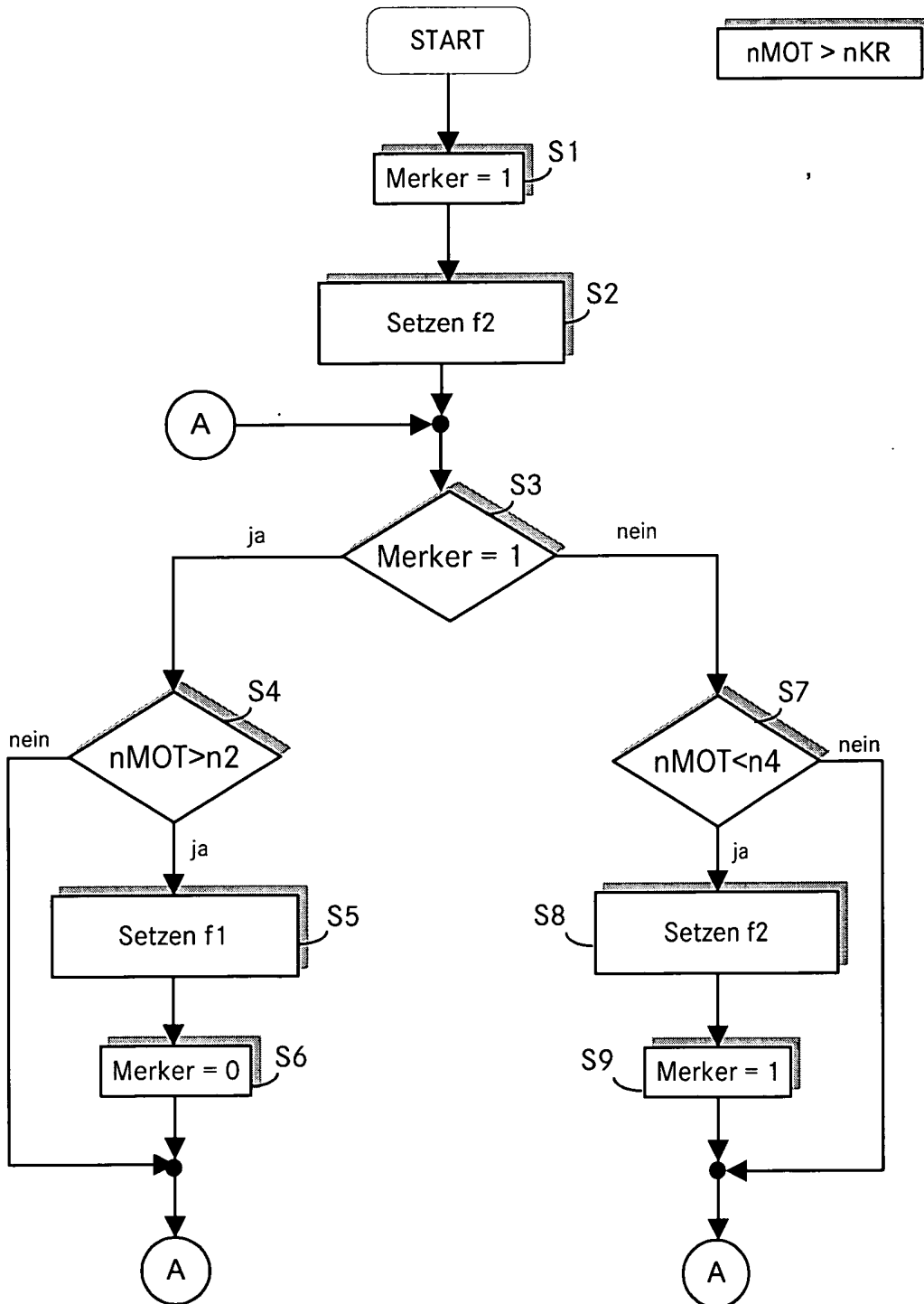


Fig. 8