



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
21.07.1999 Patentblatt 1999/29

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: F02D 41/38

(21) Anmeldenummer: 98124810.7

(22) Anmeldetag: 29.12.1998

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

(72) Erfinder:  
• **Hartke, Andreas**  
93049 Regensburg (DE)  
• **Birkner, Christian Dr.**  
93173 Irlbach (DE)  
• **Wenzlawski, Klaus Dr.**  
90429 Nürnberg (DE)

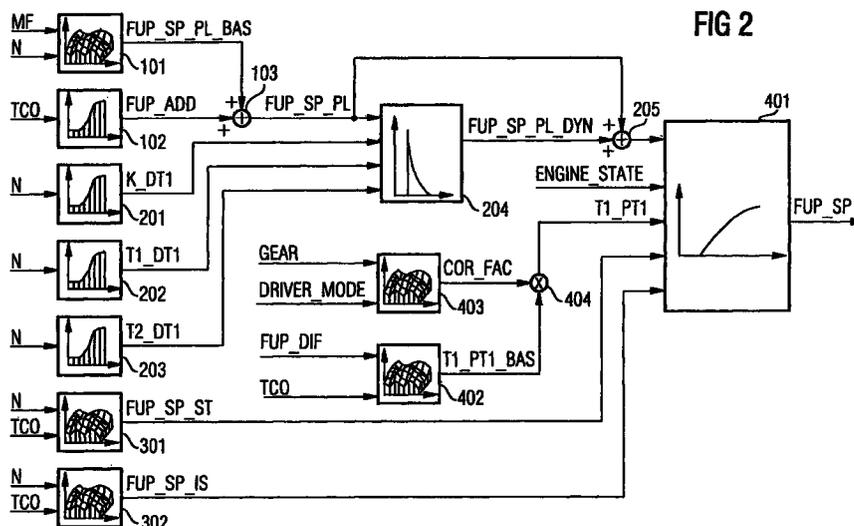
(30) Priorität: 13.01.1998 DE 19800940

(71) Anmelder:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
80333 München (DE)

(54) **Verfahren zur Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes bei Speichereinspritzsystemen**

(57) Bei dem beschriebenen Verfahren erfolgt die Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes (FUP\_SP) für den Druckspeicher eines Speichereinspritzsystems betriebspunktabhängig mit Hilfe jeweils eigener Kennfelder (101, 301, 302) für die Motorbetriebszustände Start, Leerlauf und Last. Im Lastbetrieb wird zusätzlich über ein erstes Zeitglied (204), dessen Zeitverhalten von der Motordrehzahl (N) abhängt, der Verlauf des Einspritzdruck-Sollwertes an die besonderen Anforderungen des transienten Motorbetriebes angepaßt, etwa bei einer Beschleunigung aus einer niedrigen Motor-

drehzahl heraus kurzzeitig angehoben. Mit Hilfe eines nachgeschalteten zweiten, vom ersten Zeitglied unabhängigen Zeitgliedes (401) werden plötzliche Übergänge in der Sollwertvorgabe beim Wechsel des Motorbetriebszustandes geeignet ausgeformt, das heißt Sprünge im Einspritzdruck-Sollwert vermieden. Im Übertragungsverhalten des zweiten Zeitgliedes (401) kann der eingelegte Gang oder die Fahrweise des Fahrers berücksichtigt werden.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes bei Speichereinspritzsystemen zur Kraftstoffzuführung in Verbrennungsmotoren.

5 [0002] Für die Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren werden zunehmend Speichereinspritzsysteme verwendet, bei denen mit sehr hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Solche Einspritzsysteme sind als Common-Rail-Einspritzsysteme (für Dieselmotoren) und HPDI-Einspritzsysteme (für Ottomotoren) bekannt. Diese Einspritzsysteme zeichnen sich dadurch aus, daß der Kraftstoff mit einer Hochdruckpumpe in einen allen Zylindern gemeinsamen Druckspeicher gefördert wird, von dem aus die Injektoren oder Einspritzventile an den einzelnen Zylindern des Motors versorgt werden. Das Öffnen und Schließen der Einspritzventile wird in der Regel elektromagnetisch gesteuert. Die eingespritzte Kraftstoffmenge ist proportional zur Öffnungsdauer des Einspritzventils und dem System- oder Einspritzdruck, der über einen Drucksensor am Druckspeicher gemessen wird.

10 [0003] Der Einspritzdruck ist bei einem solchen System von der Motordrehzahl unabhängig und stellt daher eine zusätzliche Variable dar, die eine bedarfsgerechte Einspritzung des Kraftstoffs ermöglicht. Der Einspritzdruck hat zum Beispiel über die davon abhängige Kraftstoffzerstäubung einen erheblichen Einfluß auf den Verbrennungsvorgang im Zylinder. Durch Anheben des Einspritzdruckes im unteren Drehzahlbereich lassen sich etwa die Abgaswerte verbessern. Generell gilt es, immer einen an den Motorbetriebspunkt und den Betriebszustand angepaßten Einspritzdruck vorzugeben, um eine hinsichtlich der Schadstoffemission, dem Verbrennungsgeräusch und der Drehmomententfaltung optimale Verbrennung zu erhalten.

20 [0004] Bislang erfolgte die Einspritzdruckvorgabe insbesondere beim Common-Rail-System lediglich über ein einziges Kennfeld, das über die aktuell eingespritzte Kraftstoffmenge und die aktuelle Motordrehzahl angesprochen wird. Übergangszustände, die sich etwa beim Beschleunigen aus einem transienten, nichtstationären Motorbetriebszustand ergeben, können dabei nicht ausreichend berücksichtigt werden.

25 [0005] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes bei Speichereinspritzsystemen zu schaffen, in das die aus einem transienten Motorbetriebszustand resultierenden speziellen Anforderungen an den zeitlichen Verlauf dieser Größe eingebunden sind.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit dem im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahren gelöst.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes betriebspunktabhängig mit Hilfe jeweils eigener Kennfelder für die Motorbetriebszustände Start, Leerlauf und Last.

30 [0008] Im Lastbetrieb wird zusätzlich über ein erstes Zeitglied, dessen Zeitverhalten von der Motordrehzahl abhängt, der Verlauf des Einspritzdruck-Sollwertes an die besonderen Anforderungen des transienten Motorbetriebes angepaßt. Auf diese Weise kann zum Beispiel bei einer Beschleunigung aus einer niedrigen Motordrehzahl heraus der Einspritzdruck kurzzeitig angehoben werden, um die tendenziell schlechtere Gemischaufbereitung bei niedrigen Drehzahlen durch eine Einspritzdruckerhöhung und damit eine bessere Kraftstoffzerstäubung zu kompensieren. Umgekehrt läßt sich durch eine kurzzeitige Absenkung des Einspritzdruckes bei plötzlicher Lastanforderung unter hoher Motordrehzahl die Geräuschemission reduzieren.

35 [0009] Mit Hilfe eines zweiten, vom ersten Zeitglied unabhängigen Zeitgliedes werden Übergänge in der Sollwertvorgabe beim Wechsel des Motorbetriebszustandes geeignet ausgeformt. Auf diese Weise können plötzliche Sprünge im Einspritzdruck-Sollwert, wie sie ohne entsprechende Gegenmaßnahmen beispielsweise beim Wechsel vom Startbetrieb (erhöhter Einspritzdruck) in den Leerlauf (abgesenkter Einspritzdruck) auftreten würden, vermieden werden. Dadurch werden sprunghafte Änderungen des Antriebsmomentes der Hochdruckpumpe etwa beim Übergang in den Leerlauf oder aus dem Leerlauf heraus umgangen. Neben einer geringeren Belastung der Komponenten des Einspritzsystems ist durch die erhöhte Drehzahlstabilität ein wesentlicher Komfortgewinn für die Fahrzeuginsassen die Folge.

40 [0010] Das zweite Zeitglied kann ferner dazu genutzt werden, dem Einspritzdruck im Lastbetrieb eine Änderungsbegrenzung aufzuerlegen. Dazu wird abhängig vom eingelegten Gang oder der Fahrweise des Fahrers das Zeitverhalten der Übertragungsfunktion des Zeitgliedes entsprechend vorgegeben. Auf diese Weise kann dem Fahrverhalten des Fahrzeuglenkers oder einer besonderen Situation Rechnung getragen werden und die üblicherweise als Kompromiß hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs, der Drehmomententfaltung, der Schadstoffemission und dem Geräuschverhalten vorgenommene Motorabstimmung in Richtung eines bestimmten Effektes, etwa einer maximalen Drehmomententfaltung, verschoben werden.

45 [0011] Die Erfindung ermöglicht somit eine betriebspunktabhängige Änderung des Einspritzdruckes in Echtzeit und damit die optimale Anpassung des Einspritzdruckverlaufes an die besonderen Anforderungen des transienten Motorbetriebes.

50 [0012] Anhand der Zeichnung wird die vorliegende Erfindung beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

55 **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Common-Rail-Kraftstoffeinspritzsystems;

**Fig. 2** eine schematische Blockdarstellung zur Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes bei dem System der Fig. 1;

**Fig. 3** die Sprungantwort des ersten Übertragungs-Zeitgliedes in der Blockdarstellung der Fig. 2; und

Fig. 4 die Sprungantwort des zweiten Übertragungs-Zeitgliedes in der Blockdarstellung der Fig. 2.

**[0013]** Die Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Kraftstoffeinspritzsystems, wie es unter der Bezeichnung Common-Rail-System vor allem bei Dieselmotoren eingesetzt wird. Der Kraftstoff wird durch eine Vorförderpumpe 10 aus einem Kraftstoffbehälter 12 angesaugt. Die Vorförderpumpe 10 fördert den Kraftstoff über ein Kraftstofffilter 14 zu einer Hochdruckpumpe 16, die den Kraftstoff unter hohem Druck in einen Druckspeicher 18 einspeist. Der Druckspeicher 18 steht mit Einspritzventilen 20 in Verbindung, über die der Kraftstoff in die Zylinder des Verbrennungsmotors eingespritzt wird. Der Einspritzvorgang wird von einer elektronischen Steuereinheit 22 gesteuert, die über Signalleitungen 24 mit den einzelnen Einspritzventilen 20 verbunden ist.

**[0014]** Die elektronische Steuereinheit 22 wirkt über eine Steuerleitung 26 auch auf ein Saugdrosselventil 28 ein, das zwischen der Vorförderpumpe 10 und der Hochdruckpumpe 16 in der Kraftstoffleitung angeordnet ist und mit dessen Hilfe der Förderstrom der Hochdruckpumpe 16 geregelt werden kann, um den Volumenstrom der Hochdruckpumpe 16 bedarfsabhängig einzustellen. Der Förderstrom der Hochdruckpumpe 16 kann alternativ jedoch auch auf andere Weise, etwa eine entsprechende druck- oder drehzahlabhängige Auslegung der Vorförderpumpe 10 verändert werden.

**[0015]** Am Druckspeicher 18 ist ein Drucksensor 30 angebracht, der den im Druckspeicher 18 herrschenden Druck erfaßt. Das Ausgangssignal des Drucksensors 30 wird der elektronischen Steuereinheit 22 zugeführt.

**[0016]** Zum Einstellen des Drucks im Druckspeicher 18 in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen des Verbrennungsmotors ist in die Kraftstoffleitung 32 zwischen der Hochdruckpumpe 16 und dem Druckspeicher 18 ein Druckregelventil 34 geschaltet. Dieses Druckregelventil 34 leitet überschüssigen Kraftstoff, der nicht zur Aufrechterhaltung eines gewünschten Drucks im Druckspeicher 18 benötigt wird, über eine Kraftstoffrückleitung 36 in den Kraftstoffbehälter 12 zurück. Das Druckregelventil 34 ist über eine Steuerleitung 38 mit der elektronischen Steuereinheit 22 verbunden, die an das Druckregelventil 34 ein Ansteuersignal abgibt, das den Druck im Druckspeicher 18 bestimmt.

**[0017]** In Abhängigkeit von den von außen zugeführten Eingangssignalen, zu denen neben dem Ausgangssignal des Drucksensors 30 auch die Motordrehzahl sowie weitere Informationen, wie solche über den eingelegten Gang gehören, und in Abhängigkeit von intern festgelegten Größen wie der aktuell eingespritzten Kraftstoffmenge bestimmt die elektronische Steuereinheit 22 den Druck, der an den Einspritzventilen 20 anliegen soll, das heißt den Sollwert im Druckspeicher 18 oder den Einspritzdruck-Sollwert, und gibt über die Steuerleitungen 26 und 38 entsprechende Signale an das Druckregelventil 34 und/oder die Hochdruckpumpe 16.

**[0018]** Die Fig. 2 zeigt eine schematische Blockdarstellung für die Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes durch die elektronische Steuereinheit 22.

**[0019]** Mit Hilfe der Kennfelder 101, 301 und 302 werden für die Motorbetriebszustände Start ST (Kennfeld 301), Leerlauf IS (Kennfeld 302) und Lastbetrieb PL (Kennfeld 101) entsprechende Sollwerte FUP\_SP\_ST, FUP\_SP\_IS und FUP\_SP\_PL\_BAS für den Einspritzdruck vorgegeben. Dabei werden die Sollwertkennfelder für den Start und den Leerlauf über die aktuelle Motordrehzahl N und die Kühlmitteltemperatur TCO angesprochen, um der Abhängigkeit der Gemischaufbereitung von der Ladungsbewegung im Brennraum und der Temperatur des Motors Rechnung zu tragen.

**[0020]** Unter Rückgriff auf eine vorgegebene Kennlinie 102 wird der im Lastbetrieb betriebspunktabhängig vorgegebene Sollwert FUP\_SP\_PL\_BAS für den Einspritzdruck in der Summationsstelle 103 auf additivem Weg kühlmittemperaturabhängig zu FUP\_SP\_PL korrigiert. Der so ermittelte Sollwert FUP\_SP\_PL für den Lastbetrieb liegt an einem ersten Zeitglied 204 an und wird, additiv in einer Summationsstelle 205 durch das Ausgangssignal des ersten Zeitgliedes 204 modifiziert, auch zu einem zweiten Zeitglied 401 geführt. Am zweiten Zeitglied 401 liegen auch die Sollwerte FUP\_SP\_ST und FUP\_SP\_IS aus den Kennfeldern 301 und 302 für die Betriebszustände Start und Leerlauf an.

**[0021]** Das erste Zeitglied 204 ist als DT<sub>1</sub>-Glieder ausgebildet. Die rekursive Gleichung für die Übertragungsfunktion dieses Zeitgliedes 204 lautet

$$FUP\_SP\_PL\_DYN(i) = \frac{1}{1 + T_1/t_a} \left[ K_{PDT1}(FUP\_SP\_PL(i) + T_2/t_a(FUP\_SP\_PL(i) - FUP\_SP\_PL(i-1))) \right]$$

Gleichung (1)

mit

FUP\_SP\_PL\_DYN(i): Ausgangssignal des ersten Zeitgliedes,

K<sub>PDT1</sub>: Verstärkungsfaktor,

T<sub>1</sub>: erste Zeitkonstante,

T<sub>2</sub>: zweite Zeitkonstante,

FUP\_SP\_PL(i): Einspritzdruck-Sollwert im Lastbetrieb,

$t_a$ : Abtastzeit.

[0022] Der Index  $i$  kennzeichnet dabei den aktuellen Rechendurchlauf,  $i-1$  den vorhergehenden.

5 [0023] Die Fig. 3 zeigt die Sprungantwort des ersten Zeitgliedes 204. Mit Hilfe dieses Zeitgliedes kann, je nach Wahl des Vorzeichens des Verstärkungsfaktors, der Sollwert für den Einspritzdruck bei einer sprungförmigen Änderung beispielsweise der eingespritzten Kraftstoffmenge mit einem angepaßten Zeitverhalten angehoben oder abgesenkt werden. Die Zeitkonstanten  $T_1$ ,  $T_2$  und der Verstärkungsfaktor  $K_{PD T_1}$  für das erste  $DT_1$ -Zeitglied 204 werden drehzahlabhängig vorgegebenen Kennlinien 201, 202 und 203 entnommen, um den Sollwerteingriff über das erste Zeitglied 204 drehzahlabhängig abzustimmen.

10 [0024] Das dem ersten Zeitglied 204 nachgeschaltete zweite Zeitglied 401 ist als Verzögerungsglied erster Ordnung ( $PT_1$ -Glied) ausgeführt. Die Gleichung für die Übertragungsfunktion dieses Zeitgliedes 401, dessen Sprungantwort in der Fig. 4 dargestellt ist, lautet in der rekursiven Form

$$15 \quad FUP\_SP\_DFT(i) = \frac{1}{1 + T_1/T_a} [T_1/T_a(FUP\_SP\_DFT(i-1)) + FUP\_SP(i)]$$

20 Gleichung (2)

20

mit

25  $FUP\_SP\_DFT(i)$ : verzögerter Einspritzdruck-Sollwert,  
 $FUP\_SP(i)$ : aktueller Einspritzdruck-Sollwert,  
 $T_1$ : Zeitkonstante des Verzögerungs-Zeitgliedes,  
 $t_a$ : Abtastzeit,

wobei der Index  $i$  wieder den aktuellen Rechendurchlauf und  $i-1$  den vorhergehenden kennzeichnet.

30 [0025] Die Variable  $FUP\_SP$  in der Gleichung (2) wird dabei in Abhängigkeit vom Motorbetriebszustand entweder mit  $FUP\_SP\_ST$  für den Motorstart, mit  $FUP\_SP\_IS$  für den Motorleerlauf oder mit  $FUP\_SP\_PL$  für den Lastbetrieb beschrieben. Dazu wird dem Zeitglied 401 zusätzlich über den Eingang  $ENGINE\_STATE$  in kodierter Form der Motorbetriebszustand mitgeteilt. Die Vorgabe der Basiszeitkonstanten  $T1\_PT1\_BAS$  für das  $PT_1$ -Zeitglied 401 erfolgt über das Kennfeld 402 in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur  $TCO$  und der aktuellen Regeldifferenz  $FUP\_DIFF$  zwischen Einspritzsoll- und -istdruck im Hochdruckspeicher, um dem von der Motortemperatur abhängigen Verhalten der Gemischaufbereitung und dem für den Druckauf- und -abbau unterschiedlichen Zeitverhalten des Einspritzsystems Rechnung zu tragen. In Abhängigkeit vom eingelegten Gang und dem Ergebnis einer Fahrererkennung wird diese Basiszeitkonstante in einer Multiplikationsstelle 404 einer multiplikativen Wichtung unterzogen, bevor sie als endgültige Zeitkonstante dem Zeitglied 401 zugeführt und dort in Form der Variablen  $T_1$  nach Gleichung (2) verarbeitet wird. Die

40 Wichtung erfolgt mit Hilfe des Kennfeldes 403. Die Information über den eingelegten Gang ist in kodierter Form im Signal  $GEAR$  enthalten, das als Eingangsgröße am Kennfeld 403 anliegt. An einem weiteren Eingang des Kennfeldes 403 liegt gegebenenfalls das Signal  $DRIVER\_MODE$  der Fahrererkennungsfunktion einer Getriebebesteuerung für ein Automatikgetriebe an.

45 [0026] Unter Rückgriff auf die Informationen über das allgemeine Fahrverhalten des Fahrers, das in modernen Getriebebesteuerungen üblicherweise über ein Fuzzy-System ermittelt oder vom Fahrer durch Betätigung eines Schalters vorgegeben wird, kann somit der Druckaufbau und der Druckabbau im Hochdruckspeicher gegenüber dem vorgegebenen Zeitverhalten gezielt beschleunigt oder verzögert werden, um damit zum Beispiel dem Wunsch des Fahrers nach optimaler Drehmomententfaltung Rechnung zu tragen.

50 [0027] Der in der beschriebenen Form am Ausgang des Zeitgliedes 401 erhaltene Sollwert  $FUP\_SP$  für den Einspritzdruck wird dem Einspritzdruckregler in der elektronischen Steuereinheit 22 als Eingangssignal zugeführt, der dafür sorgt, daß im Druckspeicher 18 des Kraftstoffversorgungssystems der für ein bestimmtes Betriebsverhalten optimale Einspritzdruck eingestellt wird.

## Patentansprüche

55

1. Verfahren zur Vorgabe des Einspritzdruck-Sollwertes bei Speichereinspritzsystemen zur Kraftstoffzuführung in Verbrennungsmotoren, wobei über die Sollwert-Vorgabe der Druck in einem Druckspeicher (18) in Abhängigkeit von den Betriebszuständen des Verbrennungsmotors eingestellt wird,

mit Kennfeldern (101, 301, 302) für einen Einspritzdruck-Basiswert im Lastbetrieb (FUP\_SP\_PL\_BAS), beim Motorstart (FUP\_SP\_ST) und im Leerlauf (FUP\_SP\_IS);

mit einem ersten differentiellen DT<sub>1</sub>-Zeitglied (204), an dessen Eingang der Ausgang des Lastbetrieb-Kennfeldes (101) anliegt und dessen Zeitverhalten von der Motordrehzahl abhängt; und

mit einem zweiten PT<sub>1</sub>-Verzögerungs-Zeitglied (401), an dessen Eingang der Ausgang des ersten Zeitgliedes (204), die Ausgänge der Kennfelder (301, 302) für den Start und den Leerlauf und der Ausgang eines Kennfeldes (402) für die Vorgabe einer Basiszeitkonstanten (T1\_PT1\_BAS) anliegen und an dessen Ausgang der Einspritzdruck-Sollwert (FUP\_SP) für den jeweiligen Betriebszustand des Verbrennungsmotors abgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit einer Kennlinie (102) für die kühlmitteltemperaturabhängige Modifikation des Einspritzdruck-Basiswertes (FUP\_SP\_PL\_BAS) aus dem Kennfeld (101) für den Lastbetrieb.

3. Verfahren nach Anspruch 1, mit Kennlinien (201, 202, 203) zur drehzahlabhängigen Vorgabe von Zeitkonstanten (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) und eines Verstärkungsfaktors (K<sub>PD<sub>T1</sub></sub>) an das erste Zeitglied (204).

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Ausgang des Kennfeldes (402) für die Vorgabe einer Basiszeitkonstanten (T1\_PT1\_BAS) für das zweite Zeitglied (401) durch ein Kennfeld (403) für den eingelegten Gang und das Fahrverhalten des Fahrers modifiziert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei am Eingang des zweiten Zeitgliedes (401) ein Signal (ENGINE\_STATE) über den Motorbetriebszustand anliegt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Gleichung für die Übertragungsfunktion des ersten Zeitgliedes (204) in rekursiver Form

$$FUP\_SP\_PL\_DYN(i) = \frac{1}{1 + T_1/t_a} \left[ K_{PD_{T1}}(FUP\_SP\_PL(i) + T_2/t_a(FUP\_SP\_PL(i) - FUP\_SP\_PL(i - 1))) \right]$$

lautet, mit

- FUP\_SP\_PL\_DYN(i): Ausgangssignal des ersten Zeitgliedes;
- K<sub>PD<sub>T1</sub></sub>: Verstärkungsfaktor;
- T<sub>1</sub>: erste Zeitkonstante;
- T<sub>2</sub>: zweite Zeitkonstante;
- FUP\_SP\_PL(i): Einspritzdruck-Sollwert im Lastbetrieb;
- t<sub>a</sub>: Abtastzeit;

wobei der Index i den aktuellen Rechendurchlauf und i-1 den vorhergehenden bezeichnet.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Gleichung für die Übertragungsfunktion des zweiten Zeitgliedes (401) in rekursiver Form

$$UP\_SP\_DFT(i) = \frac{1}{1 + T_1/T_a} [ T_1/T_a(FUP\_SP\_DFT(i - 1)) + FUP\_SP(i) ]$$

$$FUP\_SP\_DFT(i) = \frac{1}{1 + T_1/T_a} [ T_1/T_a(FUP\_SP\_DFT(i - 1)) + FUP\_SP(i) ]$$

lautet, mit

- FUP\_SP\_DFT(i): verzögerter Einspritzdruck-Sollwert;
- FUP\_SP(i): aktueller Einspritzdruck-Sollwert;
- T<sub>1</sub>: Zeitkonstante des Verzögerungs-Zeitgliedes;
- t<sub>a</sub>: Abtastzeit;

wobei der Index i den aktuellen Rechendurchlauf und i-1 den vorhergehenden bezeichnet.

FIG 1

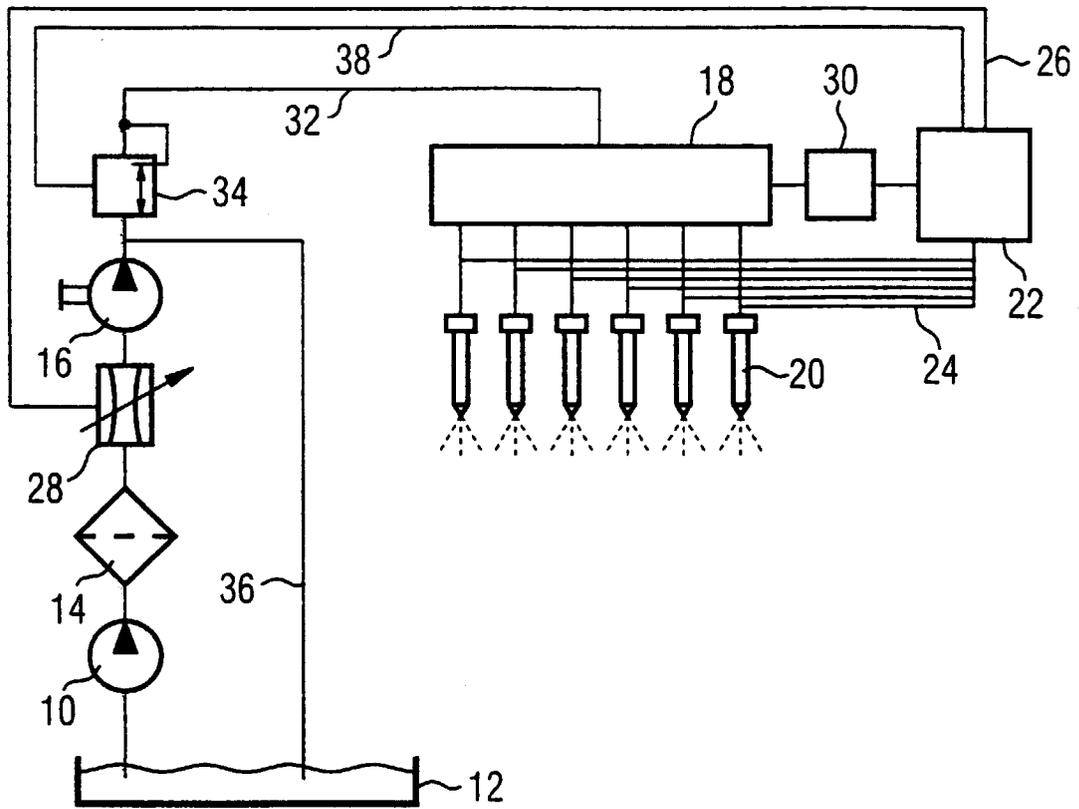


FIG 2

