

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. August 2020 (20.08.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/165333 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/38 (2006.01) F02D 41/14 (2006.01)
F02M 63/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/053741

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Februar 2020 (13.02.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 202 004.6
14. Februar 2019 (14.02.2019) DE

(71) Anmelder: MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH
[DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: DÖLKER, Armin; Im Winkel 6, 88048 Friedrichshafen (DE).

(74) Anwalt: KORDEL, Mattias et al.; Gleiss Große Schrell und Partner mbB, Leitzstr. 45, 70469 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN INJECTION SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AN INJECTION SYSTEM FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AND AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE COMPRISING SUCH AN INJECTION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES EINSPRITZSYSTEMS EINER BRENNKRAFTMASCHINE, EINSPRITZSYSTEM FÜR EINE BRENNKRAFTMASCHINE SOWIE BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM SOLCHEN EINSPRITZSYSTEM

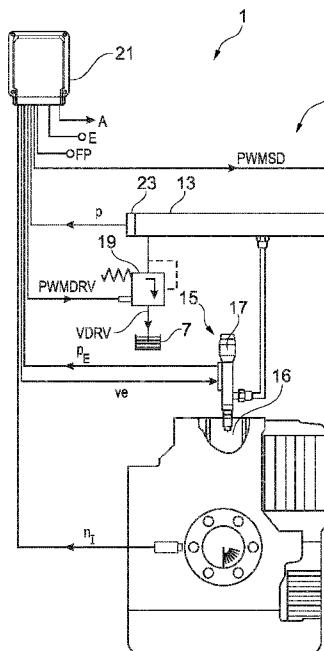


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an injection system (3) of an internal combustion engine (1), wherein the injection system (3) comprises a high pressure reservoir (13), wherein a high pressure in the high pressure reservoir (13) is regulated in normal operation by way of actuation of a low pressure-side suction throttle (9), wherein the high pressure is regulated in a first operating mode of safety operation by way of actuation of at least one high pressure-side pressure regulating valve (19), wherein a switchover is carried out from normal operation into the first operating mode of safety operation if the high pressure reaches or exceeds a first limit pressure value, and wherein a switchover is carried out from the first operating mode of safety operation into normal operation if, starting from above a setpoint pressure value, the high pressure reaches or undershoots the setpoint pressure value, wherein the setpoint pressure value is lower than the first limit pressure value.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzsystems (3) einer Brennkraftmaschine (1), wobei das Einspritzsystem (3) einen Hochdruckspeicher (13) aufweist, wobei ein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher (13) in einem Normalbetrieb durch Ansteuern einer niederdruckseitigen Saugdrossel (9) geregelt wird, wobei der Hochdruck in einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs durch Ansteuern von wenigstens einem hochdruckseitigen Druckregelventil (19) geregelt wird, wobei aus dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird, wenn der Hochdruck einen ersten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, und wobei aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb geschaltet wird, wenn der Hochdruck ausgehend von oberhalb eines Druck Sollwerts den Druck Sollwert erreicht oder unterschreitet, wobei der Druck Sollwert kleiner ist als der erste Druckgrenzwert.

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

BESCHREIBUNG

5 **Verfahren zum Betreiben eines Einspritzsystems einer Brennkraftmaschine, Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine sowie Brennkraftmaschine mit einem solchen Einspritzsystem**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzsystems einer
10 Brennkraftmaschine, ein Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine und eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Einspritzsystem.

Einspritzsysteme und Verfahren zu deren Betreiben gehen beispielsweise aus DE 10 2014 213
648 B3 und DE 10 2015 209 377 B4 hervor.

15 Ein Einspritzsystem der hier angesprochenen Art weist wenigstens einen Injektor auf, der insbesondere eingerichtet ist zum Einbringen eines Brennstoffs in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine, sowie einen Hochdruckspeicher, der einerseits mit dem wenigstens einen Injektor und andererseits über eine Hochdruckpumpe mit einem Kraftstoffreservoir in
20 strömungstechnischer Verbindung ist. Auf diese Weise kann Kraftstoff oder Brennstoff, wobei diese Begriffe synonym verwendet werden, mittels der Hochdruckpumpe aus dem Kraftstoffreservoir in den Hochdruckspeicher gefördert werden. Der Hochdruckpumpe ist eine niederdruckseitige Saugdrossel zugeordnet. Insbesondere ist die Saugdrossel als ein erstes Druckstellglied ansteuerbar und in der strömungstechnischen Verbindung zwischen dem
25 Kraftstoffreservoir und dem Hochdruckspeicher, vorzugsweise stromaufwärts der Hochdruckpumpe, angeordnet. Über die Saugdrossel kann so die Förderleistung der Hochdruckpumpe und damit zugleich der Druck in dem Hochdruckspeicher beeinflusst werden. Das Einspritzsystem weist außerdem wenigstens ein hochdruckseitiges Druckregelventil auf, über welches der Hochdruckspeicher mit dem Kraftstoffreservoir – insbesondere parallel zu dem
30 über die Hochdruckpumpe verlaufenden Strömungspfad – mit dem Kraftstoffreservoir strömungstechnisch verbunden ist. Über das Druckregelventil kann somit Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoffreservoir abgesteuert werden.

In der strömungstechnischen Verbindung zwischen dem Kraftstoffreservoir und dem Hochdruckspeicher kann ein Kraftstofffilter vorgesehen sein, welches dazu dient, Wasser aus dem Kraftstoff herauszufiltern. Dabei wird allerdings zugleich auch Luft aus dem Kraftstoff gefiltert, welcher sich in dem Strömungspfad zu dem Hochdruckspeicher sammeln kann, sodass
5 sich eine Luftsäule bildet. Die Luft kann wiederum durch die Hochdruckpumpe zusammen mit dem Kraftstoff in den Hochdruckspeicher gefördert werden, wo sie zu unerwünschten Druckschwingungen führen kann. Dabei ist es insbesondere möglich, dass der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher aufgrund dieser unerwünschten Schwingungen einen ersten Druckgrenzwert überschreitet.

10

Im Rahmen eines Verfahrens zum Betreiben des Einspritzsystems ist vorgesehen, dass der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher in einem Normalbetrieb durch Ansteuern der niederdruckseitigen Saugdrossel geregelt wird, wobei der Hochdruck in einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs durch Ansteuern des wenigstens einen hochdruckseitigen Druckregelventils
15 geregelt wird. Es wird aus dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet, wenn der Hochdruck den ersten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet. Da dies einen Schutzmechanismus darstellt, ist typischerweise vorgesehen, dass der Schutzbetrieb beibehalten wird, bis die das Einspritzsystem aufweisende Brennkraftmaschine abgeschaltet wird. Liegt nun kein eigentlicher Fehler vor, sondern wird der erste Druckgrenzwert nur
20 aufgrund von unerwünschten Druckschwingungen des Hochdrucks kurzfristig überschritten, erweist sich eine fortgesetzte Druckregelung über das erste Druckregelventil als nachteilig, insbesondere da der Kraftstoff in dieser Betriebsart übermäßig erwärmt wird, wodurch die Effizienz der Brennkraftmaschine sinkt und die Emissionen ansteigen.

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Einspritzsystems, ein Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine und eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Einspritzsystem zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

Die Aufgabe wird gelöst, indem die vorliegende technische Lehre bereitgestellt wird,
30 insbesondere die Lehre der unabhängigen Ansprüche sowie der in den abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung offenbarten bevorzugten Ausführungsformen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem im Rahmen eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb geschaltet

wird, wenn der Hochdruck von oberhalb eines Drucksollwerts, insbesondere ausgehend von dem ersten Druckgrenzwert, den Drucksollwert erreicht oder unterschreitet, wobei der Drucksollwert kleiner ist als der erste Druckgrenzwert. Auf diese Weise wird eine Rückkehr des Einspritzsystems aus dem Schutzbetrieb in den Normalbetrieb ermöglicht, bevor die

5 Brennkraftmaschine abgeschaltet wird, also im laufenden Betrieb der Brennkraftmaschine. Dass der Hochdruck den Drucksollwert von oberhalb desselben, insbesondere ausgehend von dem ersten Druckgrenzwert, wieder erreicht oder unterschreitet, zeigt an, dass kein technisches Problem oder Defekt des Einspritzsystems dauerhaft fortbesteht, sondern dass die

10 Überschreitung des ersten Druckgrenzwerts vielmehr auf einem zeitlich begrenzten, unkritischen Ereignis, wie beispielsweise einer unerwünschten Hochdruckschwingung, beruht, sodass gefahrlos der Schutzbetrieb verlassen und in den Normalbetrieb zurückgeschaltet werden kann. Dabei können insbesondere die sich aus dem Betrieb des Einspritzsystems im Schutzbetrieb ergebenden Nachteile, wie eine unzulässige Erwärmung des Kraftstoffs, vermieden werden. Insbesondere im Fall von Hochdruckschwingungen, die durch Luft im Einspritzsystem bedingt

15 sind, wechselt dieses nur kurzzeitig in den Schutzbetrieb und kann anschließend, insbesondere wenn die Luft durch Absteuern mittels des Druckregelventils wieder aus dem Hochdruckspeicher entwichen ist, wieder in den Normalbetrieb zurückkehren, in welchem der Hochdruck mittels der Saugdrossel als erstem Druckstellglied geregelt wird. Dadurch werden eine unnötige Erwärmung des Kraftstoffs sowie eine unnötige Belastung des Druckregelventils

20 vermieden. Die Haltbarkeit der Brennkraftmaschine wird verlängert und der Wirkungsgrad verbessert. Außerdem werden die Emissionen reduziert.

Der Drucksollwert ist insbesondere ein Hochdruckwert, auf den der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher bestimmungsgemäß geregelt wird.

25

Das wenigstens eine Druckregelventil wird in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs insbesondere als zweites Druckstellglied angesteuert, um den Hochdruck zu regeln.

In dem Normalbetrieb wird bevorzugt eine Hochdruck-Störgröße mittels des wenigstens einen

30 Druckregelventils erzeugt, um die Hochdruckregelung zu stabilisieren.

Der Hochdruckspeicher ist vorzugsweise als gemeinsamer Hochdruckspeicher ausgebildet, mit dem eine Mehrzahl von Injektoren in Fluidverbindung stehen. Ein solcher Hochdruckspeicher

wird auch als Rail bezeichnet, wobei das Einspritzsystem bevorzugt als Common-Rail-Einspritzsystem ausgestaltet ist.

5 Zum Vergleich mit dem ersten Druckgrenzwert wird vorzugsweise ein dynamischer Raildruck verwendet, welcher aus einer Filterung des mittels eines Hochdrucksensors gemessenen Hochdrucks insbesondere mit einer vergleichsweise kurzen Zeitkonstanten resultiert. Alternativ ist es aber auch möglich, den gemessenen Hochdruck direkt mit dem ersten Druckgrenzwert zu vergleichen. Die Filterung hat demgegenüber den Vorteil, dass kurzfristige Überschwinger über den ersten Druckgrenzwert nicht direkt dazu führen, dass in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird.

Es ist möglich, dass das Einspritzsystem genau ein hochdruckseitiges Druckregelventil aufweist. Alternativ ist es aber auch möglich, dass das Einspritzsystem eine Mehrzahl von hochdruckseitigen Druckregelventilen, in bevorzugter Ausgestaltung genau zwei

15 hochdruckseitige Druckregelventile aufweist. Dabei ist es möglich, dass in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs eine Mehrzahl von hochdruckseitigen Druckregelventilen, insbesondere beide hochdruckseitige Druckregelventile, als Druckstellglieder angesteuert werden, um den Hochdruck in dem Hochdruckspeicher zu regeln. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die erste Betriebsart des Schutzbetriebs unterteilt ist in einen ersten

20 Betriebsartbereich der ersten Betriebsart, in welcher genau ein erstes hochdruckseitiges Druckregelventil als Druckstellglied zur Regelung des Hochdrucks angesteuert wird, wobei über wenigstens ein anderes hochdruckseitiges Druckregelventil bevorzugt eine Hochdruck-Störgröße zur Stabilisierung der Regelung erzeugt wird. In einem zweiten Betriebsartbereich der ersten Betriebsart wird wenigstens ein zweites Druckregelventil der Mehrzahl von Druckregelventilen

25 zusätzlich zu dem ersten Druckregelventil als Druckstellglied angesteuert, um den Hochdruck in dem Hochdruckspeicher zu regeln. Zwischen dem ersten Betriebsartbereich und dem zweiten Betriebsartbereich wird bevorzugt druckabhängig umgeschaltet, insbesondere wird bevorzugt von dem ersten Betriebsartbereich in den zweiten Betriebsartbereich gewechselt, wenn der Hochdruck einen Betriebsartbereichwechsel-Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, der

30 größer ist als der erste Druckgrenzwert. Auf diese Weise kann das wenigstens eine zweite Druckregelventil zur Regelung hinzugezogen werden, wenn die Regelung über das erste Druckregelventil nicht mehr ausreicht, um den Hochdruck zu regeln, insbesondere weil nicht genügend Kraftstoff über das erste Druckregelventil aus dem Hochdruckspeicher abgesteuert werden kann.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Integralanteil für einen Hochdruckregler, der zur Ansteuerung der Saugdrossel für die Regelung des Hochdrucks in dem Normalbetrieb eingerichtet ist, mit einem Integralinitialwert initialisiert wird, wenn aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb umgeschaltet wird. Dabei wird der Integralinitialwert als Leckagekennwert des Einspritzsystems in Abhängigkeit von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ermittelt. Somit wird vorteilhaft gewährleistet, dass die Saugdrossel durch den Hochdruckregler gleich nach dem Umschalten in den Normalbetrieb geeignet angesteuert wird, insbesondere derart, dass eine betriebspunktabhängige Leckage des Einspritzsystems durch Förderung einer angepassten Kraftstoffmenge in den Hochdruckspeicher ausgeglichen werden kann. Andernfalls bestünde aufgrund der in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs erfolgten Unterbrechung der Hochdruckregelung durch den Hochdruckregler die Gefahr, dass dieser unmittelbar nach dem Umschalten in den Normalbetrieb die Saugdrossel in ungeeigneter Weise ansteuert, sodass entweder zu wenig oder zu viel Kraftstoff in den Hochdruckspeicher gefördert wird.

Unter einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine wird hier insbesondere ein Wertepaar aus einer momentanen Drehzahl der Brennkraftmaschine sowie einer die momentane Leistung der Brennkraftmaschine bestimmenden Größe, insbesondere einem momentanen Drehmoment, einer momentanen Leistung, oder einer momentanen Soll-Einspritzmenge an Kraftstoff, verstanden. Es ist dabei offensichtlich, dass die momentane Leckage an Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher einerseits von der Drehzahl und andererseits von der momentanen Leistung abhängt, da dies die wesentlichen Größen sind, die bestimmen, wie viel Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher abströmt.

25

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Integralinitialwert ermittelt wird, indem aus einem Leckagekennfeld der Brennkraftmaschine ein Leckagewert in Abhängigkeit des momentanen Betriebspunkts ausgelesen wird. Dies stellt eine besonders einfache Weise dar, den Leckagewert zu ermitteln. Dabei ist es gemäß einer Ausgestaltung möglich, dass der Leckagewert als Leckagekennwert verwendet wird. Insbesondere ist es möglich, dass der Leckagewert unmittelbar als Integralinitialwert zur Initialisierung des Hochdruckreglers verwendet wird. Es bedarf in diesem Fall keiner weiteren Rechenschritte, sodass das Verfahren besonders einfach ist. Alternativ ist es möglich, dass der Leckagewert mit wenigstens einem Regelfaktor verrechnet wird, um den Leckagekennwert zu erhalten. Dies

30

ermöglicht eine zusätzliche Beeinflussung des Regelverhaltens des Hochdruckreglers, insbesondere um einen Einschwingvorgang des Hochdrucks auf den Drucksollwert zu beeinflussen. Vorzugsweise wird der Regelfaktor kleiner als 1 gewählt, insbesondere zu 0,8, um beim Umschalten von der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb ein

5 Unterschwingen des Hochdrucks unter den Drucksollwert hervorzurufen und somit einen robusten Übergang zur Hochdruckregelung mittels der Saugdrossel als Druckstellglied zu gewährleisten.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Leckagekennfeld ein

10 konstantes Kennfeld verwendet wird. In besonders einfacher Weise kann so das Leckagekennfeld einmalig bedatet werden. Das Leckagekennfeld ist vorzugsweise mit aus Prüfstandsversuchen erhaltenen Daten bedatet. Alternativ oder zusätzlich wird das Leckagekennfeld im Betrieb des Einspritzsystems aktualisiert. Auf diese Weise ist es vorteilhaft möglich, das Leckagekennfeld stets aktuell zu halten und so insbesondere an veränderte

15 Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine, beispielsweise Alterungseffekte oder dergleichen, anzupassen. Bevorzugt wird das Leckagekennfeld mit momentanen Werten des Integralanteils des Hochdruckreglers – während des Normalbetriebs – als Leckagewerten bedatet. Bevorzugt werden hierzu Werte des Integralanteils aus stationären Betriebspunkten der Brennkraftmaschine verwendet. Dabei entspricht der Integralanteil des Hochdruckreglers im stationären Betrieb

20 zumindest im Wesentlichen der momentanen Leckage des Einspritzsystems und ist daher in besonderer Weise als Leckagewert zur Bedatung des Leckagekennfelds geeignet. Zum anderen vereinfacht es die Verwendung des Leckagekennfelds im Rahmen des hier vorgeschlagenen Verfahrens deutlich, wenn Werte des Integralanteils in diesem hinterlegt werden, die dann wiederum auch ohne weiteres zum Initialisieren des Integralanteils für den Hochdruckregler,

25 also als Integralinitialwerte verwendet werden können. Es ist dabei möglich, dass die momentanen Integralanteile mit wenigstens einem Faktor verrechnet werden, bevor sie in dem Leckagekennfeld hinterlegt werden, insbesondere um gegebenenfalls Effekte auszugleichen, die durch spätere Anwendung von Faktoren auf die Leckagewerte nach deren Auslesen aus dem Leckagekennfeld entstehen. Besonders bevorzugt wird das Leckagekennfeld mit gefilterten

30 Werten des momentanen Integralanteils bedatet. Dies ermöglicht in vorteilhafter Weise das Ausfiltern kurzfristiger Schwankungen; insoweit kommt besonders bevorzugt eine Tiefpassfilterung zur Anwendung.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass geprüft wird, ob die Saugdrossel einen Defekt aufweist, bevor aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb geschaltet wird. Es wird nur dann in den Normalbetrieb geschaltet, wenn kein Defekt der Saugdrossel festgestellt wird, oder – in anderen Worten – wenn festgestellt wird, dass die Saugdrossel ordnungsgemäß arbeiten kann. Dies vermeidet vorteilhaft, dass gegebenenfalls in den Normalbetrieb geschaltet wird, obwohl ein Defekt vorliegt und nicht gewährleistet ist, dass der Hochdruck in dem Normalbetrieb tatsächlich geregelt werden kann. Es wird also vorteilhaft nur dann in den Normalbetrieb umgeschaltet, wenn tatsächlich sichergestellt ist, dass die Saugdrossel zur Regelung des Hochdrucks im Normalbetrieb angesteuert werden kann. Somit kann nicht zuletzt eine Beschädigung der Brennkraftmaschine vermieden werden.

Vorzugsweise ist die Saugdrossel in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs dauerhaft geöffnet.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass in eine zweite Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird, wenn der Hochdruck einen zweiten Druckgrenzwert überschreitet, wobei in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs das wenigstens eine Druckregelventil und die Saugdrossel dauerhaft geöffnet werden. Der zweite Druckgrenzwert ist insbesondere größer als der erste Druckgrenzwert und bevorzugt größer als der Betriebsartbereichwechsel-Druckgrenzwert. In der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs wird gewährleistet, dass bei zu hohem Hochdruck in dem Hochdruckspeicher eine hinreichend große Kraftstoffmenge dauerhaft aus dem Hochdruckspeicher abgesteuert werden kann, indem das wenigstens eine Druckregelventil dauerhaft geöffnet wird. Dabei wird zum Schutz des Einspritzsystems und der Brennkraftmaschine vor zu hohen Drücken auf eine Regelung des Hochdrucks verzichtet. Zugleich ist die Saugdrossel dauerhaft geöffnet, um zu gewährleisten, dass auch im mittleren Leistungsbereich sowie in niedrigen Lastpunkten der Brennkraftmaschine, wenn die Hochdruckpumpe bei niedriger Drehzahl läuft, genügend Kraftstoff in den Hochdruckspeicher gefördert wird, sodass der Betrieb der Brennkraftmaschine nicht durch eine zu geringe Kraftstoffförderung unterbrochen wird. Ansonsten könnte es aufgrund der permanenten Leckage aus dem Hochdruckspeicher über das dauerhaft geöffnete Druckregelventil zu einer Unterversorgung der Brennräume mit Kraftstoff kommen, sodass die Brennkraftmaschine letztlich abgewürgt wird. Die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs stellt insbesondere eine Sicherheitsfunktion dar, die einen möglichst beschädigungsfreien Weiterbetrieb der Brennkraftmaschine in einem Notbetriebsmodus gewährleisten soll, insbesondere um eine sogenannte Limp Home-Funktion bereitzustellen. Insbesondere kann dabei

das wenigstens eine Druckregelventil die Funktion eines Überdruckventils erfüllen, sodass vorteilhaft auf ein mechanisches Überdruckventil verzichtet werden kann.

Es ist gemäß einer Ausgestaltung möglich, dass das Druckregelventil und/oder die Saugdrossel
5 aktiv dauerhaft geöffnet werden, das heißt zu einem dauerhaft geöffneten Zustand angesteuert werden. Gemäß einer alternativen Ausgestaltung ist es möglich, dass das Druckregelventil und/oder die Saugdrossel passiv dauerhaft geöffnet werden. Dies ist insbesondere möglich, wenn zumindest eines dieser Elemente stromlos offen ausgebildet ist. In diesem Fall wird das entsprechende Element bevorzugt nicht angesteuert, sodass es dauerhaft – insbesondere
10 vollständig – geöffnet ist. Es ist auch möglich, dass das wenigstens eine Druckregelventil stromlos und drucklos geschlossen, jedoch stromlos und unter Druck offen ausgebildet ist. Dies bedeutet, dass das Druckregelventil in einem Zustand, indem es nicht bestromt wird und nicht unter Druck steht, geschlossen ist, wobei es in stromlosem Zustand ab einem vorbestimmten Grenzöffnungsdruckwert öffnet. In diesem Fall kann das Druckregelventil in der zweiten
15 Betriebsart des Schutzbetriebs ohne Ansteuerung dauerhaft geöffnet sein, da es der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher in der Offenstellung hält. Außerdem kann das Druckregelventil in einem Startbetrieb der Brennkraftmaschine, wenn noch kein ausreichender Hochdruck in dem Hochdruckspeicher aufgebaut ist, stromlos geschlossen sein, was einen schnelleren Druckaufbau ermöglicht, ohne das Druckregelventil aktiv in einem geschlossenen Zustand ansteuern zu
20 müssen. Eine Ansteuerung des Druckregelventils unter Druck bewirkt ein Schließen des Druckregelventils.

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass für das Druckregelventil in dem Normalbetrieb eine Normalfunktion gesetzt wird, in welcher das
25 Druckregelventil in Abhängigkeit von einem Soll-Volumenstrom angesteuert wird. In dem Normalbetrieb stellt die Normalfunktion dabei eine Betriebsweise für das Druckregelventil bereit, bei welcher dieses die Hochdruck-Störgröße erzeugt, indem es Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoffreservoir absteuert.

30 Bevorzugt wird für das Druckregelventil auch in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs die Normalfunktion gesetzt, sodass das Druckregelventil in Abhängigkeit von einem Soll-Volumenstrom angesteuert wird. Der Normalbetrieb einerseits und die erste Betriebsart des Schutzbereichs andererseits unterscheiden sich in diesem Fall in der Art und Weise, in welcher der Soll-Volumenstrom zur Ansteuerung des Druckregelventils berechnet wird:

In dem Normalbetrieb wird der Soll-Volumenstrom bevorzugt aus einem statischen und einem dynamischen Soll-Volumenstrom berechnet. Der statische Soll-Volumenstrom wird wiederum bevorzugt in Abhängigkeit einer Soll-Einspritzmenge und einer Drehzahl der

5 Brennkraftmaschine über ein Soll-Volumenstrom-Kennfeld berechnet. Bei einer momentenorientierten Struktur kann dabei anstelle der Soll-Einspritzmenge auch ein Soll-Moment oder eine Soll-Leistung verwendet werden. Über den statischen Soll-Volumenstrom wird eine Konstantleckage nachgebildet, indem der Kraftstoff nur in einem Schwachlastbereich und in kleiner Menge abgesteuert wird. Von Vorteil ist dabei, dass keine signifikante Erhöhung
10 der Kraftstofftemperatur und auch keine signifikanten Verringerungen des Wirkungsgrads der Brennkraftmaschine auftreten. Durch die Nachbildung einer Konstantleckage für das Einspritzsystem über das Druckregelventil wird die Stabilität der Hochdruckregelung im Schwachlastbereich erhöht, was beispielsweise daran erkannt werden kann, dass der Hochdruck im Schubbetrieb etwa konstant bleibt. Der dynamische Soll-Volumenstrom wird über eine
15 dynamische Korrektur in Abhängigkeit eines Soll-Hochdrucks und eines Ist-Hochdrucks beziehungsweise der daraus abgeleiteten Regelabweichung berechnet. Ist die Regelabweichung negativ, beispielsweise bei einem Lastabwurf der Brennkraftmaschine, wird über den dynamischen Soll-Volumenstrom der statische Soll-Volumenstrom korrigiert. Anderenfalls, also insbesondere bei positiver Regelabweichung, erfolgt keine Veränderung des statischen Soll-
20 Volumenstroms. Über den dynamischen Soll-Volumenstrom wird einer Druckerhöhung des Hochdrucks entgegengewirkt, mit dem Vorteil, dass die Ausregelzeit des Systems nochmals verbessert werden kann.

Diese Vorgehensweise ist detailliert in der deutschen Patentschrift DE 10 2009 031 529 B3
25 beschrieben.

In der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs wird der Soll-Volumenstrom dagegen durch einen Druckregelventil-Druckregler zur Regelung des Hochdrucks berechnet. In diesem Fall stellt der Soll-Volumenstrom eine Stellgröße für die Regelung des Hochdrucks dar.

30

Alternativ oder zusätzlich wird bevorzugt, dass für das Druckregelventil in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs eine Stillstandsfunktion gesetzt wird, wobei das Druckregelventil in der Stillstandsfunktion nicht angesteuert wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn ein Druckregelventil verwendet wird, welches stromlos offen oder stromlos und drucklos

geschlossen ist. Dadurch, dass das Druckregelventil dann in der Stillstandsfunktion nicht angesteuert, also nicht bestromt wird, ergibt sich – gegebenenfalls aufgrund des eingangsseitig anliegenden Hochdrucks – eine maximale Öffnung desselben, sodass ein maximaler Kraftstoff-Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoffreservoir über das Druckregelventil abgesteuert wird. Auf diese Weise kann das Druckregelventil die Funktionalität eines ansonsten vorgesehenen mechanischen Überdruckventils vollständig übernehmen, sodass auf das mechanische Überdruckventil verzichtet werden kann. Dabei hat die stromlos offene oder drucklos und stromlos geschlossene Ausgestaltung des Druckregelventils den Vorteil, dass dieses zuverlässig auch dann vollständig öffnet, wenn es aufgrund eines Defekts nicht mehr bestromt wird.

Ein Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion wird vorzugsweise durchgeführt, wenn der Hochdruck, insbesondere der dynamische Raildruck, den zweiten Druckgrenzwert überschreitet, oder wenn ein Defekt des Hochdrucksensors erkannt wird. Ist der Hochdrucksensor defekt, kann der Hochdruck nicht mehr geregelt werden, und es ist auch nicht mehr möglich, einen unzulässig hohen Druck in dem Hochdruckspeicher zu erkennen. Aus Sicherheitsgründen wird daher in diesem Fall die Stillstandsfunktion für das Druckregelventil gesetzt, sodass dieses maximal öffnet und damit das Einspritzsystem in einen sicheren Zustand bringt, der einem Zustand entspricht, bei welchem ansonsten das mechanische Überdruckventil geöffnet wäre. Es kann dann nicht mehr zu einer unzulässigen Erhöhung des Hochdrucks kommen. Bevorzugt wird die Stillstandsfunktion ausgehend von der Normalfunktion auch dann gesetzt, wenn ein Stillstand der Brennkraftmaschine festgestellt wird. Insbesondere wenn die Drehzahl der Brennkraftmaschine für eine vorherbestimmte Zeit unter einen vorherbestimmten Wert absinkt, wird ein Stillstand der Brennkraftmaschine erkannt, und die Stillstandsfunktion für das Druckregelventil wird gesetzt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Brennkraftmaschine abgestellt wird. Ein Übergang zwischen der Stillstandsfunktion und der Normalfunktion erfolgt bei einem Start der Brennkraftmaschine vorzugsweise dann, wenn festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine läuft, wobei zugleich der Hochdruck einen Start-Druckwert überschreitet. Es erfolgt also bevorzugt zunächst ein gewisser Minimaldruckaufbau in dem Hochdruckspeicher, bevor das Druckregelventil in der Normalfunktion zur Erzeugung der Hochdruck-Störgröße angesteuert wird. Dass die Brennkraftmaschine läuft, kann vorzugsweise dadurch erkannt werden, dass eine vorherbestimmte Grenzdrehzahl für eine vorherbestimmte Zeit überschritten wird.

- Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass nur aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs zurück in den Normalbetrieb geschaltet wird. Dies bedeutet insbesondere, dass aus der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs nicht zurück in den Normalbetrieb geschaltet wird. Dies trägt dem Gedanken Rechnung, dass der zweite Druckgrenzwert vorzugsweise so gewählt ist, dass er nur dann von dem Hochdruck überschritten wird, wenn tatsächlich ein
- 5 gravierender Defekt in dem Einspritzsystem vorliegt, sodass anschließend eine Rückkehr in den Normalbetrieb nicht mehr gerechtfertigt werden kann. Bevorzugt ist entsprechend zusätzlich vorgesehen, dass aus der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs nicht in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs zurückgeschaltet wird. Die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs bleibt somit
- 10 vorteilhaft bestehen, bis die Brennkraftmaschine abgestellt wird, und vorzugsweise auch weiterhin, bis in geeigneter Weise signalisiert oder bestätigt wird, dass der Defekt an dem Einspritzsystem behoben ist, beispielsweise durch Betätigen eines Schalters, eine elektronische Eingabe oder dergleichen.
- 15 Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welches wenigstens einen Injektor sowie einen Hochdruckspeicher aufweist, der einerseits mit dem wenigstens einen Injektor und andererseits über eine Hochdruckpumpe mit einem Kraftstoffreservoir in strömungstechnischer Verbindung ist, wobei der Hochdruckpumpe eine Saugdrossel als erstes Druckstellglied zugeordnet ist. Das
- 20 Einspritzsystem weist außerdem wenigstens ein Druckregelventil auf, über welches der Hochdruckspeicher mit dem Kraftstoffreservoir strömungstechnisch verbunden ist. Außerdem weist das Einspritzsystem ein Steuergerät auf, das mit dem wenigstens einen Injektor, der Saugdrossel und dem wenigstens einen Druckregelventil – jeweils zu deren Ansteuerung – wirkverbunden ist. Dabei ist das Steuergerät eingerichtet, um ein erfindungsgemäßes Verfahren
- 25 oder ein Verfahren nach einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen durchzuführen. In Zusammenhang mit dem Einspritzsystem ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden.
- Das Steuergerät ist vorzugsweise als Motor-Steuergerät (Engine Control Unit – ECU) der
- 30 Brennkraftmaschine ausgebildet. Es ist alternativ allerdings auch möglich, dass ein gesondertes Steuergerät eigens zur Durchführung des Verfahrens vorgesehen ist.

Stromaufwärts der Hochdruckpumpe und der Saugdrossel ist vorzugsweise eine Niederdruckpumpe angeordnet, um Kraftstoff aus dem Kraftstoffreservoir zu der Saugdrossel und der Hochdruckpumpe zu fördern.

- 5 An dem Hochdruckspeicher ist vorzugsweise ein Drucksensor angeordnet, der zur Erfassung eines Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher eingerichtet und mit dem Steuergerät wirkverbunden ist, sodass der Hochdruck in dem Steuergerät registrierbar ist. Das Steuergerät ist vorzugsweise eingerichtet zur Filterung des gemessenen Hochdrucks, insbesondere zur Filterung mit einer ersten, längeren Zeitkonstante, um einen im Rahmen der Druckregelung zu
10 verwendenden Ist-Hochdruck zu berechnen, und zur Filterung des gemessenen Hochdrucks mit einer zweiten, kürzeren Zeitkonstante, um den dynamischen Raildruck zu berechnen.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung weist das Einspritzsystem genau ein Druckregelventil auf.

15

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausgestaltung weist das Einspritzsystem eine Mehrzahl von Druckregelventilen auf, besonders bevorzugt genau zwei Druckregelventile, wobei der Hochdruckspeicher über jedes der Druckregelventile – vorzugsweise strömungstechnisch parallel zueinander – mit dem Kraftstoffreservoir strömungstechnisch verbunden ist.

20

- Vorzugsweise ist das wenigstens eine Druckregelventil stromlos offen ausgebildet. Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass das Druckregelventil in dem Fall, dass es nicht angesteuert oder bestromt wird, maximal weit öffnet, was einen besonders sicheren und zuverlässigen Betrieb insbesondere dann ermöglicht, wenn auf ein mechanisches Überdruckventil verzichtet
25 wird. Ein unzulässiger Anstieg des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher kann dann auch vermieden werden, wenn eine Bestromung des Druckregelventils aufgrund eines technischen Fehlers nicht möglich ist.

- Das wenigstens eine Druckregelventil ist besonders bevorzugt drucklos und stromlos
30 geschlossen ausgebildet. Dabei ist es bevorzugt so ausgebildet, dass es bei einem eingangsseitig anliegenden Druck bis zu einem vorbestimmten Grenzöffnungsdruckwert geschlossen ist, wobei es öffnet, wenn der eingangsseitig anliegende Druck in stromlosem Zustand den Grenzöffnungsdruckwert erreicht oder überschreitet. Dabei ergeben sich insbesondere die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläuterten Vorteile.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Einspritzsystem frei von einem mechanischen Überdruckventil ist. Dessen Funktion kann vielmehr – wie in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert – vorteilhaft durch das wenigstens eine Druckregelventil in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs übernommen werden.

Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, die ein erfindungsgemäßes Einspritzsystem oder ein Einspritzsystem nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele aufweist. In Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine ergeben sich insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Einspritzsystem und dem Verfahren erläutert wurden.

Die Brennkraftmaschine weist bevorzugt eine Mehrzahl von – vorzugsweise identisch ausgebildeten – Brennräumen auf. Jedem Brennraum ist bevorzugt wenigstens ein Injektor des Einspritzsystems zum Einbringen von Kraftstoff in den Brennraum zugeordnet. Das Einspritzsystem weist somit bevorzugt mindestens so viele Injektoren auf, wie die Brennkraftmaschine Brennräume aufweist, gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung insbesondere genau gleich viele, wobei es aber ebenso möglich ist, dass beispielsweise jedem Brennraum zwei oder mehr Injektoren zugeordnet sind. Die Brennkraftmaschine kann insbesondere vier, sechs, acht, zehn, zwölf, vierzehn, sechzehn, achtzehn oder zwanzig Brennräume aufweisen. Es ist aber auch eine andere, insbesondere kleinere oder größere Anzahl von Brennräumen möglich. Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine als Hubkolbenmotor ausgebildet. Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine als Dieselmotor ausgebildet.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine mit einem Ausführungsbeispiel eines Einspritzsystems;

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine mit einem zweiten Ausführungsbeispiel eines Einspritzsystems;

Figur 3 eine Detaildarstellung eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems gemäß dem Stand der Technik;

- Figur 4 eine schematische Detaildarstellung eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems;
- 5 Figur 5 eine Detaildarstellung eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems gemäß dem Stand der Technik;
- Figur 6 eine Detaildarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems;
- 10 Figur 7 eine Detaildarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems;
- Figur 8 eine Detaildarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems;
- 15 Figur 9 eine Detaildarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems;
- 20 Figur 10 eine Detaildarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems, und
- Figur 11 eine diagrammatische Darstellung der Funktionsweise eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben eines Einspritzsystems.

25

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1 mit einem ersten Ausführungsbeispiel eines Einspritzsystems 3. Das Einspritzsystem 3 ist bevorzugt als Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet. Es weist eine Niederdruckpumpe 5 zur Förderung von Kraftstoff aus einem Kraftstoffreservoir 7, eine verstellbare, niederdruckseitige Saugdrossel 9 zur Beeinflussung eines diese durchströmenden Kraftstoff-Volumenstroms, eine Hochdruckpumpe 11 zur Förderung des Kraftstoffs unter Druckerhöhung in einen Hochdruckspeicher 13, den Hochdruckspeicher 13 zum Speichern des Kraftstoffs, und eine Mehrzahl von Injektoren 15 zum Einspritzen des Kraftstoffs in Brennräume 16 der Brennkraftmaschine 1 auf. Optional ist es möglich, dass das Einspritzsystem 3 auch mit

30

Einzel speichern ausgeführt ist, wobei dann beispielsweise in dem Injektor 15 ein Einzelspeicher 17 als zusätzliches Puffervolumen integriert ist. Es ist ein insbesondere elektrisch ansteuerbares Druckregelventil 19 vorgesehen, über welches der Hochdruckspeicher 13 mit dem Kraftstoffreservoir 7 fluidverbunden ist. Über die Stellung des Druckregelventils 19 wird ein Kraftstoffvolumenstrom definiert, welcher aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert wird. Dieser Kraftstoffvolumenstrom wird in Figur 1 sowie im folgenden Text mit VDRV bezeichnet und stellt eine Hochdruck-Störgröße des Einspritzsystems 3 dar.

Das Einspritzsystem 3 weist kein mechanisches Überdruckventil auf, welches herkömmlicherweise vorgesehen ist und den Hochdruckspeicher 13 mit dem Kraftstoffreservoir 7 verbindet. Auf das mechanische Überdruckventil kann verzichtet werden, da dessen Funktion bevorzugt vollständig durch das Druckregelventil 19 übernommen wird.

Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät 21, welches bevorzugt als Motorsteuergerät der Brennkraftmaschine 1, insbesondere als sogenannte Engine Control Unit (ECU) ausgebildet ist, bestimmt. Das elektronische Steuergerät 21 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 21 aus Eingangsgrößen Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: Ein gemessener, noch ungefilterter Hochdruck p , der in dem Hochdruckspeicher 13 herrscht und mittels eines Hochdrucksensors 23 gemessen wird, eine momentane Motordrehzahl n_i , ein Signal FP zur Leistungsvorgabe durch einen Betreiber der Brennkraftmaschine 1, und eine Eingangsgröße E. Unter der Eingangsgröße E sind vorzugsweise weitere Sensorsignale zusammengefasst, beispielsweise ein Ladeluftdruck eines Abgasturboladers. Bei einem Einspritzsystem 3 mit Einzel speichern 17 ist ein Einzelspeicherdruck p_E bevorzugt eine zusätzliche Eingangsgröße des Steuergeräts 21.

In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 21 beispielhaft ein Signal PWMSD zur Ansteuerung der Saugdrossel 9 als erstes Druckstellglied, ein Signal v_e zur Ansteuerung der Injektoren 15 – welches insbesondere einen Spritzbeginn und/oder ein Spritzende oder auch eine Spritzdauer vorgibt –, ein Signal PWMDRV zur Ansteuerung des

Druckregelventils 19 als zweites Druckstellglied und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Über das vorzugsweise pulswertenmodulierte Signal PWMDRV wird die Stellung des Druckregelventils 19 und damit die Hochdruck-Störgröße VDRV definiert. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für weitere Stellsignale zur Steuerung und/oder Regelung der

- 5 Brennkraftmaschine 1, beispielsweise für ein Stellsignal zur Aktivierung eines zweiten Abgasturboladers bei einer Registeraufladung.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1 mit einem zweiten Ausführungsbeispiel eines Einspritzsystems 3. Es ist hier ein erstes, insbesondere elektrisch ansteuerbares Druckregelventil 19 vorgesehen, über welches der Hochdruckspeicher 13 mit dem Kraftstoffreservoir 7 fluidverbunden ist. Über die Stellung des ersten Druckregelventils 19 wird ein Kraftstoff-Volumenstrom definiert, welcher aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert wird. Dieser Kraftstoff-Volumenstrom wird in Figur 2 mit VDRV1 bezeichnet und stellt eine Hochdruck-Störgröße des Einspritzsystems 3 dar.

Das Einspritzsystem 3 weist hier zusätzlich ein zweites, insbesondere elektrisch ansteuerbares Druckregelventil 20 auf, über welches der Hochdruckspeicher 13 ebenfalls mit dem Kraftstoffreservoir 7 fluidverbunden ist. Die beiden Druckregelventile 19, 20 sind demnach insbesondere strömungstechnisch parallel zueinander angeordnet. Auch über das zweite Druckregelventil 20 ist ein Kraftstoff-Volumenstrom definierbar, welcher aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert werden kann. Dieser Kraftstoff-Volumenstrom wird in Figur 2 mit VDRV2 bezeichnet.

- 25 Es ist möglich, dass das Einspritzsystem 3 mehr als zwei Druckregelventile 19, 20 aufweist.

Im Unterschied zu Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 21 hier ein erstes Signal PWMDRV1 zur Ansteuerung eines ersten Druckregelventils der beiden Druckregelventile 19, 20, und ein zweites Signal PWMDRV2 zur Ansteuerung eines zweiten Druckregelventils der beiden Druckregelventile 19, 20 dargestellt. Die in Figur 2 dargestellte Zuordnung des ersten Signals PWMDRV1 zu dem ersten Druckregelventil 19, und des zweiten Signals PWMDRV2 zu dem zweiten Druckregelventil 20 ist bevorzugt nicht für alle Zeiten festgelegt, vielmehr werden die Druckregelventile 19, 20 bevorzugt alternierend mit den Signalen PWMDRV1, PWMDRV2 angesteuert. Bei den Signalen PWMDRV1, PWMDRV2

handelt es sich bevorzugt um pulsweitenmodulierte Signale, über welche die Stellung eines Druckregelventils 19, 20 und damit der dem Druckregelventil 19, 20 jeweils zugeordnete Volumenstrom VDRV1, VDRV2 definiert werden kann.

- 5 Tritt das zweite Druckregelventil 20 hinzu, ändert sich an dem im Folgenden für genau ein Druckregelventil 19 erläuterten Verfahren bevorzugt lediglich Folgendes: Das zweite Druckregelventil 20 wird in einem Normalbetrieb und in einem ersten Betriebsartbereich einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs zur Erzeugung der Hochdruck-Störgröße angesteuert. In einem zweiten Betriebsartbereich der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs wird das zweite
- 10 Druckregelventil 20 bevorzugt zusätzlich zu dem ersten Druckregelventil 19 zur Druckregelung angesteuert, insbesondere durch einen Druckregelventil-Druckregler. In einer zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs wird bevorzugt auch das zweite Druckregelventil 20 dauerhaft geöffnet. Auf der Grundlage der folgenden Erläuterungen in Zusammenhang mit dem ersten Druckregelventil 19 als einzigem Druckregelventil ist diese Funktionalität unschwer
- 15 implementierbar. Außerdem ist eine entsprechende Verwendung eines zweiten Druckregelventils in der deutschen Patentschrift DE 10 2015 209 377 B4 offenbart.

Der einfacheren Darstellung wegen wird im Folgenden die Funktionsweise des Einspritzsystems 1 anhand des in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert, welches genau ein

20 Druckregelventil 19 aufweist.

Fig. 3 zeigt bei a) eine schematische Darstellung eines Beispiels eines Verfahrens zum Betreiben des Einspritzsystems 3 gemäß Figur 1. Es ist ein erster Hochdruckregelkreis 25 vorgesehen, über den in einem Normalbetrieb des Einspritzsystems 3 mittels der Saugdrossel 9 als erstem

25 Druckstellglied der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 geregelt wird. Der erste Hochdruckregelkreis 25 wird in Zusammenhang mit Figur 5 näher erläutert, wo er im Detail dargestellt ist. Der erste Hochdruckregelkreis 25 weist als Eingangsgröße einen Drucksollwert p_s , im Folgenden auch als Soll-Hochdruck p_s bezeichnet, für das Einspritzsystem 3 auf. Dieser wird vorzugsweise in Abhängigkeit von einer Drehzahl der Brennkraftmaschine 1, einer Last- oder Drehmomentanforderung an die Brennkraftmaschine 1, und/oder in Abhängigkeit weiterer,

30 insbesondere einer Korrektur dienender Größen, aus einem Kennfeld ausgelesen. Weitere Eingangsgrößen des ersten Hochdruckregelkreises 25 sind insbesondere die momentane Drehzahl n_1 der Brennkraftmaschine 1 sowie eine bevorzugt von einem Drehzahlregler berechnete Soll-Einspritzmenge Q_s . Als Ausgangsgröße weist der erste Hochdruckregelkreis 25

insbesondere den von dem Hochdrucksensor 23 gemessenen Hochdruck p auf, der vorzugsweise einer ersten Filterung mit einer größeren Zeitkonstante unterzogen wird, um den Ist-Hochdruck p_I zu bestimmen, wobei er zugleich vorzugsweise einer zweiten Filterung mit einer kleineren Zeitkonstante unterzogen wird, um einen dynamischen Raildruck p_{dyn} zu berechnen. Diese
5 beiden Druckwerte p_I , p_{dyn} stellen weitere Ausgangsgrößen des ersten Hochdruckregelkreises 25 dar.

In Figur 3a) ist die Ansteuerung des Druckregelventils 19 dargestellt. Es ist ein erstes Schaltelement 27 vorgesehen, mit dem abhängig von einem ersten logischen Signal SIG1
10 zwischen dem Normalbetrieb und der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs umgeschaltet werden kann. Bevorzugt ist das erste Schaltelement 27 vollständig auf elektronischer oder Software-Ebene verwirklicht. Dabei wird die im Folgenden beschriebene Funktionalität vorzugsweise abhängig von dem Wert einer dem ersten logischen Signal SIG1 entsprechenden Variablen, die insbesondere als sogenanntes Flag ausgebildet ist und die Werte „wahr“ oder „falsch“ annehmen
15 kann, umgeschaltet. Alternativ ist es allerdings selbstverständlich auch möglich, dass das erste Schaltelement 27 als realer Schalter, beispielsweise als Relais, ausgebildet ist. Dieser Schalter kann dann beispielsweise abhängig von einem Niveau eines elektrischen Signals geschaltet werden. Bei der hier konkret dargestellten Ausgestaltung ist der Normalbetrieb gesetzt, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert „falsch“ (False) aufweist. Dagegen ist die erste Betriebsart
20 des Schutzbetriebs gesetzt, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert „wahr“ (True) aufweist.

Es ist ein zweites Schaltelement 29 vorgesehen, welches eingerichtet ist, um die Ansteuerung des Druckregelventils 19 von einer Normalfunktion in eine Stillstandsfunktion und zurück zu
25 schalten. Dabei wird das zweite Schaltelement 29 in Abhängigkeit von einem zweiten logischen Signal SIG2 beziehungsweise dem Wert einer entsprechenden Variable gesteuert. Das zweite Schaltelement 29 kann als virtuelles, insbesondere Software-basiertes Schaltelement ausgestaltet sein, welches in Abhängigkeit von dem Wert einer insbesondere als Flag ausgestalteten Variablen zwischen der Normalfunktion und der Stillstandsfunktion schaltet. Es ist alternativ
30 aber auch möglich, dass das zweite Schaltelement als realer Schalter, beispielsweise als Relais ausgebildet ist, welches in Abhängigkeit von einem Signalwert eines elektrischen Signals schaltet. Bei der hier konkret dargestellten Ausführungsform entspricht das zweite logische Signal SIG2 einer Zustandsvariablen, welche die Werte 1 für einen ersten Zustand und 2 für einen zweiten Zustand annehmen kann. Dabei wird hier die Normalfunktion für das

Druckregelventil gesetzt, wenn das zweite logische Signal SIG2 den Wert 2 annimmt, wobei die Stillstandsfunktion gesetzt wird, wenn das zweite logische Signal SIG2 den Wert 1 annimmt. Selbstverständlich ist eine abweichende Definition des zweiten logischen Signal SIG2, insbesondere dergestalt möglich, dass eine entsprechende Variable die Werte 0 und 1 annehmen kann.

Zunächst wird nun die Ansteuerung des Druckregelventils 19 in dem Normalbetrieb sowie bei gesetzter Normalfunktion beschrieben. Es ist ein erstes Berechnungsglied 31 vorgesehen, welches als Ausgangsgröße einen berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ausgibt, wobei in das erste Berechnungsglied 31 als Eingangsgrößen die momentane Drehzahl n_I , die Soll-Einspritzmenge Q_S , der Soll-Hochdruck p_S , der dynamische Raildruck p_{dyn} , und der Ist-Hochdruck p_I eingehen. Die Funktionsweise des ersten Berechnungsglieds 31 ist ausführlich in den deutschen Patentschriften DE 10 2009 031 528 B3 und DE 10 2009 031 527 B3 beschrieben. Dabei zeigt sich insbesondere, dass in einem Schwachlastbereich, beispielsweise im Leerlauf der Brennkraftmaschine 1, ein positiver Wert für einen statischen Soll-Volumenstrom berechnet wird, während außerhalb des Schwachlastbereichs ein statischer Soll-Volumenstrom von 0 berechnet wird. Der statische Soll-Volumenstrom wird bevorzugt durch Aufaddieren eines dynamischen Soll-Volumenstroms korrigiert, der seinerseits über eine dynamische Korrektur in Abhängigkeit von dem Soll-Hochdruck p_S , dem Ist-Hochdruck p_I und dem dynamischen Raildruck p_{dyn} berechnet wird. Der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ist schließlich die Summe aus dem statischen Soll-Volumenstrom und dem dynamischen Soll-Volumenstrom. Es handelt sich bei dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ insoweit um einen resultierenden Soll-Volumenstrom.

Im Normalbetrieb, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert „falsch“ aufweist, wird der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ als Soll-Volumenstrom V_S an ein Druckregelventil-Kennfeld 33 übergeben. Das Druckregelventil-Kennfeld 33 bildet hierbei – wie in der deutschen Patentschrift DE 10 2009 031 528 B3 beschrieben – eine inverse Charakteristik des Druckregelventils 19 ab. Ausgangsgröße dieses Kennfelds ist ein Druckregelventil-Sollstrom I_S , Eingangsgrößen sind der abzusteuende Soll-Volumenstrom V_S sowie der Ist-Hochdruck p_I .

Alternativ ist es auch möglich, dass der Soll-Volumenstrom V_S nicht mittels des ersten Berechnungsglieds 31 berechnet, sondern im Normalbetrieb konstant vorgegeben wird.

Der Druckregelventil-Sollstrom I_S wird einem Stromregler 35 zugeführt, der die Aufgabe hat, den Strom zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 zu regeln. Weitere Eingangsgrößen des Stromreglers 35 sind beispielsweise ein Proportionalbeiwert $k_{pI,DRV}$ und ein Ohm'scher Widerstand $R_{I,DRV}$ des Druckregelventils 19. Ausgangsgröße des Stromreglers 35 ist eine Sollspannung U_S für das Druckregelventil 19, welche durch Bezug auf eine Betriebsspannung U_B in an sich üblicher Weise in eine Einschaltdauer für das pulswertenmodellerte Signal PWMDRV zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 umgerechnet und diesem in der Normalfunktion, wenn also das zweite logische Signal SIG2 den Wert 2 aufweist, zugeführt wird. Zur Stromregelung wird der Strom am Druckregelventil 19 als Stromgröße I_{DRV} gemessen, in einem ersten Stromfilter 37 gefiltert und als gefilterter Ist-Strom I_I dem Stromregler 35 wieder zugeführt.

Wie bereits angedeutet, wird die Einschaltdauer PWMDRV des pulswertenmodellerten Signals zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 in für sich genommen üblicher Weise gemäß folgender Gleichung aus der Sollspannung U_S und der Betriebsspannung U_B berechnet:

$$PWMDRV = (U_S/U_B) \times 100.$$

Auf diese Weise wird in dem Normalbetrieb eine Hochdruck-Störgröße, nämlich der abgesteuerte Soll-Volumenstrom V_S über das Druckregelventil 19 erzeugt.

Nimmt das erste logische Signal SIG1 den Wert „wahr“ an, schaltet das erste Schaltelement 27 von dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs um. Unter welchen Bedingungen dies der Fall ist, wird in Zusammenhang mit Figur 3b) erläutert. Bezüglich der Ansteuerung des Druckregelventils 19 ergibt sich in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs insoweit kein Unterschied, als auch hier das Druckregelventil 19 mit dem Soll-Volumenstrom V_S angesteuert wird, jedenfalls solange durch das Schaltelement 29 die Normalfunktion gesetzt ist. Insoweit ergibt sich in Figur 3a) rechts von dem Schaltelement 27 keine Änderung zu den zuvor gegebenen Erläuterungen. Der Soll-Volumenstrom V_S wird in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs jedoch anders berechnet als in dem Normalbetrieb, nämlich über einen zweiten Hochdruckregelkreis 39.

Der Soll-Volumenstrom V_S wird in diesem Fall mit einem begrenzten Ausgangsvolumenstrom V_R eines Druckregelventil-Druckreglers 41 identisch gesetzt. Dies entspricht der oberen

Schaltstellung des ersten Schaltelements 27. Der Druckregelventil-Druckregler 41 weist als Eingangsgröße eine Hochdruck-Regelabweichung e_p auf, welche als Differenz von dem Soll-Hochdruck p_s und dem Ist-Hochdruck p_i berechnet wird. Weitere Eingangsgrößen des Druckregelventil-Druckreglers 41 sind bevorzugt ein maximaler Volumenstrom $V_{\max}$ für das Druckregelventil 19, der in dem ersten Berechnungsglied 31 berechnete Soll-Volumenstrom $V_{s,ber}$ und/oder ein Proportionalbeiwert k_{pDRV} . Der Druckregelventil-Druckregler 41 wird vorzugsweise als PI(DT₁)-Algorithmus ausgeführt. Dabei wird ein Integralanteil (I-Anteil) zu dem Zeitpunkt, zu welchem das erste Schaltelement 27 von seiner in Figur 3a) dargestellten unteren in seine obere Schaltstellung umgeschaltet wird, mit dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{s,ber}$ initialisiert. Nach oben wird der I-Anteil des Druckregelventil-Druckreglers 41 auf den maximalen Volumenstrom $V_{\max}$ für das Druckregelventil 19 begrenzt. Dabei ist der maximale Volumenstrom $V_{\max}$ vorzugsweise eine Ausgangsgröße einer zweidimensionalen Kennlinie 43, welche den das Druckregelventil 19 maximal durchsetzenden Volumenstrom in Abhängigkeit von dem Hochdruck aufweist, wobei die Kennlinie 43 als Eingangsgröße den Ist-Hochdruck p_i erhält. Ausgangsgröße des Druckregelventil-Druckreglers 41 ist ein unbegrenzter Volumenstrom V_U , der in einem ersten Begrenzungselement 45 auf den maximalen Volumenstrom $V_{\max}$ begrenzt wird. Das erste Begrenzungselement 45 gibt als Ausgangsgröße schließlich den begrenzten Soll-Volumenstrom V_R aus. Mit diesem als Soll-Volumenstrom V_s wird dann das Druckregelventil 19 angesteuert, indem der Soll-Volumenstrom V_s in bereits beschriebener Weise dem Druckregelventil-Kennfeld 33 zugeführt wird.

Fig. 3 zeigt bei b), unter welchen Bedingungen das erste logische Signal SIG1 die Werte „wahr“ und „falsch“ annimmt. Solange der dynamische Raildruck p_{dyn} einen ersten Druckgrenzwert p_{G1} nicht erreicht oder überschreitet, weist der Ausgang eines ersten Komparatorelements 47 den Wert „falsch“ auf. Beim Start der Brennkraftmaschine 1 wird der Wert des ersten logischen Signals SIG1 mit „falsch“ initialisiert. Dadurch ist auch das Ergebnis eines ersten Veroderungsglieds 49 „falsch“, solange der Ausgang des ersten Komparatorelements 47 den Wert „falsch“ aufweist. Der Ausgang des ersten Veroderungsglieds 49 wird einem Eingang eines ersten Verundungsglieds 51 zugeführt, dessen anderem Eingang die durch einen Querstrich dargestellte Verneinung einer Variable MS zugeführt wird, wobei die Variable MS den Wert „wahr“ aufweist, wenn die Brennkraftmaschine 1 steht, und den Wert „falsch“ wenn die Brennkraftmaschine 1 läuft. Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 ist demnach der Wert der Verneinung der Variable MS „wahr“. Insgesamt zeigt sich nun, dass der Ausgang des ersten

Verundungsglieds 51 und damit der Wert des ersten logischen Signals SIG1 „falsch“ ist, solange der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} nicht erreicht oder überschreitet.

Erreicht oder überschreitet der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} ,
5 springt der Ausgang des ersten Komparatorelements 47 von „falsch“ auf „wahr“. Somit springt
auch der Ausgang des ersten Veroderungsglieds 49 von „falsch“ auf „wahr“. Damit springt
allerdings auch der Ausgang des ersten Verundungsglieds 51 von „falsch“ auf „wahr“, sodass
der Wert des ersten logischen Signals SIG1 „wahr“ wird. Dieser Wert wird dem ersten
Veroderungsglied 49 wieder zugeführt, was jedoch nichts daran ändert, dass dessen Ausgang
10 „wahr“ bleibt. Selbst ein Abfall des dynamischen Raildrucks p_{dyn} unter den ersten
Druckgrenzwert p_{G1} kann den Wahrheitswert des ersten logischen Signals SIG1 nicht mehr
ändern. Dieser bleibt vielmehr solange „wahr“, bis die Variable MS und damit auch deren
Verneinung ihren Wahrheitswert ändert, nämlich wenn die Brennkraftmaschine 1 nicht mehr
läuft.

15 Somit zeigt sich Folgendes: Der Normalbetrieb wird realisiert, solange der dynamische
Raildruck p_{dyn} den Grenzwert p_{G1} unterschreitet. In diesem Fall ist der Soll-Volumenstrom V_{S}
mit dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{\text{S,ber}}$ identisch, da das erste logische Signal SIG1 den
Wert „falsch“ annimmt und damit das Schaltelement 27 in seiner unteren Position in Figur 3
20 angeordnet ist. Erreicht oder überschreitet der dynamische Raildruck p_{dyn} den Grenzwert p_{G1} ,
nimmt das erste logische Signal SIG1 den Wert „wahr“ an, und das erste Schaltelement 27
nimmt seine obere Schaltstellung ein. Damit wird der Soll-Volumenstrom V_{S} in diesem Fall mit
dem begrenzten Volumenstrom V_{R} des zweiten Hochdruck-Regelkreises 39 identisch. Dies
bedeutet, dass im Normalbetrieb über das Druckregelventil 19 eine Hochdruck-Störgröße erzeugt
25 wird, wobei die erste Betriebsart des Schutzbetriebs aktiviert wird, wenn der dynamische
Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} erreicht, und der Hochdruck anschließend von
dem Druckregelventil-Druckregler 41 geregelt wird, und dies solange, bis ein Stillstand der
Brennkraftmaschine 1 erkannt wird, da nur in diesem Fall die Variable MS den Wert „wahr“,
somit deren Verneinung den Wert „falsch“ und damit letztlich das erste logische Signal SIG1
30 wieder den Wert „falsch“ annimmt, wodurch das erste Schaltelement 27 erneut in seine untere
Schaltstellung gebracht wird.

In der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs übernimmt das Druckregelventil 19 über den zweiten
Hochdruckregelkreis 39 die Regelung des Hochdrucks.

Es wird auch deutlich, dass bei diesem Verfahren keine Rückkehr zum Normalbetrieb aus der ersten Betriebsart des Schutzbereichs möglich ist, solange die Brennkraftmaschine 1 läuft.

Unerwünschte, luftinduzierte Schwingungen des Hochdrucks können daher in ungünstiger Weise dazu führen, dass die erste Betriebsart des Schutzbetriebs gesetzt wird, ohne dass diese wieder verlassen werden kann, wenn der Hochdruck wieder fällt.

Zurückkommend auf Figur 3a) wird im Folgenden eine zweite Betriebsart des Schutzbetriebs erläutert: In die zweite Betriebsart wird geschaltet, wenn hier das zweite logische Signal SIG2 den Wert 1 annimmt. In diesem Fall wird das zweite Schaltelement 29 in seiner in Figur 3 dargestellten oberen Schaltposition angeordnet, wobei hierdurch eine Stillstandsfunktion für das Druckregelventil 19 gesetzt wird. In dieser wird das Druckregelventil 19 nicht angesteuert, das heißt, das Signal PWMDRV wird zu 0 gesetzt. Da bevorzugt ein stromlos offenes Druckregelventil 19 verwendet wird, steuert dies nun dauerhaft einen maximalen Kraftstoff-Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 ab.

Weist dagegen das zweite logische Signal SIG2 den Wert 2 auf, ist – wie bereits erläutert – die Normalfunktion für das Druckregelventil 19 gesetzt, und dieses wird mittels dem Soll-Volumenstrom V_S und dem hieraus berechneten Signal PWMDRV angesteuert.

Fig. 4 zeigt schematisch ein Zustandsübergangsdiagramm für das Druckregelventil 19 von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion und zurück. Das Druckregelventil 19 ist besonders bevorzugt so ausgebildet, dass es drucklos und stromlos geschlossen ausgebildet ist, wobei es weiter so ausgebildet ist, dass es bei einem eingangsseitig anliegenden Druck bis zu einem Grenzüffnungsdruckwert geschlossen ist, wobei es öffnet, wenn der eingangsseitig anliegende Druck in stromlosem Zustand den Grenzüffnungsdruckwert erreicht oder überschreitet. Der Grenzüffnungsdruckwert kann beispielsweise bei 850 bar liegen.

In Figur 4 ist mit einem ersten Kreis K1 die Stillstandsfunktion symbolisiert, wobei rechts oben mit einem zweiten Kreis K2 die Normalfunktion symbolisiert ist. Ein erster Pfeil P1 stellt einen Übergang zwischen der Stillstandsfunktion und der Normalfunktion dar, wobei ein zweiter Pfeil P2 einen Übergang zwischen der Normalfunktion und der Stillstandsfunktion darstellt. Mit einem dritten Pfeil P3 ist eine Initialisierung der Brennkraftmaschine 1 nach dem Start angedeutet, wobei das Druckregelventil 19 zunächst in der Stillstandsfunktion initialisiert wird.

Erst wenn zugleich ein laufender Betrieb der Brennkraftmaschine 1 erkannt wird und der Ist-Hochdruck p_I einen Startwert p_{St} überschreitet, wird für das Druckregelventil 19 – entlang des Pfeils P1 – die Normalfunktion gesetzt und die Stillstandsfunktion zurückgesetzt. Die Normalfunktion wird zurückgesetzt und die Stillstandsfunktion wird entlang des Pfeils P2
5 gesetzt, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} einen zweiten Druckgrenzwert p_{G2} überschreitet, oder wenn ein Defekt eines Hochdrucksensors – hier dargestellt durch eine logische Variable HDSD – erkannt wird, oder wenn erkannt wird, dass die Brennkraftmaschine 1 steht. In der Stillstandsfunktion wird das Druckregelventil 19 nicht angesteuert, wobei es in der Normalfunktion – wie in Zusammenhang mit Figur 3 erläutert – mittels des Soll-Volumenstroms
10 V_S angesteuert wird.

Es ergibt sich nun folgende Funktionalität: Startet die Brennkraftmaschine 1, liegt zunächst kein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 vor, und das Druckregelventil 19 ist in seiner Stillstandsfunktion angeordnet, sodass es druck- und stromlos ist, also geschlossen. Beim
15 Hochlaufen der Brennkraftmaschine 1 kann sich daher rasch ein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 ausbilden, der irgendwann den Startwert p_{St} überschreitet. Dieser liegt bevorzugt niedriger als der Grenzöffnungsdruckwert des Druckregelventils 19, sodass für dieses zunächst die Normalfunktion gesetzt wird, bevor es öffnet. Hierdurch wird in vorteilhafter Weise sichergestellt, dass das Druckregelventil 19 in jedem Fall angesteuert wird, wenn es erstmals
20 öffnet. Da es drucklos geschlossen ist, bleibt es auch unter Ansteuerung weiter geschlossen, bis der Ist-Hochdruck p_I auch den Grenzöffnungsdruckwert überschreitet, wobei es dann öffnet und in der Normalfunktion angesteuert wird, nämlich entweder in dem Normalbetrieb oder in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs.

25 Tritt allerdings einer der zuvor beschriebenen Fälle auf, wird wiederum die Stillstandsfunktion für das Druckregelventil 19 gesetzt.

Dies ist insbesondere der Fall, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} den zweiten Druckgrenzwert p_{G2} überschreitet, wobei dieser vorzugsweise größer gewählt ist als der erste Druckgrenzwert p_{G1}
30 und insbesondere einen Wert aufweist, bei welchem in einer herkömmlichen Ausgestaltung des Einspritzsystems 3 ein mechanisches Überdruckventil öffnen würde. Da das Druckregelventil 19 unter Druck stromlos offen ist, öffnet dieses in der Stillstandsfunktion in diesem Fall vollständig und erfüllt so sicher und zuverlässig die Funktion eines Überdruckventils.

Der Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion erfolgt auch, wenn ein Defekt in dem Hochdrucksensor 23 festgestellt wird. Liegt hier ein Defekt vor, kann der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 nicht mehr geregelt werden. Um die Brennkraftmaschine 1 trotzdem noch sicher betreiben zu können, wird der Übergang von der Normalfunktion in die

5 Stillstandsfunktion für das Druckregelventil 19 herbeigeführt, sodass dieses öffnet und damit einen unzulässigen Anstieg des Hochdrucks verhindert.

Weiterhin erfolgt der Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion in einem Fall, in welchem ein Stillstand der Brennkraftmaschine 1 festgestellt wird. Dies entspricht einem

10 Zurücksetzen des Druckregelventils 19, sodass bei einem erneuten Start der Brennkraftmaschine 1 der hier beschriebene Zyklus wieder von neuem beginnen kann.

Wird für das Druckregelventil 19 unter Druck in dem Hochdruckspeicher 13 die

Stillstandsfunktion gesetzt, ist dieses maximal weit geöffnet und steuert einen maximalen

15 Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 ab. Dies entspricht einer Schutzfunktion für die Brennkraftmaschine 1 und das Einspritzsystem 3, wobei diese Schutzfunktion insbesondere das Fehlen eines mechanischen Überdruckventils ersetzen kann.

Wichtig ist hier, dass das Druckregelventil 19 nur zwei Zustände, nämlich die Stillstandsfunktion

20 und die Normalfunktion aufweist, wobei diese beiden Zustände voll auf genügen, um die gesamte relevante Funktionalität des Druckregelventils 19 einschließlich der Schutzfunktion zum Ersetzen eines mechanischen Überdruckventils darzustellen.

Fig. 5 zeigt bei a) eine schematische Darstellung einer Logik zur Berechnung des Werts eines

25 dritten logischen Signals SIG3, das verwendet wird, um zu gewährleisten, dass in der ersten und zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs die Saugdrossel 9 zu einem dauerhaft geöffneten Betrieb angesteuert wird. Diese Vorgehensweise wird in Zusammenhang mit Figur 5b) näher erläutert.

Der Wert des dritten logischen Signals SIG3 resultiert aus einem zweiten Verundungsglied 61, in dessen ersten Eingang wiederum die Verneinung der Variable MS eingeht, wobei in den zweiten

30 Eingang das Ergebnis einer vorangegangenen Berechnung, die im Folgenden näher erläutert wird, eingeht. Das dritte logische Signal SIG3 wird beim Start der Brennkraftmaschine 1 zunächst mit dem Wert „falsch“ initialisiert. In einen ersten Eingang eines zweiten Veroderungsglieds 63 geht das Ergebnis eines zweiten Komparatorelements 65 ein, in welchem geprüft wird, ob der dynamische Raildruck p_{dyn} größer oder gleich dem ersten Druckgrenzwert p_{G1} ist. In den zweiten

Eingang des zweiten Veroderungsglieds 63 geht das Ergebnis eines Vergleichselements 67 ein, welches prüft, ob der Wert der logischen Variablen HDSD, welche einen Sensordefekt des Hochdrucksensors 23 anzeigt, gleich 1 ist, wobei in diesem Fall ein Sensordefekt vorliegt, und wobei kein Sensordefekt vorliegt, wenn der Wert der Variable HDSD gleich 0 ist. Somit zeigt
5 sich, dass der Ausgang des zweiten Veroderungsglieds 63 den Wert „wahr“ annimmt, wenn zumindest einer der Ausgänge des zweiten Komparatorelements 65 oder des Vergleichselements 67 den Wert „wahr“ annimmt. Damit also der Ausgang des zweiten Veroderungsglieds 63 den Wert „wahr“ annimmt, muss wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt sein: Der dynamische Raildruck p_{dyn} muss den ersten Druckgrenzwert p_{G1} erreicht oder überschritten
10 haben, und/oder es muss ein Sensordefekt in dem Hochdrucksensor 23 festgestellt worden sein, sodass die Variable HDSD den Wert 1 annimmt. Ist keine dieser Bedingungen erfüllt, weist der Ausgang des zweiten Veroderungsglieds 63 den Wert „falsch“ auf.

Der Ausgang des zweiten Veroderungsglieds 63 geht in einen ersten Eingang eines dritten
15 Veroderungsglieds 69 ein, in dessen zweiten Eingang der Wert des dritten logischen Signals SIG3 eingeht. Da dieses ursprünglich mit dem Wert „falsch“ initialisiert ist, weist der Ausgang des dritten Veroderungsglieds 69 solange den Wert „falsch“ auf, bis der Ausgang des zweiten Veroderungsglieds 63 den Wert „wahr“ annimmt. Ist dies der Fall, springt auch der Ausgang des dritten Veroderungsglieds 69 auf den Wert „wahr“. In diesem Fall springt auch der Wert des
20 zweiten Veroderungsglieds 61 auf wahr, wenn die Brennkraftmaschine 1 läuft, d.h. die Verneinung der Variable MS den Wert 1 hat, sodass auch der Wert des dritten logischen Signals SIG3 auf „wahr“ springt. Anhand von Figur 5a) zeigt sich, dass der Wert des dritten logischen Signals SIG3 solange „wahr“ bleibt, bis ein Stillstand der Brennkraftmaschine 1 erkannt wird, wobei in diesem Fall die Variable MS den Wert „wahr“ und damit ihre Verneinung den Wert
25 „falsch“ annimmt.

Fig. 5 zeigt bei b) eine schematische Darstellung des ersten Hochdruckregelkreises 25 inklusive eines dritten Schaltelements 71 zur Darstellung des dauerhaft geöffneten Betriebs der Saugdrossel 9 in der ersten und zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs, wobei in das dritte
30 Schaltelement 71 zu dessen Ansteuerung das dritte logische Signal SIG3 eingeht, dessen Berechnung in Zusammenhang mit Figur 5a) beschrieben wurde. Es ist möglich, dass das dritte Schaltelement 71 als Softwareschalter, also als rein virtueller Schalter ausgebildet ist, wie dies bereits in Zusammenhang mit den Schaltelementen 27, 29 beschrieben wurde. Alternativ ist es

selbstverständlich auch möglich, dass das dritte Schaltelement 71 als tatsächlicher Schalter, beispielsweise als Relais, ausgebildet ist.

Wie bereits erläutert, sind Eingangsgrößen des Hochdruckregelkreises 25 der Soll-Hochdruck p_s ,
5 der zur Berechnung der Regelabweichung e_p mit dem Ist-Hochdruck p_i verglichen wird. Diese Regelabweichung e_p ist eine Eingangsgröße eines Hochdruckreglers 73, der vorzugsweise als PI(DT₁)-Algorithmus ausgeführt ist und in Zusammenhang mit Fig. 10 näher erläutert ist. Eine weitere Eingangsgröße des Hochdruckreglers 73 ist bevorzugt ein Proportionalbeiwert k_{pSD} . Ausgangsgröße des Hochdruckreglers 73 ist ein Kraftstoff-Volumenstrom V_{SD} für die
10 Saugdrossel 9, zu dem in einer Additionsstelle 75 ein Kraftstoff-Sollverbrauch V_Q addiert wird. Dieser Kraftstoff-Sollverbrauch V_Q wird in einem zweiten Berechnungsglied 77 in Abhängigkeit von der momentanen Drehzahl n_I und der Soll-Einspritzmenge Q_S berechnet und stellt eine Störgröße des ersten Hochdruckregelkreises 25 dar. Als Summe der Ausgangsgröße V_{SD} des Hochdruckreglers 73 und der Störgröße V_Q ergibt sich ein unbegrenzter Kraftstoff-
15 Sollvolumenstrom $V_{U,SD}$. Dieser wird in einem zweiten Begrenzungselement 79 in Abhängigkeit von der momentanen Drehzahl n_I auf einen maximalen Volumenstrom $V_{max,SD}$ für die Saugdrossel 9 begrenzt. Als Ausgang des zweiten Begrenzungselements 79 ergibt sich ein begrenzter Kraftstoff-Sollvolumenstrom $V_{S,SD}$ für die Saugdrossel 9, welcher als Eingangsgröße in eine Pumpenkennlinie 81 eingeht. Diese rechnet den begrenzten Kraftstoff-Sollvolumenstrom
20 $V_{S,SD}$ in einen Kennlinien-Saugdrosselstrom $I_{KL,SD}$ um.

Weist das dritte Schaltelement 71 den in Figur 5b) dargestellten, oberen Schaltzustand auf, was der Fall ist, wenn das dritte logische Signal SIG3 den Wert „falsch“ aufweist, wird ein Saugdrossel-Sollstrom $I_{S,SD}$ mit dem Kennlinien-Saugdrosselstrom $I_{KL,SD}$ gleichgesetzt. Dieser
25 Saugdrossel-Sollstrom $I_{S,SD}$ stellt die Eingangsgröße eines Saugdrossel-Stromreglers 83 dar, welcher die Aufgabe hat, den Saugdrosselstrom durch die Saugdrossel 9 zu regeln. Eine weitere Eingangsgröße des Saugdrossel-Stromreglers 83 ist unter anderem ein Ist-Saugdrosselstrom $I_{I,SD}$. Ausgangsgröße des Saugdrossel-Stromreglers 83 ist eine Saugdrossel-Sollspannung $U_{S,SD}$, welche schließlich in einem dritten Berechnungsglied 85 in an sich bekannter Weise in eine
30 Einschaltdauer eines pulswertenmodulierten Signals PWMSD für die Saugdrossel 9 umgerechnet wird. Mit diesem wird die Saugdrossel 9 angesteuert, wobei das Signal somit insgesamt auf eine Regelstrecke 87 wirkt, welche insbesondere die Saugdrossel 9, die Hochdruckpumpe 11, und den Hochdruckspeicher 13 aufweist. Der Saugdrosselstrom wird gemessen, wobei ein Rohmesswert $I_{R,SD}$ resultiert, welcher in einem zweiten Stromfilter 89 gefiltert wird. Das zweite Stromfilter 89

ist vorzugsweise als PT_1 -Filter ausgebildet. Ausgangsgröße dieses Filters ist der Ist-Saugdrosselstrom $I_{I,SD}$, welcher wiederum dem Saugdrossel-Stromregler 83 zugeführt wird.

Die Regelgröße des ersten Hochdruckregelkreises 25 ist der Hochdruck in dem

- 5 Hochdruckspeicher 13. Rohwerte dieses Hochdrucks p werden durch den Hochdrucksensor 23 gemessen und durch ein erstes Hochdruck-Filterelement 91 gefiltert, welches als Ausgangsgröße den Ist-Hochdruck p_I hat. Außerdem werden die Rohwerte des Hochdrucks p durch ein zweites Hochdruck-Filterelement 93 gefiltert, dessen Ausgangsgröße der dynamische Raildruck p_{dyn} ist. Beide Filter sind vorzugsweise durch einen PT_1 -Algorithmus umgesetzt, wobei eine
- 10 Zeitkonstante des ersten Hochdruck-Filterelements 91 größer ist als eine Zeitkonstante des zweiten Hochdruck-Filterelements 93. Insbesondere ist das zweite Hochdruck-Filterelement 93 als ein schnelleres Filter als das erste Hochdruck-Filterelement 91 ausgebildet. Die Zeitkonstante des zweiten Hochdruck-Filterelements 93 kann auch mit dem Wert Null identisch sein, sodass dann der dynamische Raildruck p_{dyn} den gemessenen Rohwerten des Hochdrucks p entspricht
- 15 beziehungsweise mit diesen identisch ist. Mit dem dynamischen Raildruck p_{dyn} liegt somit ein hochdynamischer Wert für den Hochdruck vor, welcher insbesondere stets dann vorteilhaft ist, wenn eine schnelle Reaktion auf bestimmte auftretende Ereignisse erfolgen soll.

Ausgangsgrößen des ersten Hochdruckregelkreises 25 sind somit neben dem ungefilterten

- 20 Hochdruck p die gefilterten Hochdruckwerte p_I , p_{dyn} .

Nimmt das dritte logische Signal SIG3 den Wert „wahr“ an, schaltet das dritte Schaltelement 71 in seine in Figur 5b) dargestellte, untere Schaltposition. In diesem Fall ist der Saugdrossel-Sollstrom $I_{S,SD}$ nicht mehr identisch mit dem Kennlinien-Saugdrosselstrom $I_{KL,SD}$, sondern wird

25 vielmehr mit einem Saugdrossel-Notstrom I_N gleichgesetzt. Der Saugdrossel-Notstrom I_N weist bevorzugt einen vorherbestimmten, konstanten Wert auf, beispielsweise 0 A, wobei dann die vorzugsweise stromlos offene Saugdrossel 9 maximal weit geöffnet ist, oder er weist einen im Vergleich zu einer maximalen Schließstellung der Saugdrossel 9 kleinen Stromwert, beispielsweise 0,5 A auf, sodass die Saugdrossel 9 zwar nicht vollständig, aber doch weitgehend

30 geöffnet ist. Dabei verhindert der Saugdrossel-Notstrom I_N und die damit verbundene Öffnung der Saugdrossel 9 zuverlässig, dass die Brennkraftmaschine 1 stehen bleibt, wenn sie in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs mit maximal geöffnetem Druckregelventil 19 betrieben wird. Die Öffnung der Saugdrossel 9 bewirkt dabei, dass auch in einem mittleren bis niedrigen

Drehzahlbereich noch hinreichend viel Kraftstoff in den Hochdruckspeicher 13 gefördert werden kann, sodass ein Betrieb der Brennkraftmaschine 1 ohne Abwürgen möglich ist.

Es wird deutlich, dass eine Rückkehr aus der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb – und im Übrigen auch in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs – nicht vorgesehen ist, solange die Brennkraftmaschine 1 läuft. Eine Rückkehr in den Normalbetrieb ist nur nach einem Abstellen und einem Neustart der Brennkraftmaschine 1, und vorzugsweise weiterhin nur nach einer Bestätigung, dass ein etwaig vorliegender Defekt behoben ist, möglich.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Betreiben des Einspritzsystems 3, wobei der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 in dem Normalbetrieb durch Ansteuern der niederdruckseitigen Saugdrossel 9 geregelt wird, wobei der Hochdruck in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs durch Ansteuern des hochdruckseitigen Druckregelventils 19 geregelt wird, wobei aus dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird, wenn der Hochdruck den ersten Druckgrenzwert p_{G1} erreicht oder überschreitet. Dabei ist nun erfindungsgemäß vorgesehen, dass aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs zurück in den Normalbetrieb geschaltet wird, wenn der Hochdruck ausgehend von oberhalb des Drucksollwerts p_s , insbesondere von dem ersten Druckgrenzwert p_{G1} den Drucksollwert p_s erreicht oder unterschreitet, wobei der Drucksollwert p_s kleiner ist als der erste Druckgrenzwert p_{G1} . Somit ist gemäß dem hier vorgeschlagenen Verfahren vorteilhaft eine Rückkehr aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb möglich, während die Brennkraftmaschine 1 läuft. Dadurch kann insbesondere vermieden werden, dass das Einspritzsystem 3 nach an sich unerwünschten Druckschwingungen des Hochdrucks aufgrund von Luft dauerhaft in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs betrieben wird, obwohl beispielsweise die in den Hochdruckspeicher 13 geförderte Luft bereits wieder über das Druckregelventil 19 entwichen ist.

In Figur 6 sind verschiedenen Betriebsmodi verschiedene Werte einer Variablen BM zugeordnet. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird das Einspritzsystem 3 im Normalbetrieb betrieben, wenn die Variable BM den Wert 0 aufweist; das Einspritzsystem 3 wird in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs betrieben, wenn die Variable BM den Wert 1 aufweist; das Einspritzsystem 3 wird in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs betrieben, wenn die Variable BM den Wert 2 aufweist. Ein Umschalten des Betriebsmodus erfolgt bevorzugt bei einer Änderung des Wertes der Variablen BM, insbesondere auf eine solche Änderung hin.

Dabei wird in die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs insbesondere geschaltet, wenn der Hochdruck den zweiten Druckgrenzwert p_{G2} überschreitet, wobei in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs das Druckregelventil 19 und die Saugdrossel 9 dauerhaft geöffnet werden.

5

Figur 6 zeigt nun insbesondere die dem Verfahren zugrunde liegende Logik zum Umschalten zwischen den verschiedenen Betriebsmodi. Dabei startet das Verfahren in einem Startschritt S0. In einem ersten Schritt S1 wird abgefragt, ob die Variable BM den Wert 2 aufweist. Ist dies der Fall, endet der Programmablauf in einem zwölften Schritt S12.

10

Vorzugsweise wird der in Figur 6 dargestellte Programmablauf fortlaufend iteriert; dies bedeutet, dass das Programm stets erneut in dem Startschritt S0 wieder startet, wenn es in dem zwölften Schritt S12 beendet wurde, während die Brennkraftmaschine 1 läuft.

15 Wird in dem ersten Schritt S1 festgestellt, dass die Variable BM nicht den Wert 2 aufweist, wird der Programmablauf in einem zweiten Schritt S2 fortgesetzt, in dem geprüft wird, ob der dynamische Raildruck p_{dyn} größer ist als der zweite Druckgrenzwert p_{G2} . Ist dies der Fall, wird in einem dritten Schritt S3 der Wert der Variablen BM auf 2 gesetzt. Somit wird in die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet. Anschließend endet der Programmablauf in dem
20 zwölften Schritt S12. Dabei zeigt der Programmablauf gemäß Figur 6, dass eine Rückkehr aus der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs nicht mehr möglich ist, solange die Brennkraftmaschine 1 läuft. Vielmehr bleibt der Wert 2 für die Variable BM erhalten, wenn dieser einmal gesetzt wurde. Beim Starten der Brennkraftmaschine 1 und/oder nach einer Bestätigung, dass ein Defekt oder eine Fehlfunktion des Einspritzsystems 3 behoben wurde, wird
25 die Variable BM mit dem Wert 0 initialisiert.

Wird in dem zweiten Schritt S2 dagegen festgestellt, dass der dynamische Raildruck p_{dyn} nicht größer ist als der zweite Druckgrenzwert p_{G2} , wird in einem vierten Schritt S4 abgefragt, ob die Variable BM den Wert 1 aufweist. Ist dies der Fall, wird in einem fünften Schritt S5 geprüft, ob
30 die Saugdrossel 9 defekt ist. Ist dies der Fall, endet der Programmablauf wiederum in dem zwölften Schritt S12. Wird dagegen kein Defekt der Saugdrossel 9 in dem fünften Schritt S5 festgestellt, wird der Programmablauf in einem sechsten Schritt S6 fortgesetzt, in dem geprüft wird, ob der dynamische Raildruck p_{dyn} kleiner oder gleich dem Drucksollwert – oder synonym Soll-Hochdruck – p_s ist. Ist dies nicht der Fall, endet der Programmablauf in dem zwölften

Schritt S12. Ist dies dagegen der Fall, wird der Programmablauf in einem siebten Schritt S7 fortgesetzt, in dem der Variablen BM der Wert 0 zugewiesen wird, wodurch der Betrieb des Einspritzsystems 3 in den Normalbetrieb zurückgeschaltet wird. Es wird also insbesondere vor dem Umschalten aus der ersten Betriebsart des Schutzbereichs in den Normalbetrieb geprüft, ob die Saugdrossel 9 defekt ist, wobei nur dann in den Normalbetrieb geschaltet wird, wenn die Saugdrossel 9 nicht defekt ist.

In einem achten Schritt S8 wird der Integralanteil für den Hochdruckregler 73 mit einem Integralinitialwert I_{init} initialisiert, wie zu Figur 10 näher erläutert. Der Integralinitialwert I_{init} wird insbesondere als Leckagekennwert des Einspritzsystems 3 in Abhängigkeit von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 ermittelt, was zu Figur 7 näher erläutert ist. Nach dem achten Schritt S8 endet das Verfahren in dem zwölften Schritt S12.

Wird in dem vierten Schritt S4 festgestellt, dass der Wert der Variablen BM nicht gleich 1 ist, wird der Programmablauf in einem neunten Schritt S9 fortgesetzt, in dem geprüft wird, ob der dynamische Raildruck p_{dyn} größer oder gleich dem ersten Druckgrenzwert p_{G1} ist. Ist dies der Fall, wird in einem elften Schritt S11 der Wert der Variablen BM auf 1 gesetzt und somit in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet. Ist dagegen das Ergebnis der Abfrage in dem neunten Schritt S9 negativ, wird der Wert der Variable BM in einem zehnten Schritt S10 auf 0 gesetzt. Dabei kann der zehnte Schritt S10 gemäß einer anderen Ausführungsform auch entfallen, da nach den Abfragen in dem ersten Schritt S1 und in dem vierten Schritt S4 an dieser Stelle ohnehin nur noch der Wert 0 für die Variable BM als gesetzt übrig bleibt und es somit gegebenenfalls keiner erneuten Setzung dieses Werts bedarf. Gleichwohl kann der zehnte Schritt S10 insbesondere aus Sicherheits- oder Redundanzgründen vorgesehen sein. Nach dem elften Schritt S11 oder dem zehnten Schritt S10 endet jeweils der Programmablauf wiederum in dem zwölften Schritt S12.

Der Programmablauf gemäß Figur 6 zeigt insbesondere auch, dass nur aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs wieder zurück in den Normalbetrieb geschaltet wird. Insbesondere wird – wie bereits erläutert – nicht aus der zweiten Betriebsart zurück in den Normalbetrieb geschaltet, solange die Brennkraftmaschine 1 läuft.

Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung des Integralinitialwerts I_{init} für den Hochdruckregler 73 in dem achten Schritt S8 des

Programmablaufs gemäß Figur 6. Da es sich bei dem Hochdruckregler 73 in bevorzugter Ausgestaltung um einen $PI(DT_1)$ -Algorithmus handelt, ist dessen Ausgangsgröße V_{SD} im Stationärbetrieb mit dem Integralanteil des Hochdruckreglers 73 identisch. Um einen Näherungswert für diese Ausgangsgröße V_{SD} beim Übergang von der ersten Betriebsart des

5 Schutzbetriebs in den Normalbetrieb zu erhalten, sind bevorzugt geeignete Werte – wie im Folgenden noch erläutert – in einem Leakagekennfeld 95 in Abhängigkeit von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 hinterlegt. Der momentane Betriebspunkt ist bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel gekennzeichnet einerseits durch die momentane Drehzahl n_1 sowie andererseits durch die Soll-Einspritzmenge Q_S . Anstelle der Soll-

10 Einspritzmenge Q_S kann auch eine andere leistungsbestimmende Größe herangezogen werden, beispielsweise ein Soll-Drehmoment oder eine Soll-Leistung. Physikalisch betrachtet entspricht der Integralanteil des Hochdruckreglers 73 ungefähr der momentanen, betriebspunktabhängigen Leckage des Einspritzsystems 3. Daher wird bevorzugt aus dem Leakagekennfeld 95 betriebspunktabhängig ein initialer Leckage-Volumenstrom $V_{L,i}$ als Leckagewert ausgelesen.

15 Dieser kann gemäß einer Ausgestaltung direkt als Leckagekennwert und damit Integralinitialwert I_{init} verwendet werden. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist allerdings vorgesehen, dass der Leckagewert mit wenigstens einen Regelfaktor f_L verrechnet wird, um den Leckagekennwert zu erhalten. Dabei wird der Regelfaktor f_L bevorzugt kleiner als 1 gewählt, insbesondere zu 0,8, um beim Übergang von der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs

20 in den Normalbetrieb ein Unterschwingen des Hochdrucks unter den Drucksollwert p_S zu erreichen und damit einen robusten Übergang in den Normalbetrieb zu ermöglichen. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird weiterhin noch ein Skalierungsfaktor f_{skal} auf den Leakagekennwert angewendet, um dann letztlich den Integralinitialwert I_{init} zu erhalten. Dieser Skalierungsfaktor f_{skal} kann beispielsweise dazu dienen, verschiedene physikalische Einheiten

25 ineinander umzurechnen, insbesondere wenn der Hochdruckregler 73 für den Integralinitialwert I_{init} andere Einheiten benötigt, als sie für das Leakagekennfeld 95 verwendet werden.

Das Leakagekennfeld 95 kann einmalig bedatet sein und dann als konstantes Kennfeld verwendet werden. Insbesondere ist es möglich, dass das Leakagekennfeld 95 mit Messwerten

30 für den Integralanteil des Hochdruckreglers 73 aus Prüfstandsversuchen an einem bevorzugt neuwertigen Motor im Stationärbetrieb über den gesamten Betriebsbereich bedatet wird. Alternativ ist es möglich, dass das Leakagekennfeld 95 im Betrieb des Einspritzsystems 3 aktualisiert wird, wobei es bevorzugt mit momentanen – vorzugsweise gefilterten – Werten des Integralanteils des Hochdruckreglers 73 – gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Faktoren,

insbesondere eines Einheitenumrechnungsfaktors – als Leckagewerte bedatet wird. Somit kann das Leckagekennfeld 95 stets auf einem aktuellen Stand gehalten werden und insbesondere auch Alterungseffekte des Einspritzsystems 3 und/oder der Brennkraftmaschine 1 berücksichtigen.

- 5 **Fig. 8** zeigt eine weitere Darstellend einer Ausführungsform des Verfahrens zum Betreiben des Einspritzsystems 3, hier konkret die Ansteuerung des Druckregelventils 19. Dabei basiert die Darstellung gemäß Figur 8 auf der Darstellung von Figur 3a), mit folgender Modifikation – wobei im Übrigen auf die Ausführungen zu Figur 3a) verwiesen wird: Das erste Schaltelement 27 ist hier durch ein erstes Betriebsmodus-Schaltelement 97 ersetzt. Die Ansteuerung des
- 10 Druckregelventils 19 erfolgt nun also nicht mehr in Abhängigkeit von dem ersten logischen Signal SIG1, sondern vielmehr in Abhängigkeit von dem momentanen Wert der Variablen BM. Weist diese den Wert 1 auf, ist also die erste Betriebsart des Schutzbetriebs gesetzt, so nimmt das erste Betriebsmodus-Schaltelement 97 die in Figur 8 dargestellte obere Schaltstellung ein, wobei in diesem Fall der Hochdruck mittels des Druckregelventils 19 geregelt wird, wie in
- 15 Zusammenhang mit Figur 3a) erläutert. Ist dagegen der Wert der Variable BM ungleich 1, das heißt entweder gleich 0 oder gleich 2, wobei demnach entweder der Normalbetrieb oder die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs gesetzt ist, so nimmt das erste Betriebsmodus-Schaltelement 97 die in Figur 8 dargestellte untere Schaltstellung ein, wobei entweder durch das Druckregelventil 19 – im Normalbetrieb – die Hochdruck-Störgröße erzeugt wird, oder – in der
- 20 zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs – das Druckregelventil 19 nicht angesteuert und damit aufgrund des anliegenden Hochdrucks dauerhaft geöffnet ist. Dies wiederum hängt von dem Wert des zweiten logischen Signals SIG2 ab, durch welches entschieden wird, ob für das Druckregelventil 19 die Normalfunktion oder die Stillstandsfunktion gesetzt wird, wie in Zusammenhang mit den Figuren 3a) und 4 erläutert, wobei insbesondere das
- 25 Zustandsübergangsdiagramm gemäß Figur 4 angibt, auf welche Weise der Wert für das zweite logische Signal SIG2 gewählt wird. Dieser ist insbesondere gleich 1 in der Stillstandsfunktion und gleich 2 in der Normalfunktion des Druckregelventils 19.

- Somit wird auch anhand von Figur 8 deutlich, dass gemäß der hier offenbarten technischen
- 30 Lehre eine Rückkehr aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb während des Betriebs der Brennkraftmaschine 1 möglich ist, wenn nämlich der Wert der Variable BM von 1 zurück auf 0 gesetzt wird und entsprechend sich die Schaltstellung des ersten Betriebsmodus-Schaltelements 97 ändert.

Fig. 9 zeigt eine weitere Detaildarstellung einer Ausführungsform des Verfahrens zum Betreiben des Einspritzsystems 3. Die Darstellung gemäß Figur 9 basiert dabei auf der Darstellung gemäß Figur 5b) und betrifft die Ansteuerung der Saugdrossel 9, die – bis auf die im Folgenden erläuterten Modifikationen – mit der in Zusammenhang mit Figur 5b) erläuterten

- 5 Vorgehensweise übereinstimmt, sodass hierauf verwiesen wird: Wie im Folgenden in Zusammenhang mit Figur 10 noch näher erläutert, erhält hier der Hochdruckregler 73 gemäß der hier offenbarten technischen Lehre als zusätzliche Eingangsgrößen den Wert der Variablen BM einerseits und den Integralinitialwert I_{init} andererseits. Außerdem ist hier das dritte Schaltelement 71 ersetzt durch ein zweites Betriebsmodus-Schaltelement 99, sodass nunmehr die Ansteuerung
- 10 der Saugdrossel 9 zwischen dem Kennlinien-Saugdrosselstrom $I_{KL,SD}$ und dem Saugdrossel-Notstrom I_N nicht mehr abhängig von dem dritten logischen Signal SIG3, sondern vielmehr abhängig von dem Wert der Variablen BM umgeschaltet wird. Dabei wird die Saugdrossel 9 mit dem Kennlinien-Saugdrosselstrom $I_{KL,SD}$ angesteuert, wenn die Variable BM den Wert 0 aufweist, mithin dann, wenn der Normalbetrieb gesetzt ist, wobei sie mit dem Saugdrossel-
- 15 Notstrom I_N angesteuert wird, wenn der Wert der Variablen BM von 0 verschieden ist, insbesondere also gleich 1 oder gleich 2 ist, mithin dann, wenn entweder die erste Betriebsart des Schutzbetriebs oder die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs gesetzt ist.

- Fig. 10** zeigt eine schematische Darstellung des Hochdruckreglers 73, der hier als PI(DT₁)-
- 20 Druckregler ausgeführt ist. Dabei zeigt sich, dass die Ausgangsgröße V_{SD} des Hochdruckreglers 73 aus drei summierten Regler-Anteilen besteht, nämlich einem Proportionalanteil A_P , einem Integralanteil A_I , und einem differenziellen Anteil A_{DT1} . Diese drei Anteile werden in einer Summationsstelle 101 miteinander zu der Ausgangsgröße V_{SD} addiert. Der Proportionalanteil A_P stellt hierbei das Produkt der Regelabweichung e_p mit dem Proportionalbeiwert k_{pSD} dar. Der
- 25 Integralanteil A_I ist abhängig von einer Schaltstellung eines dritten Betriebsmodus-Schaltelements 103 und damit vom Wert der Variablen BM. Ist dieser gleich Null, also das Einspritzsystem 3 im Normalbetrieb, resultiert der Integralanteil A_I aus der Summe zweier Summanden. Der erste Summand ist hierbei der aktuelle, um einen Abtastschritt T_a verzögerte Integralanteil A_I . Der zweite Summand ist das Produkt eines Verstärkungsfaktors r_{2p} und der
- 30 Summe von aktueller und um einen Abtastschritt verzögerter Regelabweichung e_p . Die Summe beider Summanden wird dabei nach oben in einem dritten Begrenzungselement 105 in Abhängigkeit von der momentanen Drehzahl n_1 und gegebenenfalls weiteren Größen begrenzt. Der Verstärkungsfaktor r_{2p} wird nach folgender Formel berechnet, in welcher t_{np} eine Nachstellzeit ist:

$$r2_p = \frac{64 \, kp_{SD} \, T_a}{tn_p} . \quad (1)$$

- 5 Ist der Wert der Variablen BM ungleich 0, wird der Integralanteil A_I gleich dem Integralinitialwert I_{init} gesetzt. Dies bedeutet in der Konsequenz, dass das dritte Betriebsmodus-Schaltelement 103 umschaltet auf den Integralinitialwert I_{init} , wenn aus dem Normalbetrieb insbesondere in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs gewechselt wird. Da die Saugdrossel 9 in diesem Fall nicht angesteuert wird – vergleiche Figur 9 – hat dies zunächst keine
- 10 Auswirkungen. Wird dann aber wieder zurück in den Normalbetrieb gewechselt, ist der erste für den Integralanteil A_I verwendete Wert der Integralinitialwert I_{init} , bevor aufgrund der Umschaltung des dritten Betriebsmodus-Schaltelements 103 neue, andere Werte für den Integralanteil A_I generiert werden können. Somit wird im Ergebnis der Integralanteil A_I mit dem Integralinitialwert I_{init} initialisiert, wenn aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den
- 15 Normalbetrieb umgeschaltet wird.

In Figur 10 ist auch dargestellt, dass der Integralanteil A_I abgezweigt wird, insbesondere um ihn betriebspunktabhängig in dem Leckagekennfeld 95 hinterlegen zu können, sodass dieses aktualisiert werden kann.

- 20 Die Berechnung des differenziellen Anteils A_{DTI} ist im unteren Teil von Figur 10 dargestellt. Dieser Anteil ergibt sich als Summe zweier Produkte. Das erste Produkt resultiert aus einer Multiplikation des Faktor $r4_p$ mit dem um einen Abtastschritt verzögerten differenziellen Anteil A_{DTI} . Das zweite Produkt ergibt sich aus der Multiplikation des Faktors $r3_p$ mit der Differenz der
- 25 Regelabweichung e_p und der entsprechend um einen Abtastschritt verzögerten Regelabweichung e_p .

Dabei berechnet sich der Faktor $r3_p$ nach folgender Gleichung, in welcher tv_p eine Vorhaltzeit und $t1_p$ eine Verzögerungszeit ist:

30

$$r3_p = \frac{2 \, kp_{SD} \, tv_p}{2 \, t1_p + T_a} . \quad (2)$$

Der Faktor $r4_p$ errechnet sich gemäß folgender Gleichung:

$$r4_p = \frac{2 t1_p - T_a}{2 t1_p + T_a} . \quad (3)$$

Es zeigt sich damit, dass die Verstärkungsfaktoren $r2_p$ und $r3_p$ von dem Proportionalbeiwert k_{pSD} abhängen. Der Verstärkungsfaktor $r2_p$ hängt zusätzlich von der Nachstellzeit tn_p , der Verstärkungsfaktor $r3_p$ von der Vorhaltzeit tv_p und der Verzögerungszeit $t1_p$ ab. Der Verstärkungsfaktor $r4_p$ hängt ebenfalls von der Verzögerungszeit $t1_p$ ab.

Fig. 11 zeigt eine diagrammatische Erläuterung der hier offenbarten technischen Lehre anhand von zwei Zeitdiagrammen. Dabei ist in dem oberen Zeitdiagramm der dynamische Raildruck p_{dyn} in Abhängigkeit von der Zeit t dargestellt. Insbesondere ist hier der Verlauf des dynamischen Raildrucks p_{dyn} für den Fall dargestellt, dass Luft, welche sich im Niederdruckbereich angesammelt hat, mithilfe der Hochdruckpumpe 11 in den Hochdruckspeicher 13 gelangt. Dabei bilden sich Schwingungen in dem Hochdruck aus, welche sich – ausgehend von dem Soll-Hochdruck p_s – langsam aufschaukeln. Zu einem ersten Zeitpunkt t_1 erreicht der dynamische Raildruck p_{dyn} schließlich den ersten Druckgrenzwert p_{G1} , was dazu führt, dass der Hochdruck nun mittels des Druckregelventils 19 und nicht mehr, wie zuvor, mittels der Saugdrossel 9 geregelt wird. In dem unteren Diagramm ist hierzu der zeitliche Verlauf des Wertes der Variablen BM dargestellt, der zu dem ersten Zeitpunkt t_1 von 0 auf 1 wechselt, sodass von dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs umgeschaltet wird.

In dieser ersten Betriebsart des Schutzbetriebs wird der Hochdruck durch Absteuern von Kraftstoff über das Druckregelventil 19 beeinflusst und vorzugsweise auf den Soll-Hochdruck p_s geregelt. Mit dem Absteuern von Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher 13 kommt es zu einem Absinken des Hochdrucks in Richtung des Soll-Hochdrucks p_s , bis dieser zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 schließlich erreicht und in der Folge auch unterschritten wird. Mit dem Erreichen des Soll-Hochdrucks p_s von oben her, also von dem ersten Druckgrenzwert p_{G1} , wird der Wert der Variablen BM wieder auf 0 gesetzt, und damit in den Normalbetrieb umgeschaltet, wie aus dem unteren Diagramm erkennbar ist. Dadurch wird nun auch der Hochdruck wieder mithilfe der Saugdrossel 9 geregelt. Da mit dem Kraftstoff zugleich auch Luft aus dem Hochdruckspeicher 13 abgesteuert wird, kommt es in der Folge zu einem stabilen Einschwingvorgang des Hochdrucks auf seinen Sollwert, wobei in dem hier dargestellten Fall

der Hochdruck zu einem dritten Zeitpunkt t_3 wieder vollständig auf den Soll-Hochdruck p_s eingeschwungen ist.

Somit wird vorteilhaft erreicht, dass die Brennkraftmaschine 1 im Falle von

- 5 Hochdruckschwingungen, welche durch Luft im Einspritzsystem 3 bedingt sind, nur kurzzeitig in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs wechselt und anschließend, wenn die Luft durch Absteuern des Druckregelventils 19 aus dem Hochdruckspeicher 13 entwichen ist, wieder in den Normalbetrieb zurückkehrt, wobei der Hochdruck erneut durch die Saugdrossel 9 geregelt wird. Dadurch wird eine unnötige Erwärmung des Kraftstoffs sowie eine unnötige Belastung des
- 10 Druckregelventils 19 vermieden, wodurch die Dauerhaltbarkeit der Brennkraftmaschine 1 verlängert und deren Wirkungsgrad verbessert wird.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben eines Einspritzsystems (3) einer Brennkraftmaschine (1), wobei das Einspritzsystem (3) einen Hochdruckspeicher (13) aufweist, wobei ein Hochdruck in dem
5 Hochdruckspeicher (13) in einem Normalbetrieb durch Ansteuern einer niederdruckseitigen Saugdrossel (9) geregelt wird, wobei der Hochdruck in einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs durch Ansteuern von wenigstens einem hochdruckseitigen Druckregelventil (19) geregelt wird, wobei aus dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird, wenn der Hochdruck einen ersten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet,
10 und wobei aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb geschaltet wird, wenn der Hochdruck ausgehend von oberhalb eines Drucksollwerts den Drucksollwert erreicht oder unterschreitet, wobei der Drucksollwert kleiner ist als der erste Druckgrenzwert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Integralanteil für einen
15 Hochdruckregler (73) zur Ansteuerung der Saugdrossel (9) mit einem Integralinitialwert initialisiert wird, wenn aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb umgeschaltet wird, wobei der Integralinitialwert als Leckagekennwert des Einspritzsystems (3) in Abhängigkeit von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Integralinitialwert ermittelt wird, indem aus einem Leckagekennfeld (95) ein Leckagewert in Abhängigkeit des momentanen Betriebspunkts ausgelesen wird, wobei
- 25 a) der Leckagewert als Leckagekennwert verwendet wird, oder
b) der Leckagewert mit wenigstens einem Regelfaktor verrechnet wird, um den Leckagekennwert zu erhalten.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Leckagekennfeld (95)
- 30 a) als konstantes Kennfeld verwendet, oder
b) im Betrieb des Einspritzsystems (3) aktualisiert wird, insbesondere mit momentanen Werten des Integralanteils des Hochdruckreglers (73) als Leckagewerten.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Umschalten aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs in den Normalbetrieb geprüft wird, ob die Saugdrossel (9) defekt ist, wobei nur dann in den Normalbetrieb geschaltet wird, wenn die Saugdrossel (9) nicht defekt ist.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in eine zweite Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet wird, wenn der Hochdruck einen zweiten Druckgrenzwert überschreitet, wobei in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs das wenigstens eine Druckregelventil (19) und die Saugdrossel (9) dauerhaft geöffnet werden.

10

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nur aus der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs zurück in den Normalbetrieb geschaltet wird.

8. Einspritzsystem (3) für eine Brennkraftmaschine (1), mit

15

- wenigstens einem Injektor (15),
- einem Hochdruckspeicher (13), der einerseits mit dem wenigstens einen Injektor (15) und andererseits über eine Hochdruckpumpe (11) mit einem Kraftstoffreservoir (7) in Fluidverbindung ist, wobei
- der Hochdruckpumpe (11) eine Saugdrossel (9) als erstes Druckstellglied zugeordnet ist, und mit
- wenigstens einem Druckregelventil (19), über welches der Hochdruckspeicher (13) mit dem Kraftstoffreservoir (7) strömungstechnisch verbunden ist, und mit
- einem Steuergerät (21), das mit dem wenigstens einen Injektor (15), der Saugdrossel (9) und dem wenigstens einen Druckregelventil (19) wirkverbunden ist, wobei das

20

25

Steuergerät (21) eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Einspritzsystem (3) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einspritzsystem (3) frei ist von einem mechanischen Überdruckventil.

30

10. Brennkraftmaschine (1), mit einem Einspritzsystem (3) nach einem der Ansprüche 8 oder 9.

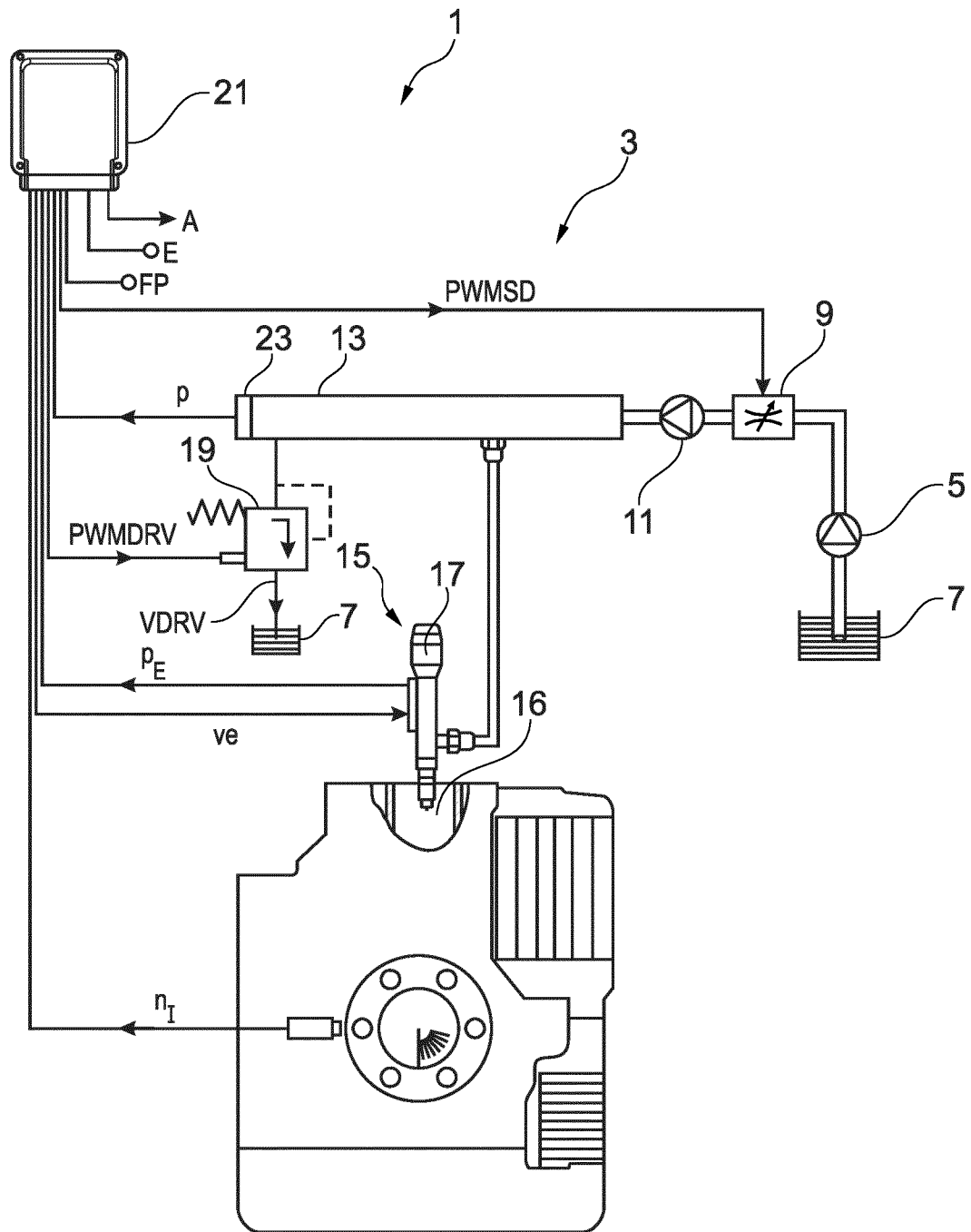


Fig. 1

2/11

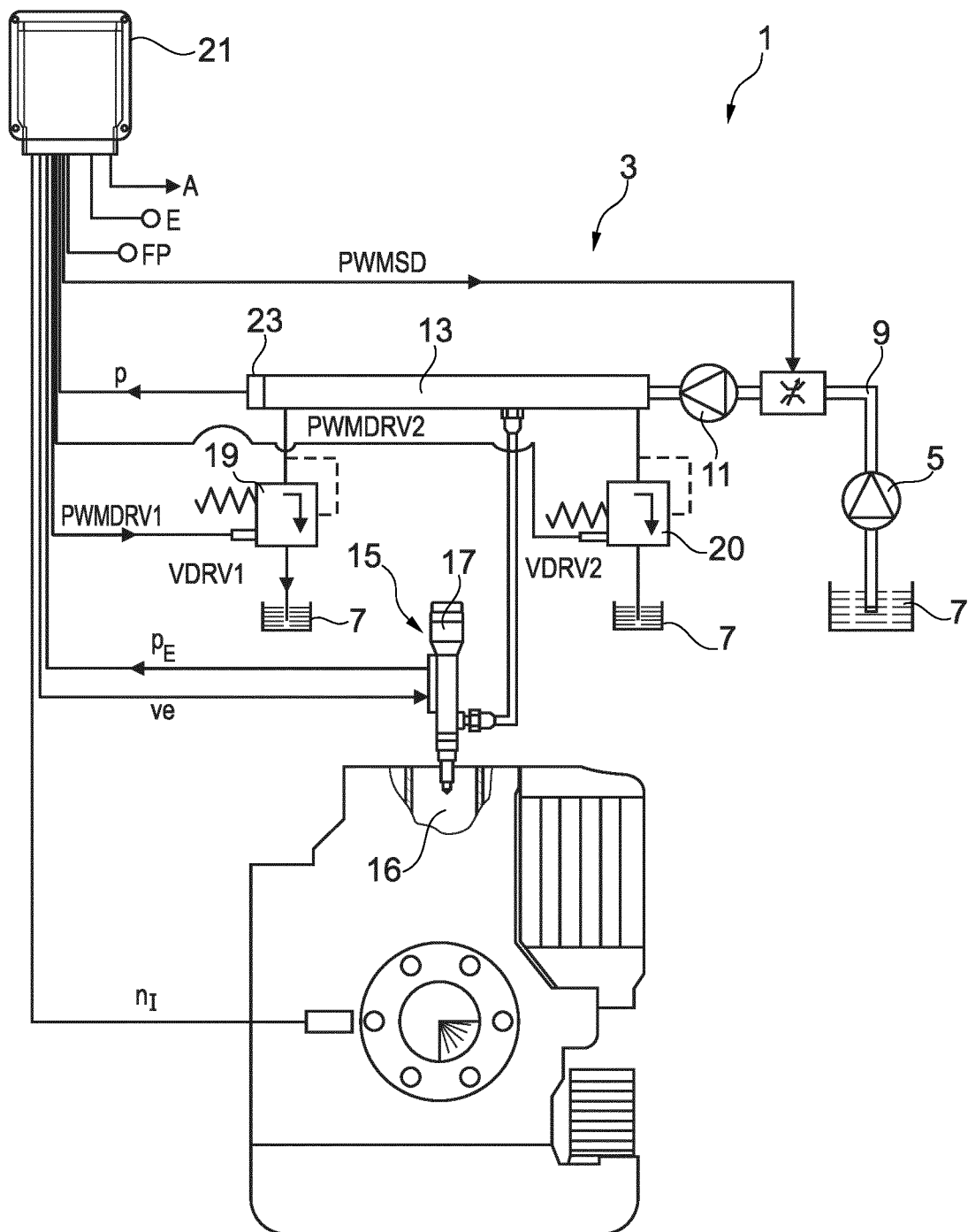


Fig. 2

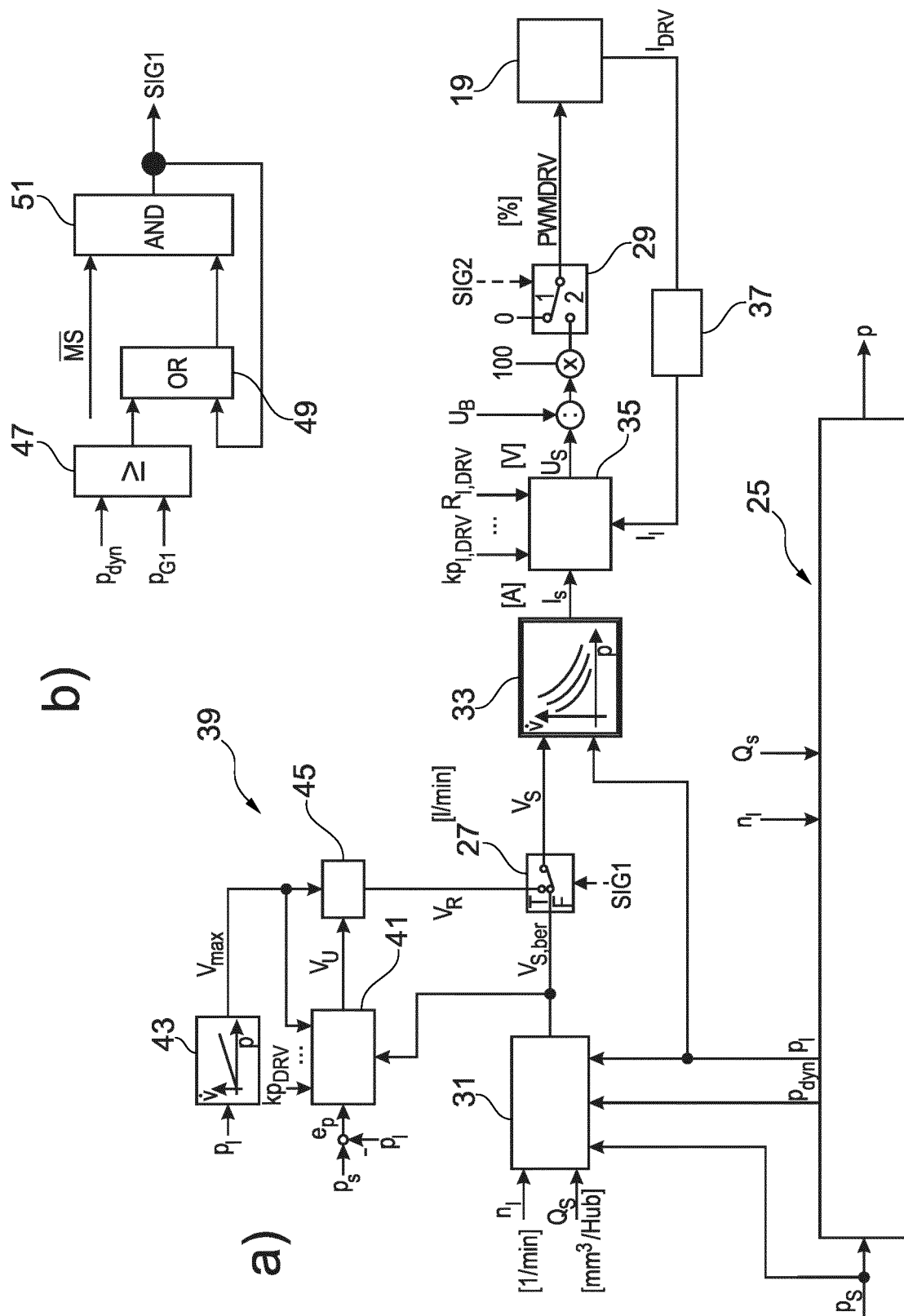


Fig. 3

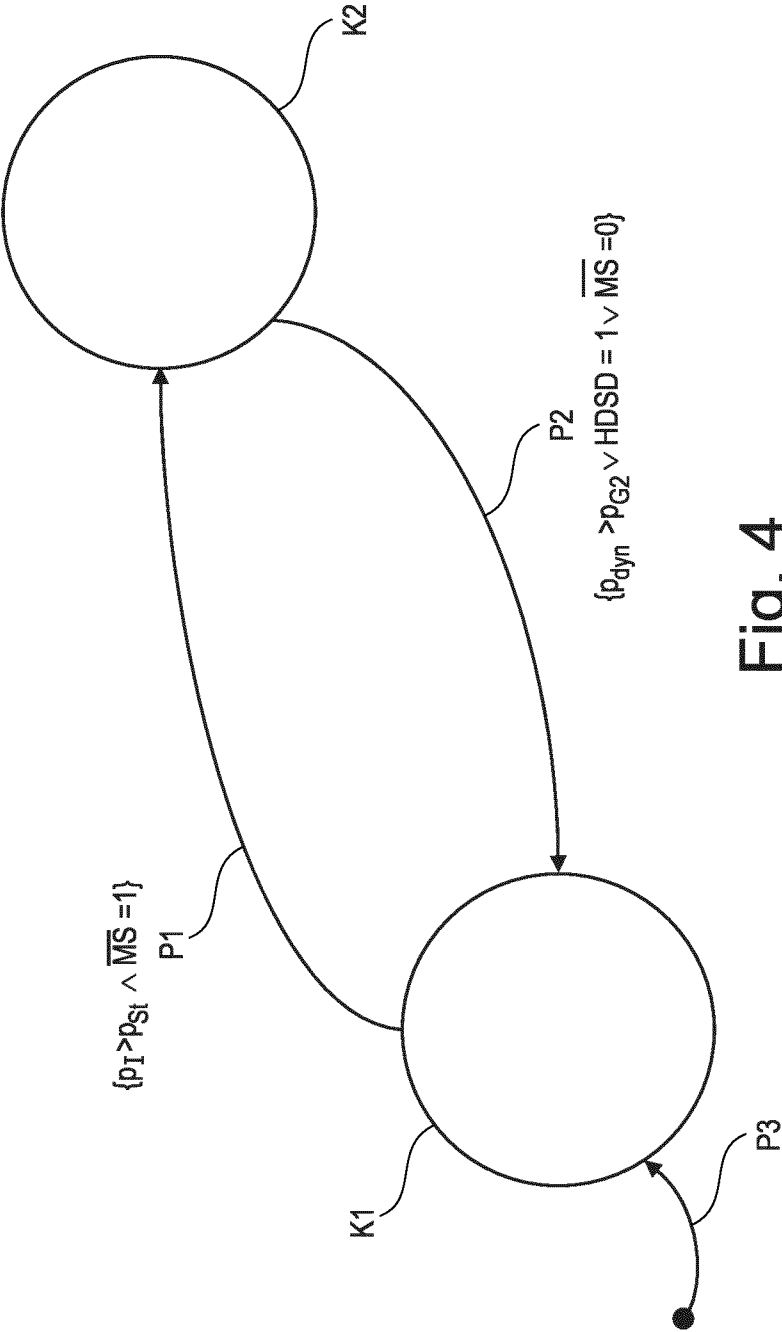


Fig. 4

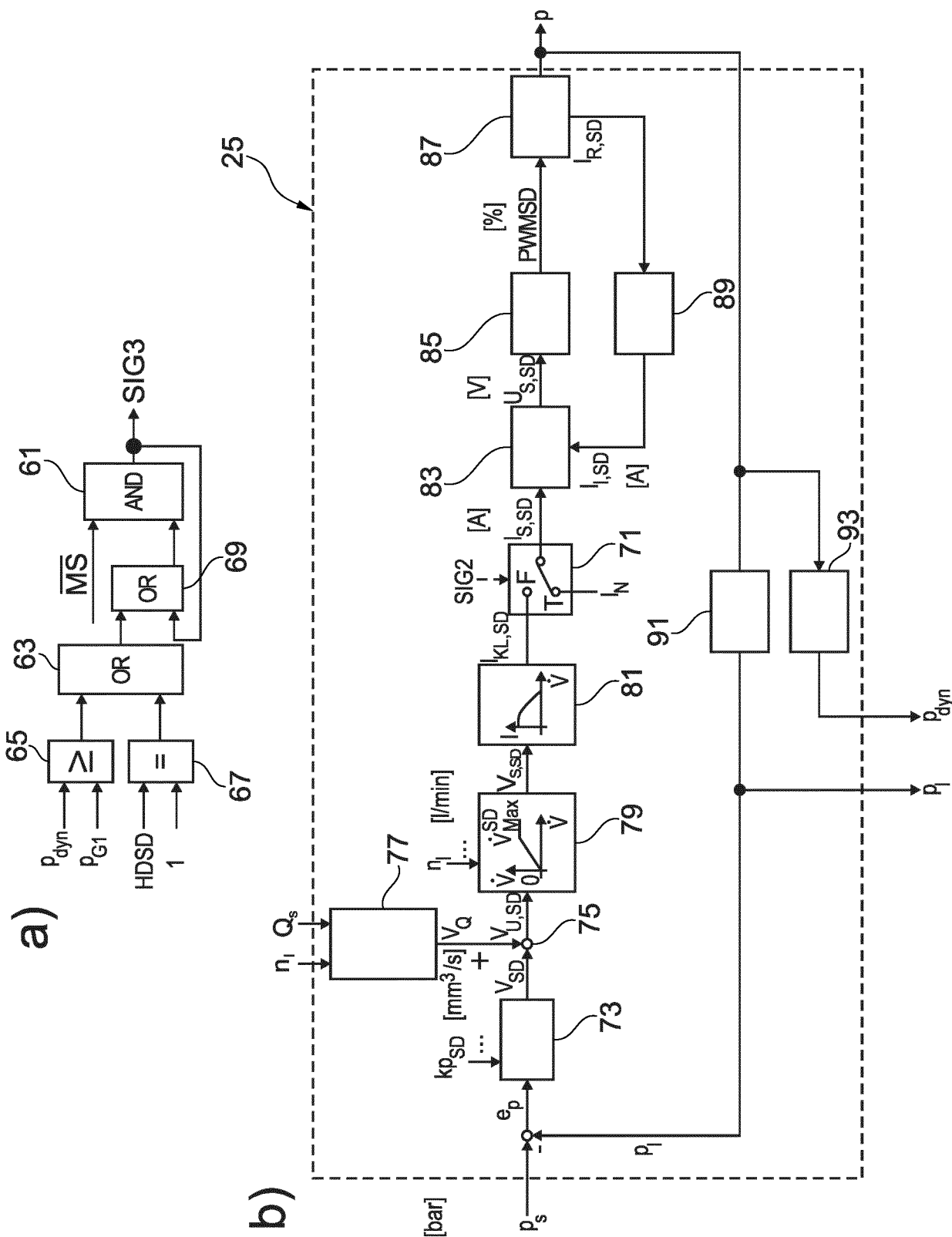


Fig. 5

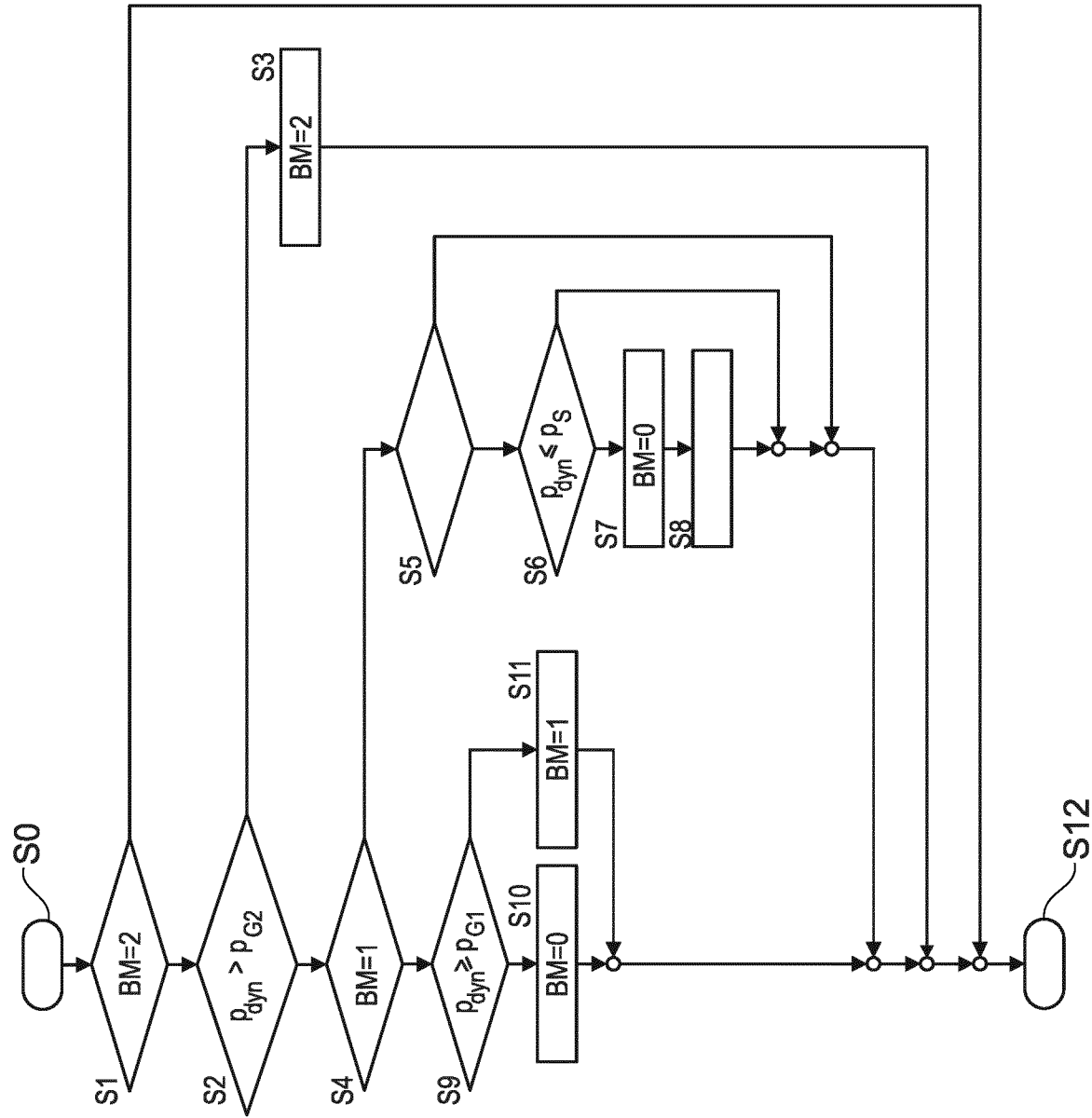


Fig. 6

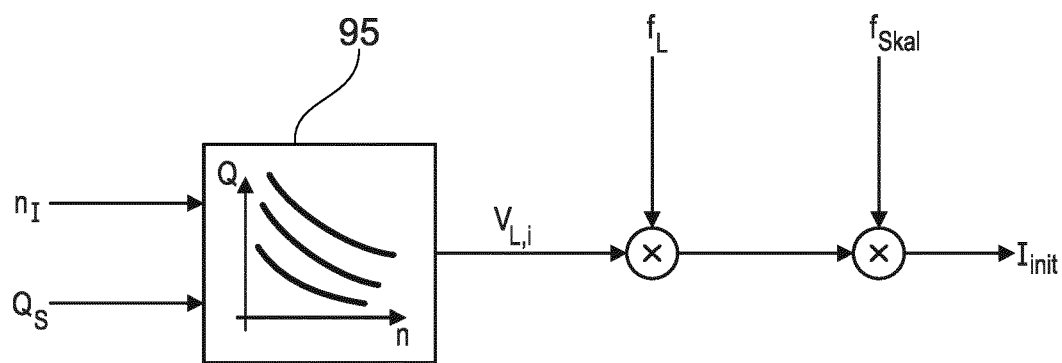


Fig. 7

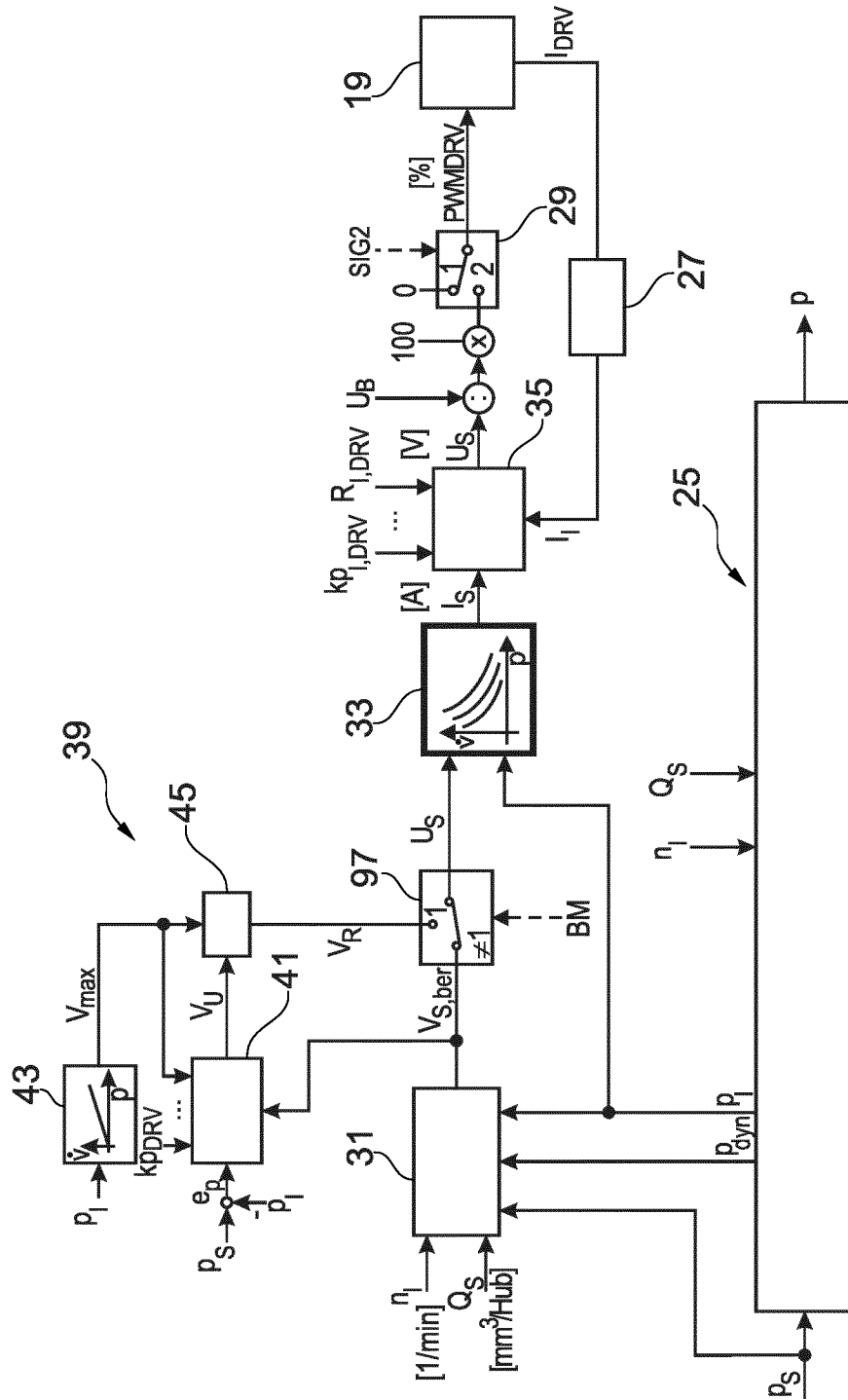


Fig. 8

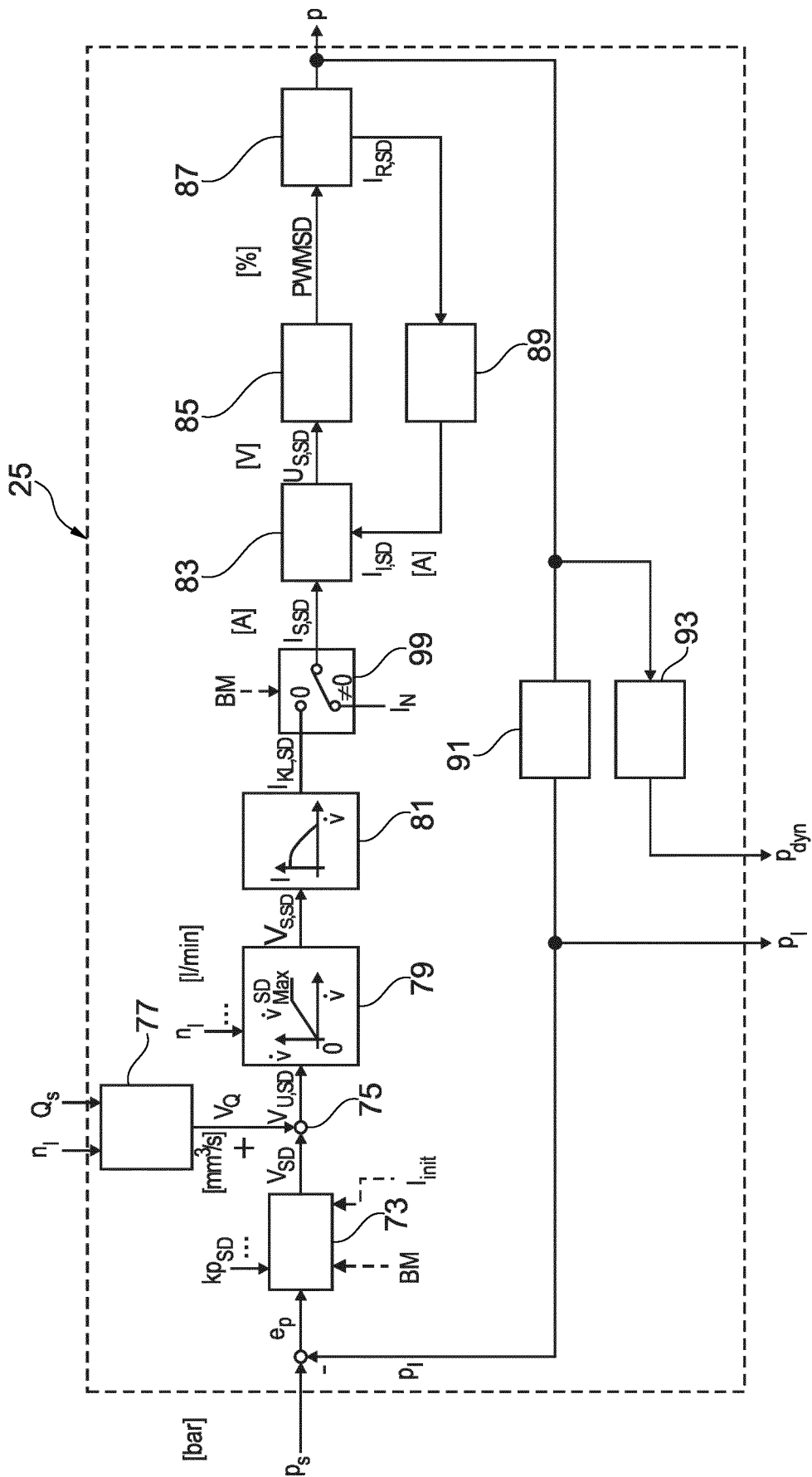


Fig. 9

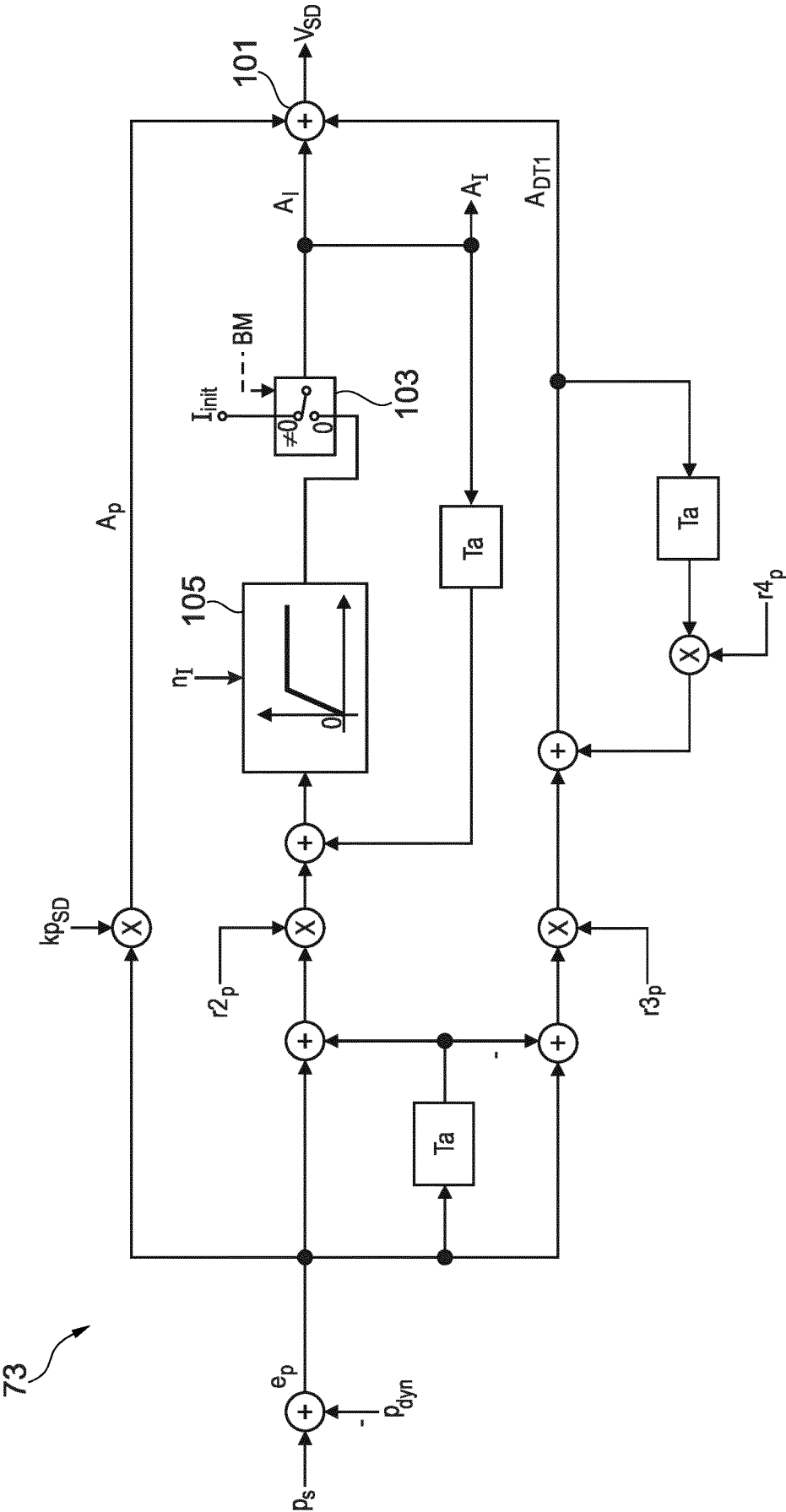


Fig. 10

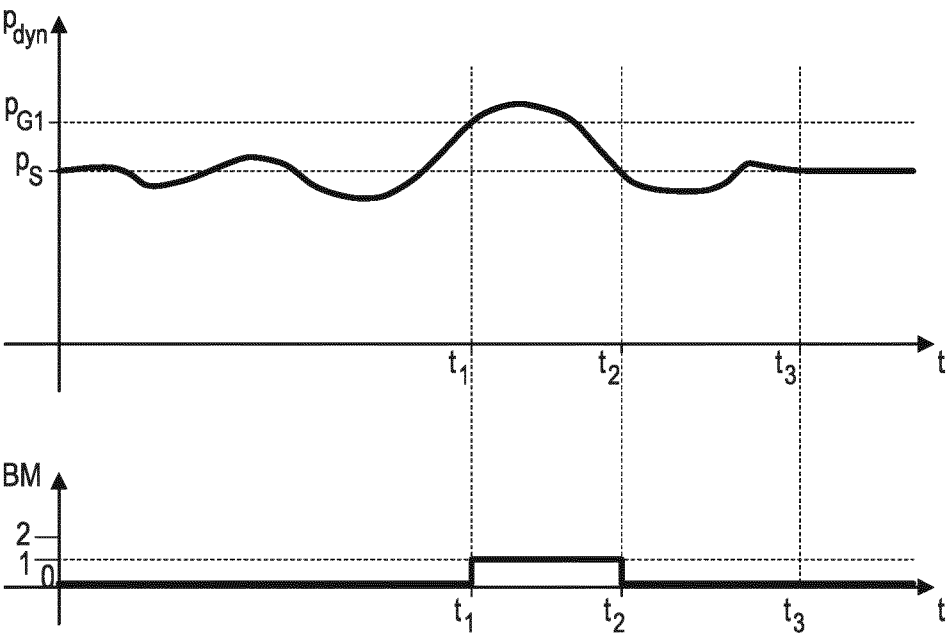


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/053741

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F02D 41/38**(2006.01)i; **F02M 63/02**(2006.01)i; **F02D 41/14**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D; F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1088981 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 04 April 2001 (2001-04-04)	1,7-10
Y	paragraphs [0002], [0015] - [0030]; figures 5,6	2-6
Y	DE 102008000513 A1 (DENSO CORP [JP]) 09 October 2008 (2008-10-09)	2-4
	paragraphs [0103] - [0120]	
Y	DE 102015207961 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 03 November 2016 (2016-11-03)	5
	paragraphs [0051] - [0055]; figure 1	
Y	DE 102014213648 B3 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 08 October 2015 (2015-10-08)	6
	paragraphs [0069] - [0093]	
A	DE 102009050467 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 28 April 2011 (2011-04-28)	1-10
	paragraphs [0033] - [0035]	
A	US 2006288984 A1 (ACHLEITNER ERWIN [DE] ET AL) 28 December 2006 (2006-12-28)	1-10
	paragraphs [0004] - [0016]	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 April 2020

Date of mailing of the international search report

30 April 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Deseau, Richard

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/053741

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
EP	1088981	A2	04 April 2001	DE	19946908 A1	05 April 2001
				EP	1088981 A2	04 April 2001
				JP	2001115884 A	24 April 2001
DE	102008000513	A1	09 October 2008	DE	102008000513 A1	09 October 2008
				JP	4525691 B2	18 August 2010
				JP	2008215201 A	18 September 2008
DE	102015207961	A1	03 November 2016	CN	107532537 A	02 January 2018
				DE	102015207961 A1	03 November 2016
				EP	3289205 A1	07 March 2018
				US	2018010542 A1	11 January 2018
				WO	2016173689 A1	03 November 2016
DE	102014213648	B3	08 October 2015	CN	106489022 A	08 March 2017
				DE	102014213648 B3	08 October 2015
				EP	3169887 A1	24 May 2017
				US	2017067409 A1	09 March 2017
				WO	2016008565 A1	21 January 2016
DE	102009050467	A1	28 April 2011	CN	102667121 A	12 September 2012
				DE	102009050467 A1	28 April 2011
				EP	2491238 A1	29 August 2012
				US	2012265424 A1	18 October 2012
				WO	2011047832 A1	28 April 2011
US	2006288984	A1	28 December 2006	DE	10323874 A1	30 December 2004
				EP	1629187 A1	01 March 2006
				KR	20060015625 A	17 February 2006
				US	2006288984 A1	28 December 2006
				WO	2004104397 A1	02 December 2004

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F02D41/38 F02M63/02

ADD. F02D41/14

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F02D F02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 088 981 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 4. April 2001 (2001-04-04)	1,7-10
Y	Absätze [0002], [0015] - [0030]; Abbildungen 5,6	2-6
Y	----- DE 10 2008 000513 A1 (DENSO CORP [JP]) 9. Oktober 2008 (2008-10-09) Absätze [0103] - [0120]	2-4
Y	----- DE 10 2015 207961 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 3. November 2016 (2016-11-03) Absätze [0051] - [0055]; Abbildung 1	5
Y	----- DE 10 2014 213648 B3 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 8. Oktober 2015 (2015-10-08) Absätze [0069] - [0093] ----- -/-	6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. April 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/04/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Deseau, Richard

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2009 050467 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 28. April 2011 (2011-04-28) Absätze [0033] - [0035] -----	1-10
A	US 2006/288984 A1 (ACHLEITNER ERWIN [DE] ET AL) 28. Dezember 2006 (2006-12-28) Absätze [0004] - [0016] -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/053741

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1088981 A2	04-04-2001	DE 19946908 A1	05-04-2001
		EP 1088981 A2	04-04-2001
		JP 2001115884 A	24-04-2001

DE 102008000513 A1	09-10-2008	DE 102008000513 A1	09-10-2008
		JP 4525691 B2	18-08-2010
		JP 2008215201 A	18-09-2008

DE 102015207961 A1	03-11-2016	CN 107532537 A	02-01-2018
		DE 102015207961 A1	03-11-2016
		EP 3289205 A1	07-03-2018
		US 2018010542 A1	11-01-2018
		WO 2016173689 A1	03-11-2016

DE 102014213648 B3	08-10-2015	CN 106489022 A	08-03-2017
		DE 102014213648 B3	08-10-2015
		EP 3169887 A1	24-05-2017
		US 2017067409 A1	09-03-2017
		WO 2016008565 A1	21-01-2016

DE 102009050467 A1	28-04-2011	CN 102667121 A	12-09-2012
		DE 102009050467 A1	28-04-2011
		EP 2491238 A1	29-08-2012
		US 2012265424 A1	18-10-2012
		WO 2011047832 A1	28-04-2011

US 2006288984 A1	28-12-2006	DE 10323874 A1	30-12-2004
		EP 1629187 A1	01-03-2006
		KR 20060015625 A	17-02-2006
		US 2006288984 A1	28-12-2006
		WO 2004104397 A1	02-12-2004
