



(10) **DE 10 2008 054 690 B4** 2020.11.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 054 690.9**
(22) Anmeldetag: **16.12.2008**
(43) Offenlegungstag: **17.06.2010**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.11.2020**

(51) Int Cl.: **F02D 1/16 (2006.01)**
F02D 33/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

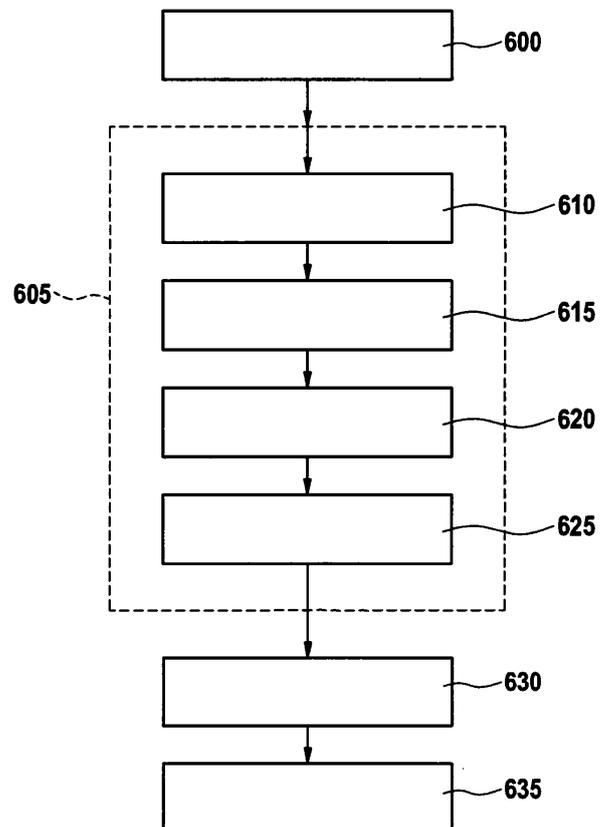
(72) Erfinder:
Hamedovic, Haris, 71701 Schwieberdingen, DE; Fischer, Wolfgang, 70839 Gerlingen, DE; Tiebel, Wolfgang, 70469 Stuttgart, DE; Scheidt, Michael, 70376 Stuttgart, DE; Rupp, Andreas, 71672 Marbach, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	196 32 650	C1
DE	103 43 759	A1
DE	195 27 218	A1
DE	10 2005 052 024	A1
DE	10 2006 056 708	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung von Teileinspritzungen in einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Kalibrierung der Einspritzmenge wenigstens einer zusätzlich zu einer Haupteinspritzung (310) vorgesehenen Teileinspritzung (300) in einem Einspritzsystem (30) einer Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass ein Korrekturwert für die Teileinspritzung (300) in einen einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine durch Stimulation wenigstens zweier Einspritzmuster ermittelt wird, wobei aus dem Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine Werte für den Drehmomentverlauf ermittelt werden, und dass durch Vergleich des Drehmomentverlaufs einer Verbrennung mit einer Einfachinspritzung und einer Verbrennung mit einer die Teileinspritzung (300) umfassenden Mehrfacheinspritzung festgestellt wird, ob die Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) von einem vorgegebenen Wert abweicht.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung der Einspritzmenge einer Teileinspritzung in einem Einspritzsystem einer Brennkraftmaschine sowie eine entsprechende Vorrichtung gemäß den Oberbegriffen der jeweiligen unabhängigen Ansprüche.

[0002] In modernen Kraftstoffeinspritzsystemen insbesondere selbstzündender Brennkraftmaschinen werden die mittels Injektoren in Verbrennungsräume eingespritzten Kraftstoffmengen in mehrere Teileinspritzungen aufgeteilt, welche zeitlich nah angeordnet sind und bspw. aus einer oder mehreren vor einer Haupteinspritzung applizierten Voreinspritzung(en) bestehen. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Teileinspritzungen wird dabei durch die Pausenzeit zwischen zwei zeitlich aufeinander folgenden elektrischen Ansteuerimpulsen der Injektoren, durch einen Kurbelwellenwinkel oder durch eine Kombination dieser beiden Größen definiert.

[0003] Diese Teileinspritzungen ermöglichen eine verbesserte Gemischaufbereitung und damit geringere Abgasemissionen der Brennkraftmaschine, eine verringerte Geräusentwicklung bei der Verbrennung sowie eine erhöhte mechanische Leistungsabgabe der Brennkraftmaschine. Zur gleichzeitigen Optimierung von Geräusch und Abgas werden bspw. bei Voreinspritzungen sehr geringe Einspritzmengen vorgegeben, welche teilweise im Bereich der kleinsten durch einen genannten Injektor überhaupt darstellbaren Kraftstoffmenge liegen.

[0004] Um bei einer Drift des Injektorverhaltens über die Laufzeit des Injektors die exakte Einhaltung der Einspritzmenge bspw. einer Voreinspritzung gewährleisten zu können sind Funktionen notwendig, die noch im (befeueren) Betrieb der Brennkraftmaschine eine Kalibrierung der Voreinspritzmengen vorzunehmen ermöglichen. So geht aus der DE 103 43 759 A1 ein Verfahren hervor, bei welchem im Leerlauf-Betrieb einer Brennkraftmaschine eine Voreinspritzung bei einem oder mehreren Zylindern abgeschaltet wird und aus den Stellmengen eines Leerlaufreglers sowie eines Mengenausgleichsreglers auf der Grundlage von zylinderindividuellen Korrekturen auf die Voreinspritzmenge geschlossen wird.

[0005] Aus der DE 196 32 650 C1 ist ein Verfahren zum Unterdrücken von Drehmomentsprüngen beim Betrieb einer Brennkraftmaschine bekannt. Beim Zu-/Abschalten einer Piloteinspritzung wird die Differenz zwischen der einzuspritzenden Kraftstoffmenge und der Pilotmenge gebildet. Diese wird dann mit einem Korrekturfaktor beaufschlagt, der die Drehmoment-

angleichung bewirkt. Diese Differenzmenge stellt die Haupteinspritzmenge dar.

[0006] Die DE 10 2005 052 024 A1 beschreibt eine Einspritzmengensteuerung. Auch diese Entgegenhaltung beschreibt das Umschalten zwischen unterschiedlichen Anzahlen von Teileinspritzungen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, bei einem hier betroffenen Kalibrierverfahren einen Korrekturwert für die Teileinspritzung in einen einzelnen Zylinder (d.h. zylinder-individuell) durch Stimulation wenigstens zweier Einspritzmuster zu ermitteln, wobei aus einem Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine auf der Grundlage einer für die Verbrennung charakteristischen physikalischen Größe ermittelt wird, ob die Teileinspritzung zu klein oder zu groß war. Die genannte Stimulation erfolgt dabei mit einem ersten Einspritzmuster mit einer Einfach einspritzung, bevorzugt einer Haupteinspritzung (HE), und einer Verbrennung mit einer Mehrfacheinspritzung, bevorzugt einer aus einer Voreinspritzung (VE) und einer Haupteinspritzung (HE) zusammengesetzten Zweifacheinspritzung.

[0008] Es ist hervorzuheben, dass die Reihenfolge der wenigstens zwei Einspritzmuster willkürlich ist, d.h. das vorgenannte erste Einspritzmuster und das zweite Einspritzmuster können auch in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge appliziert werden. Auch versteht sich, dass die dort genannte Voreinspritzung nur bevorzugt ist und das erfindungsgemäße Verfahren entsprechend auch zur Kalibrierung von Nacheinspritzungen oder dgl. einsetzbar ist.

[0009] Gemäß einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus dem Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine der Drehmomentverlauf ermittelt bzw. rekonstruiert, wobei durch einen Vergleich der so ermittelten Drehmomentverläufe einer Verbrennung mit einem ersten Einspritzmuster mit einer Einfach einspritzung (HE) und einer Verbrennung mit einer Mehrfacheinspritzung, bevorzugt einer Zweifacheinspritzung (VE + HE), ermittelt wird, ob die Teileinspritzung (bzw. Voreinspritzung) zu klein oder zu groß war. Die dazu notwendige Berechnung des Verlaufs des Drehmoments der Verbrennung aus dem Drehzahlverlauf der Brennkraftmaschine ist in der nicht veröffentlichten Voranmeldung DE 10 2006 056 708 offenbart und wird nachfolgend noch im Detail beschrieben.

[0010] Gemäß einer zweiten Ausgestaltung erfolgt die erfindungsgemäße Kalibrierung der Einspritzmenge einer Teileinspritzung anhand einer energie-basierten Drehzahlauswertung, wobei an Stelle der zuvor genannten Drehmomentverläufe die bei einer Einfach einspritzung und einer Mehrfacheinspritzung

umgesetzte physikalische Energie oder Arbeit miteinander verglichen werden. Bevorzugt erfolgt dabei die Berechnung eines entsprechenden physikalischen Merkmals aus dem zeitlichen Verlauf des Drehzahlsignals, welches Informationen über die Differenz der umgesetzten Energie bzw. Arbeit der Einfach- und der Mehrfacheinspritzung liefert.

[0011] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird die Ansteuerdauer bzw. die Dauer der VE so lange verändert, bis die bei beiden Einspritzmustern resultierenden Drehmomente oder die bei beiden Einspritzmustern sich ergebenden Werte der physikalischen Energie bzw. Arbeit gleich oder möglichst gleich groß sind.

[0012] Die Erfindung ermöglicht eine zylinder-individuelle Bestimmung des Drehmoments bzw. der Energie bzw. Arbeit aus der Drehzahl, woraus eine höhere Genauigkeit sowie eine verbesserte Robustheit der Kalibrierung resultiert. Denn bei der beschriebenen Auswertung im Frequenzbereich haben alle Zylinder einen Einfluss auf die Kalibrierung, wodurch Störungen entstehen können. Des Weiteren kann eine Mehrfacheinspritzung andere Frequenzen als eine Einfach- und Mehrfacheinspritzung anregen, und zwar auch bei gleichgestellter Einspritzmenge. Durch die Erfindung werden diese Restfehler bei der Kalibrierung behoben und die Kalibrierung wird unempfindlicher gegenüber den genannten Störungen.

[0013] Entsprechend wird damit der weitere Nachteil des Standes der Technik behoben, dass bei der Berechnung der Wirkung des jeweiligen Einspritzmusters mit Hilfe der Methode der diskreten Fouriertransformation (DFT) die Information aller Zylinder gemittelt wird, was einen erheblichen Nachteil darstellt, da Zylinder, auf denen das genannte Einspritzmuster nicht angesteuert wird, als Störgröße wirken, welche dem eigentlichen Nutzsignal überlagert wird. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich, wenn nicht die absolute Information (Moment oder Verbrennungslage) gesucht ist, sondern nur die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Einspritzungen.

[0014] Zudem sind die aus dem Drehzahlsignal ermittelten Werte der genannten Merkmale physikalisch besser interpretierbar und die Kalibrierung lässt sich in kürzerer Zeit durchführen.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht im befeuerten Betrieb einer Brennkraftmaschine bzw. im laufenden Fahrbetrieb eines zugrundeliegenden Kraftfahrzeugs eine präzise Kalibrierung der Teileinspritzmenge, und zwar nicht notwendigerweise im Leerlauf oder im stationären Betrieb der Brennkraftmaschine. Da eine Zylinderausgleichsfunktion bei dem vorgeschlagenen Verfahren nicht erforderlich ist, kann das Verfahren bei Motoren mit ungleichem

Zündabstand sowie bei Einzylindermotoren vorteilhaft eingesetzt werden.

[0016] Gegenüber den eingangs beschriebenen Verfahren erfordert der erfindungsgemäße Ansatz keinen Schubbetrieb oder gar einen stationären Leerlaufbetrieb der Brennkraftmaschine. Dabei ist hervorzuheben, dass es bei den im Stand der Technik bekannten Methoden während einer Kalibrierung im Leerlaufbetrieb nicht zu einer Änderung des Lastmoments kommen darf, da dadurch das Kalibrierungsergebnis verfälscht wird. Daher können die bekannten Kalibrierverfahren nur im Werkstattbetrieb mit der notwendigen Präzision durchgeführt werden. Auch wird für die zu erzielende Korrektur der Teileinspritzmenge keine Mengenausgleichsregelung mehr benötigt. Die Kalibrierung nach den bekannten Verfahren ist speziell im Leerlauf akustisch wahrnehmbar und führt daher zu Komforteinbußen im Betrieb der Brennkraftmaschine.

[0017] Zusätzlich kann der genannte Schubbetrieb nicht in allen Anwendungen von Dieselmotoren appliziert werden, z. B. tritt im Offroad-Bereich, bei Stationärmotoren oder bei Automatikgetrieben kein oder nur sehr selten Schubbetrieb auf. Darüber hinaus sind die genannten Mengenausgleichsregelungen nach heutigem Stand der Technik nur bei Motoren mit gleichen Zündabständen möglich, im Besonderen auch nicht bei Einzylindermotoren.

Zeichnung

[0018] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch eingehender erläutert, aus denen weitere Besonderheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung hervorgehen.

[0019] Im Einzelnen zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Kraftstoffzumesssystems einer Brennkraftmaschine gemäß dem Stand der Technik, bei dem die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann;

Fig. 2 eine detaillierte Darstellung der an sich bekannten Berechnung von Ansteuerdauern eines in der **Fig. 1** gezeigten elektrisch betätigten Ventils;

Fig. 3 einen typischen Einspritzverlauf mit einer Vor- und Haupteinspritzung, anhand dessen die erfindungsgemäße Umlagerung der Einspritzmenge zwischen Vor- und Haupteinspritzung illustriert wird; und

Fig. 4 ein kombiniertes Block-/Flussdiagramm eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung zur zylinder-individuellen Korrektur von Voreinspritzungen.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0020] Die **Fig. 1** zeigt ein Blockdiagramm der wesentlichen Elemente eines Kraftstoffzumesssystems einer Brennkraftmaschine. Die Brennkraftmaschine **10** erhält von einer Kraftstoffzumesseinheit **30** eine bestimmte Kraftstoffmenge zu einem bestimmten Zeitpunkt zugemessen. Verschiedene Sensoren **40** erfassen Messwerte **15**, die dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine charakterisieren, und leiten diese zu einem Steuergerät **20**. Dem Steuergerät **20** werden ferner verschiedene Ausgangssignale **25** weiterer Sensoren **45** zugeleitet. Die erfassten Messwerte **15** charakterisieren den Zustand der Kraftstoffzumesseinheit wie beispielsweise der Fahrerwunsch. Das Steuergerät **20** berechnet ausgehend von diesen Messwerten **15** und den weiteren Größen **25** Ansteuerimpulse **35**, mit denen die Kraftstoffzumesseinheit **30** beaufschlagt wird.

[0021] Bei der Brennkraftmaschine handelt es sich vorzugsweise um eine direkteinspritzende und/oder eine selbstzündende Brennkraftmaschine. Die Kraftstoffzumesseinheit **30** kann verschieden ausgestaltet sein. So kann beispielsweise als Kraftstoffzumesseinheit eine Verteilerpumpe eingesetzt werden, bei der ein Magnetventil den Zeitpunkt und/oder die Dauer der Kraftstoffeinspritzung bestimmt.

[0022] Des Weiteren kann die Kraftstoffzumesseinheit als Common-Rail-System ausgebildet sein. Bei diesem verdichtet bekanntermaßen eine Hochdruckpumpe Kraftstoff in einem Speicher. Von diesem Speicher gelangt dann der Kraftstoff über Injektoren in die Brennräume der Brennkraftmaschine. Die Dauer und/oder der Beginn der Kraftstoffeinspritzung wird mittels der Injektoren gesteuert. Dabei beinhalten die Injektoren vorzugsweise ein Magnetventil bzw. einen piezoelektrischen Aktor.

[0023] Das Steuergerät **20** berechnet in an sich bekannter Weise die in die Brennkraftmaschine einzuspritzende Kraftstoffmenge. Diese Berechnung erfolgt abhängig von verschiedenen Messwerten **15**, wie beispielsweise der Drehzahl n , der Motortemperatur, dem tatsächlichen Einspritzbeginn und evtl. noch weiteren Größen **25**, die den Betriebszustand des Fahrzeugs charakterisieren. Diese weiteren Größen sind beispielsweise die Stellung des Fahrpedals oder der Druck und die Temperatur der Umgebungsluft. Das Steuergerät **20** setzt dann die gewünschte Kraftstoffmenge in entsprechende Ansteuerimpulse der Injektoren um.

[0024] Bei den genannten Brennkraftmaschinen werden häufig eine oder mehrere kleine Kraftstoffmengen kurz vor der eigentlichen Haupteinspritzung in den Zylinder zugemessen. Dadurch kann das Geräuschverhalten des Motors wesentlich verbessert werden. Diese Einspritzung wird als Voreinspritzung

und die eigentliche Einspritzung als Haupteinspritzung bezeichnet. Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass eine kleine oder mehrere Kraftstoffmengen nach der Haupteinspritzung zugemessen werden. Diese wird dann als Nacheinspritzung bezeichnet. Ferner kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Einspritzungen in weitere Teileinspritzungen aufgeteilt sind.

[0025] Problematisch bei solchen Kraftstoffzumesssystemen ist, dass die elektrisch betätigten Ventile bei gleichem Ansteuersignal unterschiedliche Kraftstoffmengen zumessen können. Insbesondere die Ansteuerdauer, bei der gerade Kraftstoff zugemessen wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese Mindestansteuerdauer führt zu einer Einspritzung, wohingegen Ansteuerdauern kleiner als die Mindestansteuerdauer nicht zu einer Einspritzung führen. Diese Mindestansteuerdauer hängt von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise der Temperatur, der Kraftstoffsorte, der Lebensdauer, dem Raildruck, Fertigungstoleranzen der Injektoren und weiterer Einflüsse ab. Um eine genaue Kraftstoffzumessung erzielen zu können, muss diese Mindestansteuerdauer bekannt sein.

[0026] Eine Vorrichtung zur Steuerung der Kraftstoffzumessung in eine Brennkraftmaschine ist in der **Fig. 2** dargestellt. Bereits in **Fig. 1** beschriebene Elemente sind mit entsprechenden Bezugszeichen bezeichnet. Signale der Sensoren **45** sowie weiterer Sensoren, die nicht dargestellt sind, gelangen zu einer Mengenvorgabe **110**. Diese Mengenvorgabe **110** berechnet eine Kraftstoffmenge QKW, die dem Fahrerwunsch entspricht. Dieses Mengensignal QKW gelangt zu einem Verknüpfungspunkt **115**, an dessen zweiten Eingang das Ausgangssignal QKM einer zweiten Synchronisierung **155** anliegt. Das Ausgangssignal des ersten Verknüpfungspunktes **115** gelangt zu einem zweiten Verknüpfungspunkt **130**, der wiederum eine Ansteuerdauerberechnung **140** beaufschlagt. Am zweiten Eingang des zweiten Verknüpfungspunktes **130** liegt das Signal QKO einer Nullmengenkorrektur **142** an.

[0027] In den beiden Verknüpfungspunkten **115** und **130** werden die Mengensignale vorzugsweise additiv verknüpft. Die Ansteuerdauerberechnung **140** berechnet ausgehend von dem Ausgangssignal des Verknüpfungspunktes **130** das Ansteuersignal zur Beaufschlagung einer Kraftstoffzumesseinheit **30**. Die Ansteuerdauerberechnung berechnet die Ansteuerdauer, mit denen die elektrisch betätigten Ventile beaufschlagt werden.

[0028] Auf einem Geberrad **120** sind verschiedene Markierungen angeordnet, die von einem Sensor **125** abgetastet werden. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Geberrad um ein sogenanntes Segmentrad, das eine der Zylind-

derzahl entsprechende Anzahl Markierungen, in dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind dies vier, aufweist. Dieses Geberrad ist vorzugsweise auf einer Kurbelwelle der nicht gezeigten Brennkraftmaschine angeordnet. Dies bedeutet, dass pro Motorumdrehung eine Anzahl an den Impulsen erzeugt wird, die der doppelten Zylinderzahl entspricht. Der Sensor **125** liefert eine entsprechende Anzahl von Impulsen an eine erste Synchronisation **150**.

[0029] Die erste Synchronisation **150** beaufschlagt einen ersten Regler **171**, einen zweiten Regler **172**, einen dritten Regler **173** sowie einen vierten Regler **174**. Die Anzahl der Regler entspricht der Zylinderzahl. Die Ausgangssignale der vier Regler gelangen dann zu der genannten zweiten Synchronisation **155**.

[0030] Eine solche Einrichtung, die ohne Nullmengenkorrektur **142** ausgestattet ist, ist in der DE 195 27 218 detaillierter dargestellt. Diese Einrichtung arbeitet wie folgt. Ausgehend von verschiedenen Signalen, wie beispielsweise einem Signal, das den Fahrerwunsch kennzeichnet, bestimmt die Mengenvorgabe **110** das Kraftstoffmengenwunschs-signal QKW, das erforderlich ist um das vom Fahrer gewünschte Moment bereitzustellen. Neben dem Fahrerwunschs-signal können auch noch weitere Signale verarbeitet werden. Insbesondere wird neben dem Fahrerwunschs-signal auch das Drehzahlsignal und verschiedene Temperatur- und Druckwerte verarbeitet. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass von anderen Steuereinheiten Signale an die Mengenvorgabe übermittelt werden, die einen Momentenwunsch und/oder einen Mengenwunsch anfordern. Eine solche weitere Steuereinrichtung kann z. B. eine Getriebesteuerung sein, die während des Schaltvorganges das Moment vom Motor beeinflusst.

[0031] Aufgrund von Toleranzen, insbesondere der Kraftstoffzumesseinheit **30** entstehen Abweichungen zwischen der gewünschten Einspritzmenge und der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge. Dabei messen die einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine in der Regel bei gleichem Ansteuersignal unterschiedliche Kraftstoffmengen zu. Diese Streuungen zwischen den einzelnen Zylindern werden üblicherweise mit einer Mengenausgleichsregelung (MAR) ausgeregelt. Eine solche Mengenausgleichsregelung ist schematisch im oberen Teil der **Fig. 2** dargestellt. Zur Mengenausgleichsregelung ist jedem Zylinder der Brennkraftmaschine ein Regler zugeordnet. So ist dem ersten Zylinder der erste Regler **171**, dem zweiten Zylinder der zweite Regler **172**, dem dritten Zylinder der dritte Regler **173** und dem vierten Zylinder der vierte Regler **174** zugeordnet. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass lediglich ein Regler vorgesehen ist, der abwechselnd den einzelnen Zylindern zugeordnet ist. Mittels des Sensors **125** und des Geberrades **120** bestimmt die erste Synchronisation **150** einen Sollwert und einen Istwert für jeden ein-

zelnen Regler. Dabei ist vorgesehen, dass zum Ausgleich von Toleranzen des Geberrades und zur Kompensation von Torsionsschwingungen eine spezielle Filterung des Signals des Sensors **125** erfolgt. Die Ausgangssignale der Regler **171** bis **174** werden einer zweiten Synchronisation **155** zugeführt, die eine Korrekturmenge QKM bereitstellt, mit dem der Mengenwunsch QKW korrigiert wird.

[0032] Diese Mengenausgleichsregelung ist so ausgebildet, dass die Regler, die den einzelnen Zylindern zugemessene Menge auf einen gemeinsamen Mittelwert regeln. Misst ein Zylinder aufgrund von Toleranzen eine erhöhte Kraftstoffmenge zu, so wird für diesen Zylinder eine negative Kraftstoffmenge QKM zur Fahrerwunschs-menge QKW hinzuaddiert. Misst ein Zylinder zu wenig Kraftstoffmenge zu, so wird eine positive Kraftstoffmenge QKM zur Fahrerwunschs-menge QKW hinzuaddiert. Bei solchen Mengenfehlern tritt eine Drehungleichförmigkeit auf. Diese wirkt sich dahingehend aus, dass dem Drehzahlsignal Schwingungen überlagert sind deren Frequenz der Nockenwellenfrequenz und/oder Vielfachen der Nockenwellenfrequenz entsprechen. Diese Anteile im Drehzahlsignal mit Nockenwellenfrequenz charakterisieren die Drehungleichförmigkeit und werden durch die Mengenausgleichsregelung auf Null ausgegelt.

[0033] Mengenmittelwertfehler können mit dieser Mengenausgleichsregelung nicht korrigiert werden. Insbesondere können Fehler, die darauf beruhen, dass unterhalb der genannten Mindestansteuerdauer kein Kraftstoff zugemessen wird, mit einer solchen Mengenausgleichsregelung nicht korrigiert werden.

[0034] In der **Fig. 3** ist nun ein typisches Einspritzmuster, bestehend aus einer Voreinspritzung und einer Haupteinspritzung, schematisch dargestellt. Das obere Diagramm zeigt die Ansteuerung eines Injektors, wobei die Stromregelung vernachlässigt ist. Das untere Diagramm zeigt den aus der genannten Ansteuerung resultierenden zeitlich verzögerten Kraftstoffstrom durch die Injektordüse. Die Flächen unter den jeweiligen Kurven des Kraftstoffstroms entsprechen dabei der jeweils eingespritzten Kraftstoffmenge.

[0035] Das erfindungsgemäße Kalibrierverfahren weist nun die bereits genannten zwei Arbeitsphasen bzw. Betriebsmodi auf:

- „Lernmodus“: Ermitteln des Korrekturwerts durch Stimulation des Einspritzmusters und Ausregeln der Drehzahlschwingung
- „Anwendungsmodus“: Aufsteuern des ermittelten Korrekturwerts im normalen Motorbetrieb

[0036] Im Modus „Lernen“ lagert das erfindungsgemäße Verfahren jeweils für einen Zylinder und mit

halber Nockenwellenfrequenz die Voreinspritzmenge zwischen der Voreinspritzung und der Haupteinspritzung bevorzugt zyklisch wiederkehrend um. Ein solcher Umlagerungszyklus wiederholt sich bevorzugt mehr als einmal, kann im einfachsten Fall aber auch nur durch einen einzigen Zyklus, d.h. eine einzelne Umlagerung, realisiert werden, da bereits ein einzelner Zyklus eine genannte Drehzahlschwingung zu verursachen vermag.

[0037] Es ist hervorzuheben, dass das hierin beschriebene Einspritzmuster der Umlagerung einer Voreinspritzung in Bezug auf eine Haupteinspritzung nur beispielhaft ist und grundsätzlich auch andere Einspritzmuster vorstellbar sind, mittels derer eine genannte Drehzahlschwingung angeregt werden kann. So kann, an Stelle einer Voreinspritzung, eine Nacheinspritzung entsprechend umgelagert werden oder ein noch komplexeres „Umlagerungsmuster“, bei dem mehr als eine Teileinspritzung umgelagert wird, erzeugt werden.

[0038] In dem in der **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel wird die für die Voreinspritzung vorgesehene Kraftstoffmenge **300** im Wechsel als Kraftstoffmenge **305** an die Haupteinspritzung **310** aufgesteuert. Es versteht sich allerdings, dass auch andere Formen der Umlagerung möglich sind, wie bspw. das Umlagern der Kraftstoffmenge einer Voreinspritzung mit einer von der Haupteinspritzung zeitlich getrennten Nacheinspritzung.

[0039] Bei der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass nur in Fällen, in denen die bei der zyklischen Umlagerung physikalisch abgesetzten Kraftstoffmengen **300**, **305** gleich sind, keine Drehzahlschwingung auftritt. Wie aber bereits anhand der **Fig. 1** beschrieben wurde, kann es vorkommen, dass die elektrisch betätigten Ventile der Injektoren bei gleichem Ansteuersignal unterschiedliche Kraftstoffmengen zumessen. Daher ist bei übereinstimmender Ansteuerdauer nicht automatisch gewährleistet, dass die beiden Kraftstoffmengen **300** und **305** übereinstimmen. Auch bei gedrifteten Injektoren bzw. nicht eingelerntem Kalibrierverfahren sind die Kraftstoffmengen **300**, **305** naturgemäß ungleich und es treten die eingangs beschriebenen Drehzahlschwingungen auf. Regelziel des Kalibrierverfahrens ist es daher, diese Drehzahlschwingungen auf ein Minimum auszuregulieren. Die Stellgröße dafür ist ein Korrekturingriff auf die Ansteuerdauer der Voreinspritzung **300**.

[0040] Es versteht sich, dass das erfindungsgemäße Konzept nicht nur auf die Kalibrierung Voreinspritzungen anwendbar ist sondern grundsätzlich auf die Kalibrierung von Teileinspritzungen, welche zusätzlich zu einer Haupteinspritzung durchgeführt werden, also beispielsweise auch auf Nacheinspritzungen oder dergleichen.

[0041] In der **Fig. 4** ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung anhand eines kombinierten Fluss-/Blockdiagramms dargestellt, mittels dessen die Zylinder der Brennkraftmaschine individuell kalibriert werden können.

[0042] In Schritt oder Block **600** erfolgt zunächst das bereits beschriebene erfindungsgemäße Einstellen eines Einspritzmusters sowie die Vorgabe einer Raildrucks im Falle eines Common-Rail-Einspritzsystems. Mit der gestrichelten Linie **605** sind nun bevorzugte Schritte zur genannten Berechnung des Drehmoments aus einem Drehzahlsignal umrandet, welche in der bereits zitierten Voranmeldung DE 10 2006 056 708 in größerem Detail beschrieben sind und welche hier nur in einer der vorliegenden Erfindung notwendigen Tiefe beschrieben werden.

[0043] Für ein vorgegebenes Einspritzmuster (d.h. Verbrennung mit oder ohne Voreinspritzung) wird in Block/Schritt **610** zunächst ein aktuelles Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine erfasst oder ggf. aus einem Steuergerät ausgelesen. In Block/Schritt **615** erfolgt eine Eliminierung oder Kompensation von Quereinflüssen an dem vorliegenden Drehzahlsignal, wie bspw. der Einfluss eines „geschleppten“ Motorverhaltens, der Einfluss oszillierender Massen oder der Einfluss einer Torsion der Kurbelwelle. Auf diesen Einflussfaktoren basierend wird nun in Block/Schritt **620** ein Differenz-Drehmomentverlauf der Verbrennung ermittelt bzw. rekonstruiert und aus diesem Differenzverlauf in Block/Schritt **625** ein mittleres, indiziertes Moment berechnet.

[0044] In Block/Schritt **630** werden bei den wenigstens zwei verschiedenen Einspritzmustern sich ergebenden Drehmomentverläufe verglichen und in Block/Schritt **635** die Ansteuerdauer der Teileinspritzung so lange verändert, bis die wenigstens zwei Drehmomentverläufe möglichst gleich oder sogar identisch sind. Es ist anzumerken, dass an Stelle des Vergleichs der Verbrennungsmomentverläufe auch geeignete Merkmale dieses Verlaufs wie bspw. ein mittleres Moment, die Verbrennungslage oder das Maximalmoment für den Vergleich herangezogen werden können.

[0045] Alternativ zum beschriebenen Vergleich von Drehmomentverläufen in Block/Schritt **630** können auch Größen oder Merkmale wie Inkrementzeiten von Geberradinkrementen eines an der Brennkraftmaschine vorgesehenen Geberrads oder das resultierende Gesamtmoment, ggf. inklusive eines Kompressionsmoments, herangezogen werden. Auch können Segment- oder Teilsegmentzeiten des genannten Geberrads verwendet werden. Es ist hervorzuheben, dass die genannten Größen dem jeweiligen zu kalibrierenden Zylinder zugeordnet sind und somit direkt miteinander (in der beschriebenen Weise) verglichen werden können.

[0046] Es kann auch vorgesehen sein, dass die Ergebnisse eines Kalibrierzyklus' aus Block/Schritt **630**, d.h. die Ergebnisse aus 2 Umdrehungen der Kurbelwelle, in an sich bekannter Weise gefiltert werden, um das Rauschen zu verringern.

[0047] Ferner kann aus dem gemessenen Drehzahl-signal, bevorzugt aus einzelnen Zahnzeiten eines 60-2-Geberrads, und zwar für den gerade zu kalibrierenden Zylinder, ein Merkmal berechnet werden, welches eine Information über die Differenz der umgesetzten physikalischen Energie oder Arbeit zwischen der Einfach- und Mehrfacheinspritzung beinhaltet. Dazu wird die Energie des Kurbelwellensystems zu jeweils einem ausgewählten Zeitpunkt bzw. Kurbelwellenwinkel φ vor und nach der Verbrennung des betreffenden Zylinders aus dem Drehzahl-signal berechnet und daraus die Differenz berechnet.

[0048] Dieser Differenzwert stellt ein Maß für die durch die jeweilige Verbrennung umgesetzte physikalische Energie bzw. Arbeit dar. Dieser Wert kann in die Einheit ‚Pmi‘ (indizierter Mitteldruck, engl. IMEP) umgerechnet werden. Die Einspritzmengen zweier solcher Einspritzmuster sind dann gleichgestellt, wenn die Energiemerkmale identisch sind, d.h. die entsprechende Differenz gleich Null ist. Hierzu ist es vorteilhaft, bei der Ermittlung der Energie bzw. Arbeit eine Mittelung über eine bestimmte Anzahl an Einspritzungen durchzuführen, um das Rauschen zu unterdrücken. Ein weiterer Vorteil des hier berechneten Merkmals in Form der Pmi-Differenz liegt darin, dass dieser Differenzwert physikalisch gut interpretierbar ist und die Anpassung der Einspritzmenge, d.h. die Ausregelung dieser Differenz, wesentlich schneller erfolgen kann.

[0049] Im Ergebnis der in der **Fig. 4** gezeigten Blöcke bzw. Schritte liegt dann eine Kalibrierung der Einspritzmenge der Teileinspritzung vor.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung der Einspritzmenge wenigstens einer zusätzlich zu einer Haupteinspritzung (310) vorgesehenen Teileinspritzung (300) in einem Einspritzsystem (30) einer Brennkraftmaschine (10), **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Korrekturwert für die Teileinspritzung (300) in einen einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine durch Stimulation wenigstens zweier Einspritzmuster ermittelt wird, wobei aus dem Drehzahl-signal der Brennkraftmaschine Werte für den Drehmomentverlauf ermittelt werden, und dass durch Vergleich des Drehmomentverlaufs einer Verbrennung mit einer Einfach-einspritzung und einer Verbrennung mit einer die Teileinspritzung (300) umfassenden Mehrfacheinspritzung festgestellt wird, ob die Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) von einem vorgegebenen Wert abweicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Drehzahl-signal der Brennkraftmaschine Werte für die bei einer Einfach-einspritzung und einer die Teileinspritzung (300) umfassenden Mehrfacheinspritzung jeweils umgesetzte physikalische Energie und/oder Arbeit ermittelt werden und durch Vergleich der sich dabei ergebenden Werte dieser physikalischen Größen festgestellt wird, ob die Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) von einem vorgegebenen Wert abweicht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die physikalische Energie und/oder Arbeit aus dem zeitlichen Verlauf des Drehzahl-signals berechnet wird, welcher Informationen über die Differenz der umgesetzten Energie bzw. Arbeit der Einfach-einspritzung und der Mehrfacheinspritzung liefert.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dauer der Teileinspritzung (300) so lange variiert wird, bis die bei den wenigstens zwei Einspritzmustern resultierenden Drehmomente und/oder die resultierenden Werte der physikalischen Energie bzw. Arbeit gleich oder möglichst gleich groß sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den einzelnen Zylinder mit einem Bruchteil der Nockenwellenfrequenz, bevorzugt mit einer Nockenwellenfrequenz $(n + \frac{1}{2})$, wobei $n = 0, 1, 2, \dots$ ist, eine vorgegebene Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) zwischen einer Voreinspritzung oder Nacheinspritzung und einer Haupteinspritzung (310) umgelagert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kalibrierung in wenigstens zwei Arbeitsphasen erfolgt, wobei in der ersten Arbeitsphase ein Korrekturwert eines Zylinders durch die genannte Stimulation der wenigstens zwei Einspritzmuster und die genannte Auswertung der resultierenden Drehmomentverläufe und/oder der resultierenden Werte der Energie bzw. Arbeit ermittelt wird und wobei der so ermittelte Korrekturwert im Betrieb der Brennkraftmaschine auf eine aktuell vorliegende Steuergröße der Voreinspritzung aufgesteuert wird.

7. Vorrichtung, insbesondere Steuergerät, zur Kalibrierung der Einspritzmenge einer zusätzlich zu einer Haupteinspritzung (310) vorgesehenen Teileinspritzung (300) in einem Einspritzsystem (30) einer Brennkraftmaschine (10), **gekennzeichnet durch** Rechenmittel oder Steuermittel zur Ermittlung eines Korrekturwertes für die Teileinspritzung (300) in einen einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine (10) auf der Grundlage einer Stimulation wenigstens zweier Einspritzmuster, wobei eine aus einem Drehzahl-

signal der Brennkraftmaschine ermittelte Werte für den Drehmomentverlauf zugrunde gelegt wird, und dass das Rechenmittel oder Steuermittel eine Verbrennung mit einem ersten Einspritzmuster mit einer Einfacheinspritzung und eine Verbrennung mit einem zweiten Einspritzmuster mit einer die Teileinspritzung (300) umfassenden Mehrfacheinspritzung stimulieren und anhand von aus dem Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine ermittelten Werten für den Drehmomentverlauf bei den beiden stimulierten Einspritzmustern feststellen, ob die Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) von einem vorgegebenen Wert abweicht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass besagte Rechenmittel oder Steuermittel eine Verbrennung mit einem ersten Einspritzmuster mit einer Einfacheinspritzung und eine Verbrennung mit einem zweiten Einspritzmuster mit einer die Teileinspritzung (300) umfassenden Mehrfacheinspritzung stimulieren und anhand von aus dem Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine ermittelten Werten für die bei den beiden stimulierten Einspritzmustern jeweils umgesetzte physikalische Energie und/oder Arbeit feststellen, ob die Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) von einem vorgegebenen Wert abweicht.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass besagte Rechen- oder Steuermittel die Dauer der Teileinspritzung (300) so lange variieren, bis die bei den wenigstens zwei Einspritzmustern resultierenden Werte des Drehmoments und/oder der physikalischen Energie bzw. Arbeit gleich oder möglichst gleich groß sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass besagte Rechen- oder Steuermittel für den einzelnen Zylinder eine vorgegebene Einspritzmenge der Teileinspritzung (300) mit einem Bruchteil der Nockenwellenfrequenz, bevorzugt mit einer Nockenwellenfrequenz $(n + \frac{1}{2})$, wobei $n = 0, 1, 2, \dots$ ist, zwischen einer Voreinspritzung oder Nacheinspritzung und einer Haupteinspritzung (310) umlagern.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass besagte Rechen- oder Steuermittel zwei Arbeitsphasen bereitstellen, wobei in der ersten Arbeitsphase ein Korrekturwert eines Zylinders durch die genannte Stimulation der wenigstens zwei Einspritzmuster und durch die genannte Auswertung der resultierenden Drehmomentverläufe und/oder Energie bzw. Arbeit ermittelt wird und wobei der so ermittelte Korrekturwert im Betrieb der Brennkraftmaschine auf eine aktuell vorliegende Steuergröße der Voreinspritzung aufgesteuert wird.

12. Brennkraftmaschine mit einem Steuergerät nach einem der Ansprüche 7 bis 11.

13. Computerprogramm mit Programmcode zur Durchführung aller Schritte nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wenn das Programm in einem Computer oder einem Steuergerät der Brennkraftmaschine ausgeführt wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

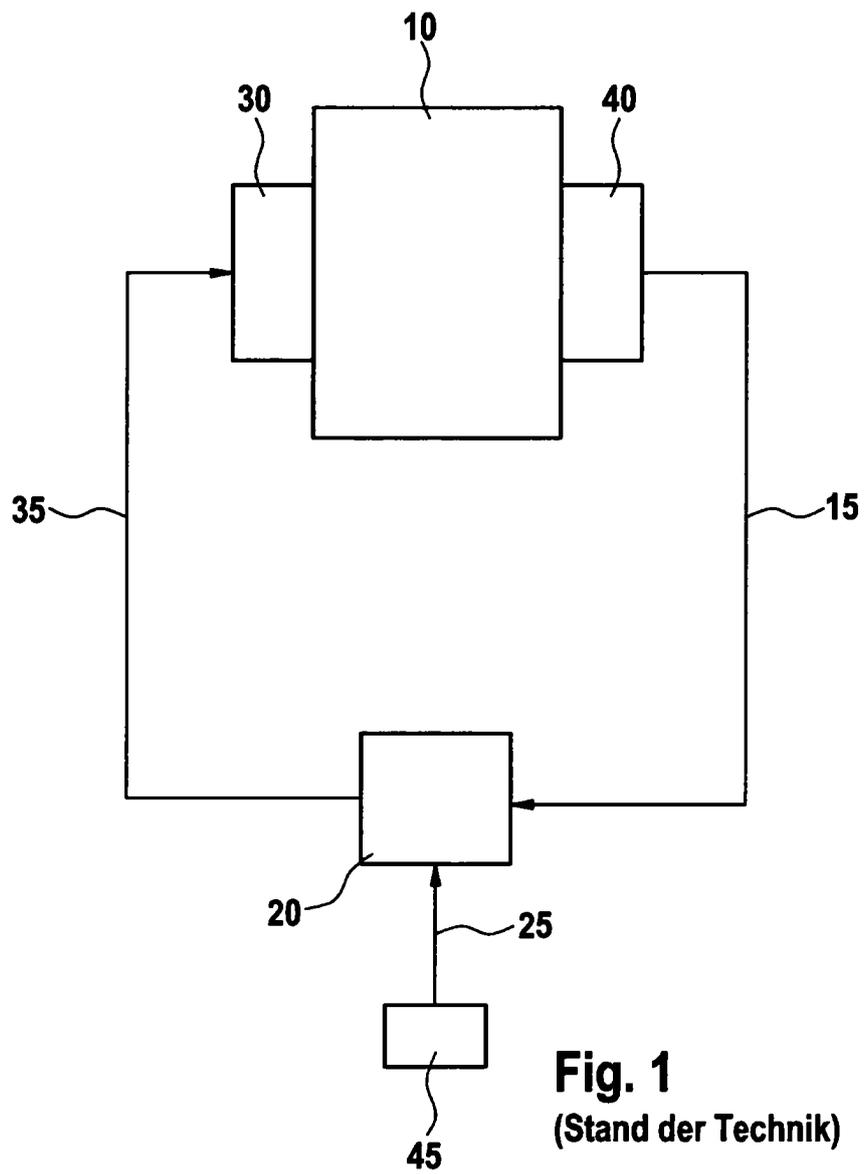


Fig. 1
(Stand der Technik)

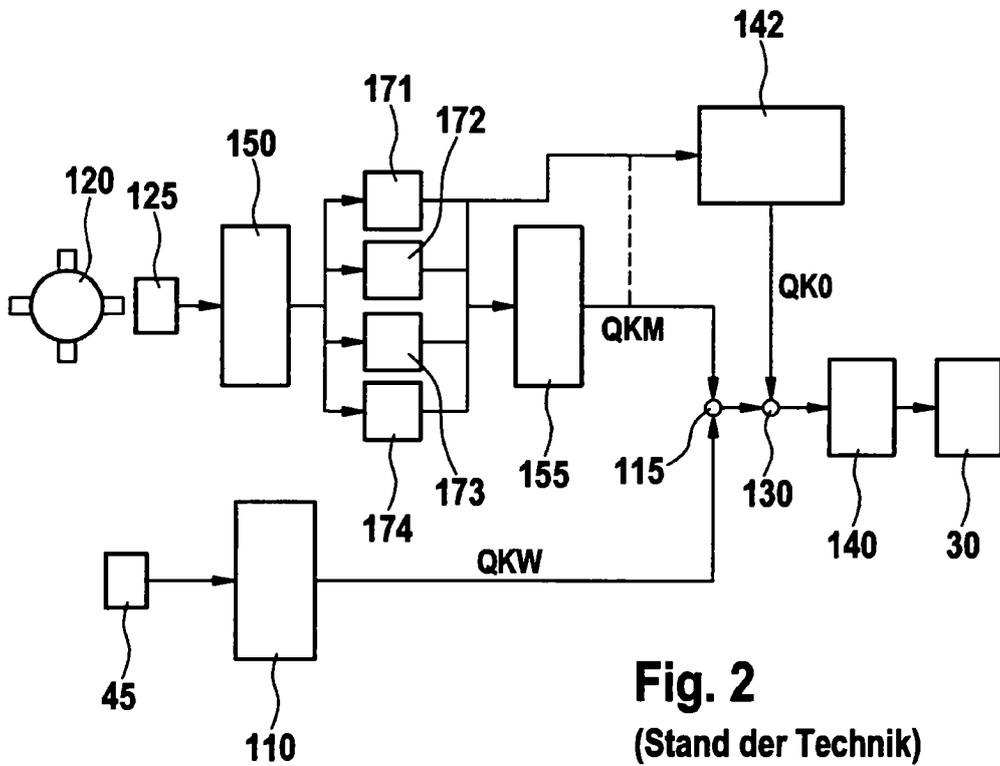


Fig. 2
(Stand der Technik)

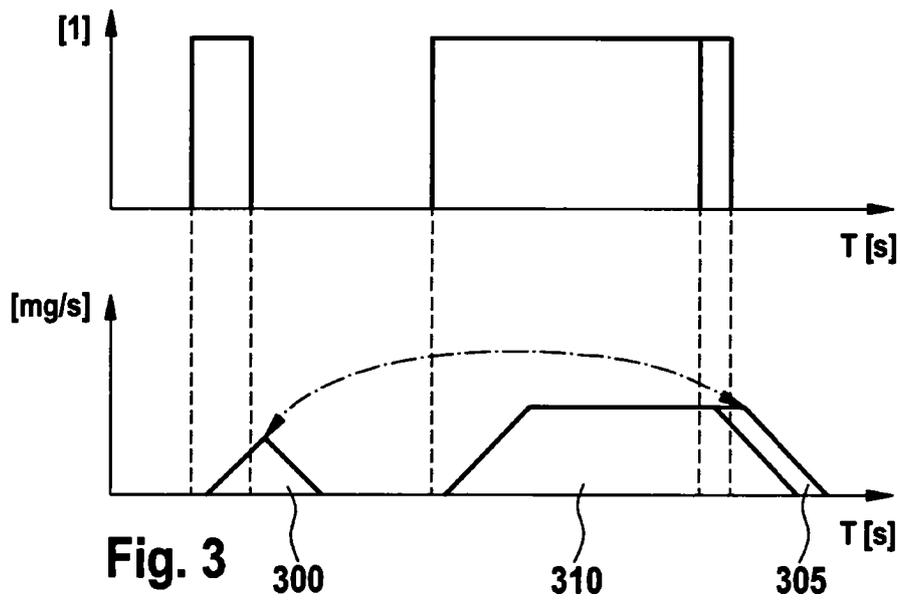


Fig. 3
300

310

305

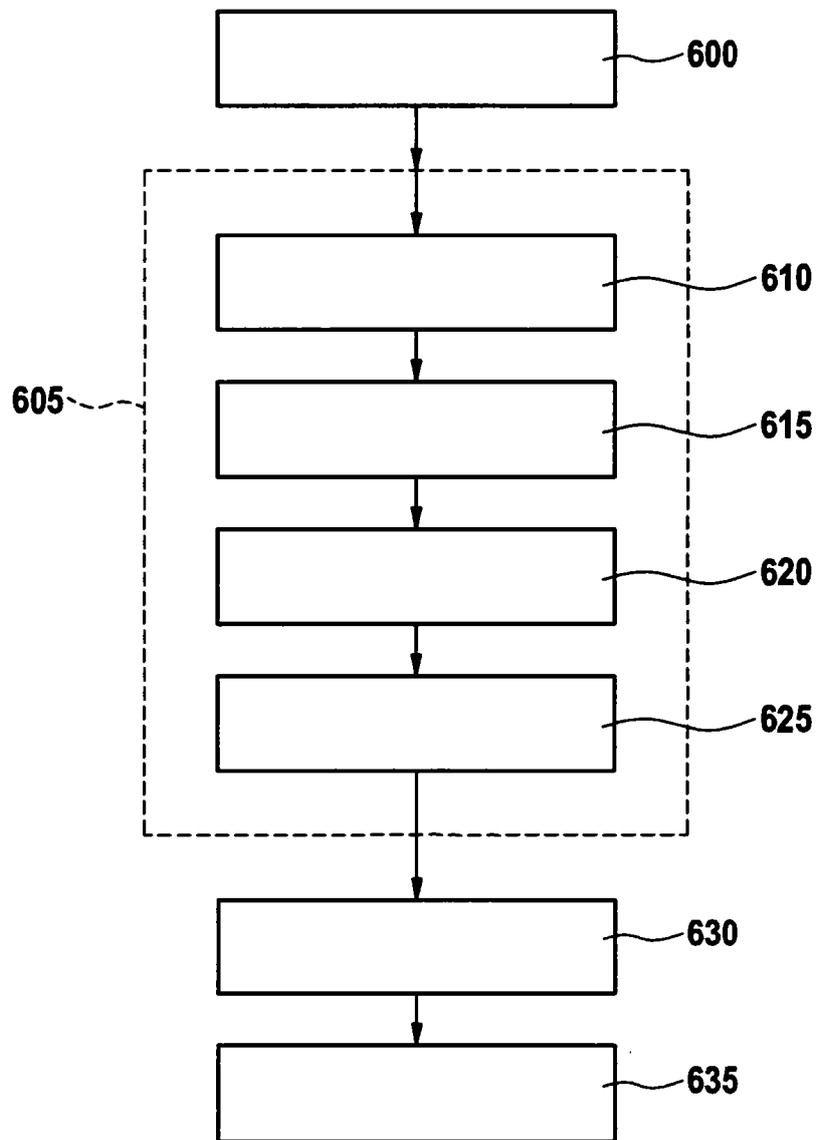


Fig. 4