



(10) DE 10 2011 077 698 B4 2022.08.25

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 077 698.2

(51) Int Cl.: F02D 41/00 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 17.06.2011

F02D 41/38 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 20.12.2012

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 25.08.2022

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).

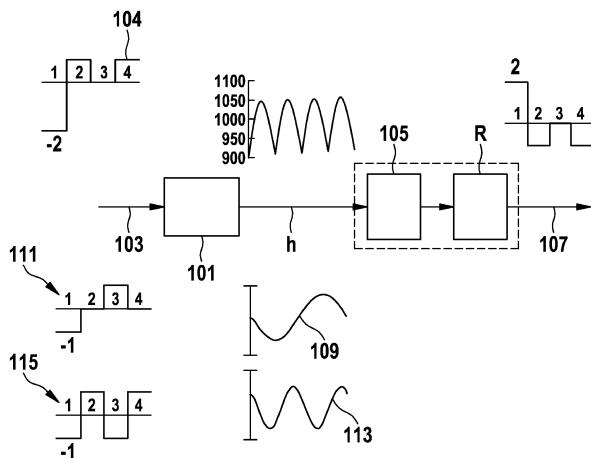
(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

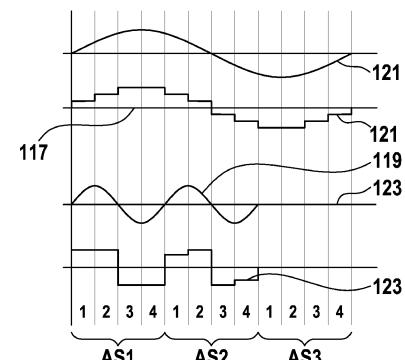
DE 195 27 218 B4

(72) Erfinder:
**Skala, Peter, 71732 Tamm, DE; Woite, Armin,
70499 Stuttgart, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Regelung der Laufruhe einer Brennkraftmaschine**



(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Regelung der Laufruhe einer Brennkraftmaschine (101) bei der die Laufruhe der Brennkraftmaschine durch zylinderindividuelle Anpassung der eingespritzten Kraftstoffmenge geregelt wird, wobei ein Drehzahlsensor (125) ein hochauflöstes Drehzahlsignal (TS) der Brennkraftmaschine bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufruhe der Brennkraftmaschine über mindestens zwei Arbeitsstile (AS) geregelt wird, und dass jedem Zylinder (1, 2, 3, 4, 5, 6) für jedes Arbeitsspiel (AS) ein eigener Regler (R1.1, R2.1, ..., R3.2, ..., R5.3, R6.3) zugeordnet ist.



Beschreibung**Stand der Technik**

[0001] Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen, wie zum Beispiel einem Dieselmotor oder einem Ottomotor mit Direkteinspritzung, verfügt jeder Zylinder über einen eigenen Injektor, der den Kraftstoff in den zu dem Zylinder gehörenden Brennraum einspritzt. Diese Injektoren werden in Großserien gefertigt und weisen herstellungsbedingt Toleranzen auf, die dazu führen, dass trotz gleicher Ansteuerung unterschiedliche Kraftstoffmengen in die verschiedenen Brennräume eingespritzt werden.

[0002] Dies führt dazu, dass die verschiedenen Zylinder der Brennkraftmaschine trotz gleicher Ansteuerung ein unterschiedliches Drehmoment abgeben, was zu einem unruhen Motorlauf führt. Außerdem kann sich das Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine verschlechtern. Daher ist es bekannt, eine Laufruheregelung zu implementieren, die auf der Basis von Drehzahlschwankungen während eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine die Differenzen der eingespritzten Kraftstoffmenge zwischen den Zylindern ausregelt. Ein Beispiel für eine solche Laufruheregelung ist die DE 195 27 218 B4, auf die hiermit Bezug genommen wird.

[0003] Bei dieser Laufruheregelung können Drehmomentschwankungen und daraus resultierende Änderungen der Drehzahl der Kurbelwelle innerhalb eines Arbeitsspiels ausgeglichen, wenn sich die Fehlermuster beziehungsweise die Drehzahlschwankungen innerhalb eines Arbeitsspiels wiederholen. Als Arbeitsspiel wird im Zusammenhang mit der Erfindung die Aufeinanderfolge aller Arbeitstakte einer Brennkraftmaschine bezeichnet. Ein Arbeitsspiel (AS) entspricht einem Kurbelwellenwinkel (KVWV) von 720° , wenn die Brennkraftmaschine nach dem Viertaktverfahren arbeitet, und einem Kurbelwellenwinkel (KWN) von 360° , wenn die Brennkraftmaschine nach dem Zweitaktverfahren arbeitet.

[0004] Mit der oben genannten Laufruheregelung ist es nicht möglich, Effekte auszuregeln, welche die Laufruhe über mehr als ein Arbeitsspiel beeinflussen. Solche Effekte werden nicht durch die Toleranzen der Injektoren hervorgerufen, sondern werden von anderen Bauteilen oder Baugruppen der Brennkraftmaschine verursacht. Sie können zum Beispiel bei einem 3-ZylinderMotor ohne Ausgleichswelle oder einem ungünstigen Übersetzungsverhältnis zwischen der Kraftstoffhochdruckpumpe und der Kurbelwelle auftreten.

[0005] Dabei kann die Kraftstoffhochdruckpumpe der Brennkraftmaschine zwei Momenteneinflüsse aufprägen: Erstens hat die Kraftstoffhochdruckpumpe unmittelbar einen Drehmomentbedarf im För-

derhub des oder der Pumpenelemente. Dies führt dazu, dass während des Förderhubs der Kraftstoffhochdruckpumpe weniger Leistung an der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine zur Verfügung steht. Infolgedessen nimmt die Drehgeschwindigkeit der Kurbelwelle ab.

[0006] Zweitens verursacht der Förderhub der Kraftstoffhochdruckpumpe im nachgeschalteten Rail Druckschwingungen, die im Laufe der Zeit abklingen. Dies bedeutet, dass der Druck im Rail zeitlich nicht konstant ist, so dass der Raildruck zu den Einspritzzeitpunkten der verschiedenen Injektoren unterschiedlich ist. In Folge dessen werden, trotz gleicher Einspritzdauer, unterschiedliche Kraftstoffmengen eingespritzt, so dass die Drehmomenterzeugung der verschiedenen Zylinder nicht gleich ist.

[0007] Des Weiteren können auch andere Nebenaggregate der Brennkraftmaschine, wie zum Beispiel der Kompressor eine Klimaanlage, Drehmomentschwankungen oder Drehzahlschwankungen der Kurbelwelle verursachen. Wenn sich die Periode der Drehzahlschwankungen über mehrere Arbeitsspiele erstreckt, werden die Drehzahlschwankungen vom Nutzer eines Kraftfahrzeugs als sehr unangenehm empfunden, weil es sich um niederfrequente Schwankungen handelt. Außerdem wird die Güte des Verbrennungsablaufs beeinträchtigt.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung der Laufruhe einer Brennkraftmaschine ist in der Lage, Muster von Drehzahlschwankungen, die sich über mehrere Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine erstrecken, zu erkennen und durch eine Kompensation der Einspritzmengen der Zylinder über mehrere Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine zu eliminieren. Dadurch verbessern sich die Laufruhe der Brennkraftmaschine und das Komfortempfinden der Fahrzeuginsassen.

[0009] Erfindungsgemäß ist dazu vorgesehen, dass die Laufruhe der Brennkraftmaschine durch eine zylinderindividuelle Anpassung der eingespritzten Kraftstoffmenge geregelt wird, wobei die Laufruhe über mindestens zwei Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine geregelt wird und jedem Zylinder für jedes Arbeitsspiel ein gesonderter Regler zugeordnet ist.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es also beispielsweise bei einem Muster von Drehzahlschwankungen, das sich über zwei Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine erstreckt, dem ersten Zylinder der Brennkraftmaschine im ersten Arbeitsspiel eine andere Kraftstoffmenge zuzumessen als beim zweiten Arbeitsspiel, bei sonst gleichen Betriebsbedingungen. Diese Steuerung kann für jeden Zylinder

der Brennkraftmaschine und jedes Arbeitsspiel durchgeführt werden. So sind beispielsweise bei einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern und einem Muster der Laufunruhe, das sich über drei Arbeitsspiele erstreckt, insgesamt 3 x 6 Regler (in Worten: 18 Regler) für die insgesamt 6 Injektoren der Brennkraftmaschine vorgesehen.

[0011] Somit ist es möglich auch sehr niederfrequente Laufunruhemuster zu kompensieren und somit diese als sehr unangenehm und störend empfundenen Laufunruhemuster wirkungsvoll zu kompensieren. Dadurch wird die Laufruhe einer mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betriebenen Brennkraftmaschine deutlich verbessert.

[0012] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Drehzahlsensor ein hoch aufgelöstes Drehzahlsignal der Brennkraftmaschine bereitstellt, dass aus diesem Drehzahlsignal jedem Zylinder der Brennkraftmaschine für das erste Arbeitsspiel eine erste Regelabweichung zugeordnet wird, dass ein erster Satz von Reglern in Abhängigkeit der ersten Regelabweichungen einen zylinderspezifischen Stellwert vorgibt, dass aus dem Drehzahlsignal jedem Zylinder der Brennkraftmaschine für das zweite Arbeitsspiel eine zweite Regelabweichung zugeordnet wird und dass ein zweiter Satz von Reglern in Abhängigkeit der zweiten Regelabweichung einen zylinderspezifischen Wert vorgibt. Selbstverständlich sind diese Regler in aller Regel mittels Software im Motorsteuergerät implementiert.

[0013] Dadurch, dass die Zylinder der Brennkraftmaschine im ersten Arbeitsspiel und im zweiten Arbeitsspiel gesondert geregelt werden, ist es möglich, die Laufunruhemuster, die sich über zwei Arbeitsspiele erstrecken, zu kompensieren. Dieses erfindungsgemäße Vorgehen kann selbstverständlich auch bei Laufunruhemustern, die sich über drei oder mehr Arbeitsspiele erstrecken, angewandt werden. Dann werden entsprechend der Zahl der Zylinder und der Zahl der Arbeitsspiele noch mehrere Regler hinzugefügt. Beispielsweise werden bei einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern und einem Laufunruhemuster, das sich über drei Arbeitsspiele erstreckt, insgesamt achtzehn Regler benötigt. Damit ist es möglich, für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine und in jedem Arbeitsspiel gesondert zu regeln beziehungsweise zu steuern.

[0014] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren bei niedrigeren Drehzahlen der Brennkraftmaschine eingesetzt wird, da sich diese Laufunruhemuster bei niedrigen Drehzahlen besonders störend sind. Als Anhaltswert hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren bei Drehzahlen kleiner als die doppelte Leerlaufdrehzahl eingesetzt wird. Oberhalb die-

ser Drehzahl sind diese Laufunruhemuster für die Fahrzeuginsassen nicht mehr wahrnehmbar, so dass auf eine Ausregelung dieser Laufunruhemuster verzichtet werden kann.

[0015] Um Laufunruhemuster erkennen zu können, die sich über mehr als ein Arbeitsspiel erstrecken, ist vorgesehen, dass das Drehzahlsignal durch eine Filtereinrichtung, bevorzugt einen Bandpassfilter, eine diskrete Fouriertransformation und ihre Inverse und/oder die Bewertung eines Laufunruheterms im Zeitbereich aufbereitet wird.

[0016] Bandpassfilter lassen hauptsächlich ihre sogenannte Mittenfrequenz durch und sperren andere Frequenzen. Die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Mittenfrequenzen der Bandpassfilter müssen bei jeder Applikation neu festgelegt werden. Sie hängen zum Beispiel von der Zylinderzahl der Brennkraftmaschine und vom Übersetzungsverhältnis der Kraftstoffhochdruckpumpe, bezogen auf die Kurbelwellendrehzahl, ab.

[0017] In aller Regel ist es vorteilhaft, wenn die bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzten Bandpassfilter so parametriert werden, dass folgende Frequenz-Anteile eines Drehwinkelsensors die Bandpassfilter passieren können.

[0018] Frequenzen, die gleich oder niedriger als die Kurbelwellenfrequenz sind. In der Regel sind mindestens die Frequenz der Ordnung 1 (entsprechend der Drehzahl der Brennkraftmaschine) und die Frequenz der Ordnung 0,5 (entsprechend der Drehzahl der Nockenwelle) notwendig.

[0019] Da das erfindungsgemäße Verfahren deaktiviert wird, wenn die Drehzahl der Brennkraftmaschine größer als ein vorgegebener Grenzwert ist, und eine herkömmliche Laufruheregelung, wie sie beispielsweise aus der DE 195 27 218 B4 eingesetzt wird, auch bei höheren Drehzahlen durchgeführt wird, ist es vorteilhaft, wenn der Übergang von dem erfindungsgemäßen Verfahren zu einer herkömmlichen Laufruheregelung dadurch erfolgt, dass die Mittelwerte aller einem Zylinder zugeordneten Regler dem jeweiligen Regler für das erste Arbeitsspiel zugeordnet werden und/oder die Parameter der Filtereinrichtungen, insbesondere die Verstärkungen der Bandpassfilter, auf Null gesetzt werden. Der umgekehrte Weg, nämlich der Übergang von einer herkömmlichen Laufruheregelung bei höheren Betriebsdrehzahlen der Brennkraftmaschine zu dem erfindungsgemäßen Verfahren bei niedrigen Drehzahlen der Brennkraftmaschine, erfolgt Vorteilhafterweise dadurch, dass alle einem Zylinder zugeordneten Regler mit dem jeweiligen aktuellen Wert des ersten Arbeitsspiels initialisiert und/oder die Parameter der Filtereinrichtungen, insbesondere die Verstär-

kungen der Bandpassfilter, auf die applizierten Werte gesetzt werden.

[0020] Die Vorrichtung zur Regelung der Laufruhe einer Brennkraftmaschine, umfassend mehrere Regler zur zylinderindividuellen Ansteuerung der Injektoren einer Brennkraftmaschine, wobei die Zahl der Regler mindestens gleich dem Produkt aus der Zahl der Zylinder und der Zahl der Arbeitsspiele, über die sich das Laufunruhemuster erstreckt, ist. Damit die Brennkraftmaschine bei höheren Betriebsdrehzahlen auch noch mit einer herkömmlichen Laufruheregelung arbeiten kann, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass zusätzlich noch ein Satz von Reglern für die Regelung der Laufruhe eines Arbeitsspiels vorgesehen ist. Die herkömmliche Laufruheregelung über ein Arbeitsspiel kann somit immer aktiv sein.

[0021] Zur Realisierung der Erfindung auf Rechnern ist ein entsprechendes Computerprogramm oder ein entsprechendes Speichermedium für ein Computerprogramm sinnvoll.

[0022] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar.

[0023] Alle in der Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen beschriebenen Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Figurenliste

[0024] Es zeigen:

Fig. 1 die Drehzahl einer Brennkraftmaschine über drei Arbeitsspiele im Zeitbereich;

Fig. 2 die Wirkkette der erfindungsgemäßen Regelung im Frequenzbereich;

Fig. 3 die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehenen Reglerstruktur; und

Fig. 4 die Reglerstruktur bei einer erfindungsgemäßen Laufruheregelung zusammen mit einer Laufruheregelung nach dem Stand der Technik.

[0025] In der **Fig. 1** ist exemplarisch für eine Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern und der Zündfolge 1 5 3 6 2 4 der Zünd-OT über dem Kurbelwellenwinkel [KWW] in Grad aufgetragen.

[0026] Unterhalb dieses ersten Diagramms ist auf der Ordinate für ein erstes Arbeitsspiel AS1, ein zweites Arbeitsspiel AS2 und ein drittes Arbeitsspiel AS3 die Ist-Drehzahl n_{ist} der Brennkraftmaschine aufgetragen. Als gestrichelte Linie ist die Soll-Dreh-

zahl n_{soll} aufgetragen. **Fig. 1** ist somit eine Darstellung im Zeitbereich.

[0027] Wenn man nun zum Beispiel für den Zylinder 5, der bei einem Kurbelwellenwinkel von 120° seinen Zünd-OT hat, im Arbeitsspiel AS1 die Ist-Drehzahl mit der Soll-Drehzahl vergleicht, wird deutlich, dass sich die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine zu diesem Zeitpunkt etwas zu schnell dreht. Dadurch ergibt sich für den Zylinder 5 eine Regelabweichung im ersten Arbeitsspiel AS1, die in der **Fig. 1** als L5.1 bezeichnet ist. Entsprechendes gilt für die Regelabweichung L3.1, die im ersten Arbeitsspiel bei einem Kurbelwellenwinkel von 240° ansteht. Für das erste Arbeitsspiel AS1 lässt sich nun für jeden Kurbelwellenwinkel, der einem Arbeitstakt eines der Zylinder 1 Z1 bis Z6 entspricht, eine Regelabweichung L bestimmen.

[0028] Wie man aus der Betrachtung des Drehzahlverlaufs während des ersten Arbeitsspiels AS1 sieht, kann die Regelabweichung positiv oder negativ sein, je nachdem, ob die momentane Ist-Drehzahl der Brennkraftmaschine größer oder kleiner als die Soll-Drehzahl n_{soll} ist.

[0029] Wenn die Brennkraftmaschine das erste Arbeitsspiel AS1 abgeschlossen hat und sich die Kurbelwelle um einen Winkel von 720° gedreht hat, dann beginnt das zweite Arbeitsspiel AS2, das unterhalb des ersten Arbeitsspiels AS1 in **Fig. 1** aufgetragen wurde. Auch hier kann man für jeden Zylinder beziehungsweise für jeden Arbeitszünd-OT der Brennkraftmaschine eine momentane Regelabweichung ablesen. Im Beispiel des Zylinders 5 ist diese Regelabweichung für das zweite Arbeitsspiel mit L5.2 bezeichnet.

[0030] Entsprechendes gilt auch für die Regelabweichungen der anderen Zylinder im zweiten Arbeitsspiel. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist nicht alle Regelabweichungen im zweiten und im dritten Arbeitsspiel AS2, AS3 eingetragen.

[0031] Am Ende des zweiten Arbeitsspiels AS2, das heißt wenn die Zünd-OTs der Zylinder 4 und 1 anstehen, ist die Drehzahl gleich der Soll-Drehzahl, so dass sich keine Regelabweichung einstellt. Dieses Verhalten soll sich bei dem in **Fig. 1** dargestellten Beispiel auch in dem dritten Arbeitsspiel AS3 fortsetzen, bis kurz vor dem Zünd-OT des ersten Zylinders am Ende des dritten Arbeitsspiels wieder eine Regelabweichung L1.1 einstellt. Diese Regelabweichung L1.1 entspricht unter der Annahme, dass das Laufunruhemuster eine Periodizität von drei Arbeitsspielen hat, der ganz oben im ersten Arbeitsspiel AS1 bei einem Kurbelwellenwinkel von 0° vorhandenen Regelabweichung.

[0032] Aus der Zusammenschau der Regelabweichungen L5.1 bis L1.3 in den Arbeitsspielen AS1, AS2 und AS3 wird deutlich, dass jeder der Zylinder 1 bis 6 in jedem Arbeitsspiel AS1 bis AS3 anders angesteuert werden muss, um die mit einer Periodizität von drei Arbeitsspielen auftretenden Laufunruhemuster ausregeln zu können.

[0033] So muss der Zylinder 5 im ersten Arbeitsspiel ein geringeres Drehmoment abgeben, damit die Überdrehzahl der Brennkraftmaschine ($n_{ist} > n_{soll}$) kompensiert wird. Im zweiten Arbeitsspiel ist in dem gewählten Beispiel die Drehzahl zum Zünd-OT des Zylinders 5 noch größer als im ersten Arbeitsspiel, so dass eine noch weitergehende Reduktion der eingespritzten Kraftstoffmenge im zweiten Arbeitsspiel AS2 für den Zylinder 5 nötig ist. Im dritten Arbeitsspiel AS3 hat die Brennkraftmaschine beim Zünd-OT des fünften Zylinders genau die Soll-Drehzahl, so dass keine Regelabweichung auftritt. Daher braucht der zugehörige Regler 5.3 keine Kompensation vornehmen.

[0034] **Fig. 2** zeigt die Wirkkette des erfindungsgemäßen Verfahrens zusammen mit einer herkömmlichen Laufruheregelung schematisch im Frequenzbereich.

[0035] In einem Blockdiagramm sind die Brennkraftmaschine und der Antriebstrang mit dem Bezugszeichen 101 versehen. Als Eingangsgröße beziehungsweise Störgröße ist die eingespritzte Kraftstoffmenge (Einspritzmenge) durch einen Pfeil 103 angedeutet.

[0036] Oberhalb des Pfeils 103 sind die Einspritzmengenfehler für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine als digitale Größen (siehe das Bezugszeichen 104) schematisch dargestellt.

[0037] Im dargestellten Beispiel einer Vierzylinder-Brennkraftmaschine hat der Einspritzmengenfehler für den Zylinder 1 den Wert -2, die Korrekturmenge für den Zylinder 2 hat den Wert +1, die Korrekturmenge für den Zylinder 3 hat den Wert 0 und die Korrekturmenge für den Zylinder 4 hat den Wert +1.

[0038] Ausgangsgröße der Brennkraftmaschine 101 ist eine Kurbelwellendrehzahl n , die von einem hochauflösenden Drehwinkelsensor (nicht dargestellt) erfasst wird und eine Eingangsgröße der Laufruheregelung LRR ist. Die Laufruheregelung LRR besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten, nämlich dem Bandpassfilter 105 und einem Regler R. Die Struktur der Bandpassfilter 105 und der Regler R wird im Zusammenhang mit den **Fig. 3** und **Fig. 4** noch näher erläutert.

[0039] Oberhalb des Pfeils n, der die Drehzahl der Brennkraftmaschine 101 darstellt, ist die resultie-

rende Drehzahl in Form eines Diagramms dargestellt.

[0040] Ausgangsgröße der Laufruheregelung LRR ist eine Korrekturmenge 107 der einzuspritzenden Kraftstoffs. Die Korrekturmenge 107 wird jedem der vier Zylinder 1, 2, 3 beziehungsweise 4 individuell zugemessen. Es handelt sich dabei, wie beim Einspritzmengenfehler auch um digitale Größen, die im allgemeinen Fall für jeden Zylinder unterschiedlich sind.

[0041] Die zylinderindividuellen Korrekturmengen für die Zylinder der Brennkraftmaschine sind in der **Fig. 2** oberhalb des Pfeils 107 schematisch dargestellt. Die zylinderindividuellen Korrekturmengen für die Zylinder werden so bestimmt, dass sie die Einspritzmengenfehler der Zylinder kompensieren.

[0042] Dabei ist zu berücksichtigen, dass es eine Phasenverschiebung zwischen dem Drehzahlsignal n und der zeitlich davor stattfindenden Einspritzung einer Kraftstoffmenge in einem der Zylinder 1 bis 4 vorhanden ist. Diese Phasenverschiebung wird durch die sogenannte Segmentwahl kompensiert. Dies bedeutet, dass ein Momentanwert des Drehzahlsignals der Kurbelwelle dem Zylinder zugeordnet wird, der kurz zuvor gezündet hat und ein Drehmoment abgegeben hat, das für die momentane Drehzahl der Kurbelwelle ursächlich ist. Durch den als Segmentwahl bezeichneten Ausgleich der Phasenverschiebung zwischen Drehzahlsignal und Kraftstoffeinspritzung in einem Zylinder der Brennkraftmaschine ist es möglich, durch einen Korrekturereingriff an einem zylinderspezifischen PI-Regler die Drehzahlabweichung wirkungsvoll auszuregeln und damit die Laufruhe der Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0043] Dazu wird das Drehzahlsignal in die für die Laufruheregelung relevanten Frequenzanteile durch geeignete parametrierte Bandpassfilter zerlegt. Dies kann mit Hilfe einer Fourier-Analyse erfolgen.

[0044] Im dargestellten Beispiel Fall hat die Korrekturmenge 107 für den Zylinder 1 deshalb den Wert +2, die Korrekturmenge für den Zylinder 2 hat den Wert -1, die Korrekturmenge für den Zylinder 3 hat den Wert 0 und die Korrekturmenge für den Zylinder 4 hat den Wert -1.

[0045] Die Korrekturmengen der Zylinder 1 bis 4 haben den gleichen Betrag, aber entgegengesetzte Vorzeichen wie die (Einspritz-)mengenfehler. Dadurch werden die Mengenfehler bei der Einspritzung des Kraftstoffs durch die Korrekturmengen für die Zylinder 1 bis 4 kompensiert, so dass sich ein ruhiger Lauf der Brennkraftmaschine einstellt.

[0046] In der **Fig. 2** sind unterhalb des Bezugszeichens 103 die Einspritzmengenfehler der Ordnung 0,5 und der Ordnung 1,0 im Frequenzbereich dargestellt. Ein Mengenfehler der Ordnung 0,5 bedeutet, dass die Mengenfehler mit einer Frequenz der 0,5fachen der Kurbelwellendrehzahl auftreten.

[0047] In der **Fig. 2** ist dieser Mengenfehler einmal als analoges Drehzahlsignal 109 dargestellt. Links dieses analogen Drehzahlsignals 109 ist der Mengenfehler der Ordnung 0,5 als digitale Größe 111 dargestellt.

[0048] Die Einspritzmengenfehler 111 werden aus dem Ausgangssignal des Drehwinkelsensors an der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und geeignet abgestimmte Bandpassfilter gewonnen. Die Summe der Einspritzmengenfehler der Ordnung 0,5 (siehe das Bezugszeichen 111) und 1,0 (siehe das Bezugszeichen 115) ist identisch mit dem oberhalb des Pfeils 103 dargestellten Einspritzmengenfehler.

[0049] Dabei wird jeweils einem der Zylinder 1, 2, 3 und 4 ein entsprechender Mengenfehler zugeordnet. Im vorliegenden Fall wird dem Zylinder 1 ein Mengenfehler mit dem Wert -1 zugeordnet. Dem Zylinder 3 wird ein Mengenfehler mit dem Wert +1 zugeordnet, während den Zylindern 2 und 4 ein Mengenfehler mit dem Wert 0 zugeordnet wird.

[0050] Die erfindungsgemäße Laufruheregelung LRR weist einen Bandpassfilter auf, dessen Mittelfrequenz der halben Kurbelwellendrehzahl entspricht. Infolgedessen wird aus den Ausgangssignalen des Kurbelwinkelsensors (nicht dargestellt) das analoge Drehzahlsignal 109 extrahiert und über die sogenannte Segmentwahl die Abweichungen der Kurbelwellendrehzahl von dem Soll-Wert beziehungsweise einem Mittel-Wert über die sogenannte Segmentauswahl den Zylindern 1 bis 4 zugeordnet. Daraus ergibt sich die digitale Darstellung 111 der den Zylindern der Brennkraftmaschine 101 zugeordneten Einspritzmengenfehler 111.

[0051] In der **Fig. 2** ist ein weiteres Drehzahlsignal im Frequenzbereich, nämlich mit der Ordnung 1,0, das heißt, der Kurbelwellenfrequenz als analoges Signal 113, aufgetragen. Das Kurbelwellensignal 113 wird aus den Ausgangssignalen des Kurbelwellen Drehwinkelsensor ermittelt, in dem ein entsprechender Bandpassfilter 105, dessen Mittelfrequenz der Drehfrequenz der Kurbelwelle entspricht, eingesetzt wird. In entsprechender Weise wird aus dem gefilterten Kurbelwellensignal 113 über die Segmentwahl den Zylindern 1 bis 4 jeweils ein entsprechender digitaler Wert zugeordnet, der vom Betrag 1 oder 0 sein kann und vorzeichenbehaftet ist. Diese digitalisierte Darstellung zylinderindividuellen Einspritzmengenfehler hat in der **Fig. 2** das Bezugszeichen 115.

[0052] Bis zu diesem Punkt sind alle Störgrößen, welche die Laufruhe der Brennkraftmaschine 101 verschlechtern, mit einer Periodizität gleich oder kleiner einem Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine.

[0053] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, auch Störeinflüsse, deren Periodizität größer als ein Arbeitsspiel AS ist, durch die erfindungsgemäße Laufruheregelung LRR zu kompensieren. Dies ist im unteren Teil der **Fig. 2** dargestellt.

[0054] Im unteren Teil der **Fig. 2** ist mit dem Bezugszeichen 117 eine niederfrequente Drehzahländerung der Brennkraftmaschine 101 dargestellt. Diese niederfrequente Anregung hat eine Periodizität, die mehr als zwei Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine umfasst. Entsprechendes gilt auch für die Linie 119, die Auswirkungen eines unregelmäßigen Drehmomentbedarfs beispielsweise der Kraftstoffhochdruckpumpe oder anderer Nebenaggregate der Brennkraftmaschine 101 auf die Kurbelwellendrehzahl darstellt.

[0055] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, die Anregungen 117 und/oder 119 ebenfalls über die Segmentauswahl zu digitalisieren und den einzelnen Zylindern 1 bis 4 der Brennkraftmaschine einen entsprechenden Einspritzmengenfehler zuzuordnen. Da die mit den Linien 117 und 119 dargestellten Anregungen sehr niederfrequent sind und ihre Periode größer ist als ein Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine, müssen über mehrere Arbeitsspiele hinweg den Zylindern der Brennkraftmaschine verschiedene Mengenfehler beziehungsweise Korrekturmengen zugeordnet werden.

[0056] Die aus der Anregung 117 entstehenden Mengenfehler sind in der **Fig. 2** durch eine digitalisierte treppenartige Linie 121 dargestellt. Entsprechendes gilt auch für die Anregung über den Momentenabgriff 119 mit der entsprechenden digitalisierten Darstellung 123.

[0057] Diese niederfrequenten Anregungen 117, 119 werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gewissermaßen als Mengenfehler bei der Kraftstoffeinspritzung interpretiert, obwohl dies beispielsweise im Fall der Linie 119 nicht der Fall ist. Diese Interpretation ist zulässig, weil der schwankende Drehmomentbedarf 119 den gleichen Effekt hat wie ein Einspritzmengenfehler 104: er führt zu einer Schwankung der Kurbelwellendrehzahl.

[0058] Diesen Sachverhalt nutzt das erfindungsgemäße Verfahren und weist den Zylindern der Brennkraftmaschine Korrekturmengen zu, die so bestimmt sind, dass sich eine konstante Kurbelwellendrehzahl einstellt. Dabei ist es unerheblich, ob die Ursache für die Korrekturmengen in einem tatsächlichen Einspritzmengenfehler oder einem ungleichförmigen

Drehmomentbedarf eines Nebenaggregats der Brennkraftmaschine ist.

[0059] Im Ergebnis werden daher mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die fertigungsbedingte Toleranzen der Injektoren, Anregungen über den Raildruck 117 und ein ungleichförmiger Drehmomentbedarf 119 durch entsprechende Korrekturmengen bei der Einspritzung in gleicher Qualität kompensiert.

[0060] Wie sich aus der Darstellung der Linien 117 und 119 beziehungsweise deren digitalisierte Darstellung 121 und 123 ergibt, muss jedem Zylinder 1 bis 4 für jedes Arbeitsspiel AS1, AS2, und AS3 eine unterschiedliche Korrekturmenge zugewiesen werden. Dadurch können auch niederfrequente Schwankungen der Drehzahl der Brennkraftmaschine wirkungsvoll kompensiert werden.

[0061] In den **Fig. 3** und **Fig. 4** ist die Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Reglerstruktur dargestellt.

[0062] Wenn man sich zum Beispiel vorstellt, dass bei einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern die Hochdruckpumpe mit einem Übersetzungsverhältnis von 2:3 von der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine angetrieben wird, dann würden bei dem angenommenen Übersetzungsverhältnis zwei Pumpenwellenumdrehungen (PWU) auf drei Kurbelwellenumdrehungen (KWU) kommen. Dies bedeutet, dass nach einer Umdrehung der Kurbelwelle von 360° die Pumpenwelle um 240° gegenüber dem Ausgangszustand verdreht wird. Insgesamt dauert es drei Arbeitsspiele, entsprechend sechs Kurbelwellenumdrehungen oder 2160° Kurbelwellenwinkel oder vier Pumpenwellenumdrehungen, bis die Pumpenwelle und die Kurbelwelle wieder dieselbe Zuordnung haben. Die Ungleichförderung der Hochdruckpumpe erzeugt Drehmomentstörungen mit einer Frequenz, die 2/3 der Kurbelwellenfrequenz entspricht und deren ganzzahligen Vielfachen. Mögliche Störungen, die sich daraus ergeben und welche die eingespritzte Kraftstoffmenge beeinflussen, wiederholen sich nach drei Arbeitsspielen AS.

[0063] Die Frequenz dieser Störungen entspricht 1/3 der Nockenwellenfrequenz. Um diese konstruktionsbedingten Störungen mit einer Frequenz von 2/3 der Kurbelwellenfrequenz zu dem Drehzahlsignal zu ermitteln und durch eine entsprechende Regelung der Injektoren kompensieren zu können, muss eine Filtereinrichtung auf diese Frequenz abgestimmt werden.

[0064] Grundsätzlich ist es möglich, einen Bandpassfilter vorzusehen, der die Drehzahlsignale in dem relevanten Frequenzbereich beziehungsweise ganzzahligen Vielfachen der niedrigsten Frequenz

durchlässt. Des Weiteren ist auch die Nutzung einer diskreten Fouriertransformation (DFT) sowie ihrer Inversen (iDFT) oder die Nutzung eines Laufunruheterms im Zeitbereich, wobei die Bewertung desselben Zylinders bei aufeinanderfolgenden Arbeitsspieldienstleistungen erfolgt, möglich. Alle drei Varianten benötigen vergleichbare Ressourcen im Motorsteuergerät. Weil jedoch der Bandpassfilter sehr robust läuft, ist dies die bevorzugte Variante und wird nachfolgend im Zusammenhang mit der **Fig. 3** näher erläutert.

[0065] In der **Fig. 3** wird die Reglerstruktur, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erforderlich ist, als Blockschaltbild dargestellt. Eingangsgrößen sind Zylinderzähler 8, ein Arbeitsspielzähler 10 und ein Drehzahlsensor 12. Der Drehzahlsensor 12 gibt ein Drehzahlsignal TS aus, das durch einen ersten Bandpassfilter 11 und einen zweiten Bandpassfilter 15 gefiltert wird. Im Anschluss an das durch die Bandpassfilter 11 und 15 gefilterte Drehzahlsignal gelangt das Drehzahlsignal zu einem ersten Segmentauswahlmodul 13 und einem zweiten Segmentauswahlmodul 17. Die Segmentauswahlmodule dienen dazu, die Phasenverschiebung zwischen dem Drehzahlsignal des Drehzahlsensors 12 und der vorangegangenen Einspritzung von Kraftstoff in einen der Zylinder zu kompensieren. Dadurch wird eine eindeutige Zuordnung der Zylinder zu dem Drehzahlsignal erreicht.

[0066] Der Bandpassfilter 11 ist im vorliegenden Beispiel so parametriert, dass er Frequenzen, die von Druckstößen im Common Rail verursacht werden, passieren lässt. In einem ersten Multiplexer 19 wird das Drehzahlsignal auf drei weitere Multiplexer 21, 23 und 25 verteilt. In die Multiplexer 21, 23 und 25 wird als Eingangsgröße noch das Ausgangssignal des Zylinderzählers 8 eingekoppelt.

[0067] Der Multiplexer 21 stellt die Eingangsdaten für einen ersten Satz von Reglern, die für das erste Arbeitsspiel benötigt werden, bereit.

[0068] Der Multiplexer 23 stellt die erforderlichen Eingangsgrößen für einen zweiten Satz von Reglern, die für das zweite Arbeitsspiel AS2 benötigt werden, bereit.

[0069] In entsprechender Weise stellt der Multiplexer 25 die Eingangsgrößen für einen dritten Satz von Reglern, die für das dritte Arbeitsspiel AS3 benötigt werden, bereit.

[0070] Insgesamt gibt es bei dem gewählten Ausführungsbeispiel einer Brennkraftmaschine mit sechs Zylindern und Laufunruhemustern, die sich über drei Arbeitsspiele erstrecken, insgesamt $3 \times 6 = 18$ Regler. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur sechs Regler, nämlich der Regler R1.1, der Regler R6.1 für das erste Arbeitsspiel, der Regler R1.2

sowie der Regler R6.2 und die Regler R1.3 und R6.3 für das dritte Arbeitsspiel dargestellt.

[0071] Die Regler 2 bis 5 sowohl für das erste Arbeitsspiel als auch das zweite Arbeitsspiel und das dritte Arbeitsspiel sind nicht dargestellt. Die Ausgänge der Multiplexer 23 und 25 sind sechsfach vorhanden, um das Vorhandensein von insgesamt achtzehn (18) Reglern anzudeuten. Die achtzehn (18) Regler R1.1 bis R6.3 können als PI-Regler ausgebildet sein.

[0072] Die Ausgänge der Regler R1.1, R1.2 und R1.3 sind mit dem Eingang eines ersten Injektors 1 gekoppelt. Entsprechend sind die Ausgänge der Regler R6.1, R6.2 und R6.3 mit dem Eingang des sechsten Injektors 6 gekoppelt. In entsprechender Weise können die Injektoren 2, 3, 4 und 5 von den Ausgängen der ebenfalls nicht dargestellten Regler R2.1, R2.2 und R2.3 beziehungsweise R3.1, R3.2 und R3.4 angesteuert werden.

[0073] Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird beispielsweise der Injektor 1 des Zylinders 1 im ersten Arbeitsspiel AS1 von dem ersten Regler R1.1 angesteuert wird. Im zweiten Arbeitsspiel wird der gleiche Injektor 1 vom Regler R1.2 angesteuert und während des dritten Arbeitsspiels wird der Injektor 1 des Zylinder 1 von dem Regler R1.3 angesteuert. Dies gilt für die anderen Zylinder 2 bis 6 entsprechend.

[0074] Dadurch ist es möglich, auch bei Laufunruhemustern, die sich über beispielsweise drei Arbeitsspiele und somit 2160° Kurbelwellenwinkel erstrecken, eine Laufunruhe zu kompensieren, indem die Injektoren 1 bis 6 in jedem Arbeitsspiel individuell angesteuert werden, um entweder durch eine Verringerung der eingespritzten Kraftstoffmenge oder eine Erhöhung der eingespritzten Kraftstoffmenge, die Drehzahl der Brennkraftmaschine möglichst nahe an die Soll-Drehzahl n_{soll} anzunähern.

[0075] In der **Fig. 4** ist die aus der **Fig. 3** bekannte erfindungsgemäße Reglerstruktur um eine herkömmliche Laufuheregelung ergänzt worden, wie sie beispielsweise aus der DE 195 27 218 B4 bekannt ist.

[0076] Zur Durchführung der herkömmlichen Laufuheregelung sind beispielsweise drei Bandpassfilter 31, 33 und 35 vorgesehen, die verschiedene Arbeitsbereiche haben, wobei der Bandpassfilter 31 einen Arbeitsbereich hat, welcher der Frequenz der Nockenwelle entspricht. Der Bandpassfilter 33 hat einen Arbeitsbereich, der dem doppelten der Nockenwellenfrequenz entspricht und der Bandpassfilter 35 hat einen Arbeitsbereich, der dem Dreifachen der Nockenwellenfrequenz entspricht. Im Anschluss an die Bandpassfilter 31, 33 und 35 sind

Segmentauswahlblöcke 37, 39 und 41 angeordnet. Die Ausgangsgrößen dieser Segmentauswahlblöcke 37, 39 und 41 werden in einem Additionspunkt zusammengeführt und einem Multiplexer 43 zugeführt. Dieser Multiplexer 43 hat als Eingangsgröße noch das Ausgangssignal des Zylinderzählers 8 und verteilt die Eingangsgrößen auf insgesamt sechs Regler R1.4 bis R6.4.

[0077] Der Ausgang des Reglers R1.4 ist mit dem Eingang des Zylinders 1 verbunden, während der Ausgang des Reglers R6.4 mit dem Eingang des Zylinders 6 verbunden ist. Durch die Regler R1.4 bis R6.4 können die Zylinder 1 bis 6 so angesteuert werden, wie dies aus einer herkömmlichen Laufuheregelung, die Drehzahlabweichungen innerhalb eines Arbeitsspiels kompensiert, bekannt ist. Insgesamt sieht die Reglerstruktur gemäß **Fig. 2** somit vierundzwanzig Regler vor.

[0078] Die in **Fig. 4** dargestellte Reglerstruktur umfasst zusätzlich zu der erfindungsgemäßen Reglerstruktur mit achtzehn Reglern R1.1 bis R6.3 noch sechs weitere Regler R1.4 bis R6.4 vorgesehen sind, die eine herkömmliche Laufuheregelung für Laufunruhemuster mit einer Periodizität von einem Arbeitsspiel regeln können. Insgesamt sind bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel somit 24 Regler vorgesehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Laufuhre einer Brennkraftmaschine (101) bei der die Laufuhre der Brennkraftmaschine durch zylinderindividuelle Anpassung der eingespritzten Kraftstoffmenge geregelt wird, wobei ein Drehzahlsensor (125) ein hochauflöste Drehzahlsignal (TS) der Brennkraftmaschine bereitstellt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufuhre der Brennkraftmaschine über mindestens zwei Arbeitsspiele (AS) geregelt wird, und dass jedem Zylinder (1, 2, 3, 4, 5, 6) für jedes Arbeitsspiel (AS) ein eigener Regler (R1.1, R2.1, ..., R3.2, ..., R5.3, R6.3) zugeordnet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Drehzahlsignal (TS) durch eine Filtereinrichtung, bevorzugt einen Bandpassfilter, eine diskrete Fouriertransformation und ihrer Inversen im Frequenzbereich und/oder die Bewertung eines Laufunruheterms im Zeitbereich, aufbereitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das aufbereitete Drehzahlsignal (TS) diskretisiert und die diskretisierten Werte den Zylindern (1 ... n) der Brennkraftmaschine zugeordnet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis der diskretisierten Werte des Drehzahlsignals den Zylindern (1 ... n) Korrekturmengen der einzuspritzenden Kraftstoffmenge zugeordnet werden, so dass die Abweichungen der Kurbelwellendrehzahl von einem Soll-Wert kompensiert werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Drehzahlsignal (TS) jedem Zylinder (1 ...n) der Brennkraftmaschine für das erste Arbeitsspiel (AS1) eine erste Regelabweichung (L1.1, L2.1, L3.1.. Ln.1) zugeordnet wird, dass ein erster Satz von Reglern (R1.1, R2.1, R3.1.. Rn.1) in Abhängigkeit der ersten Regelabweichung (L1.1, L2.1, L3.1.. Ln.1) einen zylinderspezifischen Stellwert (Q1.1, Q2.1, Q3.1 ... Qn.1) vorgibt, dass aus dem Drehzahlsignal (TS) jedem Zylinder (1 ...n) der Brennkraftmaschine für das zweite Arbeitsspiel (AS2) eine zweite Regelabweichung (L1.2, L2.2, L3.2.. Ln.2) zugeordnet wird, und dass ein zweiter Satz von Reglern (R1.2, R2.2, R3.2.. Rn.2) in Abhängigkeit der zweiten Regelabweichung (L1.2, L2.2, L3.2.. Ln.2) einen zylinderspezifischen Stellwert (Q1.2, Q2.2, Q3.2 ... Qn.2) vorgibt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Drehzahlsignal (TS) jedem Zylinder (1 ...n) der Brennkraftmaschine für das dritte Arbeitsspiel (AS1) eine dritte Regelabweichung (L1.3, L2.3, L3.3.. Ln.3) zugeordnet wird, dass ein dritter Satz von Reglern (R1.3, R2.3, R3.3... Rn.3) in Abhängigkeit der dritten Regelabweichung (L1.3, L2.3, L3.3.... Ln.3) einen zylinderspezifischen Stellwert (Q1.3, Q2.3, Q3.3 ... Qn.3) vorgibt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren für ein vieres Arbeitsspiel (AS4) angewandt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Drehzahlsignal (TS) Abweichungen der Ist-Drehzahl (nlst) von einer Soll-Drehzahl (nSoll) der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels (KWN) erfasst werden, und dass diese Abweichungen zur Ermittlung der Regelabweichungen (L1.1, L2.1, L3.1.. Ln.1L1.2, L2.2, L3.2.. Ln.2, Ln.m) in mindestens zwei Arbeitsspielen (AS1, AS2, ASm) ausgewertet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Übergang zu einer herkömmlichen Laufruheregelung dadurch erfolgt, dass die Mittelwerte aller einem Zylinder (1) zugeordneten Regler (R1.1, R1.2, R1.3) dem jeweiligen Regler (R1.1) für das erste Arbeitsspiel (AS1) zugeordnet werden und/o-

der die Parameter der Filtereinrichtungen, insbesondere die Verstärkungen der Bandpassfilter, auf Null gesetzt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Übergang von einer herkömmlichen Laufruheregelung zu dem Verfahren der vorhergehenden Ansprüche dadurch erfolgt, dass alle einem Zylinder (1) zugeordneten Regler (R1.1, R1.2, R1.3) mit dem jeweiligen aktuellen Wert der ersten Arbeitsspiels (AS1) initialisiert und/oder die Parameter der Filtereinrichtungen, insbesondere Verstärkungen der Bandpassfilter, auf die applizierten Werte gesetzt werden.

11. Steuergerät zur Regelung der Laufruhe einer Brennkraftmaschine, umfassend mehrere Regler (R1.1, R2.1, ..., R3.2, ... R5.3, R6.3) zur zylinderindividuellen Ansteuerung der Injektoren einer Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel vorgesehen sind, die nach einem der Verfahren der vorhergehenden Ansprüche arbeiten.

12. Steuergerät nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl der Regler (R) mindestens gleich dem Produkt aus der Zahl der Zylinder (n) und der Zahl der Arbeitsspiele über die geregelt wird ist [Zahl der Regler = m x n].

13. Steuergerät nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich für jeden Zylinder (n) ein Laufruheregler (R1.4, ... R6.4) für die Regelung der Laufruhe innerhalb eines Arbeitsspiels (AS) vorgesehen ist [Zahl der Regler = n x (m+1)].

14. Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet**, dass es eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausführt, wenn es auf einem Computer abläuft.

15. Speichermedium für ein Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet**, dass es eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausführt, wenn es auf einem Computer abläuft.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

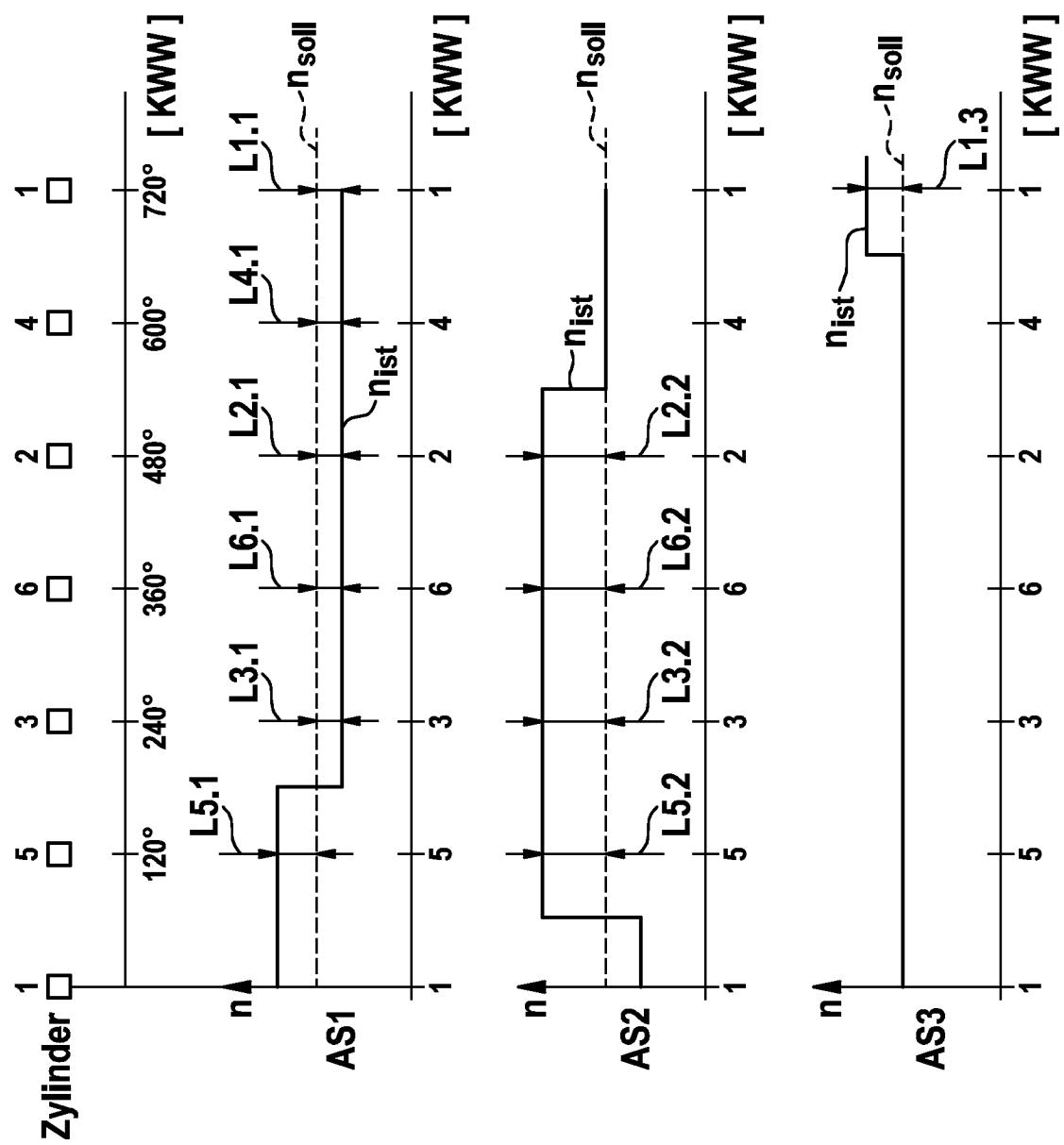
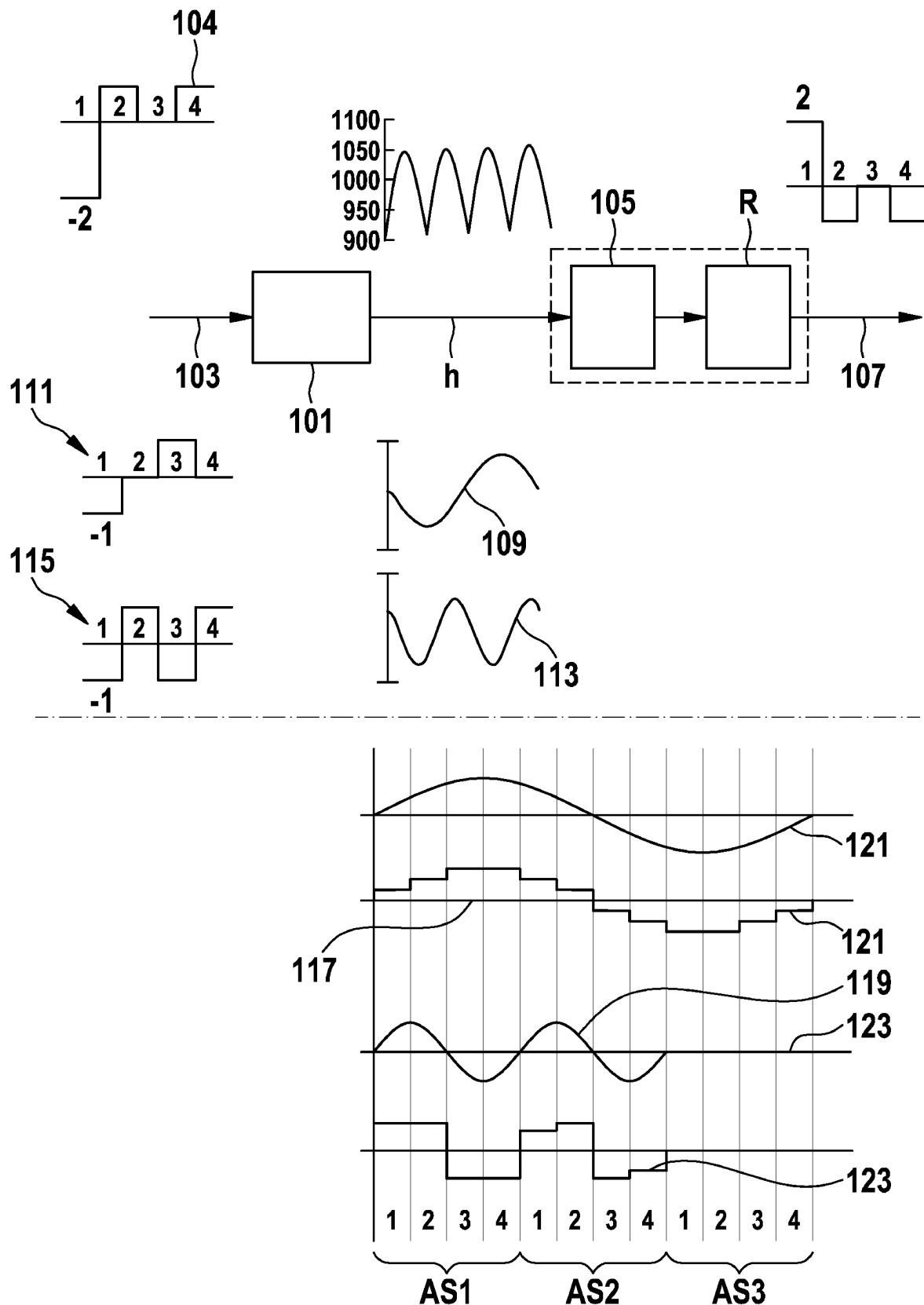


Fig. 1

**Fig. 2**

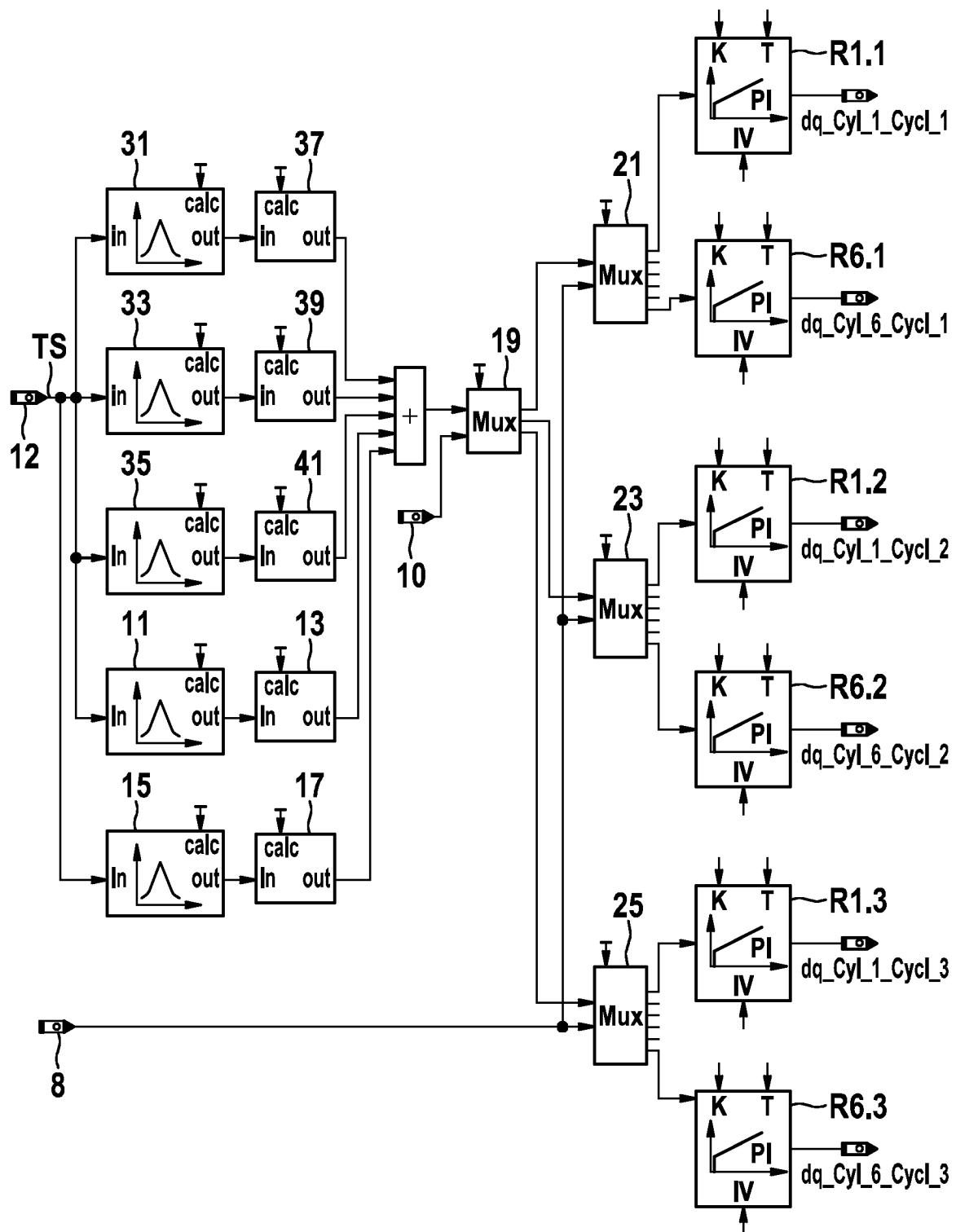


Fig. 3

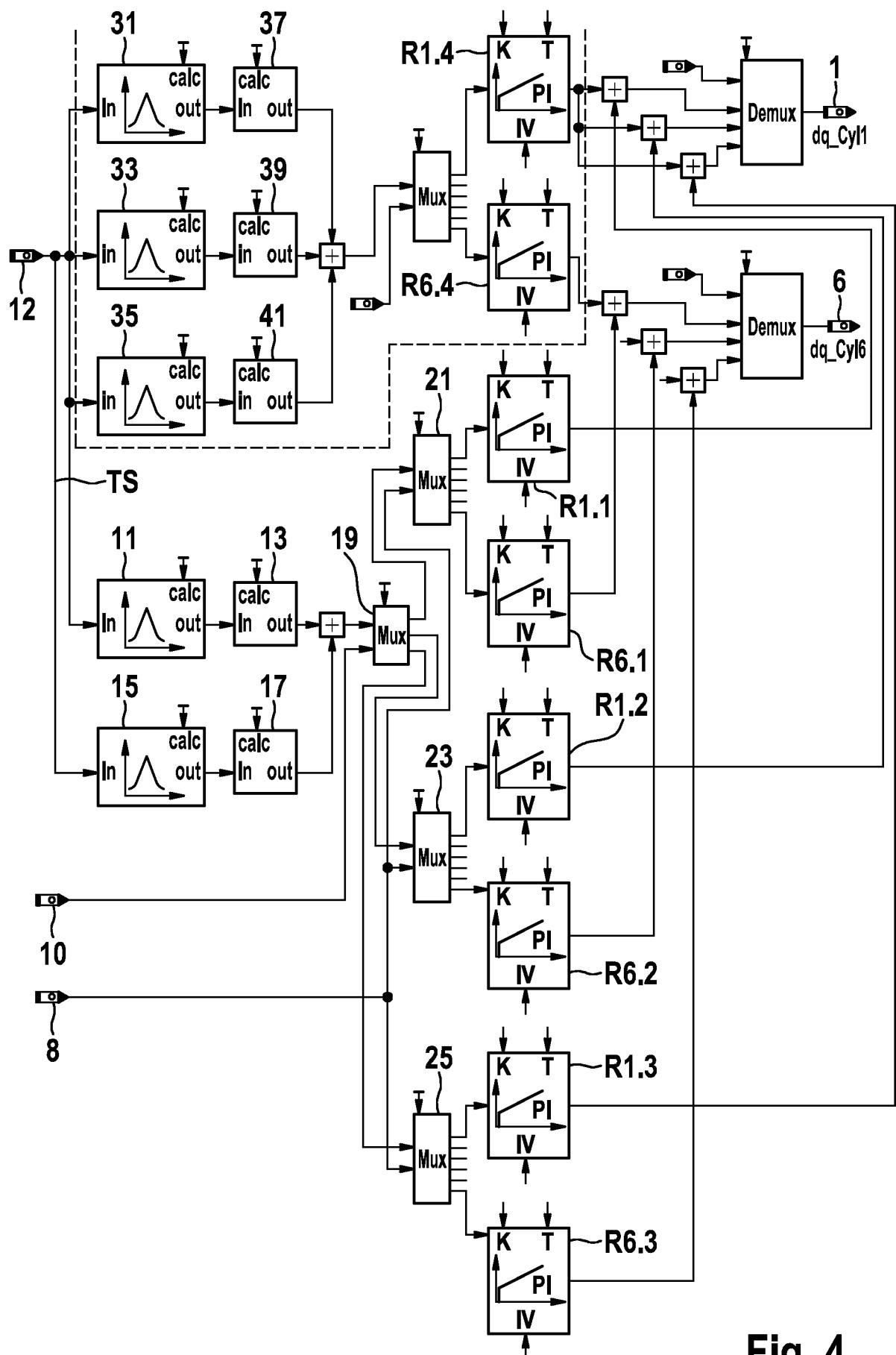


Fig. 4