

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 242 738 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

23.07.2003 Patentblatt 2003/30

(51) Int Cl.7: **F02D 41/14**, F02D 41/34

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP01/12697

(21) Anmeldenummer: **01993755.6**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

(22) Anmeldetag: **02.11.2001**

WO 02/038936 (16.05.2002 Gazette 2002/20)

(54) **RUNDLAUFREGELUNG FÜR DIESELMOTOREN**

REGULATION OF TRUE RUNNING FOR DIESEL ENGINES

REGULATION DE CONCENTRICITE POUR MOTEURS DIESEL

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE FR GB IT

(30) Priorität: **07.11.2000 DE 10055192**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

25.09.2002 Patentblatt 2002/39

(73) Patentinhaber: **MTU Friedrichshafen GmbH**

88040 Friedrichshafen (DE)

(72) Erfinder:

- **REMELE, Jörg**
88709 Hagnau (DE)

• **SCHNEIDER, Andreas**

88046 Friedrichshafen (DE)

• **DEBELAK, Albrecht**

88048 Friedrichshafen (DE)

(74) Vertreter: **Winter, Josef**

MTU Friedrichshafen GmbH;

Patentabteilung ZJXP

88040 Friedrichshafen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A-00/36287

WO-A-97/23716

DE-A- 4 122 139

US-A- 6 021 758

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 242 738 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rundlaufregelung, wie es beispielsweise aus der DE 195 48 604 C1 als bekannt hervorgeht. Das bekannte Verfahren dient dazu, Unterschiede der Momentenbeiträge einzelner Zylinder einer Brennkraftmaschine anhand des Kurbelwellendrehzahlverlaufs zu bestimmen. Dabei wird auf der Erkenntnis aufgebaut, dass die Drehbewegung der Kurbelwelle unter der Wirkung von Gas- und Massenkräften ungleichförmig verläuft. Um den Drehzahl- bzw. Drehmomentenanteil eines Zylinders zu bestimmen, werden während des Motorbetriebs einzelne Zylinder gezielt abgeschaltet. Durch Vergleich mit dem Drehzahlverlauf des ohne Zylinderabschaltung betriebenen Motors lässt sich der Momentenanteil jedes einzelnen Zylinders am Gesamtmotordrehmoment anhand des Drehzahlsignals isoliert darstellen. Die von Fertigungstoleranzen herrührenden Einspritzmengenstreuungen werden erkannt und sollen ausgeglichen werden, indem in allen Zylindern gleiche Mitteldrücke durch Einspritzmengenvariierung hergestellt werden.

[0002] Ein ähnliches Verfahren ist in der DE 41 22 139 C2 beschrieben. Auch hier wird davon ausgegangen, dass Drehungleichförmigkeiten auftreten, die darauf beruhen, dass aufgrund von Toleranzen in den Einspritzvorrichtungen in die einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine unterschiedliche Kraftstoffmengen eingespritzt werden. Ansatz ist, dass das Drehmoment bzw. die Drehbeschleunigung direkt proportional zur eingespritzten Kraftstoffmenge ist. Um die Drehzahlungleichförmigkeiten zu vermeiden, wird der Anteil eines jeden Verbrennungsvorgangs an der Drehbeschleunigung erfasst. Die Messwerte werden durch Bildung von Mittelwerten miteinander verglichen und auf diese Weise Abweichungen festgestellt. Die Kraftstoffeinspritzmengen der einzelnen Zylinder werden schließlich so verändert, dass die Abweichungen verschwinden. Die Summe der Änderungen der in die einzelnen Zylinder eingespritzten Kraftstoffmenge wird so gewählt, dass sie insgesamt Null ergibt.

[0003] Bei einer Brennkraftmaschine nach der WO 97/23716 kann die Kraftstoffzufuhr eines Zylinders abgeschaltet werden, der dann beispielsweise als Kompressor arbeitet. Um in dieser Betriebsweise Schwingungen zu vermeiden, ist es vorgesehen, die Kraftstoffzufuhr zu den verbleibenden, normal arbeitenden Zylindern in geeigneter Weise zu verändern. Es soll möglich sein, durch Experimente und Berechnung festzustellen, in welcher Weise das Drehmoment der Zylinder zu verteilen ist, um eine optimale Unterdrückung der Schwingungen zu erreichen. Für bestimmte Betriebsfälle werden auf diese Weise ermittelte Daten bereitgehalten, nach denen die Brennkraftmaschine gesteuert wird. Die Einspritzmengen werden auf die einzelnen Zylinder offensichtlich so aufgeteilt, dass die Schwingungen der 0,5-ten bis 3-ten Ordnungen unterdrückt werden, da nur sie in der Praxis für spürbare Vibrationen verantwortlich sind. Allerdings lassen sich die Schwingungen der verschiedenen Ordnungen offensichtlich nicht immer gleichermaßen unterdrücken. Die geeignete Kraftstoffverteilung steht offenbar im Zusammenhang mit der Größe des Vektors, der für die Schwingungen verantwortlich ist.

[0004] Aus der WO 98/07971 geht ebenfalls ein Verfahren zur zylinderselektiven Steuerung einer selbstzündenden Brennkraftmaschine als bekannt hervor. Dabei dient eine Messvorrichtung zur Erfassung des Kurbelwellendrehwinkels und zur Bestimmung der momentanen Kurbelwellendrehzahl. Aus der Kurbelwellendrehzahl ermittelt ein Steuergerät geeignete Kenngrößen, die in verschiedenen Betriebsbereichen der Brennkraftmaschine eine zylinderselektive Gleichstellung bzw. eine definierte Ungleichstellung der Mitteldrücke ermöglichen, wobei die Auswirkung von Bauteildifferenzen der Kraftstoffzuführung und des Verbrennungssystems auf den Verbrennungsvorgang minimiert werden.

[0005] In der Dissertation von Jochen Tonndorf: "Einfluß des Aussetzerbetriebes auf das Drehschwingungsverhalten von Antriebsanlagen mit Kolbenmotoren", genehmigt von der Fakultät für Maschinenbau der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen wird das Drehschwingungsverhalten von Motoren untersucht. Dabei wird konstatiert, dass es Betriebszustände gibt, die sich wesentlich vom Normalbetrieb unterscheiden. So führen toleranzbedingte Fertigungsunterschiede bei Zylinder und Einspritzvorrichtung, aber auch im Verlauf der Betriebszeit durch Verschleiß bedingte Abweichungen zu Unterschieden gegenüber dem Normalbetrieb. Dadurch können angeblich Leistungsabweichungen der einzelnen Zylinder von etwa +/- 10% hervorgerufen werden, was die Entstehung einer Drehschwingungserregerkraft bewirkt. Insbesondere können sich bei vielzylindrigen Motoren die Abweichungen der einzelnen Zylinder so ungünstig summieren, dass die Auswirkung die gleiche ist, als wenn ein Zylinder völlig ausgefallen ist. Des weiteren kann es durch Störungen im Einspritzsystem zum Aussetzerbetrieb kommen. Beschädigte Einoder Auslassventile können zum Verlust der Kompression führen. Auch das Abschalten von Zylindern stellt einen Betriebsfall dar, der die Drehschwingungsbeanspruchung verändert. Die Auswirkung der vom Normalbetrieb abweichenden Betriebszustände auf das Erregungsverhalten des Motors wird durch eine Vektordarstellung der Erregerkräfte verdeutlicht. Im weiteren wird konstatiert, dass im Aussetzerbetrieb nur die erregenden Kräfte der 0,5-ten, 1-ten und 1,5-ten Ordnung von Interesse sind. Das erregende Wechseldrehmoment errechnet sich aus der Vektorsumme entsprechend der Phasenlage der Harmonischen. Der Autor kommt jedoch zu dem Schluss, dass Eingriffe am Motor, z.B. durch Änderung des Zünddrucks praktisch nicht durchführbar sind.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Rundlaufregelung insbesondere für hochzylindrige Brennkraftmaschinen darzustellen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Während bei Brennkraft-

maschinen mit wenigen Zylindern die auf die einzelnen Zylinder zurückgehenden Drehzahlanteile in der Drehzahlkurve eines Arbeitsspiels eindeutig auszumachen sind, ist dies bei hochzylindrigen Brennkraftmaschinen nicht der Fall. Vielmehr überlagern sich die Drehzahlanteile in einer Weise, dass bei Betrachtung der Drehzahlkurve keine Rückschlüsse auf den verursachenden Zylinder mehr möglich sind, was neue Auswertungsmethoden bedingt. Nichtsdestotrotz ist die erfinderische Methode auch auf niederzylindrige Brennkraftmaschinen anzuwenden, wenn dort auch Beschränkungen aufgrund der geringen Zylinderanzahl bestehen. Für die Rundlaufregelung werden die tieffrequenten Schwingungsanteile betrachtet. Hierzu wird das Impulsantwortspektrum jedes Zylinders durch Rechnung oder Messung festgestellt. Zur Feststellung des Impulsanteils eines Zylinders an der Drehgeschwindigkeit durch Messung werden die Zylinder nacheinander einzeln abgeschaltet und die Drehzahl über dem Kurbelwinkel aufgezeichnet. Außerdem wird der Drehzahlverlauf des gesunden intakten Motors, das heißt, wenn alle Zylinder normal arbeiten, aufgenommen. Dabei kann es sich um einen fabrikneuen Motor im Normalbetrieb handeln, der aufgrund von Toleranzen geringe Unterschiede in den Drehzahlanteilen jedes Zylinders aufweist, oder um einen idealen Motor, dessen Zylinder beispielsweise durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens hinsichtlich ihrer Anteile an der Drehzahlbeschleunigung gleichgestellt sind.

[0008] Ideal in diesem Sinne heißt, dass vor Aufnahme der Referenzwerte, z.B. durch Variieren der Einspritzmengen einzelner Zylinder, eine Einstellung vorgenommen wird, in der die Schwankungen der Drehzahlbeiträge der Zylinder minimiert sind. Diese Einstellung wird im Normalbetrieb beibehalten. Es werden dann durch Differenzbildung des Kurvenverlaufs des gesunden Motors und der Kurvenverläufe für einzeln abgeschaltete Zylinder neue Kurven erzeugt, die den Einfluss eines jeden Zylinders am Gesamtdrehzahlverlauf wiedergeben. Diese Antwortkurven werden einer Fourierzerlegung unterzogen. Es werden jedoch nur tieffrequente harmonische Schwingungen, zweckmäßigerweise der 0,5-ten bis 3-ten Ordnung betrachtet und die zugehörigen spektralen Impulsantworten \vec{I} des Drehzahlverlaufs eines Arbeitsspiels jeden Zylinders aufgenommen. Im normalen Motorbetrieb wird nun ständig der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel aufgezeichnet und in analoger Weise durch Fourierzerlegung des erhaltenen Kurvenverlaufs das Spektrum des Drehzahlverlaufs \vec{R} eines Arbeitsspiels gebildet. Zur Darstellung des spektralen Drehzahlverlaufs werden wiederum nur die Fourierkoeffizienten der tieffrequenten Schwingungen benutzt, nämlich vorzugsweise der Harmonischen der 0,5-ten bis 3-ten Ordnung, die zu einer Zeilenmatrix verarbeitet werden. Die spektralen Impulsantworten \vec{I} und die aus Fourierkoeffizienten des Drehzahlverlaufs Resultierende \vec{R} sind für jede Harmonische als Vektorzeiger über dem Kurbelwinkel darstellbar. Ist die Resultierende gleich Null, so ist keine Korrektur der Einspritzmengen erforderlich. Ist jedoch eine Resultierende gegeben, heißt das, dass in einem Zylinder eine Mindereinspritzung erfolgt, und es muss durch Korrektur der Einspritzmengen der einzelnen Injektoren die Resultierende zu Null gemacht werden. Die Aufteilung der für den gegebenen Lastfall erforderlichen Gesamteinspritzmenge erfolgt in der Weise, dass die in Richtung der Impulsantwortzeiger liegenden Komponenten der Resultierenden mit den Impulsantworten \vec{I} multipliziert werden. Das Ergebnis sind Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen. Zylinder, die in Richtung der Resultierenden \vec{R} liegen, werden mit positivem oder negativem Vorzeichen stärker korrigiert als eher orthogonal liegende. Die mathematische Operation, die die entsprechende Leistung vollbringen kann, ist die Bildung des Skalarprodukts oder des vektoriellen Inprodukts aus der Resultierenden \vec{R} und den spektralen Impulsantworten \vec{I} . Hierfür werden die erforderlichen Daten in Matrizenform zur Verfügung gehalten. Die Matrixmultiplikation der Impulsantworten \vec{I} mit dem Vektor des spektralen Drehzahlverlaufs \vec{R} ergibt von Null verschiedene Werte und führt zu einer Korrektur der Einspritzmengen, wenn eine Rundlaufabweichung im Normalbetrieb gegeben ist. Die Korrekturwerte, die normiert werden, werden einem Regler zugeführt und die Einspritzmengen ΔQ bestimmt, die positiv oder negativ sein können und dementsprechend die vom Motorregler bestimmten Einspritzmengen für jeden Injektor eines Zylinders korrigieren.

[0009] Die Erfindung wird dargestellt anhand der Zeichnungen mit Figuren 1 bis 4. Es zeigen:

Figur 1: Einen Drehzahlregelkreis mit den für die Drehschwingungsanalyse notwendigen Elementen in schematischer Darstellung;

Figur 2: Den Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel für ein Arbeitsspiel des Motors;

Figur 3: Eine spektrale Darstellung der Impulsantwort \vec{I} eines Zylinders;

Figur 4: Eine Zeigerdarstellung der Drehzahlanteile der Zylinder an der 0,5-ten Ordnung für einen Sechszylinder-Motor und zwar für einen gesunden Motor (Figur 4a), einen Motor mit fehlendem Injektor (Figur 4b) und für einen Motor mit korrigierter Einspritzmenge (4c).

[0010] In Figur 1 ist ein Drehzahlregelkreis dargestellt, wie er beispielsweise aus der DE 195 15 481 A1 als bekannt hervorgeht. Mit Bezugsziffer 1 ein Dieselmotor bezeichnet, dessen nicht dargestellte Kurbelwelle mit einem Messrad 2 verbunden ist. Mit dem Messrad 2 und einem Messwertaufnehmer 3 kann der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel aufgenommen werden. Mit einem Filter 4 und einem Filter 5 werden Störungen ausgeblendet, sowie eine

Mittelung des Kurvenverlaufs durchgeführt, indem die aufgenommene Kurvenverläufe über mehrere Arbeitsspiele hinweg abgeglichen werden. Zur Rundlaufregelung wird im normalen Motorbetrieb ständig der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel aufgezeichnet. Das Drehzahlsignal eines Arbeitsspieles ist beispielhaft in Figur 2 dargestellt. Der mit r gekennzeichnete Radius entspricht der momentanen Drehzahl beim Winkel ϕ . Der Drehzahlverlauf zeigt eine Deformation, wie sie beim Ausfall eines Zylinders auftritt. Durch Fourierzerlegung der Drehzahlverlaufskurve wird der spektrale Drehzahlverlauf erhalten mit den resultierenden Vektoren \vec{R}_1 bis \vec{R}_n , wobei die Indizes den betrachteten Oberwellen entsprechen. Die entsprechende Operation wird in dem symbolisch dargestellten Funktionsblock 7 ausgeführt. Die durch Fourierzerlegung erhaltenen Vektoren \vec{R} sind die Fourierkoeffizienten. Vorzugsweise werden nur die harmonischen Schwingungen der 0,5-ten bis 3-ten Ordnung betrachtet. Bei idealem Rundlauf treten keine resultierenden Anteile der entsprechenden Harmonischen auf oder sind zumindest vernachlässigbar. Real ergibt sich allerdings ein kleiner resultierender Vektor \vec{R} , da die Oberwellenanteile am Umfang nicht gleichmäßig verteilt sind. Dieser Fall ist für einen Motor mit sechs Zylindern beispielhaft für die Harmonische der 0,5-ten Ordnung in Figur 4a dargestellt. Jeder Zylinder leistet näherungsweise den gleichen Beitrag zur Drehbeschleunigung, wie die Vektorzeiger \vec{I}_1 bis \vec{I}_6 verdeutlichen. In diesem Fall erfolgt keine Korrektur der aufgrund der vorgegebenen Soll- und Ist-drehzahlen im Drehzahlregler 9 und von der Einspritzsoftware 10 ermittelten Einspritzmengen durch die jedem Zylinder zugeordneten Injektoren 11.

[0011] Die Einspritzmenge muss jedoch zylinderindividuell korrigiert werden, wenn, wie in Figur 4b dargestellt, eine auf die tieffrequenten Schwingungsanteile zurückgehende Resultierende \vec{R} ungleich Null ist. Im entsprechenden Fall ist angenommen, dass ein Zylinder ausgefallen ist und eine Harmonische 0,5-ter Ordnung auftritt, die die dargestellte Phasenlage in Bezug auf die Zylinder hat.

[0012] Um zur Herstellung des Rundlaufs geeignete Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen der Injektoren berechnen zu können, muss der Impulsanteil jedes Zylinders an der Drehzahl bekannt sein. Die entsprechenden drehzahlabhängigen Daten werden im Funktionsblock 8 bereit gehalten. Zur Feststellung des Impulsanteils eines Zylinders an der Drehgeschwindigkeit werden die Zylinder in einem Messlauf nacheinander einzeln abgeschaltet und die Drehzahl über dem Kurbelwinkel aufgezeichnet. Durch Vergleich mit dem Drehzahlverlauf des gesunden Motors erhält man aus der Differenz der beiden Kurvenverläufe neue Kurvenverläufe, die die Impulsantworten \vec{I} des Motors auf die Abschaltung der Zylinder darstellen. Die Impulsantworten \vec{I} werden einer Fouriertransformation unterzogen, wobei man die spektralen Impulsantworten \vec{I} erhält. Es werden nur die auf die tieffrequenten harmonischen Schwingungen der 0,5-ten bis 3-ten Ordnung zurückgehenden Anteile betrachtet. Die spektrale Impulsantwort $\vec{I} = (\vec{I}_{0,5}, \vec{I}_{1,0}, \vec{I}_{1,5}, \vec{I}_{2,0}, \vec{I}_{2,5}, \vec{I}_{3,0})$ eines Zylinders ist in Figur 3 dargestellt. Die Vektorzeiger verdeutlichen Betrag und Phase der entsprechenden Harmonischen. Die Impulsantworten \vec{I} werden für die mathematische Verarbeitung in Matrixform abgelegt. Durch Bildung des skalaren Inprodukts der resultierenden Vektoren \vec{R} mit den Impulsantworten \vec{I} werden Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren erzeugt. Dies erfolgt in der Multiplikationsstelle 13. Das skalare Vektorprodukt bewirkt, dass nur die in Richtung der Impulsantwortvektoren liegenden Komponenten der Resultierenden \vec{R} einen Beitrag zu den Korrekturfaktoren liefern, das heißt, dass kollineare Vektoren stark korrigiert werden und orthogonale Vektoren gar nicht korrigiert werden. In Figur 4c sind die Korrekturwerte in Form von Vektorpfeilen für die einzelnen Injektoren eingetragen. Die Korrekturfaktoren werden durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor in Einspritzmengen ΔQ für jeden Injektor umgerechnet, die positiv oder negativ sein können und dementsprechend die vom Motorregler bestimmte Einspritzmenge Q für jeden Injektor eines Zylinders in einer Summationsstelle 12 positiv oder negativ korrigiert.

Die Berechnung erfolgt nach folgenden Gleichungen:

Bildung des Skalarprodukts: $\vec{R}^T \cdot \vec{I} = \vec{K}$ oder:

$$(\vec{R}_{0,5} \vec{R}_{1,0} \vec{R}_{1,5} \vec{R}_{2,0} \vec{R}_{2,5} \dots) * \begin{pmatrix} \vec{I}_{10,5}, \vec{I}_{20,5}, \vec{I}_{30,5}, \vec{I}_{40,5}, \dots \\ \vec{I}_{11}, \vec{I}_{21}, \vec{I}_{31}, \vec{I}_{41}, \dots \\ \vec{I}_{11,5}, \vec{I}_{21,5}, \vec{I}_{31,5}, \vec{I}_{41,5}, \dots \\ \vec{I}_{12} \dots \end{pmatrix} = (K_1 K_2 K_3 \dots)$$

\vec{R}^T = Spektrum des Drehzahlverlaufs eines Arbeitsspiels (Transponierte)

\vec{I} = Spektrale Impulsantworten

K = Korrekturfaktoren für die Einspritzmenge

[0013] Durch Multiplikation der skalaren Größe K mit dem Einheitsvektor \vec{e}_1 der Impulsantwort wird \vec{K} erhalten:

$$\vec{K} = K * \vec{e}_1$$

5

Patentansprüche

1. Verfahren zur Rundlaufregelung der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine, wobei die Beiträge der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine zur Drehbeschleunigung anhand des Drehzahlverlaufs der Kurbelwelle bestimmt werden, und wobei die Einspritzmengen der den Zylindern zugeordneten Injektoren zur Einstellung definierter Drehzahlbeiträge zum Drehzahlverlauf variiert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** aufgrund errechneter oder gemessener Drehzahlverlaufskurven der Kurbelwelle für jeden Zylinder ein Impulsantwortspektrum \vec{I} eines Arbeitsspieles zumindest für die Harmonische der 0,5-ten Ordnung gebildet wird, dass im Normalbetrieb jeweils der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel eines Arbeitsspieles aufgenommen wird und durch Fouriertransformation die Fourierkoeffizienten als Resultierende \vec{R} zumindest der Harmonischen der 0,5-ten Ordnung bestimmt werden, und dass im weiteren Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen der einzelnen Zylinder gewonnen werden, indem die in Richtung der Impulsantwortvektoren liegenden Komponenten der Resultierenden \vec{R} mit den Impulsantworten \vec{I} multipliziert werden und durch Addition zusammengefasst werden.
2. Verfahren zur Rundlaufregelung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Impulsantwortspektrum \vec{I} aus der Differenz der Drehzahlkurve des gesunden Motors und der Drehzahlkurve des Motors mit jeweils einem abgeschalteten Zylinder für jeden Zylinder durch Fouriertransformation der Differenzdrehzahlkurve gewonnen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den Impulsantworten \vec{I} und den Fourierkoeffizienten \vec{R} das Skalarprodukt gebildet wird, dessen Glieder nach Multiplikation mit dem Einheitsvektor die Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen jedes Zylinders in Betrag und Richtung darstellen.
4. Verfahren nach Anspruch 1,2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die tieffrequenten Anteile mehrerer Oberwellen aus den Kurvenverläufen durch Fouriertransformation ermittelt werden und daraus Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen jedes Zylinders dargestellt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberwellen der 0,5-ten bis 3-ten Ordnung betrachtet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fourierkoeffizienten der 0,5-ten und 1-ten Ordnung benutzt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich die Oberwellen der 1,5-ten Ordnung berücksichtigt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Koeffizienten der Fouriertransformationen in Form von Matrizen in einem Bordrechner abgelegt und abgearbeitet werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einstellung der Einspritzmengen der einzelnen Zylinder des gesunden Motors korrigiert wird, bis die Beiträge der Zylinder, zumindest was tieffrequente Harmonische anbetrifft, zur Drehbeschleunigung weitgehend gleich gestellt sind, und dass gegenüber diesem Drehzahlverlauf die Beiträge der einzelnen Zylinder zum Drehzahlverlauf ermittelt werden.

Claims

1. Method for regulating the smooth running of the crankshaft of an internal combustion engine, the contributions of the individual cylinders of the internal combustion engine to the rotational acceleration being determined with the aid of the crankshaft speed characteristic, and the injection quantities of the injectors assigned to the cylinders being varied for the purpose of setting defined speed contributions to the speed characteristic, **characterized in that** a pulse response spectrum \vec{I} of a working cycle is formed for each cylinder, at least for the harmonic of the

0.5th order, on the basis of calculated or measured crankshaft speed characteristic curves, **in that** in normal operation in each case the crankshaft speed characteristic is recorded over the angle of a working cycle, and the Fourier coefficients are determined by Fourier transformation as resultants $\bar{\mathbf{R}}$ at least of the harmonic of the 0.5th order, and **in that** correction factors are subsequently obtained for the injection quantities of the individual cylinders by multiplying the components of the resultants $\bar{\mathbf{R}}$ lying in the direction of the pulse response vectors by the pulse responses $\bar{\mathbf{I}}$ and combining them by addition.

2. Method for regulating smooth running according to Claim 1, **characterized in that** the pulse response spectrum $\bar{\mathbf{I}}$ is obtained from the difference between the speed curve of the healthy engine and the speed curve of the engine with in each case one cylinder cut off for each cylinder by Fourier transformation of the differential speed curve.

3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the scalar product is formed from the pulse responses $\bar{\mathbf{I}}$ and the Fourier coefficients $\bar{\mathbf{R}}$, the terms of which product represent in magnitude and direction, after multiplication by the unit vector, the correction factors for the injection quantities of each cylinder.

4. Method according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** the low-frequency components of a plurality of harmonics are determined by Fourier transformation from the courses of the curves, and correction factors for the injection quantities of each cylinder are represented therefrom.

5. Method according to Claim 4, **characterized in that** the harmonics of the 0.5th to 3th order are considered.

6. Method according to Claim 4, **characterized in that** the Fourier coefficients of the 0.5th and 1th order are used.

7. Method according to Claim 5, **characterized in that** the harmonics of the 1.5th order are additionally taken into account.

8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the coefficients of the Fourier transformations are stored and processed in the form of matrices in an onboard computer.

9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the setting of the injection quantities of the individual cylinders of the healthy engine is corrected until the contributions of the cylinders, at least as regards low-frequency harmonics, are largely equal to the rotational acceleration, and **in that** the contributions of the individual cylinders to the speed characteristic are determined in relation to this speed characteristic.

Revendications

1. Procédé pour la régulation du fonctionnement régulier du vilebrequin d'un moteur à combustion interne où les contributions de chaque cylindre du moteur à combustion interne à l'accélération angulaire sont déterminées au moyen de l'évolution du régime du vilebrequin et où les quantités injectées des injecteurs associés aux cylindres varient afin de régler les contributions de régime à l'évolution du régime, **caractérisé en ce que**, sur la base des courbes d'évolution du régime du vilebrequin calculées ou mesurées pour chacun des cylindres, un spectre de réponses impulsionnelles $\bar{\mathbf{I}}$ d'un cycle de fonctionnement est constitué pour l'harmonique d'ordre 0,5, **en ce qu'**en fonctionnement normal, l'évolution du régime du vilebrequin est à chaque fois enregistrée en fonction de l'angle d'un cycle de fonctionnement et, par transformation de Fourier, les coefficients de Fourier sont déterminés en tant que résultante $\bar{\mathbf{R}}$ des harmoniques d'ordre 0,5 au moins et **en ce qu'**en outre, les facteurs de correction des quantités injectées des différents cylindres sont obtenus par le fait que les composantes de résultante \mathbf{R} se trouvant dans le sens des vecteurs de réponses impulsionnelles sont multipliées par les réponses impulsionnelles $\bar{\mathbf{I}}$ et sont regroupées par addition.

2. Procédé pour la régulation de fonctionnement régulier selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le spectre de réponses impulsionnelles $\bar{\mathbf{I}}$ est obtenu à partir de la différence entre la courbe de régime du moteur en bon état et la courbe de régime du moteur avec à chaque fois un cylindre coupé, pour chaque cylindre, par une transformation de Fourier de la courbe différentielle des régimes pour chaque cylindre.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le produit scalaire est effectué à partir des réponses impulsionnelles $\bar{\mathbf{I}}$ et des coefficients de Fourier $\bar{\mathbf{R}}$, produit scalaire dont les membres, après multiplication par le

EP 1 242 738 B1

vecteur unitaire, représentent les facteurs de correction des quantités injectées pour chaque cylindre en module et en direction.

4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** les fractions de basses fréquences de plusieurs ondes harmoniques sont déterminées à partir des allures de courbe par transformation de Fourier et les facteurs de correction des quantités injectées sont ainsi représentés pour chacun des cylindres.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les ondes harmoniques d'ordres 0,5 à 3 sont prises en considération.
6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les coefficients de Fourier d'ordres 0,5 à 1 sont utilisés.
7. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'en outre**, les ondes harmoniques d'ordre 1,5 sont prises en compte.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les coefficients des transformées de Fourier sont mémorisés et traités sous la forme de matrices dans l'ordinateur de bord.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le réglage des quantités injectées des différents cylindres du moteur en bon état est corrigé jusqu'à ce que les contributions des cylindres à l'accélération angulaire, tout au moins en ce qui concerne les harmoniques de basses fréquences, soient ajustées de manière largement uniforme et **en ce que** les contributions des différents cylindres à l'évolution du régime sont déterminées par rapport à cette évolution du régime.

Fig. 1

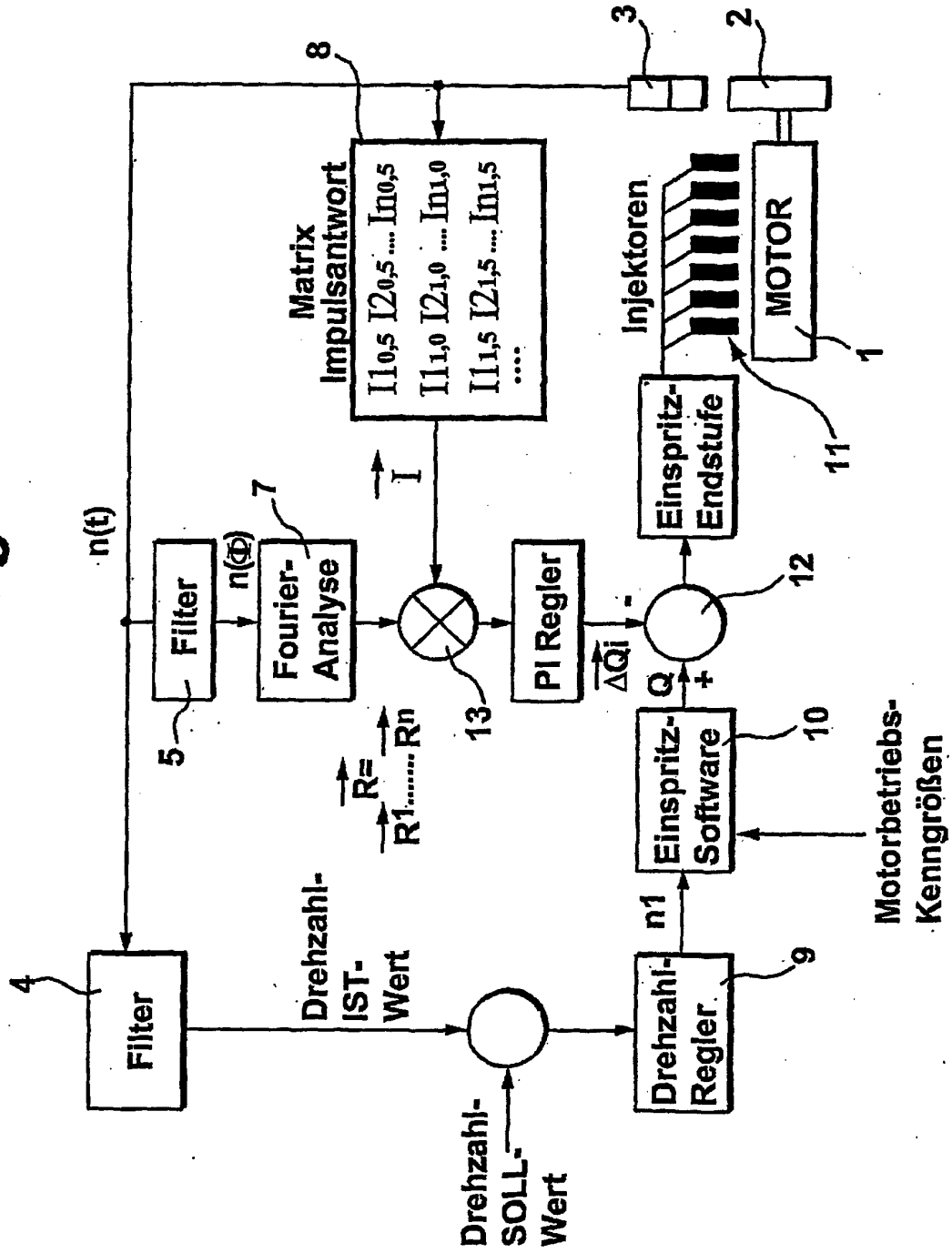


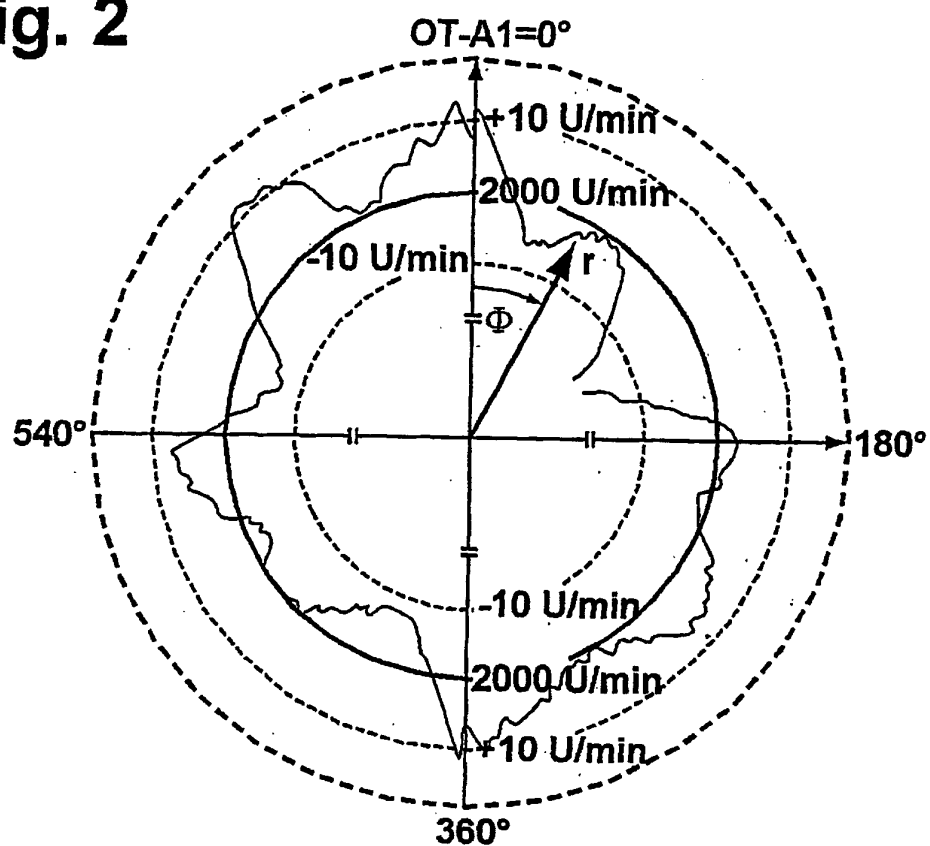
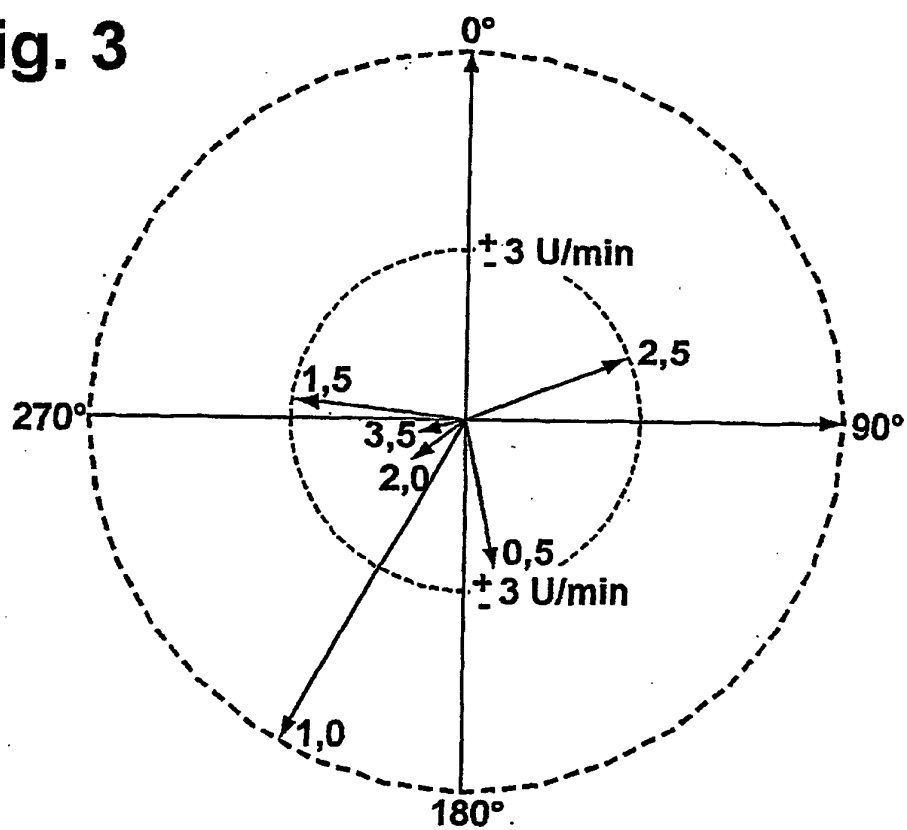
Fig. 2**Fig. 3**

Fig. 4a

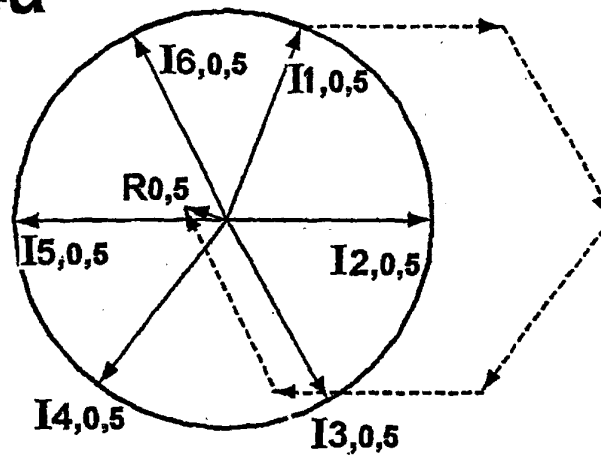


Fig. 4b

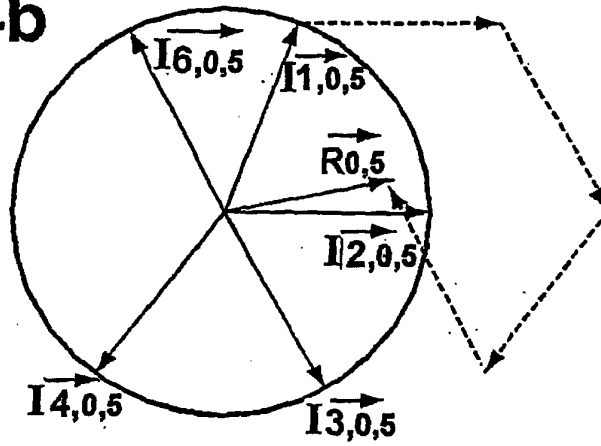


Fig. 4c

