

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Mai 2002 (16.05.2002)

PCT

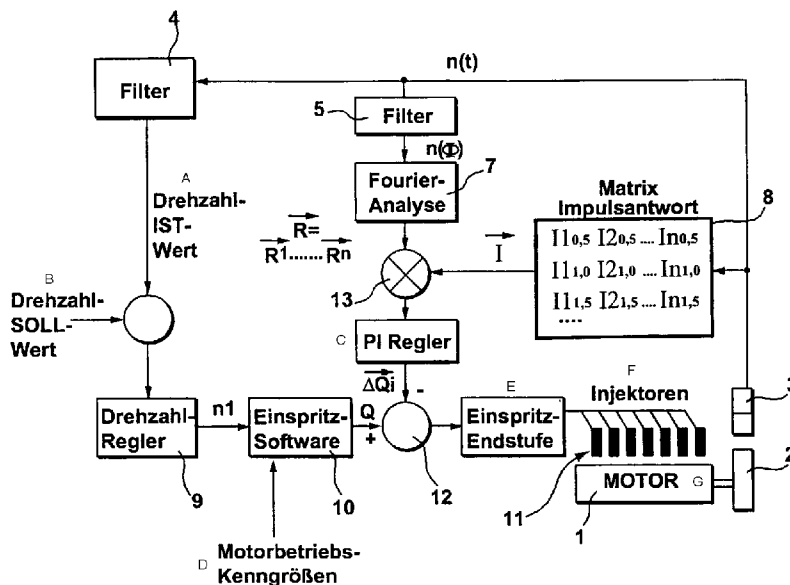
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/38936 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/14, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE/DE]; 88040 Friedrichshafen (DE).
41/34
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/12697 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): REMELE, Jörg [AT/DE]; Am Sonnenbühl 34, 88709 Hagnau (DE). SCHNEIDER, Andreas [DE/DE]; Weidenring 27, 88046 Friedrichshafen (DE). DEBELAK, Albrecht [DE/DE]; Holzhalde 35, 88048 Friedrichshafen (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 2. November 2001 (02.11.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: WINTER, Josef; MTU Friedrichshafen GmbH, Patentabteilung ZJXP, 88040 Friedrichshafen (DE).
- (30) Angaben zur Priorität: 100 55 192.0 7. November 2000 (07.11.2000) DE (81) Bestimmungsstaat (national): US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REGULATION OF TRUE RUNNING FOR DIESEL ENGINES

(54) Bezeichnung: RUNDLAUFREGELUNG FÜR DIESELMOTOREN



- | | |
|---------------------------------|--|
| A ROTATIONAL SPEED ACTUAL VALUE | 10 INJECTION SOFTWARE |
| 7 FOURIER ANALYSIS | D ENGINE OPERATION CHARACTERISTIC QUANTITIES |
| 8 MATRIX PULSE RESPONSE | E INJECTION FINAL STAGE |
| B ROTATIONAL SPEED SET VALUE | F INJECTORS |
| C PI CONTROLLER | G ENGINE |
| 9 ROTATIONAL SPEED CONTROLLER | |

(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating true running. Particularly in the case of internal combustion engines which have many cylinders, the rotational speed proportions of the cylinders overlap in such a manner that, when viewing the rotational speed curve, it is no longer possible to make conclusions about the rotational speed proportions of the individual cylinders thus necessitating new evaluation methods. According to the invention, the contributions of the individual cylinders of the internal combustion engine to the rotational acceleration are determined on the basis of the behavior of the rotational speed of the crankshaft by individually deactivating the cylinders in succession. Using the rotational speed behavior curves that are obtained in such a manner, a pulse response spectrum (I) of a working cycle is formed at least for the harmonic of the 0.5th order. During normal operation, the rotational speed behavior of the crankshaft over the angle of each working cycle is then constantly recorded. The Fourier coefficients are

appointed as resultant (R) of at least the harmonic of the 0.5th order by means of Fourier transformation. Correction factors for the injection quantities for equalizing the individual cylinders with regard to their rotational speed proportions are obtained by multiplying the components of resultants (R), said components being located in the direction of the pulse response vectors, with the pulse responses (I) and by adding them together.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/38936 A1



(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rundlaufregelung. Insbesondere bei hochzylindrigen Brennkraftmaschinen überlagern sich die Drehzahlanteile der Zylinder in einer Weise, dass bei Betrachtung der Drehzahlkurve keine Rückschlüsse mehr auf die Drehzahlanteile der einzelnen Zylinder möglich sind, was neue Auswertungsmethoden bedingt. Erfindungsgemäß werden die Beiträge der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine zur Drehbeschleunigung anhand des Drehzahlverlaufs der Kurbelwelle bestimmt, indem die Zylinder nacheinander einzeln abgeschaltet werden. Aus den so gewonnenen Drehzahlverlaufskurven wird ein Impulsantwortspektrum (I) eines Arbeitsspieles zumindest für die Harmonische der 0,5-ten Ordnung gebildet. Im Normalbetrieb wird dann ständig der Drehzahlverlauf der Kurbelwelle über dem Winkel jedes Arbeitsspieles aufgenommen. Durch Fouriertransformation werden die Fourierkoeffizienten als Resultierende (R) zumindest der Harmonischen der 0,5-ten Ordnung bestimmt. Korrekturfaktoren für die Einspritzmengen zur Gleichstellung der einzelnen Zylinder bezüglich ihrer Drehzahlanteile werden gewonnen, indem die in Richtung der Impulsantwortvektoren liegenden Komponenten der Resultierenden (R) mit den Impulsantworten (I) multipliziert und durch Addition zusammengefasst werden.

Rundlaufregelung für Dieselmotoren

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,

- 5 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.
- 10 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
- 15 Einspritzmengenvariierung hergestellt werden.

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 Zylindern der

- 20 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
- 25 Abweichungen festgestellt. Die Kraftstoffeinspritzmengen der einzelnen Zylinder werden schließlich so verändert, dass die Abweichungen verschwinden. Die Summe der Änderungen der in die einzelnen Zylindern eingespritzten Kraftstoffmenge wird so gewählt, dass sie insgesamt Null ergibt.

- 30 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
5 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
10 Größe des Vektors, der für die Schwingungen verantwortlich ist.

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
15 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
20 Verbrennungsvorgang minimiert werden.

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
25 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
30 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 Ein- oder 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.

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

Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Während bei Brennkraftmaschinen 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.

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{T} des Drehzahlverlaufs eines Arbeitsspieles 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{T} 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{T} 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{T} . Hierfür werden die erforderlichen Daten in Matrizenform zur Verfügung gehalten. Die Matrixmultiplikation der Impulsantworten \vec{T} 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

5 korrigieren.

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

Figur 1: Einen Drehzahlregelkreis mit den für die Drehschwingungsanalyse notwendigen

10 Elementen in schematischer Darstellung;

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

15 Figur 3: Eine spektrale Darstellung der Impulsantwort \bar{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

20 Einspritzmenge (4c).

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

25 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

30 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 $\vec{T}1$ bis $\vec{T}6$ verdeutlichen. In diesem Fall erfolgt keine Korrektur der aufgrund der vorgegebenen Soll- und Istdrehzahlen im Drehzahlregler 9 und von der Einspritzsoftware 10 ermittelten Einspritzmengen durch die jedem Zylinder zugeordneten Injektoren 11.

15

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.

20

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{T} des Motors auf die Abschaltung der Zylinder darstellen. Die Impulsantworten \vec{T} werden einer Fouriertransformation unterzogen, wobei man die spektralen Impulsantworten \vec{T} erhält. Es werden nur die auf die tieffrequenten harmonischen Schwingungen der 0,5-ten bis 3-ten

30

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: $\vec{R}^T * \vec{I} = \vec{K}$ oder:

$$20 \quad (\vec{R}_{0,5} \vec{R}_{1,0} \vec{R}_{1,5} \vec{R}_{2,0} \vec{R}_{2,5} \dots) * \begin{pmatrix} \vec{I}_{10,5}, \vec{I}_{20,5}, \vec{I}_{30,5}, \vec{I}_{40,5}, \dots \\ \vec{I}_{11}, \vec{I}_{21}, \vec{I}_{31}, \vec{I}_{41}, \dots \\ \vec{I}_{11,5}, \vec{I}_{21,5}, \vec{I}_{31,5}, \vec{I}_{41,5}, \dots \\ \vec{I}_{12} \dots \end{pmatrix} = (K1 \ K2 \ K3 \dots)$$

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

\vec{I} = Spektrale Impulsantworten

K = Korrekturfaktoren für die Einspritzmenge

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

10

15

20

25

30

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Rundlaufregelung der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine, wobei die Beiträge der einzelnen Zylinder der Brennkraftmaschine zur Drehbeschleunigung
5 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{T} eines Arbeitsspieles zumindest für die
10 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
15 werden, indem die in Richtung der Impulsantwortvektoren liegenden Komponenten der Resultierenden \vec{R} mit den Impulsantworten \vec{T} multipliziert werden und durch Addition zusammengefasst werden.
2. Verfahren zur Rundlaufregelung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das
20 Impulsantwortspektrum \vec{T} 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**, aus den
25 Impulsantworten \vec{T} 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
30 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
5 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.
- 10 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.
- 15 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.

20

25

30

Fig. 1

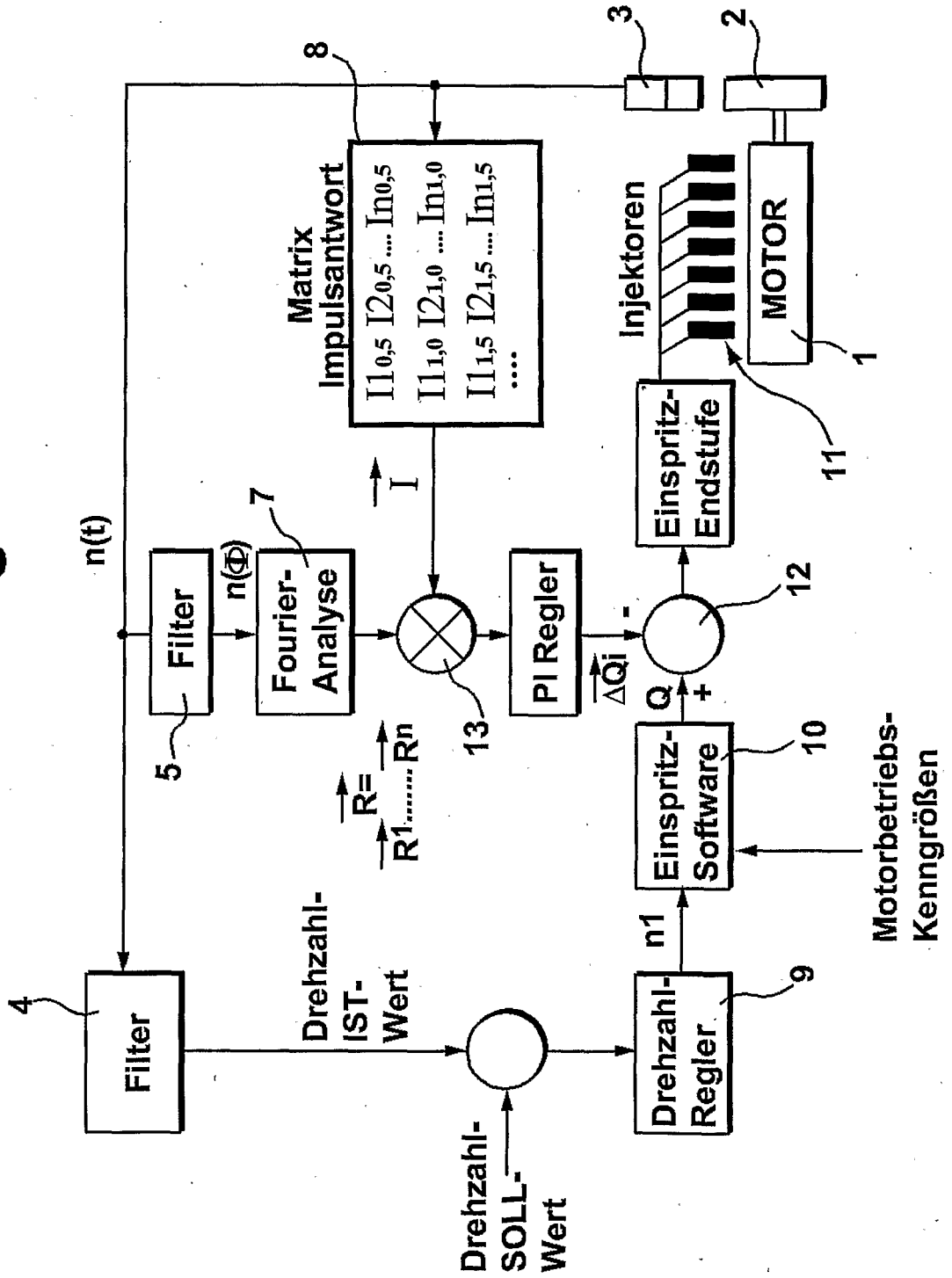


Fig. 2

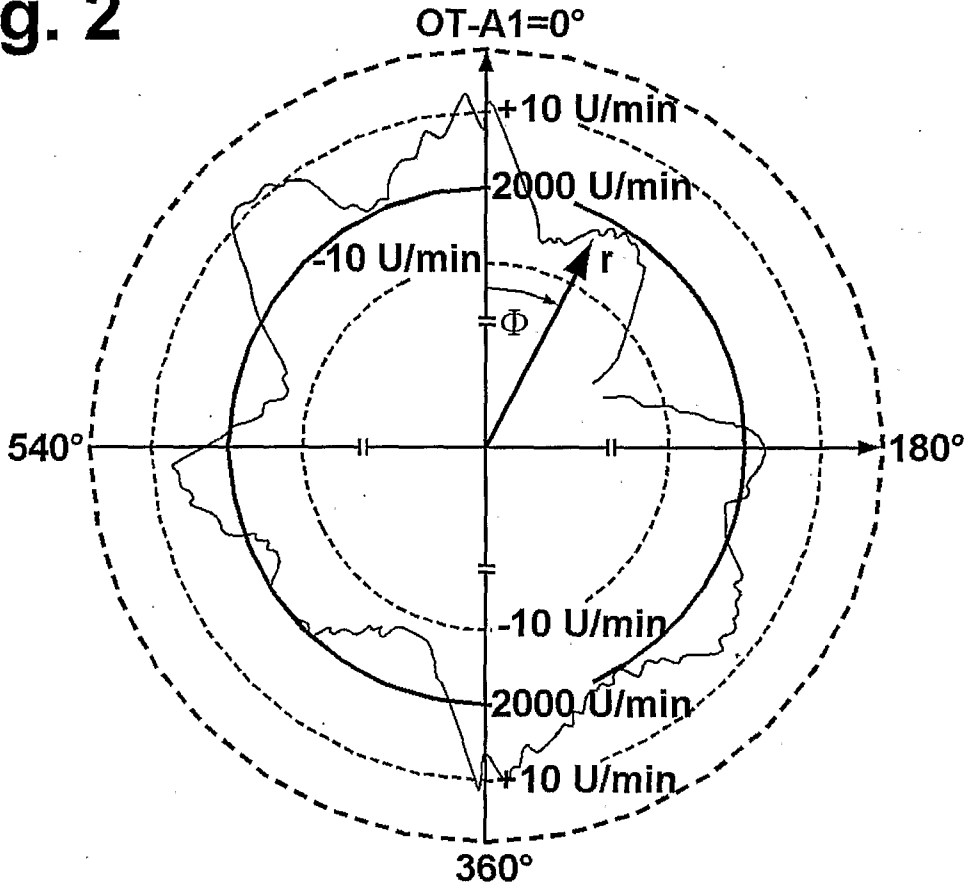


Fig. 3

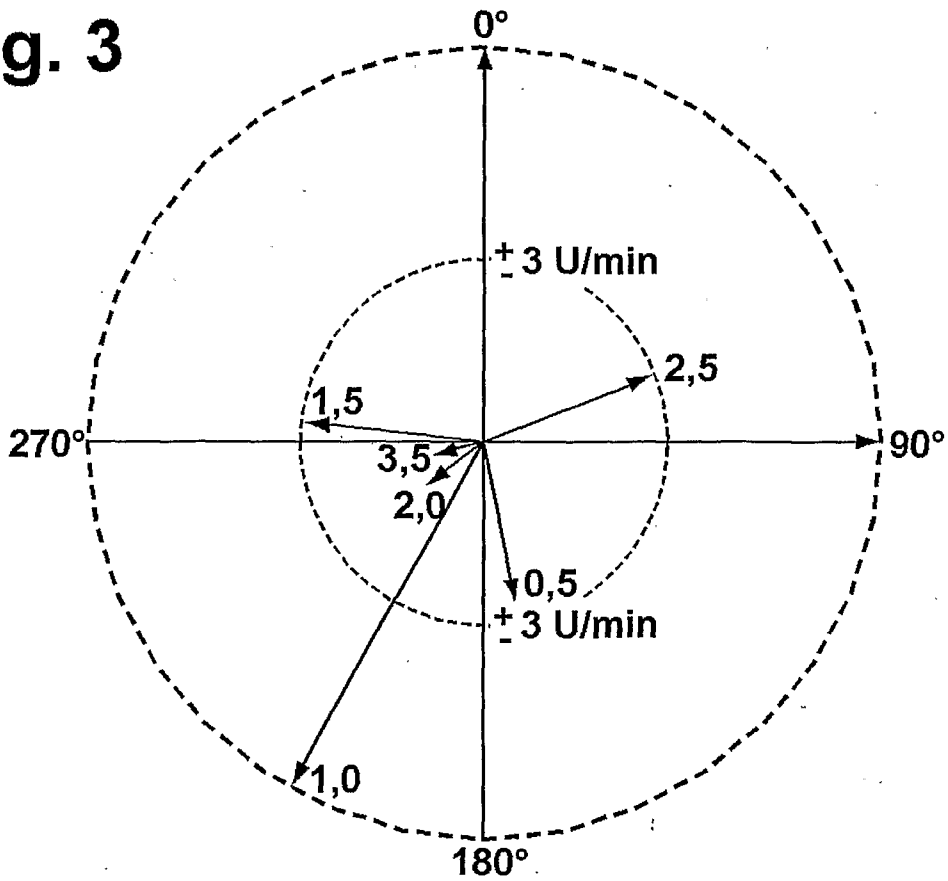


Fig. 4a

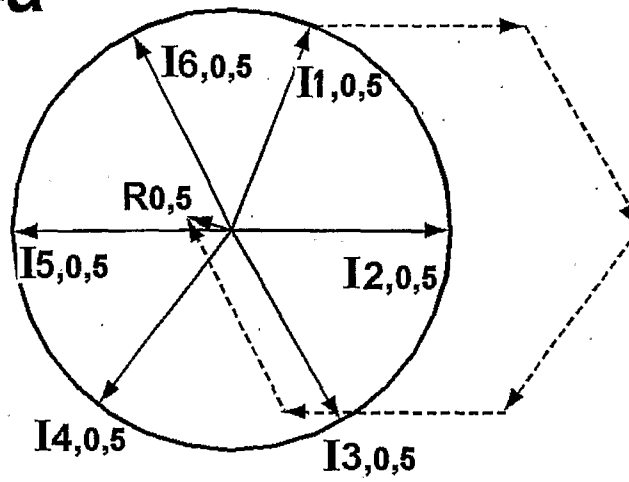


Fig. 4b

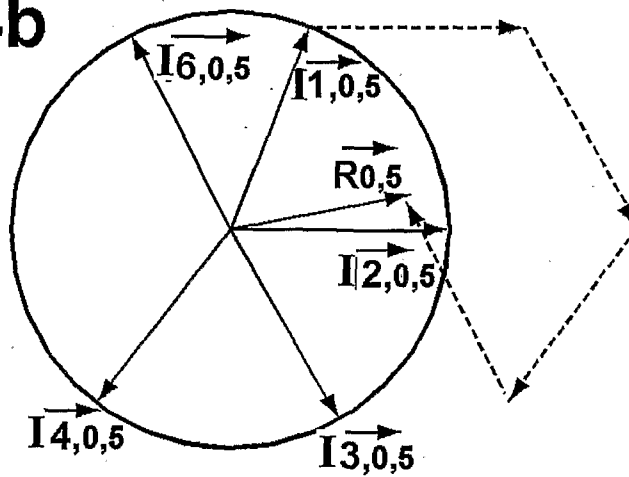
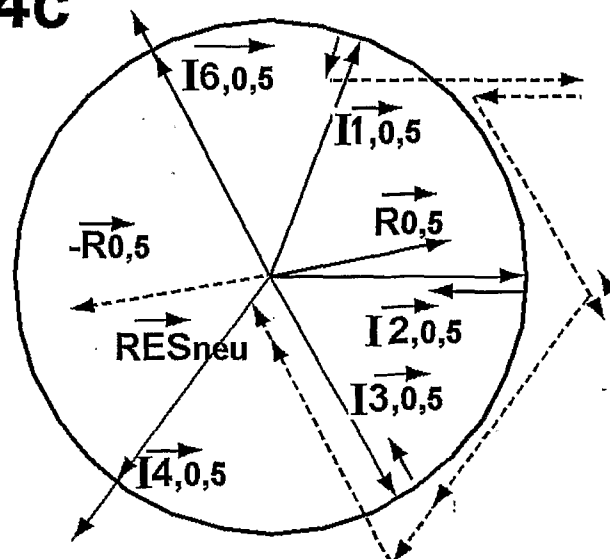


Fig. 4c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/12697

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 F02D41/14 F02D41/34		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 F02D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 021 758 A (CAREY DAVID M ET AL) 8 February 2000 (2000-02-08) column 1, line 36 -column 2, line 63 column 4, line 26 -column 9, line 4; claims 1-12 ---	1-9
A	DE 41 22 139 A (BOSCH GMBH ROBERT) 7 January 1993 (1993-01-07) the whole document ---	1-9
A	WO 97 23716 A (VOLVO AB ; PERSSON PER (SE)) 3 July 1997 (1997-07-03) page 1, line 11 -page 2, line 21 page 3, line 25 -page 10, line 9 figures 4-7 --- -/--	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
° Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 5 March 2002	Date of mailing of the international search report 19/03/2002	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Calabrese, N	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/12697

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 00 36287 A (CATERPILLAR INC) 22 June 2000 (2000-06-22) page 3, line 2 -page 13, line 30 -----	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP 01/12697

Patent document cited in search report	A	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6021758	A	08-02-2000	NONE	
DE 4122139	A	07-01-1993	DE 4122139 A1 GB 2257542 A JP 5187302 A US 5385129 A	07-01-1993 13-01-1993 27-07-1993 31-01-1995
WO 9723716	A	03-07-1997	SE 512556 C2 AU 1403797 A BR 9612211 A EP 0868601 A1 JP 2000502769 T SE 9504603 A WO 9723716 A1 US 6247449 B1	03-04-2000 17-07-1997 13-07-1999 07-10-1998 07-03-2000 23-06-1997 03-07-1997 19-06-2001
WO 0036287	A	22-06-2000	US 6189378 B1 EP 1055059 A1 WO 0036287 A1	20-02-2001 29-11-2000 22-06-2000

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In tionales Aktenzeichen
PCT/EP 01/12697

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 F02D41/14 F02D41/34		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 F02D		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 021 758 A (CAREY DAVID M ET AL) 8. Februar 2000 (2000-02-08) Spalte 1, Zeile 36 -Spalte 2, Zeile 63 Spalte 4, Zeile 26 -Spalte 9, Zeile 4; Ansprüche 1-12	1-9
A	DE 41 22 139 A (BOSCH GMBH ROBERT) 7. Januar 1993 (1993-01-07) das ganze Dokument	1-9
A	WO 97 23716 A (VOLVO AB ;PERSSON PER (SE)) 3. Juli 1997 (1997-07-03) Seite 1, Zeile 11 -Seite 2, Zeile 21 Seite 3, Zeile 25 -Seite 10, Zeile 9 Abbildungen 4-7	1-9
	--- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche 5. März 2002		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 19/03/2002
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Calabrese, N

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/12697

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 00 36287 A (CATERPILLAR INC) 22. Juni 2000 (2000-06-22) Seite 3, Zeile 2 -Seite 13, Zeile 30 -----	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inhaltliches Aktenzeichen

PCT/EP 01/12697

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6021758	A	08-02-2000	KEINE	
DE 4122139	A	07-01-1993	DE 4122139 A1	07-01-1993
			GB 2257542 A	13-01-1993
			JP 5187302 A	27-07-1993
			US 5385129 A	31-01-1995
WO 9723716	A	03-07-1997	SE 512556 C2	03-04-2000
			AU 1403797 A	17-07-1997
			BR 9612211 A	13-07-1999
			EP 0868601 A1	07-10-1998
			JP 2000502769 T	07-03-2000
			SE 9504603 A	23-06-1997
			WO 9723716 A1	03-07-1997
			US 6247449 B1	19-06-2001
WO 0036287	A	22-06-2000	US 6189378 B1	20-02-2001
			EP 1055059 A1	29-11-2000
			WO 0036287 A1	22-06-2000