

(12) **GEBRAUCHSMUSTERSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 376/99

(51) Int.Cl.⁶ : **G01M 15/00**

(22) Anmeldetag: 31. 5.1999

(42) Beginn der Schutzdauer: 15. 7.1999

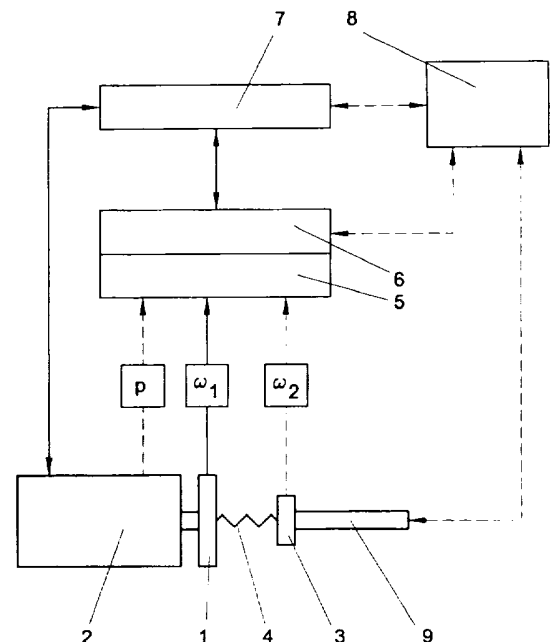
(45) Ausgabetag: 25. 8.1999

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DIAGNOSE BZW. STEUERUNG VON BRENNKRAFTMASCHINEN**

(57) Zur Diagnose insbesondere mehrzylindriger Brennkraftmaschinen wird aus einer fortlaufenden Messung der kurbelwinkelabhängigen Drehgeschwindigkeit an einem Bauteil der Brennkraftmaschine modellgestützt der Energiepegelverlauf ermittelt und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen. Um die Genauigkeit zu verbessern und auch Störgrößen möglichst gut und einfach berücksichtigen zu können, wird aus zumindest einem Einzelzylinder-Momentverlauf der Gesamt-Gaskraftdrehmomentverlauf als Funktion zylinderspezifischer Parameter zumindest näherungsweise über einen bestimmten Kurbelwinkelbereich modelliert und unter Variation zumindest eines Teils der zylinderspezifischen Parameter dem Verlauf des aus dem Energiepegelverlauf ermittelten Energiepegelmomentes in diesem Bereich angepaßt. Mit Hilfe der aus dieser Anpassung erhaltenen zylinderspezifischen Parameter wird der Modellierung zugrundegelegte Einzelzylinder-Momentverlauf korrigiert und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Diagnose von Brennkraftmaschinen, insbesondere von mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen, wobei aus einer fortlaufenden Messung der kurbelwinkelabhängigen Drehgeschwindigkeit an einem Bauteil der Brennkraftmaschine modellgestützt der Energiepegelverlauf ermittelt und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen wird. Weiters betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Steuerung von Brennkraftmaschinen, insbesondere zur on-board Steuerung von als Antriebsmotor in einem Kraftfahrzeug eingebauten Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen unter Zuhilfenahme eines derartigen Diagnose-Verfahrens sowie auch eine Vorrichtung zur Diagnose von Brennkraftmaschinen, insbesondere von mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen.

Diagnoseverfahren der angesprochenen Art sind beispielsweise aus AT 393 324 B, AT 396 842 B oder AT 755 U1 bekannt, wobei in allen Fällen dem sogenannten "Energiepegel" eine zentrale Rolle zukommt. Die folgenden Erläuterungen zum Energiepegel sind detaillierter in den genannten Schriften enthalten - zur Vermeidung allzu ausführlicher Wiederholungen ist auf die dortigen Erklärungen zu verweisen, die integrierter Bestandteil der vorliegenden Anmeldung sein sollen.

Bei der sogenannten Energiepegelmethode ist vorgesehen, daß - jeweils für definierte Kurbelwinkelstellungen α -

- an zumindest einem Bauteil (mit dem Index j) der Brennkraftmaschine die jeweilige momentane Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit $\omega_j(\alpha)$ gemessen wird,

- aus den konstruktiven Daten der rotierenden und oszillierenden Teile der Brennkraftmaschine zugehörige kurbelwinkelabhängige Ersatzträgheitsmomente $I(\alpha)$ ermittelt werden und

- nach der Beziehung $E_{\text{gesamt}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$ die jeweilige Gesamtenergie, die in der Brennkraftmaschine gespeichert ist, durch die gesamte ki-

netische Energie E_{kin} angenähert wird, wobei E_{kin} als $E(\alpha)$ nach der Beziehung

$$E(\alpha) = \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} I_j(\alpha) \cdot \omega_j^2(\alpha)$$

Gleichung 1

ermittelt wird, und daß

- aus dem Vergleich dieser Gesamtenergien in zylinderspezifischen Kurbelwinkelbereichen die Einzelzylinder-Drehmomente bzw. -Leistungen bestimmt werden.

Eine entsprechende Einrichtung zur Diagnose von Brennkraftmaschinen ist demgemäß so ausgebildet, daß die Meßanordnung mindestens eine Meßeinheit zur fortlaufenden Messung der Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit $\omega(\alpha)$ an einem Bauteil der Brennkraftmaschine sowie eine damit in Verbindung stehende Zuordnungseinheit zur Zuordnung der jeweiligen Meßergebnisse zu definierten Kurbelwinkelstellungen der Brennkraftmaschine aufweist, daß die Auswerteeinrichtung eine Speichereinheit aufweist, in der für die definierten Kurbelwinkelstellungen mindestens ein jeweiliges Ersatzträgheitsmoment $I(\alpha)$ der Brennkraftmaschine enthalten ist, daß die Auswerteeinrichtung weiters eine Verknüpfungseinheit umfaßt, in der die jeweilige Gesamtenergie der Brennkraftmaschine ermittelt wird, und daß eine Vergleichseinheit in der Auswerteeinheit vorgesehen ist, in der aus dem Vergleich dieser Gesamtenergien in zylinderspezifischen Kurbelwinkelbereichen die Einzelzylinder-Drehmomente bzw. -Leistungen bestimmt werden. $I(\alpha)$ wird dabei ermittelt an Hand von Motordaten, die eingegeben werden, und wird unter Umständen zwischengespeichert.

Diese "Speichereinheit" für $I(\alpha)$ umfaßt auch Lösungen, bei denen verschiedene weitere Signalaufnahme- bzw. Eingabemöglichkeiten vorgesehen sind, mit deren Hilfe beispielsweise in einer vorgeschalteten Verknüpfungseinheit $I(\alpha)$ ermittelbar ist. Über eine Eingabeeinheit können motor-

typspezifische Maschinendaten - insbesondere Werte für das Rotations-Trägheitsmoment I_0 , die Pleuellänge l , den Kurbelradius r , die Masse der oszillierenden Teile eines Zylinders m_{os} oder auch den Reibmitteldruck p_r als Funktion der Schmieröltemperatur - eingegeben werden. In der Auswerteeinrichtung wird aus diesen Daten $I(\alpha)$ ermittelt und in der Speichereinheit für zumindest eine Periode zwischengespeichert. An Sensoren ist für dieses Verfahren nur erforderlich mindestens eine Meßeinheit zur fortlaufenden Messung der Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit der Brennkraftmaschine. Wenn eine Zuordnung der Meßergebnisse zu jedem einzelnen Zylinder erforderlich ist, so ist weiters eine Erkennungseinheit für ein im Zyklus der Brennkraftmaschine periodisch veränderliches Signal erforderlich, beispielsweise in bekannter Weise ein Nockenwellenmarkengeber, ein Zündspannungssignalgeber oder ein Nadelhubgeber am Einspritzsystem. Es wird bei dem bekannten Verfahren also davon ausgegangen, daß zur Einzelzylinderbeurteilung hinsichtlich Drehmoment bzw. Leistung nur eine für die jeweiligen dynamischen Verhältnisse am Kurbeltrieb der Brennkraftmaschine relevante momentane Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit $\omega(\alpha)$ in Abhängigkeit von der Kurbelwinkelstellung α der Brennkraftmaschine abgenommen zu werden und mit dem wiederum auf den Kurbelwinkel bezogenen jeweiligen Gesamtträgheitsmoment $I(\alpha)$ zur jeweiligen gesamten, in der Maschine gespeicherten, kinetischen Energie verknüpft zu werden braucht. In zylinderspezifischen Kurbelwinkelbereichen der über dem Kurbelwinkel aufgetragenen Gesamtenergie kann diese dann ohne weiteres den einzelnen hauptverursachenden Zylindern zugeordnet werden, sodaß durch entsprechende Vergleiche die Charakteristiken der Einzelzylinder ermittelbar sind.

An konstanten, motortypspezifischen Werten muß nur das Trägheitsmoment aller rotierenden Maschinenteile (reduziert auf die Kurbelwellendrehzahl), das Schubstangenverhältnis (Pleuelstangenlänge und Hub) sowie die

Summe der oszillierenden Massen pro Zylinder bekannt sein. Grundsätzlich ist das Verfahren bzw. die entsprechende Einrichtung für die Einzelzylinder-Beurteilung im Vollasthochlauf (Vollgasbeschleunigung in einem bestimmten Drehzahlbereich, vorzugsweise (aber nicht notwendigerweise) ohne äußere Belastung der Brennkraftmaschine) gedacht; aufgrund der hohen Genauigkeit - insbesondere im niederen Drehzahlbereich - ist es etwa ohne weiteres auch möglich, die Unterschiede zwischen den Zylindern im Leerlauf zu diagnostizieren. Grundsätzlich ist es darüber hinaus auch möglich während des Motorauslaufes das mechanische Verlustmoment des Motors zu bestimmen bzw. weiters auch während des Vollasthochlaufes den Verlauf des inneren Einzelzylinder-Drehmoments zu ermitteln.

Nachteilig bei den angesprochenen bekannten Verfahren, bzw. bei den entsprechenden Vorrichtungen, ist insbesondere der Umstand, daß lediglich ein Kennwert für den Einzelzylinderdrehmomentbeitrag bereitgestellt wird, nämlich ein $p_e \cdot j$, das ist der "gemischte effektive Mitteldruck für Zylinder j ". Bei Rückschluß auf die eingespritzte Kraftstoffmenge wird dabei näherungsweise angenommen, daß sich die Einzelzylinderdrehmomentenverläufe nur im Bereich vom (Zünd OT) bis (Zünd OT + Zündabstand) nennenswert unterscheiden und sonst gleich waren.

Das stellt für Motoren mit mehr als 4 Zylinder eine zunehmend große Ungenauigkeit dar. Beispielsweise werden bei einem 8 Zylinder-4-Takt-Motor Unterschiede nur in der ersten Hälfte des Arbeitstaktes angenommen. Das ist von der Bedeutung her auch vollkommen richtig, aber ein Arbeitstakt, der in der ersten Hälfte beispielsweise schwächer ist, wird auch in der zweiten Hälfte - wenn auch in geringerem Ausmaß als im ersten Teil - schwächer sein als der Arbeitstakt in der zweiten Hälfte eines durchschnittlich arbeitenden Zylinders.

Dies führt besonders bei vielzylindrigen Motoren zu einer beschränkten Genauigkeit des Rückschlusses vom gemischten effektiven Mitteldruck

p_{e*j} auf das abgegebene Einzelzylinderdrehmoment. Auch wurde zur Ermittlung von p_{e*j} die Gleichheit der Kompressionsarbeiten vorausgesetzt (was zwar ebenfalls eine gute Näherung darstellt), allerdings ohne Kenntnis über deren absolute Höhe bereitzustellen.

Im Fall der stationär unter Last laufenden Maschine stellt der eine bereitgestellte Kennwert für den Einzelzylinderdrehmomentenbeitrag genau genommen nur die Abweichung Δp_{e*j} des Einzelzylinderdrehmomentbeitrages vom zunächst unbekannten mittleren Durchschnittsdrehmoment aller Zylinder dar. Hierzu ist in WO 92/22648 dargestellt, wie aus dem Energiepegelverlauf das mittlere Lastmoment mit Hilfe einer Ordnungsanalyse bestimmt werden kann. Gerade das mittlere Motordrehmoment, und zwar in möglichst hoher Genauigkeit, ist in Verbindung mit der On-Board-Anwendung eine zunehmend wichtige Kenngröße. Bei sogenannten "momentengeführten Motorsteuerungssystemen" werden sehr viele Parameter in Kennfeldern, also als Werte in Abhängigkeit von der Drehzahl und einem Lastmaß, abgelegt. Die Erfassung des tatsächlich abgegebenen Drehmomentes wäre dabei wesentlich. Demgegenüber wird das Lastmaß häufig mit Hilfe einer langen Kette von mühsam zu applizierenden Kennfeldern (beim Ottomotor beispielsweise als Funktion von Luftmasse, λ , Zündzeitpunkt, Temperaturen und anderen Größen) bestimmt. Man wünscht sich hierbei eine Genauigkeitssteigerung.

Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ist es daher, die Verfahren und Vorrichtungen der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß die erwähnten Nachteile von bekannten Verfahren und Vorrichtungen vermieden werden und daß insbesondere das absolute Einzelzylinderdrehmoment und das mittlere Motorlastmoment bereitgestellt werden. Das mittlere Motorlastmoment soll dabei nach Möglichkeit getrennt in zwei Varianten erfaßt werden können, und zwar einerseits das an der Kurbelwelle bereitgestellte effektive Motordrehmoment M_e und andererseits das innere Motordrehmoment M_i ,

das als Ergebnis der eingespritzten Kraftstoffmenge und dem Wirkungsgrad der Verbrennung gesehen werden kann.

Dabei müssen auch Störgrößen wie die Rückwirkungen vom Antriebsstrang und die Torsionsschwingungseinflüsse im Kurbeltrieb sowie die Massenkraftwirkungen möglichst gut und in praktikabel einfacher Art und Weise berücksichtigt werden, um die gesuchten Größen in der erforderlichen Genauigkeit im gesamten Motorkennfeld sowohl bei stationärem als auch im dynamischen Betrieb bereitstellen zu können.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch gelöst, daß aus zumindest einem Einzelzylinder-Momentverlauf (bzw. dem Verlauf einer damit verknüpften Kenngröße) der Gesamt-Gaskraftdrehmomentverlauf (bzw. der Verlauf einer damit verknüpfen Kenngröße) als Funktion zylinderspezifischer Parameter zumindest näherungsweise über einen bestimmten Kurbelwinkel(oder Zeit)bereich modelliert und unter Variation zumindest eines Teils der zylinderspezifischen Parameter dem Verlauf des aus dem Energiepegelverlauf ermittelten Energiepegelmomentes (bzw. dem Verlauf einer damit verknüpften Kenngröße) in diesem Bereich angepaßt wird, und daß mit Hilfe der aus dieser Anpassung erhaltenen zylinderspezifischen Parameter der der Modellierung zugrundegelegte Einzelzylinder-Momentverlauf korrigiert und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen wird. Es wird damit also möglich, beispielsweise aus einem Einzelzylinder-Gasdruckverlauf, zusammen mit der bekannten Kurbelgeometrie, einen Einzelzylinder-Gasmomentverlauf als Funktion zylinderspezifischer Parameter herzunehmen und daraus den Summen-Gaskraftdrehmomentverlauf als Funktion dieser einzelzylinder-spezifischen Parameter zusammenzusetzen. Dieser Verlauf, der entweder auf eine Bezugsgröße (beispielsweise ein Spitzenwert oder ein mittlerer Wert des Verlaufs) normiert oder aber ohne Rücksicht auf Absolutwerte nur relativ bestimmt vorliegen kann, kann dann unter Variation von zylinderspezifischen

Streckungsparametern im jeweils betrachteten Kurbelwinkel- oder Zeitbereich in den Verlauf des aus dem Energiepegelverlauf ermittelten Energiepegelmomentes bzw. den Verlauf einer damit verknüpfen Kenngröße eingepaßt werden, was im wesentlichen einer „Entfaltung“ des Energiepegelmomentverlaufes in seine Summanden entspricht. Die einzelnen ermittelten zylinder-spezifischen Parameter können sodann zur Korrektur des jeweils der Modellierung zugrundegelegten Einzelzylinder-Momentverlaufes verwendet werden, womit sich für die jeweils beteiligten Einzelzylinder Kenngrößen ergeben, die zu deren Beurteilung herangezogen werden können. Es ist also unter Heranziehung zumindest eines Einzelzylinder-Momentverlaufes (bzw. eines Einzelzylinder-Gasdruckverlaufes oder dergleichen) eine wesentliche Verbesserung der eingangs besprochenen Energiepegelmethode möglich, die noch detailliertere und konkretere Aussagen zur Einzelzylinder-Beurteilung ermöglicht.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß der Einzelzylinder-Momentverlauf ohne weitere Messung an der jeweiligen Brennkraftmaschine mithilfe bekannter Methoden (z.B. einfache Simulation der polytropen Kompression und der Verbrennung) geschätzt bzw. aus Daten der Motorentwicklung modelliert wird. Auch dies ermöglicht bereits eine deutliche und vorteilhafte Verbesserung der Aussagekraft der eingangs besprochenen Energiepegelmethode, da auch damit bereits eine „Entfaltung“ des Energiepegelmomentverlaufes bzw. eine verbesserte Zuordnung zu den Einzelzylinder-Beiträgen möglich wird.

Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist aber vorgesehen, daß der Einzelzylinder-Momentverlauf aus einem an der jeweiligen Brennkraftmaschine, vorzugsweise an einem einzelnen Zylinder, aufgenommenen Einzelzylinder-Brennraumdruckverlauf, bzw. dem Verlauf einer dazu proportionalen Größe, unter Einbeziehung der Kurbelgeometrie ermittelt wird. Damit können die Gegebenheiten der jeweiligen Brennkraftmaschine

besser berücksichtigt werden, wobei aus der Messung an einem einzelnen Zylinder üblicherweise ohne weiteres auf eine zumindest weitgehend gleiche Form der Druck- bzw. Momentenverläufe der anderen Einzelzylinder geschlossen werden kann. Diese gemessenen Einzelzylinder-Verläufe berücksichtigen in vorteilhafter Weise den jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine und ähnliche durchaus signifikante Gegebenheiten, sodaß gegenüber der vorher besprochenen Schätzung bzw. Modellierung aus Daten der Motorentwicklung weitere Genauigkeitssteigerungen bei der Einzelzylinder-Beurteilung möglich sind.

Nach einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Energiepegelmoment einerseits aus der Ableitung des Energiepegelverlaufs und andererseits als Funktion des mittleren effektiven Lastmomentes C , des Gaskraftdrehmomentes M_{Gas} im Ansaug- und Auspufftakt und eines Reibmomentes modelliert wird, wobei in einem bestimmten Kurbelwinkelbereich durch Variation von mindestens einem der Modellparameter an den für diesen Bereich ermittelten Verlauf des Energiepegelmomentes bestmöglich angepaßt wird. Dies bedeutet im wesentlichen, daß der Einzelzylinder-Momentverlauf durch die Summe über mindestens einen Term, deren jeder aus einem zweckmäßigerweise normierten Verlauf eines spezifischen Momentenbeitrags und einem Streckungsfaktor besteht, modelliert wird, beispielsweise als

$$M_{\text{Gas}j}(\alpha) = K_j \cdot f_K(\alpha) + V_j \cdot f_V(\alpha + \Delta\alpha_j) + A_j \cdot f_A(\alpha) + S_j \cdot f_s(\alpha) \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei die verwendeten Symbole folgendes bedeuten:

$M_{\text{Gas}j}$ Gaskraft-Drehmomentverlauf des betrachteten Zylinders j

α Bezugskurbelwinkel der Brennkraftmaschine

K_j Kompressionsfaktor (maximales Kompressionsmoment) für Zylinder j

f_K normierter Kompressions- und Expansionsmomentverlauf bei ungefeuerter Maschine

V_j	Verbrennungsfaktor für Zylinder j
f_v	normierter Verbrennungsmomentenverlauf
$\Delta\alpha_j$	zylinderindividuelle Verschiebung des Verlaufes f_v
A_j	Ausschiebefaktor für Zylinder j
f_A	normierter Ausschiebemomentenverlauf
S_j	Saugfaktor für Zylinder j
f_s	normierter Saugmomentenverlauf

Diese Einzelzylinder-Gasmomente der einzelnen Zylinder des Motors können in einer Drehmomentbilanz berücksichtigt werden, die für eine Vielzahl von Kurbelwinkelwerten im betrachteten Kurbelwinkelintervall, das sich vorzugsweise von (Zünd-OT + Zündabstand - Zykluslänge) bis (Zünd-OT + Zündabstand) erstreckt, mit ein und dem selben Satz von Einpaßparametern (beispielsweise K_j , V_j , $\Delta\alpha_j$, A_j , S_j , C und R) bestmöglich erfüllt sein muß. Der Einpaßvorgang selbst erfolgt z.B. mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate.

Die angesprochene Drehmomentbilanz steht im Zusammenhang mit dem Energiepegel $E(\alpha)$ nach Gleichung 1. Es kann nämlich ein „Energiepegelmoment“ M_E definiert werden als Ableitung des Energiepegels $E(\alpha)$ nach dem Kurbelwinkel α :

$$M_E = \frac{dE}{d\alpha} \quad \text{Gleichung 3}$$

Dieses Energiepegelmoment kann direkt aus dem gemessenen ω -Verlauf (bzw. den gemessenen Verläufen) unter Berücksichtigung des Massenkrafteinflusses und des Torsionsschwingungseinflusses (wie in EP 0750184 A2 beschrieben) errechnet und zur Modellierung der Drehmomentbilanz verwendet werden:

$$M_E = \sum_{j=1}^z M_{Gasj} - C + R \cdot f_R \quad \text{Gleichung 4}$$

wobei die verwendeten Symbole folgendes bedeuten:

- j laufender Index der Zylindernummer von 1 bis z
 z Zylinderanzahl
 C mittleres effektives Lastmoment, das Nebenantriebe und Hauptlast der Verbrennungskraftmaschine abdeckt
 R Reibungsfaktor
 f_R normierter Kolbenreibmomentenverlauf.

Dabei kann der normierte Kolbenreibmomentenverlauf f_R näherungsweise proportional zur Summe über die quadrierten Kolbengeschwindigkeiten der einzelnen Zylinder angesetzt werden:

$$f_R = -\frac{1}{Max} \sum_{j=1}^z x_j'^2$$

wobei hier auf den maximal auftretenden Reibwert normiert wurde:

$$Max = \text{Maximalwert} \left(\sum_{j=1}^z x_j'^2(\alpha) \right)$$

und die Größe x_j' die dimensionslose Kolbengeschwindigkeit als Funktion der phasenrichtig auf den Zylinder j bezogenen Kurbelwinkellage α darstellt.

Vorzugsweise werden die im Modell der Drehmomentbilanz enthaltenen Streckungsfaktoren, beispielsweise K_j , V_j , A_j , S , R und C , in der Einheit für Drehmomente, in Nm, angegeben, während die zugehörigen Momentverläufe normiert und daher dimensionslos sind. Die Einpaßparameter $\Delta\alpha_j$, das sind die zylinderindividuellen Verschiebungen des normierten Verbrennungsmomentenverlaufes f_v , haben die Dimension eines Kurbelwinkels.

Aufgrund der großen Anzahl von einzupassenden Parametern - z.B. bei 8 Zylinder wären das 42 Werte -, die nicht nur den Rechenaufwand erhöhen, sondern letztenendes auch die Genauigkeit dieses damit zu „weichen“ Modells wieder senken, ist nach berechtigten vereinfachenden Annahmen zu suchen, und auch nach Abhängigkeiten einzelner Streckungsfaktoren von anderen Größen, die üblicherweise gemessen und damit von vornherein bekannt

sind. Grundsätzlich sind hier - abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall - verschiedene Ansätze möglich.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden für den Einpaßvorgang die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen:

- A_j $A_j = A$, gleicher Wert für alle Zylinder, soll als Wert in einem Kennfeld und / oder als Funktion des Ladedruckes vorgegeben sein.
- S_j $S_j = S$, gleicher Wert für alle Zylinder, als Funktion des Ladedruckes festgelegt und vorgegeben.
- K_j als Ausgangswert gleich für alle Zylinder: $K_j = K$; könnte auch als Funktion des aktuellen Ladedruckes oder in einem Kennfeld vorgegeben sein.
- $\Delta\alpha_j$ als Ausgangswert gleich für alle Zylinder: $\Delta\alpha_j = \Delta\alpha$; sinnvolle Ausgangswerte können in einem Kennfeld abhängig von Drehzahl, Lastmaß und Zündzeitpunkt abgelegt sein.
- R prinzipiell abhängig von der Ölzähigkeit und damit von der Öltemperatur sowie von Drehzahl und Lastmaß.

Damit verbleiben als wirklich einzupassende Parameter: K_j , $\Delta\alpha_j$, C und R (das sind z.B. 26 Werte bei einem 8-Zylindermotor). Zur weiteren Vereinfachung können auch K , $\Delta\alpha$ und R fest vorgegeben werden. Damit verbleiben z.B. nur mehr 9 Werte bei einem 8-Zylindermotor. In diesem Fall sind das eigentliche Meßrechenergebnis die Streckungsfaktoren für den normierten Verbrennungsmomentenverlauf sowie der Wert C als mittleres effektives Motordrehmoment im letzten Motorzyklus, angebar direkt in Nm.

Da mit V_j und den anderen Vorgaben jeder einzelne Gaskraftdrehmomentenverlauf definiert ist, kann auch ein echter pi-Wert ($p_{i,j}$) bzw. der Arbeitsanteil der Hochdruckschleife, direkt errechnet werden:

$$p_{i,j} = \frac{1}{Vh} \int_{-539}^{180} M_{Gas,j} \cdot d\alpha$$

bzw.

$$p_{ih,j} = \frac{1}{Vh} \cdot \int_0^{180} V_j \cdot f_{V(\alpha+\Delta\alpha)} \cdot d\alpha = V_j \cdot \int_0^{180} \frac{f_{V(\alpha+\Delta\alpha)}}{Vh} \cdot d\alpha$$

$p_{ih,j}$ ist direkt proportional der Einspritzmenge mal Verbrennungswirkungsgrad und damit bestens geeignet, den "Istwert" für die Regelung von Einzelzylindereinspritzmengen darzustellen.

Ebenso kann das mittlere innere Motordrehmoment M_i aus dem letzten Motorzyklus errechnet werden, was besonders dann sinnvoll ist, wenn R nicht vorgegeben, sondern tatsächlich eingepaßt wurde:

$$M_i = \frac{Vh}{4\pi} \cdot \frac{1}{z} \sum_{j=1}^z p_{i,j}$$

Damit könnten jeweils ab einem Kurbelwinkel ($OT_j + \text{Zündabstand}$) - sinnvollerweise maximal ab ($OT_j + 180^\circ$) - neue Werte für V_j und für C , gemittelt über den gesamten vorangegangenen Motorzyklus, berechnet und ebenso das innere Motordrehmoment M_i ermittelt werden.

Als unmittelbare konstruktive Ausgestaltung dieser Ausbildung der Erfindung wird an eine Sensoreinheit gedacht, die mit einer entsprechenden Meß- und Echtzeitrecheneinheit ausgestattet ist, mit hoher Datenrate den Energiepegelverlauf ermittelt und mit niedriger Datenrate die oben beschriebenen Resultatwerte an ein Motor- oder Antriebsstrangmanagementsystem weiterleitet und damit "Istwerte" für entsprechende Regelvorgänge oder Diagnosevorgänge bereitstellt.

Dabei ist wesentlich, daß keinerlei Einschränkungen für stationären oder instationären Betrieb getroffen wurden. Besonders vorteilhaft ist dabei, daß gewisse Betriebsparameter des Managementsystems (z.B. Ladedruck, Öltemperatur, Sollwert für den Zündzeitpunkt oder erwartetes inneres Drehmoment M_i) der ausgelagerten Sensor-Meß- und Recheneinheit laufend be-

kannt gegeben werden können, sodass die vorzugebenden Parameter gut ermittelt werden können.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Robustheit der Meßergebnisse gegenüber hochfrequenten Torsionsschwingungen (Kurbelwellentorsionsschwingungen) oder hochfrequenten Meßfehlern aller Art: Durch die strenge Vorgabe plausibler Verläufe ergibt sich die erwünschte Filterwirkung mit sozusagen Tiefpaß-Charakteristik.

Daher sinkt für ein bestimmtes Genauigkeitsziel der meßtechnische Aufwand. Das ist wiederum wesentlich bei der Verwendung preiswerter On-Board-Sensorik.

Zur Berücksichtigung des Einflusses von niederfrequenten Torsionsschwingungen speziell im Antriebstrang kann in weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens noch vorgesehen sein, daß abtriebsseitig eine weitere kurbelwinkelabhängige Drehgeschwindigkeit an einem elastisch mit dem einen Bauteil verbundenen weiteren Bauteil der Brennkraftmaschine ermittelt, bzw. eine separate, kurbelwinkelabhängige Momentmessung abtriebsseitig am Kurbeltrieb vorgenommen, und bei der Bestimmung des Energiepegelverlaufes berücksichtigt wird. Diese Verbesserungen der grundsätzlichen Energiepegelmethode sind beispielsweise auch in den eingangs angesprochenen Schriften (z.B. auch EP 0750184 A2) betreffend die Energiepegelmethode bereits enthalten und ermöglichen im vorliegenden Zusammenhang eine sehr vorteilhafte Verbesserung der Einzelzylinder-Beurteilung speziell im realistischen, dynamischen Betrieb der Brennkraftmaschine, bzw. auf schlechten Straßen, wo Rückwirkungen des Antriebstranges die Winkelgeschwindigkeitsmessung störend beeinflussen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Steuerung von Brennkraftmaschinen, insbesondere zur on-board Steuerung von als Antriebsmotor in einem Kraftfahrzeug eingebauten Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen, werden mit den mittels eines Verfahrens der beschriebenen Art erhaltenen Parametern Kenn-

größen zur Einzelzylinder-Beurteilung ermittelt und an eine on-board Motorsteuerung übertragen. Es ist damit also möglich, die aus dem in verschiedenen Ausgestaltungen beschriebenen Diagnoseverfahren erhaltenen zylinderspezifischen Parameter bzw. den damit errechneten Einzelzylinder-Momentverlauf oder diesem zuordenbare Größen (wie die beschriebenen Maximalwerte, Schwerpunktlagen und dergleichen) unmittelbar zur Motorsteuerung on-board zu verwenden, beispielsweise um über die Motorsteuerung (ECU) die Einspritzmenge, den Zündzeitpunkt und dergleichen für die einzelnen Zylinder in Abhängigkeit von deren Beurteilung zu verändern.

Im letztgenannten Zusammenhang besonders vorteilhaft ist eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, gemäß welcher die Aufnahme bzw. Ermittlung der Drehgeschwindigkeit(en) und gegebenenfalls des Einzelzylinder-Brennraumdruckverlaufes bzw. des Verlaufes einer dazu proportionalen Größe unabhängig von der oder nur parametrisiert durch die Motorsteuerung zeitlich hochaufgelöst erfolgt, wogegen die Übertragung der so ermittelten Meßgrößen an die Motorsteuerung mit niedrigerer Datenrate erfolgt. Damit kann auf sehr einfache Weise dem Umstand Rechnung getragen werden, daß für eine Verbesserung der Signifikanz der Einzelzylinder-Beurteilungen gemäß der Erfindung eine zeitlich hochaufgelöste Messung und Auswertung der für die Ermittlung des Energiepegelverlaufes herangezogenen Drehgeschwindigkeitsmessung(en) vorteilhaft ist, wogegen üblicherweise die in Kraftfahrzeugen verwendeten Motorsteuerungen (ECU) nur niedrigere Datenraten verarbeiten können bzw. brauchen.

Bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Diagnose von Brennkraftmaschinen, insbesondere von mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen, mit zumindest einer Meßeinheit zur fortlaufenden Messung der kurbelwinkelabhängigen Drehgeschwindigkeit an zumindest einem Bauteil der Brennkraftmaschine, einer Bereitstellungseinheit zur Bereitstellung eines parameterabhängigen Einzelzylinder-Momentverlaufes, und einer Auswerteeinheit zur mo-

dellgestützten Ermittlung des Energiepegelverlaufes aus der (den) gemessenen Drehgeschwindigkeit(en) sowie zur Anpassung des aus den Einzelzylinder-Momentverläufen zusammengesetzten Gesamt-Gaskraftdrehmomentverlaufes unter Variation der Parameter an den Verlauf des Energiepegelmomentes, werden die aus dieser Anpassung resultierenden Parameter oder die mit Hilfe dieser Parameter korrigierten Einzelzylinder-Momente von der Auswerteeinheit als Einzelzylinder-Diagnosegrößen angezeigt oder bereitgestellt. Die Bereitstellungseinheit ist dabei bevorzugt mit einer Sensoreinheit zur direkten Ermittlung des Brennraumdruckverlaufes bzw. des Verlaufes einer dazu proportionalen Größe zumindest eines Zylinders der jeweiligen Brennkraftmaschine verbunden. Die Sensoreinheit kann bevorzugt mit der (den) Meßeinheit(en) für die Drehgeschwindigkeit(en) verbunden sein und zumindest einen Teil der Auswerteelektronik der Auswerteeinheit umfassen, womit ein sogenannter "intelligenter Sensor" geschaffen ist, der in vorteilhafter Weise an oder in der Nähe der Brennkraftmaschine angebracht werden kann und dort beispielsweise auch die obenstehend besprochene Umwandlung der hohen Datenrate der Drehgeschwindigkeitsmessung(en) auf die niedrigere Datenrate zur Übertragung der Meßgrößen an die Motorsteuerung erledigt.

Die Erfindung wird im folgenden noch anhand der in der Zeichnung teilweise schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele bzw. Diagramme näher erläutert.

Fig. 1a zeigt dabei den an einem Einzylinder-Viertakt-Motor gemessenen Winkelgeschwindigkeitsverlauf Ω (ω) des Schwungrades, der mit weißem Rauschen überlagert ist und später numerisch geglättet wurde, über einem Kurbelwinkelbereich von -540 bis 180 Grad.

Fig. 1b zeigt den zugehörigen Verlauf des winkelabhängigen Gesamtträgheitsmomentes I_{α} .

Fig. 1c zeigt den in bekannter Weise aus den in Fig. 1a und 1b gezeigten Verläufen berechneten Energiepegelverlauf.

Fig. 1d zeigt schließlich das Einpaßergebnis des aus normierten Kurvenverläufen und Streckungsfaktoren linear zusammengesetzten und um die mittlere Motorlast und den Motorreibverlauf herabgesetzten Gaskraftdrehmomentenverlaufes ("M_Gas_minus_C_plus_R_fR") in den Verlauf der Ableitung des Energiepegelverlaufes nach dem Kurbelwinkel ("dE_d_alpha_Messung").

Weiters sind die eingepaßten Streckungsfaktoren C, R, A, S, K und V jeweils in Nm angegeben. $\Delta\alpha$ ergab bei 0 Grad ein minimales Fehlerquadrat.

Fig. 2a zeigt den zugehörigen gemessenen Zylinderdruckverlauf ("p1") und den daraus resultierenden Gaskraftdrehmomentenverlauf ("M_Gas"). Zum Vergleich der Größenordnungen wird zusätzlich der in Fig. 1d dargestellte verschobene Verlauf "M_Gas_minus_C_plus_R_fR" gezeigt.

Fig. 2b bis Fig. 2f zeigen die normierten Drehmomentverläufe fA, fs, FK, fV und fR. Diese Verläufe werden einmalig pro Motortyp aus gemessenen Druckverläufen bestimmt und abgespeichert. Es hat sich gezeigt, daß - bei Verwendung des Verschiebungsparameters $\Delta\alpha$ - im gesamten Motorkennfeld mit guter Näherung mit einem Satz dieser normierten Drehmomentverläufe das Auslangen gefunden werden kann.

In den Fig. 3 und 4 wird der in den Fig. 1 und 2 am Beispiel des Einzylindermotors gezeigte Einpaßvorgang für einen 8 Zylindermotor erläutert.

Fig. 5 zeigt beispielhaft eine bevorzugte Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Zunächst zum Einzylindermotor (bzw. Fig. 1a bis 2f):

Gemäß Gleichung 4 zur Darstellung des prinzipiellen Einpaßvorganges sei der Einfachheit halber angenommen, daß nur zwei Parameter, z.B. C und V, eingepaßt werden - der Rest sei vorgegeben. Somit werden in Gleichung 4 (mit Hilfe von Gl. 2) zunächst alle bekannten Teile auf die linke Seite

geschrieben und jene, die als Funktion der einzupassenden Parameter dargestellt werden, auf die rechte Seite:

$$\underbrace{M_E - A \cdot f_A - S \cdot f_S - K \cdot f_K - R \cdot f_R}_Y = \underbrace{V \cdot f_{V(\alpha+\alpha\Delta)} - C}_{\bar{Y}} \quad \text{Gleichung 5}$$

Diese Gleichung kann für viele Meßpunkte bei unterschiedlichen Kurbelwinkellagen α angeschrieben werden: Im gezeigten Beispiel bei einer Meßauflösung von 1 Grad Kurbelwinkel also 720 mal pro Motorzyklus. Da sowohl die linke Seite von Gl. 5, mit Y bezeichnet, durch Meßfehler und Näherungen verfälscht ist, als auch die rechte Seite, mit $\bar{Y}$ bezeichnet, durch Näherungsannahmen vereinfachter Modelle, wird wohl in den meisten Fällen keine einzige dieser 720 Gleichungen exakt erfüllt sein. Im statistischen Durchschnitt aber wird beispielsweise die Summe der Fehlerquadrate (S) minimal werden, wenn die Parameter V und C , die die rechte Seite $\bar{Y}$ von Gleichung 5 bestimmen, bestmöglich gewählt sind:

$$S = \sum_{\alpha=\alpha_0}^{\alpha_{\text{OT}}} (Y_{(\alpha)} - \bar{Y}_{(\alpha)})^2 \rightarrow \text{Min}$$

Die Lösung dieser Problemstellung erfolgt in bekannter Weise durch Nullsetzen der partiellen Ableitungen $\frac{\delta S}{\delta V}$ und $\frac{\delta S}{\delta C}$, womit sich zwei lineare Gleichungen für die beiden gesuchten Parameter V und C ergeben.

Beim Einpassen von mehr als 2 (z.B. n) Parametern, ändert sich an der grundsätzlichen Vorgangsweise nichts. Man erhält lediglich n lineare Gleichungen für n gesuchte Parameter, die dann mit den Methoden der linearen Algebra gelöst werden können.

Wesentlich ist, daß je nach gewählter Einpaßstrategie feste Lösungsformeln für die einzelnen Parameter ermittelt werden können, die im wesentlichen aus Summen, Produkten und Divisionen bestehen, die sich sehr

gut in entsprechend leistungsfähigen Recheneinheiten (Signalprozessoren) in Echtzeit berechnen lassen.

Im gewählten Beispiel kann unmittelbar nach dem Erreichen von $\alpha = 180$ Grad die folgende Auswertung durchgeführt werden:

$$C = \frac{\sum_{\alpha=-539}^{180} Y_{(\alpha)} \cdot \sum_{\alpha=-539}^{180} f_{(\alpha)}^2 - \sum_{\alpha=-539}^{180} Y_{(\alpha)} \cdot f_V(\alpha) \cdot \sum_{\alpha=-539}^{180} f_{V(\alpha)}}{\left(\sum_{\alpha=-539}^{180} f_{V(\alpha)} \right)^2 - 720 \cdot \sum_{\alpha=-539}^{180} f_{V(\alpha)}}$$

$$V = \frac{\sum_{\alpha=-539}^{180} y_{(\alpha)} + 720 \cdot C}{\sum_{\alpha=-539}^{180} f_{V(\alpha)}}$$

Die so erhaltenen Werte V und C können unmittelbar darauf dem übergeordneten Steuergerät zur Verfügung gestellt werden.

Die Länge des Betrachtungsintervalles muß sich nicht unbedingt über den gesamten Motorzyklus erstrecken. Wesentlich ist, daß die Parameter der einzelnen Zylinder dort variiert und eingepaßt werden, wo der Einzelzylindergaskraftmomentenverlauf einen bedeutenden Einfluß auf den Summengaskraftmomentenverlauf, und damit auf den ermittelbaren Energiepegelverlauf hat.

Werden die Parameter C und R als Mittelwerte über den gesamten Motorzyklus gesehen, ist das Zyklusintervall sinnvoll. Damit ergibt sich für den Mehrzylindermotor die folgende bevorzugte Einpaßstrategie. Zur Veranschaulichung zeigt Fig. 3 die 8 Einzelzylindergaskraftdrehmomentenverläufe ($M_{Gas_1} \div M_{Gas_8}$) eines 8-Zylinder-Nutzfahrzeugmotors bei Nennleistung über einem gesamten 4-Takt-Motorzyklus - hier beispielsweise von -180 bis 540 Grad Kurbelwinkel.

Fig. 4 zeigt den Gaskraftmomentenverlauf von Zylinder 1 (M_{Gas_1}) im Vergleich zum Summengaskraftmomentenverlauf ($Summe_M_Gas$, erster Term von

Gleichung 4) und zum Verlauf des Energiepegelmoments ($dE/d\alpha_{plus_C_minus_R_fR}$, M_E nach Gleichung 3, vermehrt um das mittlere Lastmoment und vermindert um das Kolbenreibmoment - wieder über einem gesamten 4-Takt-Motorzyklus - hier beispielsweise von 0 bis 720 Grad Kurbelwinkel. Als Einpaßintervall wird vorzugsweise jeweils ein gesamter Motorzyklus betrachtet, und zwar beispielsweise von $\alpha = -630$ bis $\alpha = +89$ Grad, wobei der Nullpunkt $\alpha=0$ im OT des betrachteten „aktuellen“ Zylinders mit dem Index „j = 0“ liegt. Mit diesem Intervall von beispielsweise -630 bis 89 Grad kann also sogar bei einem 8-Zylinder-Motor noch innerhalb eines Zündabstandes die gewünschte Einzelzylinderbewertung ($V_0, K_0, \Delta\alpha_0$) zeitgleich mit einer raschen Aktualisierung des mittleren Motorgesamtdrehmomentes (C) erfolgen.

Die folgenden Werte waren bei diesem Einpaßvorgang vorgegeben:

$$A_j \equiv A$$

$$S_j \equiv S$$

$$K_{-7} \text{ bis } K_{-1}$$

$$V_{-7} \text{ bis } V_{-1}$$

$$\Delta\alpha_{-7} \text{ bis } \Delta\alpha_{-1}$$

Eingepaßt werden C, K_0 , V_0 und R, und zwar mit dem Ausgangswert von $\Delta\alpha_0$. Mit entsprechend ausreichender Rechenleistung kann auch $\Delta\alpha_0$ eingepaßt werden, wobei der Einpaßvorgang durch wiederholte Berechnung des Summenfehlerquadrates bei verschiedenen vorgegebenen Werten von $\Delta\alpha_0$ erfolgt. Als Startwert wird ein geeigneter Mittelwert der vergangenen Motorzyklen angesetzt, beispielsweise der Mittelwert der letzten 10 Zyklen für $\Delta\alpha$ vom betrachteten Zylinder mit „j = 0“. $\Delta\alpha_0$ wird dann durch das Minimum im Ausgleichspolynom gefunden, das beispielsweise durch 5 Fehlerquadratwerte als Funktion von $\Delta\alpha_0$ gelegt wird.

Bei diesem zündabstandsweise überlappenden Einpaßvorgang ist zu beachten, daß die Werte K_7 und K_6 eigentlich K_{+1} und K_{+2} heißen sollten, da sie den beginnenden Kompressionsverlauf der nachfolgenden Zylinder berücksichtigen.

Wenn K nicht ohnehin für alle Zylinder gleich gesetzt wird, wird dabei vorgeschlagen, zumindest für jeden einzelnen Zylinder die Werte K_j über mehrere vergangene Motorzyklen zu mitteln und das jeweils einzupassende K_0 nur in geringen Grenzen um diesen Wert zu variieren, um ein stabiles Modell zu erhalten. Gleiches gilt für den Kolbenreibungsfaktor R .

Fig. 5 zeigt beispielhaft eine bevorzugte Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Am Schwungrad (1) der Brennkraftmaschine (2) wird eine erste momentane Drehwinkelgeschwindigkeit ω_1 gemessen. Optional wird am abtriebseitigen Ende (3) der hier als drehelastische Feder eingezeichneten Kupplung (4) eine zweite momentane Drehwinkelgeschwindigkeit ω_2 und mithilfe eines an einem Zylinder der Brennkraftmaschine angeordneten Zylinderdrucksensors wird optional der momentane Brennraumdruck p dieses Zylinders gemessen. Die Meßsignale dieser Sensoren werden mit hoher Datenrate einer Auswerteeinheit (5) zur Verfügung gestellt, die gemäß dem hier vorgestellten Verfahren die signifikanten Parameter ermittelt. Die angeschlossene Bereitstellungseinheit (6) sendet diese Ergebnisse mit geringerer Datenrate an die Motorsteuerung oder ECU (7). Von der Motorsteuerung wurden in einer Konditionierungsphase die für die Auswertung erforderlichen Systemparameter an die Bereitstellungseinheit (6) übermittelt und gegebenenfalls aktualisiert. Die Motorsteuerung wirkt außerdem und vor allem auf die Brennkraftmaschine, um den jeweils gewünschten Betrieb aufrecht zu halten bzw. einzuregeln.

Eingezeichnet ist weiters ein Antriebstrangmanagementsystem (8), das mit dem Abtrieb (9), mit der ECU (7) und mit der Bereitstellungseinheit

(6) in verbindung steht. Die genaue Kenntnis des aktuellen Motordrehmoments hilft insbesondere auch dem Antriebstrangmanagementsystem (8) als wichtige Eingangsgröße, die optional genutzt werden kann.

A n s p r ü c h e:

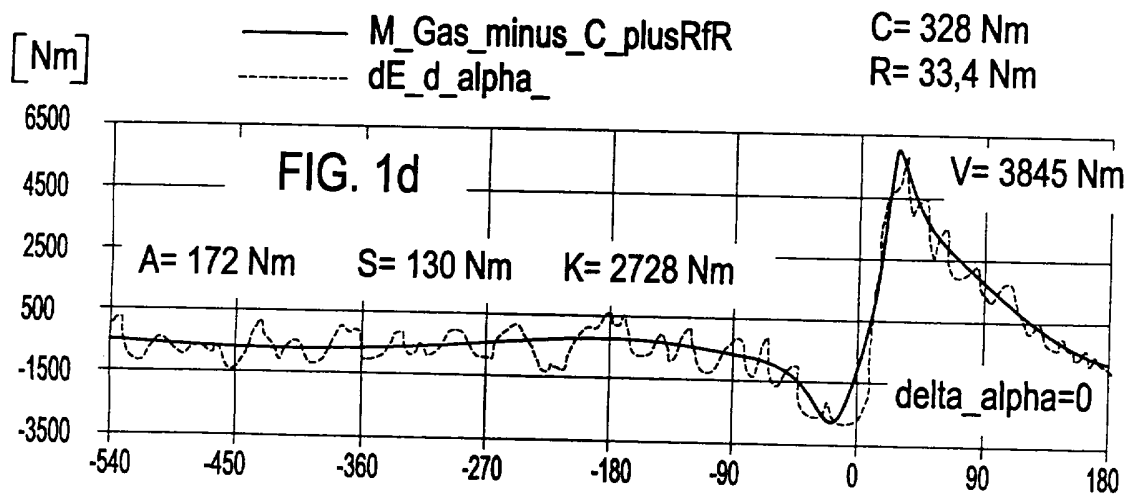
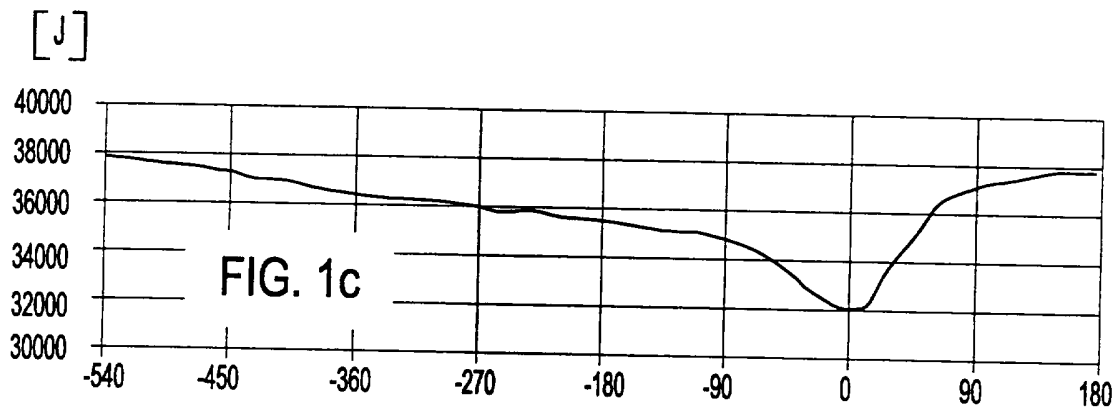
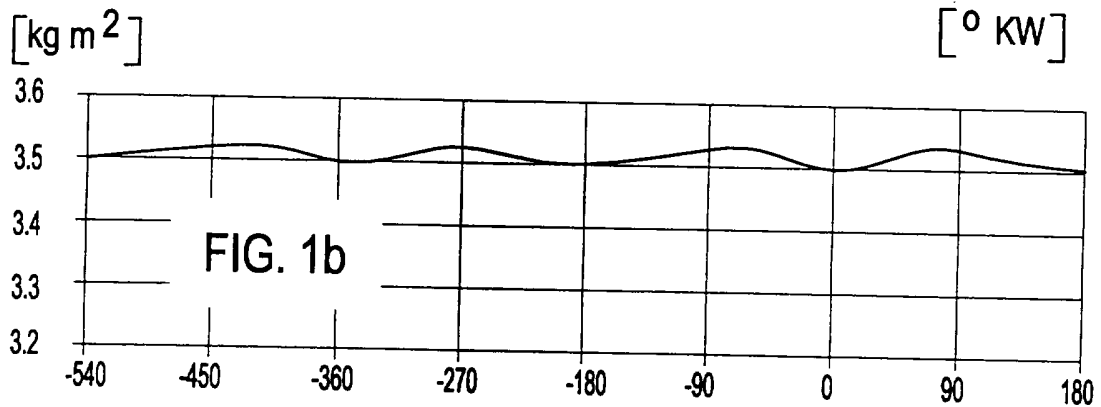
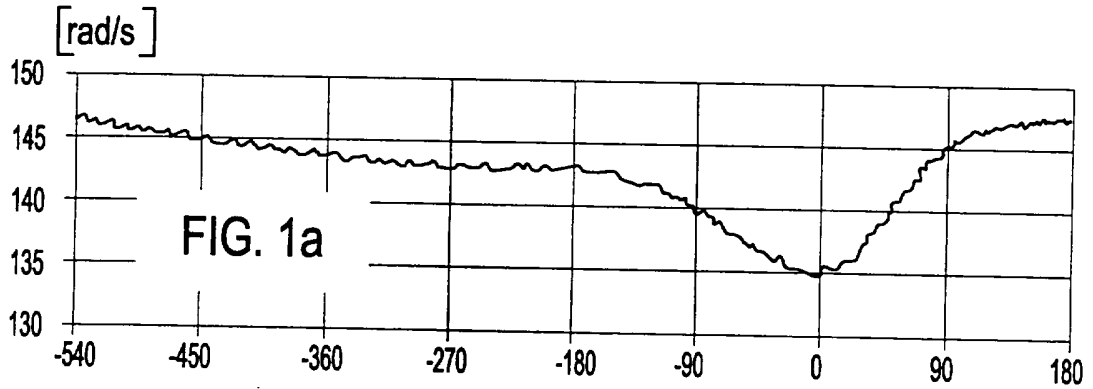
1. Verfahren zur Diagnose von Brennkraftmaschinen, insbesondere von mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen, wobei aus einer fortlaufenden Messung der kurbelwinkelabhängigen Drehgeschwindigkeit an einem Bauteil der Brennkraftmaschine modellgestützt der Energiepegelverlauf ermittelt und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß aus zumindest einem Einzelzylinder-Momentverlauf der Gesamt-Gaskraftdrehmomentverlauf als Funktion zylinderspezifischer Parameter zumindest näherungsweise über einen bestimmten Kurbelwinkelbereich modelliert und unter Variation zumindest eines Teils der zylinderspezifischen Parameter dem Verlauf des aus dem Energiepegelverlauf ermittelten Energiepegelmomentes in diesem Bereich angepaßt wird, und daß mit Hilfe der aus dieser Anpassung erhaltenen zylinderspezifischen Parameter der der Modellierung zugrundegelegte Einzelzylinder-Momentverlauf korrigiert und zur Einzelzylinder-Beurteilung herangezogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzelzylinder-Momentverlauf ohne weitere Messung an der jeweiligen Brennkraftmaschine geschätzt bzw. aus den Motordaten modelliert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzelzylinder-Momentverlauf aus einem an der jeweiligen Brennkraftmaschine, vorzugsweise an einem einzelnen Zylinder, aufgenommenen Einzelzylinder-Brennraumdruckverlauf, bzw. dem Verlauf einer dazu proportionalen Größe, unter Einbeziehung der Kurbelgeometrie ermittelt wird.
4. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Energiepegelmoment einerseits aus der Ableitung des Energiepegelverlaufs und andererseits als Funktion des mittleren effektiven Lastmomentes C , des Gaskraftdrehmomentes M_{Gas} im Ansaug- und

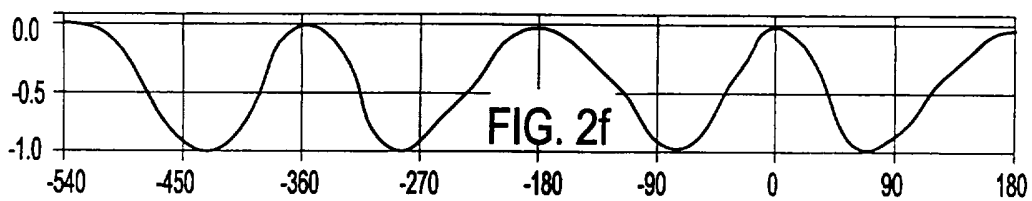
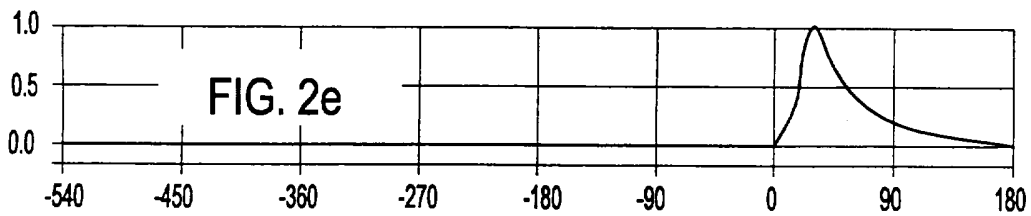
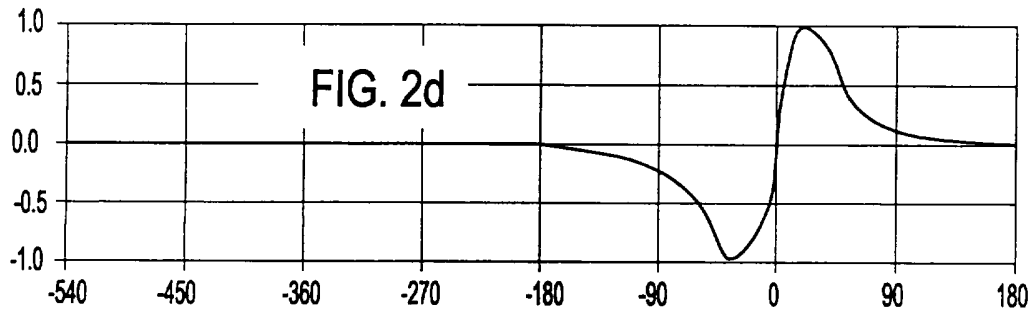
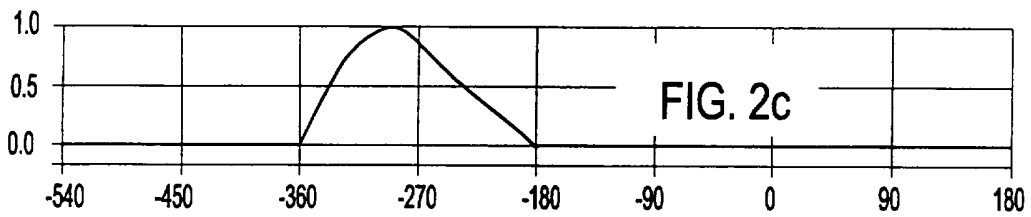
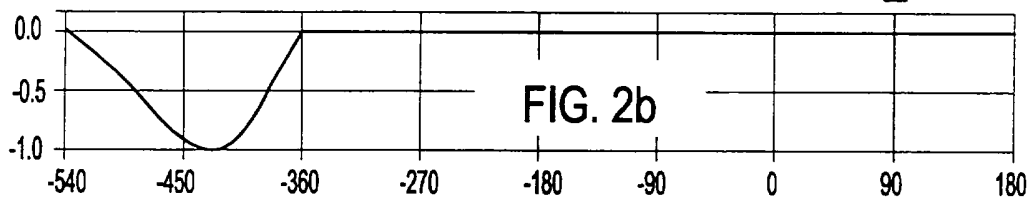
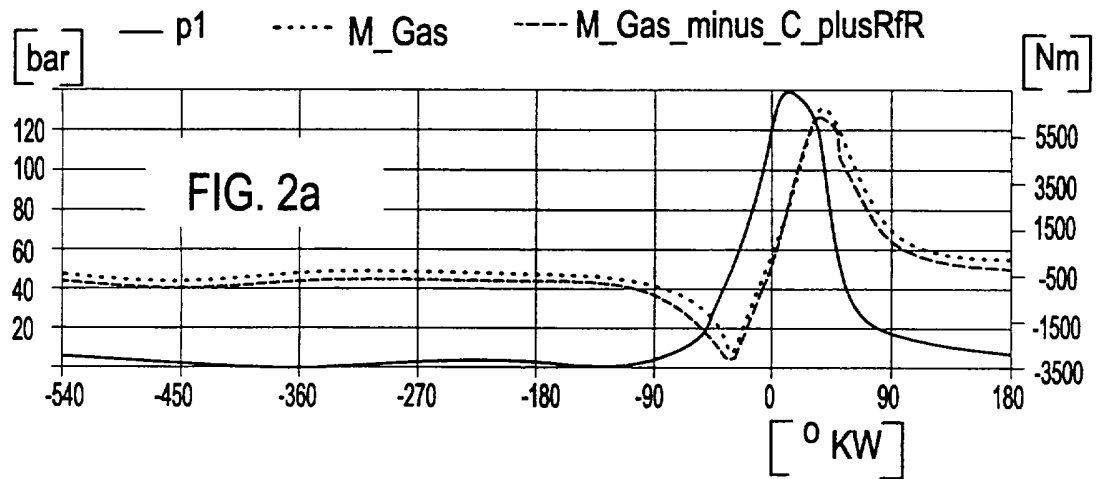
Auspufftakt und eines Reibmomentes modelliert wird, wobei in einem bestimmten Kurbelwinkelbereich durch Variation von mindestens einem der Modellparameter an den für diesen Bereich ermittelten Verlauf des Energiepegelmomentes bestmöglich angepaßt wird.

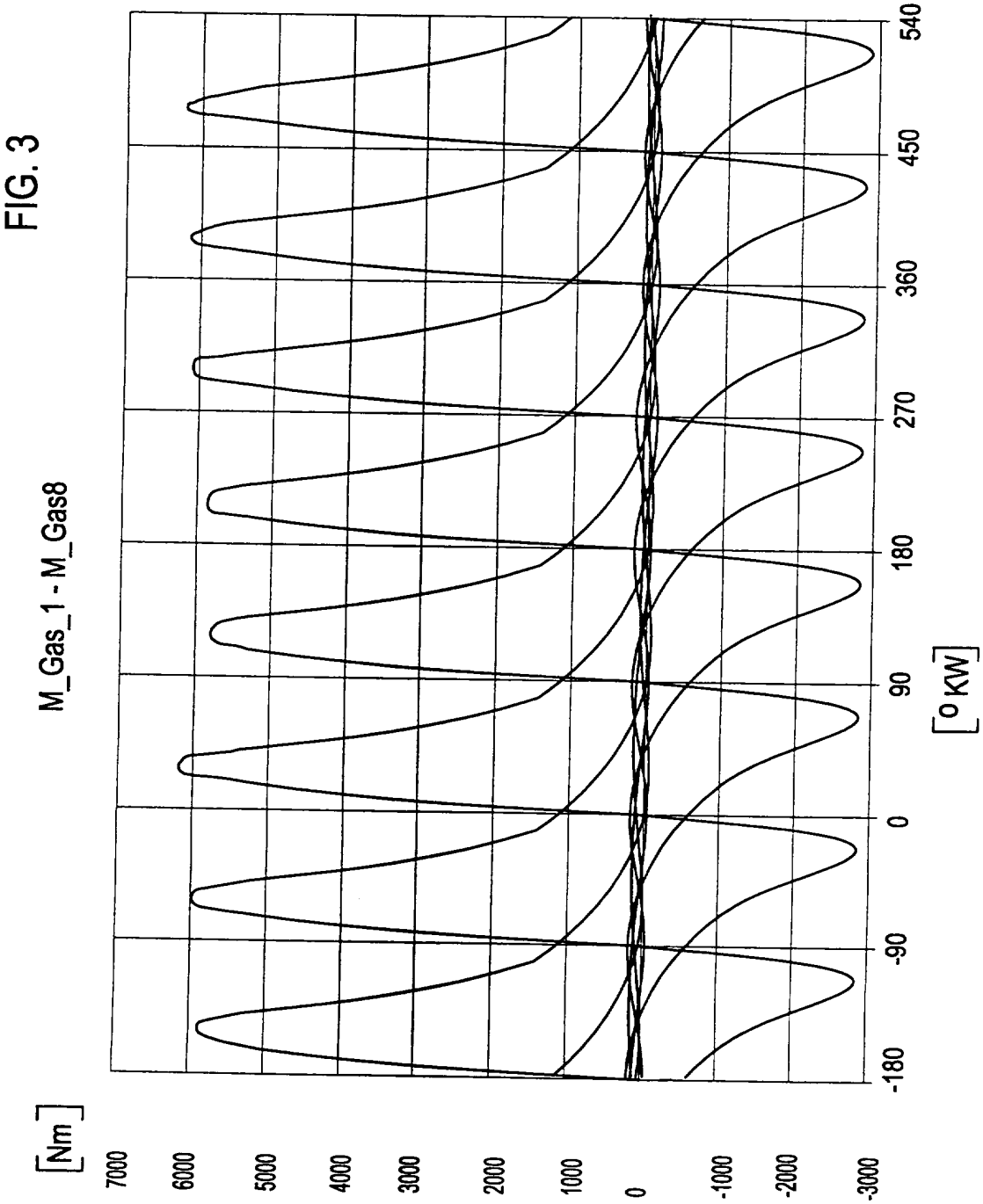
5. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berücksichtigung des Einflusses von Torsionsschwingungen und /oder Lastschwankungen des Antriebstranges abtriebsseitig eine weitere kurbelwinkelabhängige Drehgeschwindigkeit an einem elastisch mit dem einen Bauteil verbundenen weiteren Bauteil der Brennkraftmaschine ermittelt, bzw. eine separate, kurbelwinkelabhängige Momentmessung abtriebsseitig am Kurbeltrieb vorgenommen, und bei der Bestimmung des Energiepegelverlaufes berücksichtigt wird.
6. Verfahren zur Steuerung von Brennkraftmaschinen, insbesondere zur on-board Steuerung von als Antriebsmotor in einem Kraftfahrzeug eingebauten Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen, wobei mit den mittels eines Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 5 erhaltenen Parametern Kenngrößen zur Einzelzylinder-Beurteilung ermittelt und an eine on-board Motorsteuerung übertragen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahme bzw. Ermittlung der Drehgeschwindigkeit(en) und gegebenenfalls des Einzelzylinder-Brennraumdruckverlaufes bzw. des Verlaufes einer dazu proportionalen Größe unabhängig von der oder nur parametrisiert durch die Motorsteuerung zeitlich hoch aufgelöst erfolgt, wogegen die Übertragung der so ermittelten Meßgrößen an die Motorsteuerung mit niedrigerer Datenrate erfolgt.
8. Vorrichtung zur Diagnose von Brennkraftmaschinen, insbesondere von mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen, mit zumindest einer Meßeinheit zur fortlaufenden Messung der kurbelwinkelabhängigen Drehgeschwindig-

keit an zumindest einem Bauteil der Brennkraftmaschine, einer Bereitstellungseinheit zur Bereitstellung eines parameterabhängigen Einzelzylinder-Momentverlaufes, und einer Auswerteeinheit zur modellgestützten Ermittlung des Energiepegelverlaufes aus der (den) gemessenen Drehgeschwindigkeit(en) sowie zur Anpassung des aus den Einzelzylinder-Momentverläufen zusammengesetzten Gesamt-Gaskraftdrehmomentverlaufs unter Variation der Parameter an den Verlauf des Energiepegelmomentes, wobei die aus dieser Anpassung resultierenden Parameter oder die mit Hilfe dieser Parameter korrigierten Einzelzylinder-Momente von der Auswerteeinheit als Einzelzylinder-Diagnosegrößen angezeigt oder bereitgestellt werden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereitstellungseinheit mit einer Sensoreinheit zur direkten Ermittlung des Brennraumdruckverlaufes bzw. des Verlaufes einer dazu proportionalen Größe zumindest eines Zylinders der jeweiligen Brennkraftmaschine verbunden ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinheit mit der (den) Meßeinheit(en) für die Drehgeschwindigkeit(en) verbunden ist und zumindest einen Teil der Auswerteelektronik der Auswerteeinheit umfaßt.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 oder 10 zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 7, wobei die Sensoreinheit an den oder in der Nähe der Sensoren an der Brennkraftmaschine angeordnet und über eine Übertragungsleitung mit niedriger Datenrate mit der Fahrzeugsteuerung bzw. mit der on-board Motorsteuerung (ECU) verbunden ist.







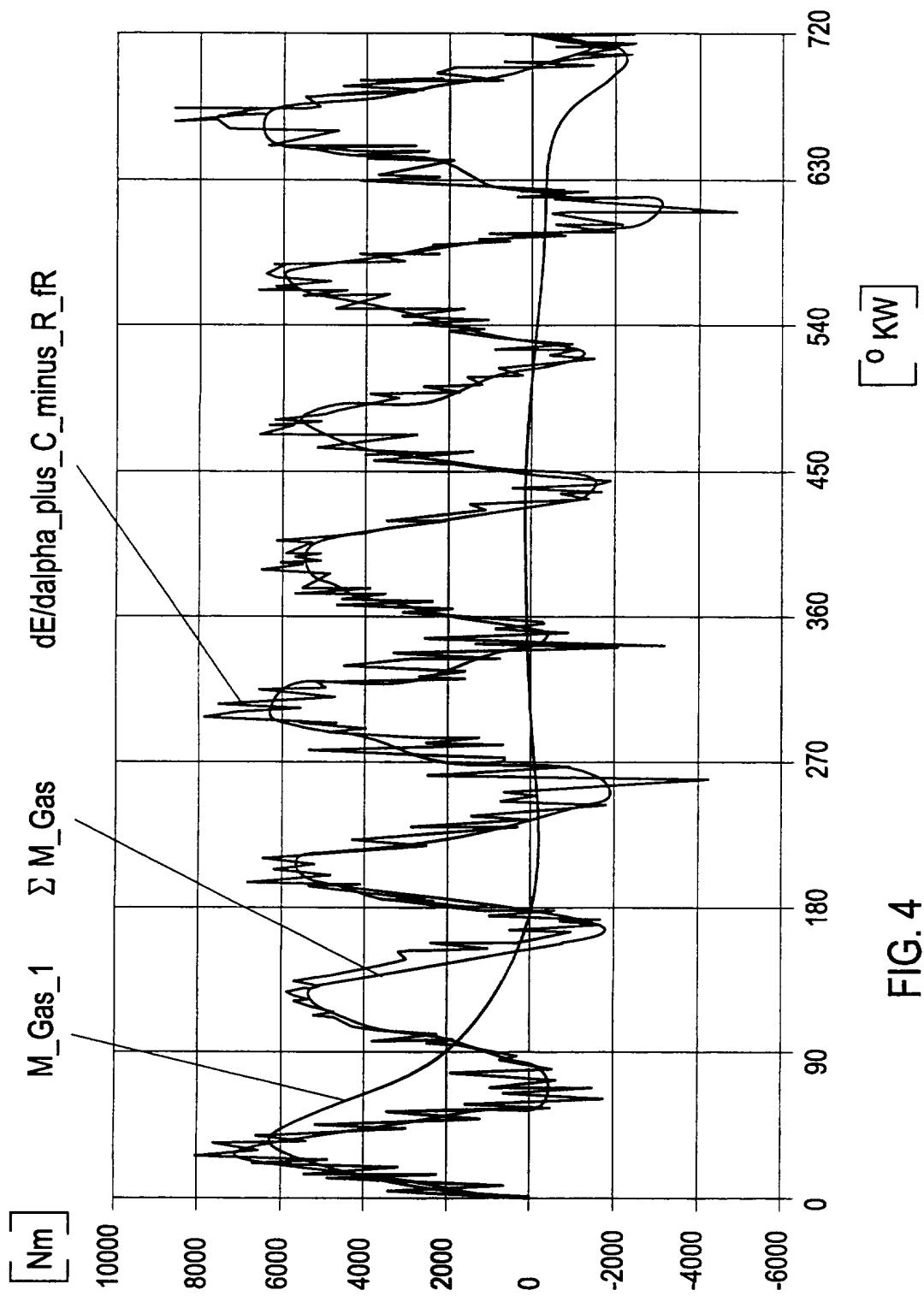


FIG. 4

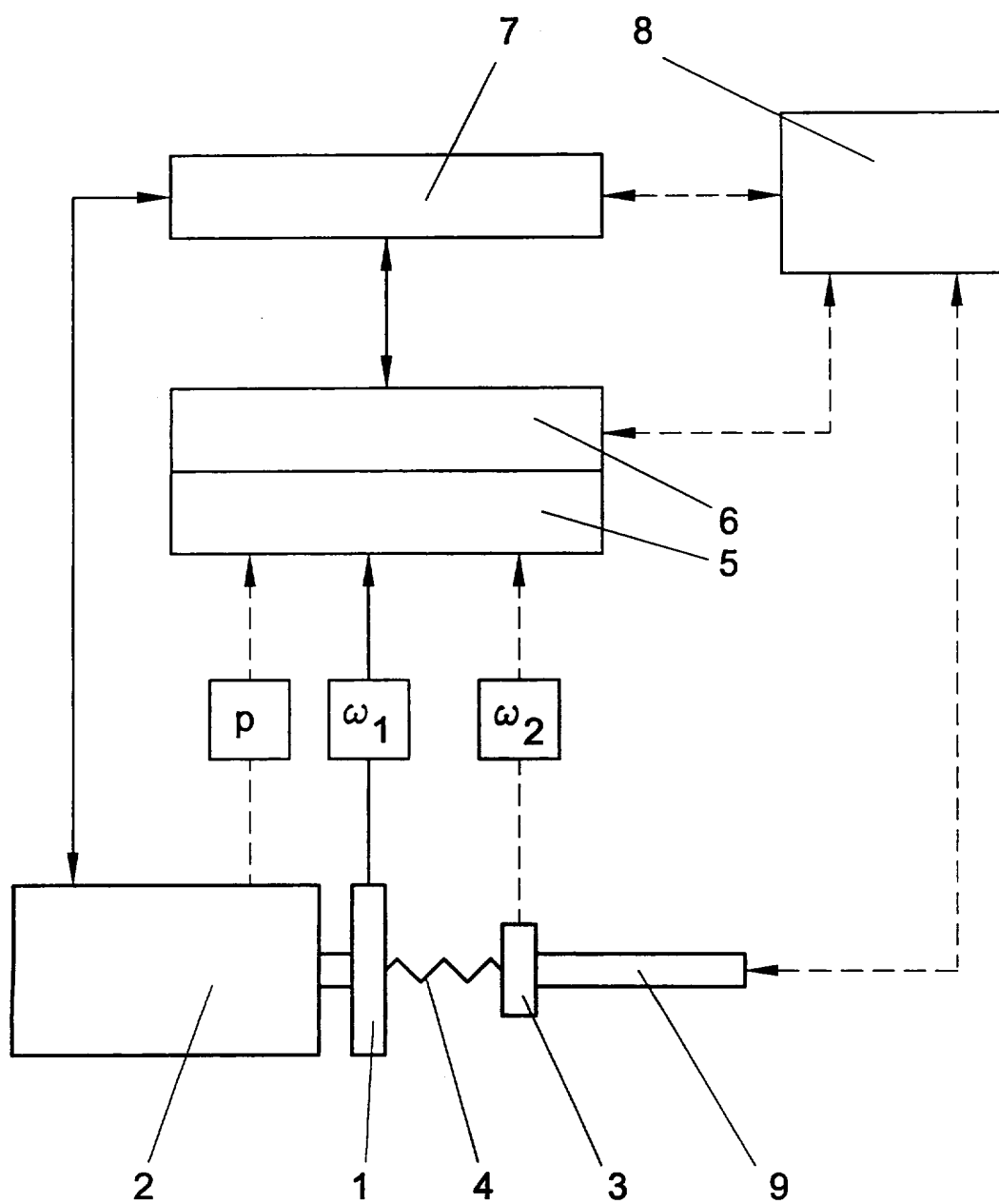


FIG. 5