



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 244 638 A1

4(51) G 01 M 15/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 01 M / 284 840 7	(22)	20.12.85	(44)	08.04.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	Zentrales Forschungszentrum für Verkehrswesen, Zentrum für Material- und Energieökonomie, 1802 Kirchmöser, DD
------	--

(72)	Mundt, Manfred, Dipl.-Phys.; Spruch, Wolfgang, Dipl.-Ing., DD
------	---

(54)	Diagnoseverfahren für das Leistungsvermögen von Verbrennungsmotoren
------	--

(57) Die Erfindung betrifft das Gebiet der Prüfung von Kraft- und Arbeitsmaschinen. Ihr Ziel besteht darin, bei der Prüfung von Verbrennungsmotoren den Vorbereitungs- und Arbeitsaufwand zu senken bei gleichzeitiger Erhöhung der Diagnoseaussage und Verbesserung ihrer Genauigkeit. Es wurde deshalb die Aufgabe gestellt, ein Verfahren zur Ermittlung der Nutzleistung des Motors und bei Mehrzylindermotoren ihre Verteilung auf die einzelnen Zylinder im eingebauten Zustand des Motors ohne äußere Belastungseinrichtung zu entwickeln. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Nutzleistung aus dem unter definierten Bedingungen gewonnenen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Drehwinkel während eines Beschleunigungslaufes gegen eine bekannte Trägheitskraft, verkörpert durch die bewegten Massen des Verbrennungsmotors und evtl. durch zusätzliche träge Massen, und während des Leerlaufes im Bereich der unteren Leerlaufdrehzahl ermittelt wird.

Erfindungsanspruch:

1. Diagnoseverfahren für das Leistungsvermögen von Verbrennungsmotoren, insbesondere zur Bestimmung der Leistungsanteile der Einzelzylinder von in Fahrzeugen eingebauten Motoren, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein an sich bekanntes Meßsystem am Motor anzuschließen ist, daß der Motor auf vorgegebene Betriebsbedingungen zu bringen und danach schlagartig gegen eine bekannte Trägheitskraft, verkörpert durch die bewegten Massen des Verbrennungsmotors, seiner mitlaufenden Hilfseinrichtungen und eventuell durch zusätzlich träge Massen zu beschleunigen ist, wobei durch die Meßeinrichtung zu einem bestimmten Zeitpunkt und bei einer vorgegebenen Größe in Verbindung mit dem Drehwinkel Erfassung der momentanen Winkelgeschwindigkeit oder einer ihr entsprechenden Größe in Verbindung mit dem Drehwinkel der Kurbelwelle zu beginnen und nach einer vorgegebenen Zahl von Kurbelwellenumdrehungen zu beenden ist und daß aus diesen Werten unter Berücksichtigung des Bereiches der maximalen Kraftstoffzufuhr und der dynamischen Einflüsse aus dem Beschleunigungslauf in Verbindung mit dem Massenträgheitsmoment der bewegten Massen einmal die Nutzleistung und zum anderen bei Beachtung der Zylinderzuordnung der Meßwerte die Leistungsanteile der Einzelzylinder zu ermitteln sind, wobei bei größeren Leistungsunterschieden aus den Meßwerten des Beschleunigungslaufes Unterschiede im Zündverhalten der Einzelzylinder zu ermitteln sind und noch zusätzlich die momentane Winkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Kurbelwelle im Bereich der unteren Leerlaufdrehzahl im stationären Betrieb zu erfassen ist und durch Auswertung der zylinderbezogenen Meßwerte das Kompressionsverhalten der einzelnen Zylinder offenzulegen ist.
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die untere Grenze des Bereiches der maximalen Kraftstoffzufuhr während des Beschleunigungslaufes als derjenige Zeitpunkt aus dem Verlauf der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwellen zu ermitteln ist, bei dem nach Erteilen des Startsignals an das Motorsteuergerät zum Auslösen des Beschleunigungslaufes die Beschleunigung des Motors wirklich einsetzt und als obere Grenze derjenige Zeitpunkt gilt, bei welchem die Drehzahlbegrenzungseinrichtung des Motors die Kraftstoffzufuhr drosselt.
3. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Angabe der äquivalenten Leistung des Verbrennungsmotors in bezug auf einen Betriebszustand mit konstanter Drehzahl ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem Drehmomentenverlauf $M_D = f(n)$ beim Beschleunigungslauf und $M_S = f(n)$ bei konstanten Bedingungen zu verwenden ist, welcher an Prototypen zu ermitteln ist.
4. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Verlauf der Winkelgeschwindigkeit während des Beschleunigungslaufes in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Kurbelwelle ab der unteren Grenze der maximalen Kraftstoffzufuhr für einen vollen Motorzyklus durch die oberen Totpunkte mit Zündung der gemäß der Zündfolge aufeinanderfolgender Zylinder in einzelne Abschnitte zu zerlegen ist und in diesen Abschnitten bzw. definierten Teilabschnitten zur Charakterisierung des Leistungsvermögens des betreffenden Zylinders die mittlere Beschleunigung zu ermitteln ist.
5. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Beurteilung des Kompressionsverhaltens der einzelnen Zylinder der Drehzahlverlauf im unteren Leerlaufdrehzahlbereich in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel über mehrere Motorumdrehungen aufzunehmen ist, in einzelne Abschnitte zwischen den oberen Totpunkten mit Zündung einzuteilen ist, daraus definierte Teilabschnitte als Kompressionsphasen der einzelnen Zylinder zu analysieren sind, indem die mittleren Verzögerungen für diese Teilabschnitte zu berechnen sind und zylinderbezogen zu Mittelwerten zusammenzufassen sind.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren für Verbrennungsmotoren, welches sowohl die Leistungsmessung als auch die Bewertung des Kompressions- und Zündverhaltens der Einzelzylinder im eingebauten Zustand ohne fremde Belastungseinrichtung beinhaltet. Sie ermöglicht den Herstellern, Betreibern und Instandhaltern von Verbrennungsmotoren eine Überprüfung des technischen Zustandes ihrer Motoren mit sehr geringem Vorbereitungsaufwand.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Für die Bestimmung der Motorleistung als aussagefähigstem Parameter zur Einschätzung des technischen Zustandes eines Verbrennungsmotors sind die unterschiedlichsten Verfahren entwickelt worden. Die Nutzleistung wird zum einen durch die Verwendung von geeigneten Belastungseinrichtungen (Prüfständen), zum anderen ohne Belastungseinrichtung durch die Beschleunigungsmethode ermittelt, wobei der Verbrennungsmotor schlagartig gegen die eigenen Trägheitskräfte der bewegten Teile beschleunigt. Die Leistungsanteile der Einzelzylinder können bei diesen Verfahren entweder über die arbeitsaufwendige Zylinderabschaltung oder aber über Messung der Verbrennungsdrücke mittels Druckgebern in speziellen Indizierbohrungen erfaßt werden. Neuere Verfahren untersuchen das Beschleunigungsverhalten der Motoren mit Hilfe moderner Mikrorechner. Dabei ist es bisher jedoch noch nicht gelungen, die Arbeitsweise der Einzelzylinder und ihre Leistungsanteile zu diagnostizieren. Die tiefergehende Diagnose scheiterte an der Wahl ungeeigneter Betriebspunkte des Motors bzw. an der Wahl ungeeigneter Meß- und Auswertverfahren, welche die Drehschwingungen der Kurbelwelle als Störgrößen unterdrücken. Durchgeführte Untersuchungen zeigen jedoch, daß gerade in der regelmäßig ungleichförmig anwachsenden Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle Informationen über die Arbeitsweise der einzelnen Zylinder und ihrer Leistungsanteile enthalten sind.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung bezweckt eine Vereinfachung der Überprüfung von Verbrennungsmotoren durch Senkung des Vorbereitungs- und Bedienungsaufwandes sowie die Verkürzung der Prüfdauer bei gleichzeitiger Erhöhung des Informationsgehaltes der Diagnoseaussage und Verbesserung ihrer Genauigkeit. Durch die Erfindung soll eine wirtschaftliche Überprüfung von Verbrennungsmotoren ermöglicht werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, an Verbrennungsmotoren ohne äußere Belastungseinrichtung die Nutzleistung und bei Mehrzylindermotoren ihre Verteilung auf die einzelnen Zylinder mit erhöhter Genauigkeit zu bestimmen, wobei keine Eingriffe am Motor erforderlich sind und der Vorbereitungsaufwand zur Anwendung des Verfahrens im Gegensatz zu den herkömmlichen Verfahren wesentlich geringer ist.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß die Winkelgeschwindigkeit der Motorkurbelwelle infolge des taktweisen Kraftangriffs der Kolben regelmäßig, ungleichförmig während des Beschleunigungsvorganges anwächst. Dieser ungleichförmige Verlauf enthält Informationen über die in den einzelnen Zylindern wirkenden Kräfte, aus denen sich mit Hilfe geeigneter Meßtechnik und Auswerteverfahren die Nutzleistung des Motors und ihre Verteilung auf die Einzelzylinder bestimmen sowie Angaben zum Zünd- und Kompressionsdruckverhalten gewinnen lassen. Bei Abweichungen von den Sollwerten ist die Art der Störung erkennbar und ihre Lokalisierung möglich.

Voraussetzung für die Analyse der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle ist eine geeignete Meßapparatur, welche die momentane Winkelgeschwindigkeit ω oder eine ihr entsprechende Größe fortlaufend in Verbindung mit dem Drehwinkel ϕ der Kurbelwelle erfaßt, wobei jeder Drehwinkel einer definierten Kurbelwellenstellung entsprechen muß.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein Verfahren zur Diagnose des Leistungsvermögens von Verbrennungsmotoren bis auf den einzelnen Zylinder zur Anwendung kommt, welches von dem unter definierten Bedingungen gewonnenen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit ω in Abhängigkeit von dem Drehwinkel ϕ während eines Beschleunigungslaufes gegen eine bekannte Trägheitskraft, verkörpert durch die bewegten Massen des Verbrennungsmotors und eventuell durch zusätzliche träge Massen, und während des Leerlaufes im Bereich der unteren Leerlaufdrehzahl ausgeht. Zu den definierten Bedingungen der Messung der Winkelgeschwindigkeit gehören, daß der Motor auf vorgegebene Betriebsbedingungen gebracht wird und die Meßeinrichtung zu einem bestimmten Zeitpunkt in bezug auf den Start des Beschleunigungslaufes bei t_0 und bei einer vorgegebenen Kurbelwellenstellung mit der fortlaufenden Erfassung der momentanen Winkelgeschwindigkeit oder einer ihr entsprechenden Größe beginnt und nach einer vorgegebenen Zahl von Kurbelwellenumdrehungen endet. Damit ist jedem Drehzahlwert ein Zeitpunkt und eine Kurbelwellenstellung zuordenbar. Zur Ermittlung der Nutzleistung aus dem Verlauf $\omega = f(t)$ während der Beschleunigung muß der Wertebereich eingeschränkt werden. Vom Start bis zum Zeitpunkt t_1 regelt sich die Kraftstoffzufuhr erst auf den gewünschten Wert „Maximalförderung“ ein, d. h. es liegt noch kein definierter Zustand vor. Ab t_2 beginnt die Drehzahlbegrenzung des Motors wirksam zu werden, so daß nur der Bereich zwischen t_1 und t_2 zur Auswertung zugelassen werden darf. t_1 und t_2 sind an Prototypen experimentell zu bestimmen.

Im Bereich $t_1 < t < t_2$ wird beim Beschleunigungslauf die Vollastkurve des Motors dynamisch durchfahren. Das dabei wirkende Drehmoment ist ebenfalls eine Funktion der Zeit und hängt in Verbindung mit dem Massenträgheitsmoment von dem Drehzahlverlauf $\omega = f(t)$ ab.

Das Massenträgheitsmoment des Motors ist bekannt. Es kann z. B. beim Motorenhersteller in Erfahrung gebracht werden. Der so ermittelbare Drehmomentenverlauf $M_D(n)$ ist nicht mit dem unter stationären Bedingungen auf einem Prüfstand gewonnenen Drehmomentenverlauf $M_S(n)$ identisch, weil beim Beschleunigungslauf sehr starke dynamische Einflußfaktoren wirken.

Deshalb ist es erforderlich, den Zusammenhang zwischen $M_D(n)$ und $M_S(n)$ an Prototypen experimentell als Funktion oder als Wertetabelle zu bestimmen. Mit diesem Zusammenhang läßt sich die Nennleistung P_n bei Nenndrehzahl n_n in der üblicherweise zur Charakterisierung des Leistungsvermögens dienenden Form angeben.

In der Praxis hat sich erwiesen, daß es zur Bestimmung von $M_S(n_n)$ notwendig ist, den mittleren Anstieg der Kurve $\omega = f(t)$ in einem Bereich um die Nenndrehzahl n_n , der mindestens 1, besser jedoch 2–5 Motorumdrehungen darunter umfaßt, zu ermitteln und daraus $M_D(n_n)$ zu errechnen. Dadurch werden die Einflüsse der überlagerten Drehschwingung der Kurbelwelle ausgeglichen. Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit bei der Bestimmung der Nennleistung ist diese stets als Mittelwert aus mehreren Beschleunigungsläufen zu gewinnen.

Die mit den bisher aufgeführten Verfahrensschritten bestimmbare Nutzleistung ist die Vorstufe für die Messung der Leistungsanteile der einzelnen Zylinder bei Mehrzylinder-Verbrennungsmotoren. Ausgangspunkt ist wieder die aus dem Beschleunigungslauf gewonnene Funktion $\omega = f(t)$, deren Verlauf durch die Überlagerung der Wirkung von Gas- und Massenkräften auf die Kurbelwelle geprägt wird. Da nur die Gaskräfte eine Aussage über das Leistungsverhalten liefern, sich jedoch das Verhältnis der Gas- zu den Massenkräften mit steigender Drehzahl wegen der quadratischen Abhängigkeit der Trägheitskräfte von der Winkelgeschwindigkeit zugunsten der Massenkräfte verschiebt, ist es notwendig, die Ermittlung der Leistungsanteile der Einzelzylinder bei möglichst niedriger Drehzahl durchzuführen.

Figur 1 zeigt den gemessenen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\omega = f(t)$ im unteren Bereich der Beschleunigungskurve (Kurve a) und im oberen Bereich (Kurve b), um den Einfluß der Massenkräfte auf den Ungleichförmigkeitsgrad der Drehbewegung zu illustrieren.

Entsprechend dem vorgeschlagenen Verfahren wird der Kurvenverlauf $\omega = f(t)$ nur für so viele ab dem Zeitpunkt t_1 ablaufende Kurbelwellenumdrehungen herangezogen, in welchen jeder Zylinder einen Arbeitstakt geleistet hat, d. h. für einen vollen Arbeitszyklus des Motors.

Die Kurve $\omega = f(t)$ wird durch die oberen Totpunkte der gemäß der Zündfolge aufeinander folgenden Zylinder in Kurvenabschnitte aufgeteilt, wobei jeder Abschnitt zur Charakterisierung des Leistungsvermögens des betreffenden

Zylinders dient. Dazu werden die mittleren Anstiege ε_i bestimmt. Damit existiert für jeden Zylinder ein Beschleunigungswert. Durch Wiederholung der Beschleunigungsläufe und Mittelung der Beschleunigungswerte getrennt für jeden Zylinder wird die Genauigkeit erhöht.

Aus den gemittelten Beschleunigungswerten ε_{mi} der einzelnen Zylinder wird das arithmetische Mittel über alle Zylinder gebildet und der relative Wert der ε_{mi} in bezug auf ε_{mG} errechnet. Diese Verhältniszahlen, multipliziert mit der durch die Zylinderanzahl dividierten Nennleistung P_e ergeben die Leistung der Einzelzylinder.

Erreicht ein Zylinder nicht die erforderliche Leistung, so können die Ursachen sowohl im schlechten Zündverhalten als auch in verminderter Kompression liegen.

Zur Analyse des Zündverhaltens wird von den zur Charakterisierung des Leistungsvermögens der Einzelzylinder ausgewerteten Kurvenabschnitten jeweils nur der Teil herangezogen, in welchem die Zündphase des betreffenden Zylinders dominiert. Von diesen Teilabschnitten bestimmt man wieder die mittleren Anstiege ε_i , mittelt sie über mehrere Beschleunigungsläufe getrennt für jeden Zylinder und vergleicht sie mit dem Mittelwert über alle Zylinder.

Zur Analyse der Kompressionsphasen ist von solch einem Betriebszustand des Motors auszugehen, bei dem die Verbrennungsdrücke und die Massenkräfte gering sind, um das Kompressionsverhalten nicht durch deren Einflüsse zu überdecken. Das ist nicht während der Beschleunigungsphase, sondern im Bereich der unteren Leerlaufdrehzahl der Fall. Es wird der Drehzahlverlauf bei Leerlaufdrehzahl über mehrere Umdrehungen aufgenommen, in einzelne Abschnitte zwischen den oberen Totpunkten mit Zündung eingeteilt, daraus Teilabschnitte ausgewählt, die durch das Kompressionsverhalten der betreffenden Zylinder geprägt wurden. Die Analyse erfolgt, indem die mittleren Verzögerungen ε_m für diese Teilabschnitte berechnet werden und weiter wie bei der Analyse des Zündverhaltens verfahren wird.

Liegt ein gleichmäßig stark fortgeschrittener Verschleißzustand des Kolben-Zylinder-Bereiches vor, so macht sich das durch eine verminderte mittlere Verzögerung gegenüber der beim Prototyp ermittelten bemerkbar.

Ausführungsbeispiel

Figur 2 zeigt das Blockschaltbild einer möglichen Meßanordnung. Ein Kurbelwinkelgeber 1 liefert Impulse, deren zeitlicher Abstand mittels eines Zeittaktgebers 2 und einer Zählleinrichtung 3 fortlaufend gemessen und im Mikrocomputer 4 kurbelwinkelbezogen abgespeichert wird. Am Mikrocomputer ist ein Motorsteuergerät 5 angeschlossen, welches eine vorgegebene Drehzahl am Motor 6 einstellt bzw. in einer definierten Kurbelwinkelstellung diesen schlagartig von einer Ausgangsdrehzahl beschleunigt. Ein Sensor 7 liefert von einem ausgewählten Zylinder ein Synchronisationssignal für die Zuordnung des Meßvorganges auf die einzelnen Zylinder.

Ein 6-Zylinder-Dieselmotor wird vor Beginn der Messung mit der Meßanordnung verbunden, indem das Motorsteuergerät in das Gasgestänge des Motors eingehängt, ein inkrementaler Kurbelwinkelgeber mit 360 Impulsen pro Umdrehung fest mit der Kurbelwelle des Motors verbunden und ein Druckaufklemmgeber auf die Einspritzleitung des ersten Zylinders geklemmt wird. Nach Einschalten und Initialisierung der Meßanordnung kann der betriebswarme Motor gestartet werden. Ein Programm des Mikrocomputers übernimmt über die eingehenden Impulse des Kurbelwinkelgebers und über die Ausgabe von Steuerbefehlen an das Motorsteuergerät die Drehzahlregelung des Motors auf eine vorgegebene angehobene Leerlaufdrehzahl, von der aus der Beschleunigungslauf erfolgen soll. Der Startbefehl für den Beschleunigungslauf wird durch steuerungstechnische Maßnahmen genau in dem Moment ausgelöst, bei dem der Kolben des ersten Zylinders im oberen Totpunkt zu Beginn des Arbeitstaktes steht, d. h. der Zeitpunkt $t = 0$ entspricht der definierten Kurbelwellenstellung ZOT 1. Mit $t = 0$ beginnt die fortlaufende Abspeicherung der Auswahl der Zeittakte bis zum Ende der 8. Umdrehung pro Grad Kurbelwellendrehung, ab der 9. bis zum Erreichen der Maximaldrehzahl nur noch pro 360° Kurbelwellendrehung. Nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit wird der Motor auf die Leerlaufdrehzahl zurückgeführt.

Durch fortlaufendes Aufaddieren der Zählerstände (bei t_0 beginnend) werden die Punkte ermittelt, an welchen die Summe erstmalig den Wert der entsprechenden Auswertegrenzen

$$Z_u = \frac{t_1}{\tau} \quad \tau \text{ — Dauer eines Zeittaktes}$$

$$\text{bzw. } Z_o = \frac{t_2}{\tau}$$

überschreitet.

Von dem auf den unteren Punkt folgenden ersten ZOT und den sich anschließenden 5 weiteren ZOT-Punkten ausgehend, wird die mittlere Winkelbeschleunigung ε über jeweils 120° Kurbelwellendrehung nach ZOT errechnet und den entsprechenden Zylindern zugeordnet abgespeichert.

Im nächsten Schritt erfolgt die Prüfung, ob der Motor die Nenndrehzahl n_n vor dem Zeitpunkt t_2 erreicht hatte, indem man den Punkt sucht, bei dem ein Zählerstand Z_i kleiner als

$$Z_n = \frac{\varphi}{\tau \cdot \omega_n} \quad \varphi \text{ — Drehwinkel zwischen 2 Impulsen des Drehzahlgebers}$$

ist und mit der Lage des oberen Punktes vergleicht.

Ist das der Fall, nimmt man die letzten 5 Umdrehungen bis zum Erreichen der Nenndrehzahl und bestimmt aus den die Winkelgeschwindigkeit dieser 5 Umdrehungen charakterisierenden 5 Zählerständen die mittlere Winkelbeschleunigung ε , anderenfalls greift man auf die letzten 5 Zählerstände vor dem oberen Grenzpunkt zurück.

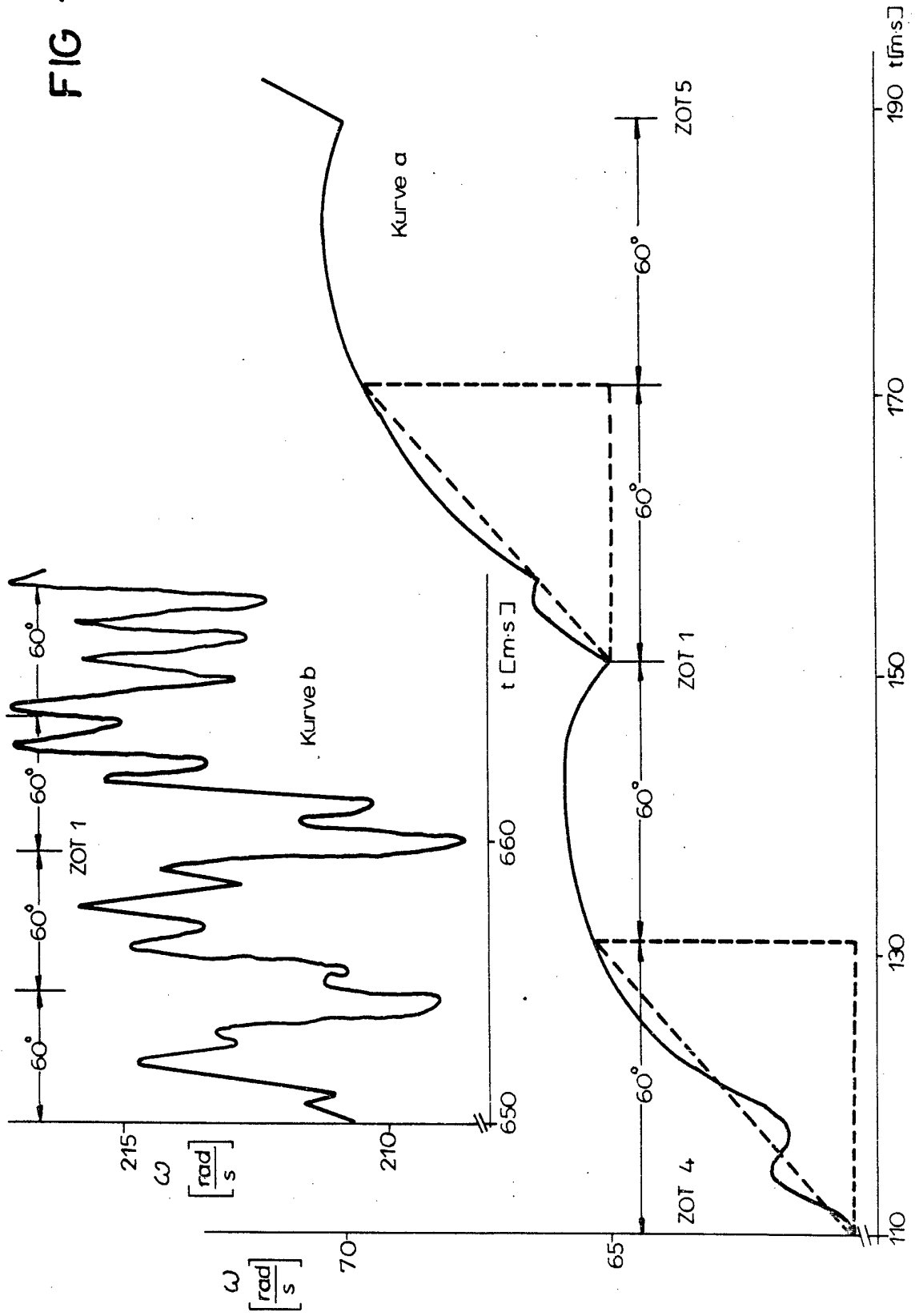
Diese Auswertung läuft, während der Motor wieder auf die angehobene Leerlaufdrehzahl eingeregelt wird. Danach folgen 4 weitere gleichartige Beschleunigungsläufe, deren Beschleunigungswerte zu Mittelwerten zusammengefaßt werden, woraus dann einerseits die Nennleistung P_n über das dynamische und stationäre Drehmoment und andererseits die Einzelzylinderleistung errechnet werden. In der Praxis hat es sich als ausreichend erwiesen, bei Abweichungen der Einzelzylinderleistung von weniger als 15% vom Mittelwert auf eine weitergehende Analyse der Ursachen zu verzichten. Übersteigt die Abweichung der Leistung eines Zylinders von dem Mittelwert über alle Zylinder die 15%-Grenze, so wird in einem weiteren Schritt die Analyse des Zündverhaltens durchgeführt. Sie erfolgt ebenfalls mit den Werten der ersten beiden Umdrehungen nach Z_n , wie bei der Einzelzylinderleistungsbestimmung, jedoch werden die Kurvenabschnitte der Kurve $\omega = f(t)$ zwischen den oberen Totpunkten der gemäß der Zündfolge aufeinander folgenden Zylinder in 60°-Abschnitte geteilt, wobei die mit dem oberen Totpunkt des Arbeitstaktes eines Zylinders beginnenden Teilstücke zur Charakterisierung des Zündverhaltens herangezogen werden. Von diesen Teilstücken bestimmt man die mittleren Anstiege ε_i und erhält damit für jeden Zylinder einen Beschleunigungswert. Durch die 4malige Wiederholung der Beschleunigungsläufe wird die Genauigkeit erhöht. Die relative Abweichung der Mittelwerte der Beschleunigung der Einzelzylinder von dem Mittel über alle Zylinder gibt Aufschlüsse über das Zündverhalten der Einzelzylinder.

Für die Analyse des Kompressionsverhaltens der Einzelzylinder müssen neue Meßwerte abgespeichert werden. Der Motor, welcher nach dem 5. Beschleunigungslauf wieder zur unteren Leerlaufdrehzahl zurückgeführt wurde, verbleibt bei dieser Drehzahl, während die Meßanordnung in der gleichen Weise wie beim Beschleunigungslauf beim ZOT des ersten Zylinders mit der fortlaufenden Abspeicherung der Anzahl der Zeittakte pro Grad Kurbelwellendrehung beginnt und nach 10 Umdrehungen des Motors beendet. Damit wurde die Ungleichförmigkeit der Drehbewegung über 5 Arbeitszyklen des Viertaktmotors erfaßt. Der Drehzahlverlauf $\omega = f(t)$ wird durch die oberen Zündtotpunkte ZOT in Abschnitte eingeteilt, wobei jeweils die Teilabschnitte von 60° vor ZOT bis ZOT als Kompressionsphasen der einzelnen Zylinder analysiert werden, indem die mittlere Verzögerung für diese Teilabschnitte berechnet und weiter wie bei der Analyse der Zündphase verfahren wird, bis zur Ermittlung der prozentualen Abweichung der Kompression der Einzelzylinder von dem Mittelwert über alle Zylinder.

Damit hat man

- die Leistung des Motors bei Nenndrehzahl
 - die Leistungsanteile der Einzelzylinder
 - die relative Abweichung der Beschleunigung der Einzelzylinder während der Zündphase von dem Mittelwert
 - die relative Abweichung der Verzögerung der Einzelzylinder während der Kompressionsphase von dem Mittelwert
- als Basis für eine fundierte Diagnoseaussage zur Verfügung, wobei mit der beschriebenen Meßeinrichtung noch weitere Diagnoseparameter, z. B. in bezug auf das Kraftstoffversorgungssystem ermittelt werden können.

FIG 1



110 130 150 170 190 t[ms]

FIG 2

