



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 24 331 T2 2006.03.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 985 919 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 24 331.9

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 117 821.1

(96) Europäischer Anmeldetag: 09.09.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 15.03.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 23.03.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 23.03.2006

(51) Int Cl.⁸: G01M 15/00 (2006.01)
F02D 41/14 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

BO980524 10.09.1998 IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, SE

(73) Patentinhaber:

Magneti Marelli Powertrain S.p.A., Corbetta, IT

(72) Erfinder:

Serra, Gabriele, 40068 S. Lazzaro Di Savena, IT;
Flora, Roberto, 47100 Forli', IT; Minelli, Giorgio,
40125 Bologna, IT; Azzoni, Piero, 40068 S. Lazzaro
Di Savena, IT; Moro, Davide, 40126 Bologna, IT

(74) Vertreter:

TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 81679 München

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung der Drehmomententwicklung einer Brennkraftmaschine

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

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bestimmen des Verlaufs des Lastdrehmoments in einer Brennkraftmaschine.

[0002] Es sind Verfahren zum Bestimmen des Verlaufs des auf eine Brennkraftmaschine während eines Verbrennungszyklus der Maschine ausgeübten Lastdrehmoments bekannt, bei denen der Verlauf des Lastdrehmoments sowohl in Abhängigkeit vom Verlauf der Winkelgeschwindigkeit der Maschine während des Verbrennungszyklus selbst als auch in Abhängigkeit vom Verlauf des Drucks in wenigstens einem Zylinder erhalten wird (siehe beispielsweise EP-A-0 615 117).

[0003] Insbesondere fassen diese Verfahren die Verwendung von wenigstens einem Sensor außerhalb des Motorblocks ins Auge, so dass sie den Verlauf des Drucks in dem Zylinder rekonstruieren können. Tatsächlich ist in manchen Fällen ein Drucksensor direkt in der Verbrennungskammer des Zylinders angebracht, um ein Signal auszugeben, das den Innendruck angibt. In anderen Fällen wird der Druck in dem Zylinder mittels eines piezoelektrischen Beschleunigungsmessers erhalten, der gegenüber dem Zylinder am Motorblock angebracht ist, um ein elektrisches Signal auszugeben, das die Vibrationen des Motorblocks repräsentiert, die, wie bekannt ist, mit dem Verlauf des Innendrucks unmittelbar zusammenhängen (siehe beispielsweise US-A-5 400 648).

[0004] EP-A-0 940 560, veröffentlicht am 08.09.1999, beschreibt ein Verfahren zum Bestimmen des Verlaufs des Drucks in einem Zylinder in Abhängigkeit vom Verlauf der Winkelgeschwindigkeit der Maschine während des Verbrennungszyklus.

[0005] Daher erfordern diese Verfahren zum Bestimmen des Lastdrehmoments einen Sensor außerhalb des Motorblocks, was im Allgemeinen, durch den Sensor als solchen, die Einbauvorgänge und irgendwelche Änderungen bedingt, die am Motorblock ausgeführt werden müssen, um die zur Aufnahme des Sensors geeigneten Sitze zu schaffen, Kosten mit sich bringt, die nicht unbedeutend sind. Zudem sind sowohl der Drucksensor als auch der Beschleunigungsmesser angesichts der extremen Bedingungen der Umgebung, in der sie arbeiten, ständigen mechanischen und/oder thermischen Beanspruchungen unterworfen, die ihr korrektes Funktionieren nachteilig beeinflussen sowie ihre mittlere nutzbare Lebensdauer herabsetzen könnten.

[0006] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Bestimmen des Verlaufs des Lastdrehmoments in einer Brennkraftmaschine bereitzustellen, das den oben beschriebenen Nachteil nicht besitzt und durch das es möglich ist, das Lastdrehmoment ohne das Modifizieren des Motorblocks und ohne die Unterstützung durch Sensoren außerhalb des Motorblocks selbst zu bestimmen.

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Bestimmen des Lastdrehmoments in einer Brennkraftmaschine geschaffen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es die Schritte umfasst, in denen der Verlauf eines physikalischen Parameters, der die momentane Winkelgeschwindigkeit der Maschine angibt, erfasst wird, der Verlauf des Drucks in wenigstens einem Zylinder der Maschine in Abhängigkeit vom Verlauf des physikalischen Parameters bestimmt wird und der Verlauf des Lastdrehmoments in Abhängigkeit vom Verlauf des physikalischen Parameters und vom Verlauf des internen Drucks bestimmt wird.

[0008] Die vorliegende Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf begleitende Zeichnung, die ein nicht begrenzendes Beispiel einer Ausführungsform davon veranschaulicht, beschrieben, wobei in der Zeichnung:

[0009] [Fig. 1](#) in schematischer Form eine Brennkraftmaschine zeigt, die mit einer Verarbeitungsvorrichtung, die das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ausführt, wobei Teile zugunsten der Klarheit weggelassen sind;

[0010] [Fig. 2](#) in schematischer Form einen Blockschaltplan der Operationen zeigt, die durch eine erste Schaltung, die Teil der Verarbeitungsvorrichtung nach [Fig. 1](#) ist, ausgeführt werden;

[0011] [Fig. 3](#) ein kartesisches Schaubild zeigt, das die Betriebspunkte der Maschine nach [Fig. 1](#) wiedergibt;

[0012] [Fig. 4](#) den Verlauf des Drucks in einem Zylinder der Maschine in Abhängigkeit von der Winkelposition der Kurbelwelle während eines Verbrennungszyklus zeigt;

[0013] [Fig. 5](#) in schematischer Form eine zweite Schaltung zeigt, die Teil der Verarbeitungsvorrichtung nach

[Fig. 1](#) ist;

[0014] [Fig. 6](#) den Verlauf des auf die Kurbelwelle übertragenen Drehmoments in Abhängigkeit von der Winkelposition der Kurbelwelle während eines Verbrennungszyklus zeigt;

[0015] [Fig. 7](#) einen Schaltplan eines Blocks zeigt, der Teil der zweiten Schaltung nach [Fig. 5](#) ist; und

[0016] [Fig. 8](#) einen Verlauf des Lastdrehmoments zeigt, der nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung rekonstruiert worden ist.

[0017] In [Fig. 1](#) bezeichnet **1** in seiner Gesamtheit eine "Viertakt"-Brennkraftmaschine des herkömmlichen Typs mit einer Tragbasis **2** und mehreren Zylindern **3** (wovon nur einer gezeigt ist), die von der Basis **2** getragen werden und an ihren oberen Enden jeweilige Verbrennungskammern **4** definieren. In jedem Zylinder **3** ist ein jeweiliger Kolben **5** angebracht, der in herkömmlicher Weise über eine jeweilige Pleuelstange **7** mit der Kurbelwelle **6** verbunden ist und in dem Zylinder **3** selbst zwischen einer oberen Endlage (bekannt als "oberer Totpunkt") und einer unteren Endlage (bekannt als "unterer Totpunkt") axial beweglich ist.

[0018] Die Maschine **1** umfasst einen Einlasskrümmer **8**, der mit den Zylindern **3** verbunden ist, um den Zylindern **3** selbst einen Strom des Verbrennungsmittels (Luft) zuzuführen, eine Vorrichtung **9**, die den Kraftstoff in die Zylinder **3** einspeist, eine Zündvorrichtung **12**, die die Verbrennung in den Kammern **4** auslöst, und einen Abgaskrümmer **13**, der mit den Zylindern **3** verbunden ist, um die verbrannten Gase abzuführen.

[0019] Die Maschine **1** wird durch eine zentrale Steuereinheit **14** gesteuert, die mit mehreren Sensoren innerhalb des Motorblocks zusammenarbeitet, um an ihrem Eingang Datensignale zu empfangen, die physikalische Parameter der Maschine **1** wie beispielsweise die Stellung der Abspenklappe, die Temperatur der Kühlflüssigkeit und so weiter repräsentieren. Insbesondere ist in Übereinstimmung mit dem in [Fig. 1](#) Gezeigten die zentrale Steuereinheit **14** mit einem Sensor **15** für die Geschwindigkeit der Kurbelwelle **6**, der ein Geschwindigkeitssignal $v(t)$ ausgibt, das die momentane Winkelgeschwindigkeit der Welle **6** repräsentiert, und einem Drucksensor **16**, der längs des Einlasskanals **8** angeordnet ist, um ein Drucksignal $P_c(t)$ zu erzeugen, das den Druck in dem Krümmer **8** selbst repräsentiert, verbunden.

[0020] Gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die zentrale Steuereinheit **14** eine Verarbeitungsvorrichtung **17**, die an ihrem Eingang das momentane Winkelgeschwindigkeitssignal $v(t)$ der Welle **6** empfängt und ein Signal $T_c(t)$ ausgeben kann, das das auf die Maschine während jedes Verbrennungszyklus der Maschine ausgeübte Lastdrehmoment repräsentiert.

[0021] Die Verarbeitungsvorrichtung **17** umfasst eine Schaltung **18**, die an ihrem Eingang das Winkelgeschwindigkeitssignal $v(t)$ empfängt und ein Signal $P(t)$ ausgeben kann, das den Druck in dem Zylinder **3** angibt. Die Vorrichtung **17** umfasst darüber hinaus eine Schaltung **19**, die an ihrem Eingang das Signal $v(t)$ und das Signal $P(t)$ empfängt und das Signal $T_c(t)$ ausgeben kann.

[0022] Im Folgenden wird mit Bezug auf [Fig. 2](#) die Schaltung **18**, die den Verlauf des Drucks $P(t)$ in dem Zylinder **3** während eines Verbrennungszyklus der Maschine rekonstruieren kann, beschrieben.

[0023] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist, folgt einem anfänglichen START-Block ein Block **22**, in dem der vorhandene bzw. gegenwärtige Betriebspunkt der Maschine **1** in Bezug auf eine Menge von Betriebsparametern der Maschine **1** selbst bestimmt wird.

[0024] In dem gezeigten Beispiel wird der vorhandene Betriebspunkt durch zwei Betriebsparameter bestimmt: die Anzahl von Umdrehungen pro Minute (min^{-1}) der Maschine und den mittleren Druck P_{cm} in dem Einlasskrümmer **8**. Insbesondere wird der vorhandene Betriebspunkt auf der Grundlage der Werte des mittleren Drucks P_{cm} und der Umdrehungen pro Minute bezüglich des Verbrennungszyklus vor dem gegenwärtigen Zyklus bestimmt, wobei die Werte in sofern verfügbar sind, dass sie durch Mittelwertbildung des Signals $P_c(t)$ und des Signals $v(t)$ berechnet werden.

[0025] Selbstverständlich kann der vorhandene Betriebspunkt bezüglich einer anderen Anzahl von Betriebsparametern oder einfach bezüglich eines anderen Parameterpaars selbst bestimmt werden.

[0026] Dem Block **22** folgt ein Block **23**, in dem eine gegebene Anzahl N von Werten des Signals $v(t)$, das die momentane Winkelgeschwindigkeit angibt, abgetastet werden; diese abgetasteten Werte, die im Folgenden

durch v_0, v_1, \dots, v_{N-1} angegeben sind, beziehen sich auf ein Zeitintervall I, das innerhalb des Verbrennungszyklus liegt und den Zeitpunkt, zu dem sich der Kolben 5 während der Zündung an dem oberen Totpunkt befindet, umfasst. In dem gezeigten Beispiel entspricht das Intervall I jenem Zeitintervall, in dem die Winkelposition θ der Welle 6 (Fig. 1) in einem Winkelintervall I_θ liegt (Fig. 4), das eine Amplitude besitzt, die gleich 180° ist und in der Winkelposition, in der sich der Kolben 5 an dem oberen Totpunkt befindet, zentriert ist.

[0027] Dem Block 23 folgt der Block 24, in dem die diskrete Fourier-Transformierte $V(j\Omega m)$ des in dem Intervall I "abgetasteten" (oder betrachteten) Winkelgeschwindigkeitssignals $v(t)$ gemäß dem folgenden Ausdruck berechnet wird:

$$V(j\Omega m) = \sum_{n=0}^{N-1} v_n \cdot e^{-j(\Omega m \cdot n)}, \quad (1)$$

wobei Ωm die Kreisfrequenz ist, die wie folgt definiert ist

$$\Omega m = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{N}, \quad (2)$$

wobei N die oben erwähnte Anzahl von Abtastwerten des in dem Intervall I abgetasteten Signals $v(t)$ ist und m die Nummer der in dem Signal $v(t)$ selbst vorhandenen m-ten Harmonischen ist.

[0028] Dem Block 24 folgt ein Block 25, in dem, wie im Folgenden erläutert wird, eine Frequenzgangfunktion $H(j\Omega m)$, die sich auf den vorhandenen Betriebspunkt der Maschine 1 bezieht und die Beziehung zwischen dem Verlauf des Winkelgeschwindigkeitssignals $v(t)$ und des Drucks $P(t)$ in dem Zylinder 3 ausdrückt, im Bereich der Kreisfrequenzen berechnet wird. Wie weiter unten näher erläutert wird, ist jedem Betriebspunkt der Maschine eine gegebene Frequenzgangfunktion $H(j\Omega m)$ zugeordnet.

[0029] Dem Block 25 folgt der Block 26, in dem auf der Kenntnis der Fourier-Transformierten $V(j\Omega m)$ und der Frequenzgangfunktion $H(j\Omega m)$ beruhend die diskrete Fourier-Transformierte $P(j\Omega m)$ des Signals $P(t)$, das den Druck in dem Zylinder 3 repräsentiert, gemäß dem folgenden Ausdruck berechnet wird:

$$P(j\Omega m) = \frac{V(j\Omega m)}{H(j\Omega m)} \quad (3)$$

[0030] Dem Block 26 folgt ein Block 27, in dem die Rücktransformationsoperation gemäß der Fourier-Transformierten $P(j\Omega m)$ ausgeführt wird, um so den Verlauf des Signals $P(t)$ für den Druck in dem Zylinder 3 in dem Zeitintervall I zu erhalten. Insbesondere wird die Rücktransformationsoperation gemäß dem folgenden bekannten Ausdruck ausgeführt:

$$p_n = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} P(j\Omega m) \cdot e^{j(\Omega m \cdot n)} \quad \text{mit } n = 0, \dots, N-1, \quad (4)$$

wobei P_0, P_1, \dots, P_{N-1} die rekonstruierten Werte des Drucks in dem Zylinder 3 zu Zeitpunkten angeben, zu denen die Werte v_0, v_1, \dots, v_{N-1} in dem Zeitintervall I abgetastet wurden.

[0031] In dieser Weise liefert die Schaltung 18 (Fig. 1) mittels des Signals $P(t)$ und insbesondere mittels der Werte P_0, P_1, \dots, P_{N-1} an ihrem Ausgang den Verlauf des Drucks $P(t)$ in dem Zylinder 3 für das Zeitintervall I und im Grunde für den gesamten Verbrennungszyklus, wobei der Verlauf des Innendrucks selbst außerhalb des Intervalls I während der Einlass- und Auslassphasen a priori bekannt ist.

[0032] In Übereinstimmung mit dem oben Beschriebenen ist die Beziehung (3) daher der Schlüssel dafür, dass das Innendrucksignal $P(t)$ aus dem von dem Sensor 15 ausgegebenen Winkelgeschwindigkeitssignal $v(t)$ rekonstruiert werden kann. Die Beziehung (3) basiert auf dem Vorhandensein einer experimentell nachgewiesenen linearen Korrelation zwischen dem Verlauf der momentanen Winkelgeschwindigkeit $v(t)$ und dem Druck $P(t)$ in einem Zylinder 3 in dem Intervall I. Experimentell ist beobachtet worden, dass es zur Rekonstruktion des Signals $P(t)$ mit einem angemessenen Näherungsgrad möglich ist, nur eine bestimmte Anzahl von Harmonischen, beispielsweise die ersten sieben Harmonischen, zu berücksichtigen; im Ergebnis wird der Ausdruck (4), mittels dem es möglich ist, den Verlauf des Innendrucks zu bestimmen, zu:

$$p_n = \frac{1}{7} \sum_{m=0}^6 P(j\Omega_m) \cdot e^{j(\Omega_m \cdot n)} \quad \text{mit } n = 0, \dots, N-1,$$

[0033] Die Berechnung der Funktion $H(j\Omega_m)$, die in dem Block **25** ausgeführt wird, wird auf der Grundlage der Kenntnis mehrerer Frequenzgang-Referenzfunktionen $H_R(j\Omega_m)$, wovon sich jede auf einen jeweiligen Referenz-Betriebspunkt R der Maschine **1** bezieht und in der Verarbeitungsvorrichtung **17** gespeichert ist, durchgeführt.

[0034] Insbesondere wird durch Darstellung der Betriebspunkte R in der Ebene (min^{-1} , Pcm) der möglichen Betriebspunkte der Maschine **1** ([Fig. 3](#)) die Funktion $H(j\Omega_m)$, die sich auf den vorhandenen Betriebspunkt (der durch K in der Ebene (min^{-1} , Pcm) angegeben ist) berechnet, indem eine Untergruppe S der Punkte R in Betracht gezogen wird. Diese Untergruppe S umfasst diejenigen Referenzpunkte R, die sich am nächsten zu dem vorhandenen Betriebspunkt K befinden.

[0035] Die Funktion $H(j\Omega_m)$, die sich auf den Punkt K bezieht, wird berechnet, indem ein gewichteter Mittelwert der Referenzfunktionen $H_R(j\Omega_m)$, die sich auf diejenigen Punkte R beziehen, die zu der Untergruppe S gehören, gemäß dem folgenden Ausdruck bestimmt wird:

$$H(j\Omega_m) = \sum_{R \in S} H_R(j\Omega_m) \cdot D_R , \quad (5)$$

wobei DR das dem Punkt R zugeordnete Gewicht ist und von dem Abstand zwischen dem Punkt R selbst und dem Punkt K in der Ebene (min^{-1} , Pcm) abhängt.

[0036] Insbesondere sind in dem in [Fig. 3](#) gezeigten Beispiel die Referenzpunkte R so angeordnet, dass sie ein Gitter G bilden und die Untergruppe S die vier Punkte R umfasst, die den vorhandenen Betriebspunkt K umgeben.

[0037] Zusammenfassend wird die Berechnung der Funktion $H(j\Omega_m)$, die sich auf den vorhandenen Betriebspunkt der Maschine bezieht ([Fig. 3](#)), somit wie folgt durchgeführt:

- der vorhandene Betriebspunkt K wird in der Ebene (min^{-1} , Pcm) bestimmt (Block **22**);
- die Untergruppe S wird bestimmt, indem diejenigen Referenzpunkte R, die dem Punkt K am nächsten liegen, definiert werden;
- die Gewichte DR werden in Abhängigkeit von den euklidischen Abständen zwischen diesen Punkten R und dem Punkt K in der Ebene (min^{-1} , Pcm) berechnet; und
- die Funktion $H(j\Omega_m)$ wird auf der Grundlage der Referenzfunktionen $H_R(j\Omega_m)$, die den Punkten R der Untergruppe S zugeordnet sind, gemäß dem Ausdruck (5) berechnet.

[0038] Aus dem Obigen ist daher ersichtlich, dass es aufgrund der Kenntnis der Frequenzgangfunktionen $H_R(j\Omega_m)$ an den Punkten R des Gitters G möglich ist, den Verlauf des Drucks P(t) in dem Zylinder **3** während des Verbrennungszyklus zu bestimmen, sobald der Verlauf der Winkelgeschwindigkeit v(t) in dem Intervall I bekannt ist.

[0039] Die in der Verarbeitungsvorrichtung **17** gespeicherten Referenzfunktionen $H_R(j\Omega_m)$ an den Referenzpunkten R drücken jeweils die Beziehung zwischen der Fourier-Transformierten V(jΩm) des Winkelgeschwindigkeitssignals v(t) und der Fourier-Transformierten P(jΩm) des Innendrucks P(t) bei sich an dem Betriebspunkt R befindender Maschine **1** aus, nämlich:

$$H_R(j\Omega_m) = \frac{V(j\Omega_m)}{P(j\Omega_m)}$$

[0040] Diese Frequenzgangfunktionen $H_R(j\Omega_m)$ wurden bezüglich einer Probemaschine mit den gleichen geometrischen und strukturellen Eigenschaften wie die Maschine **1** (beispielsweise Pleuelstangenlänge, Kurbelwellenlänge, Kolbenfläche usw.) erhalten. Tatsächlich war eine solche Probemaschine mit einem Drucksensor ausgestattet, der in der Verbrennungskammer des Zylinders angebracht war, um so direkt an seinem Ausgang das Signal P(t) für den Druck in dem Zylinder zu erzeugen. Sobald die Betriebsparameter der Probemaschine so festgelegt worden sind, dass der zugeordnete Betriebspunkt mit dem Referenz-Betriebspunkt R zusammenfällt, werden die Verläufe der momentanen Winkelgeschwindigkeit v(t) und des Innendrucks P(t) für das Beobachtungsintervall I direkt in der Probemaschine erfasst. An diesem Punkt werden die Fourier-Transformierten V(jΩm) und P(jΩm) der Winkelgeschwindigkeit v(t) bzw. des Innendrucks P(t) berechnet und dann die

Funktion $H_R(j\Omega m)$, die sich auf den Punkt R bezieht, einfach aus der folgenden Beziehung erhalten:

$$H_R(j\Omega m) = \frac{V(j\Omega m)}{P(j\Omega m)}$$

[0041] Dann werden alle Frequenzgang-Referenzfunktionen $H_R(j\Omega m)$ bezüglich der Probemaschine bestimmt. Diese Funktionen $H_R(j\Omega m)$ werden in der Verarbeitungsvorrichtung **17** der Maschine **1** gespeichert, so dass es möglich ist, ohne Einbau eines Drucksensors in der Verbrennungskammer **4** den zeitlichen Verlauf des Drucks in dem Zylinder **3** zu bestimmen.

[0042] Mit Bezug auf [Fig. 5](#) wird nun die Schaltung **19** ([Fig. 1](#)), die den Verlauf des Lastdrehmoments $T_c(t)$ aus der (mittels des Sensors **15** gemessenen) Winkelgeschwindigkeit $v(t)$ und aus dem (mittels der Schaltung **18** bestimmten) Innendrucks $P(t)$ bestimmen kann, beschrieben.

[0043] Das Innendrucksignal $P(t)$ wird einer Umsetzungsschaltung **30** des herkömmlichen Typs zugeführt, die ein Signal $T_t(t)$ ausgeben kann, das auf die Kurbelwelle **6** übertragene Drehmoment angibt. Diese Umsetzungsschaltung **30** kann den Verlauf des übertragenen Drehmoments $T_t(t)$ durch Anwendung des bekannten Kurbeltriebgesetzes auf den Innendruck $P(t)$ bestimmen.

[0044] Das Winkelgeschwindigkeitssignal $v(t)$ wird andererseits einem Additionseingang eines Additionsknotens **31** zugeführt, der außerdem einen Subtraktionseingang besitzt, der mit dem Ausgang **32u** eines Blocks **32** verbunden ist, der in herkömmlicher Weise das dynamische Verhalten des Maschine-Last-Systems vom rotatorischen Gesichtspunkt her modelliert. Insbesondere besitzt der Block **32** zwei Eingänge **32a** und **32b**, wobei der Eingang **32a** das von der Umsetzungsschaltung **30** ausgegebene Signal $T_t(t)$ für das übertragene Drehmoment empfängt, während der Eingang **32b** ein Signal $T_{c_st}(t)$ empfängt, das, wie weiter unten deutlich hervorgeht, die geschätzte Drehmomentlast repräsentiert. Der Block **32** kann an seinem Ausgang **32u** ein Signal $V_{st}(t)$ erzeugen, das die geschätzte Winkelgeschwindigkeit für die Welle **6** auf der Grundlage der von den Signalen $T_t(t)$ für das übertragene Drehmoment und $T_{c_st}(t)$ für das geschätzte Lastdrehmoment angenommenen Werte angibt.

[0045] Der Knoten **31** kann an seinem Ausgang ein Signal $\Delta v(t)$, das durch die Differenz zwischen dem von dem Sensor **15** ausgegebenen Signal $v(t)$ und dem Signal $v_{st}(t)$, das die auf der Grundlage des Maschine-Last-Modells geschätzten Winkelgeschwindigkeit angibt, definiert ist. Dieses Signal $\Delta v(t)$ repräsentiert den Winkelgeschwindigkeitsfehler, der zwischen der wirklich gemessenen Winkelgeschwindigkeit v und der auf der Grundlage des rekonstruierten übertragenen Drehmoments $T_t(t)$ und des geschätzten Lastdrehmoments $T_{c_st}(t)$ geschätzten Winkelgeschwindigkeit v_{st} vorhanden ist.

[0046] Dieses Fehlersignal Δv wird einer Schätzungsschaltung **33** zugeführt, die es verarbeiten kann, um so an ihrem Ausgang **33u** das geschätzte Lastdrehmomentsignal T_{c_st} zu liefern. Der Ausgang **33u** ist zu dem Eingang **32b** des Blocks **32** zurückgeführt, damit der Block **32** seinerseits das Signal T_{c_st} für das geschätzte Lastdrehmoment empfangen kann.

[0047] Die Schätzungsschaltung **33** (die weiter unten näher beschrieben wird) ist so beschaffen, dass sie in der Weise arbeitet, dass sich der Schätzwert des Lastdrehmoments T_{c_st} so verändert, dass die geschätzte Winkelgeschwindigkeit v_{st} danach strebt, die gemessene Winkelgeschwindigkeit v zu erreichen.

[0048] Der Ausgang **33u** ist außerdem mit einem Tiefpassfilter **34** verbunden, dass so beschaffen ist, dass es die Hochfrequenz-Spektralkomponenten aus dem Signal T_{c_st} beseitigt, um das Signal T_c , also das rekonstruierte Lastdrehmoment, auszugeben, das wirklich auf die Maschine ausgeübt wird.

[0049] [Fig. 7](#) zeigt den Schaltplan der Schätzungsschaltung **33**, die unter Anwendung der Gleitmodustechnik gebildet und in dem gezeigten Beispiel vom proportional-integralen Typ ist. Insbesondere enthält die Schaltung **33** einen Multiplikationsblock **36**, der an seinem Eingang das Signal Δv empfängt, dieses Signal mit einem kalibrierbaren Parameter C , multiplizieren kann und über seinen Ausgang mit einem Additionsknoten **37** verbunden ist.

[0050] Außerdem enthält die Schaltung **33** zwei Blöcke **38** und **39**, die in Reihe geschaltet sind, wobei der Block **38** an seinem Eingang das Signal Δv empfängt und an seinem Ausgang das "Vorzeichen" der Differenz zwischen dem gemessenen Geschwindigkeitssignal v und dem geschätzten Winkelgeschwindigkeitssignal v_{st} ausgibt. Der Block **39** andererseits ist ein Multiplikationsblock, der die Ausgangsgröße des Blocks **38** mit einem

kalibrierbaren Parameter C_2 multiplizieren kann, bevor sie dem Additionsknoten **37** zugeführt wird.

[0051] Schließlich enthält die Schaltung **33** noch einen Integrierer **40** und einen Multiplizierer **41**, die in Reihe angeordnet sind, wobei der Integrierer **40** an seinem Eingang die Ausgangsgröße des Blocks **38** empfängt, während der Multiplizierer **41** seinerseits das Ausgangssignal des Integrierers **41** mit einem kalibrierbaren Parameter C_3 multiplizieren und es dann dem Additionsknoten **37** zuführen kann. Der Ausgang des Knotens **37** definiert den Ausgang **33u** der Schätzungsschaltung **33** und stellt das geschätzte Lastdrehmoment $T_{C_{st}}$ bereit, das dann gemäß dem folgenden Ausdruck berechnet wird: $T_{C_{st}} = C_1 \cdot \Delta v + C_2 \cdot \text{sign}(\Delta v) + C_3 \cdot \int \text{sign}(\Delta v)$, wobei "Signum" die zu dem Block **38** gehörende Signumfunktion ist.

[0052] Im Folgenden wird die Funktionsweise der Schaltung **19**, die das Lastdrehmoment $T_C(t)$ aus der gemessenen Winkelgeschwindigkeit $v(t)$ und dem Innendruck $P(t)$ rekonstruiert, beschrieben.

[0053] Sobald der rekonstruierte Innendruck P bekannt ist, wird das übertragene Drehmoment T_t mittels der Umsetzungsschaltung **30** bestimmt und dem Block **32** zugeführt, der das Maschine-Last-System modelliert.

[0054] An diesem Punkt liefert der Eingang **32b** des Blocks **32** ein erstes Versuchslastdrehmoment T_C , das beispielsweise als Korrekturwert bezüglich des rekonstruierten übertragenen Drehmoments T_t berechnet wird. Der Block **32** liefert an seinem Ausgang als Reaktion auf diese Eingaben einen ersten Schätzwert der Winkelgeschwindigkeit, nämlich jene Winkelgeschwindigkeit, die die Welle **6** haben sollte, um das rekonstruierte übertragene Drehmoment T_C an das Versuchslastdrehmoment T_C anzulegen.

[0055] Der Additionsknoten **31** berechnet dann den Geschwindigkeitsfehler Δv , der zwischen der gemessenen Geschwindigkeit und der geschätzten Geschwindigkeit vorhanden ist, und führt diesen Fehler der Schätzungsschaltung **33** zu. Die Schaltung **33** wiederum verarbeitet diesen Geschwindigkeitsfehler Δv , um ein zweites Versuchslastdrehmoment auszugeben, das zu dem Eingang **32b** des Blocks **32** zurückgeführt wird. Diese Rückführung führt zu einer Korrektur des Schätzwerts der Winkelgeschwindigkeitsausgabe von dem Block **32**. An diesem Punkt werden die oben beschriebenen Operationen wiederholt, bis der Geschwindigkeitsfehler Δv angenähert null wird.

[0056] Wenn die (von dem Block **32** ausgegebene) geschätzte Winkelgeschwindigkeit gleich der gemessenen Winkelgeschwindigkeit ist, ist die geschätzte Lastdrehmomentausgabe von der Schaltung **33** angenähert gleich dem Lastdrehmoment, das wirklich auf die Maschine ausgeübt wird, womit der Prozess zum Bestimmen des Lastdrehmoments endet.

[0057] Es sei hervorgehoben, dass die schnelle Konvergenz des Prozesses, der zum Erhalten des Lastdrehmoments führt, (also die schnelle Konvergenz des Geschwindigkeitsfehlers Δv gegen null) durch die Schätzungsschaltung **33** ([Fig. 7](#)) gewährleistet wird, deren Steuertätigkeit, wie oben bereits spezifiziert worden ist, durch die folgende Beziehung ausgedrückt wird: $T_{C_{st}} = C_1 \cdot \Delta v + C_2 \cdot \text{sign}(\Delta v) + C_3 \cdot \int \text{sign}(\Delta v)$

[0058] Tatsächlich besitzt der Ausdruck $C_1 \cdot \Delta v$ die Funktion, den Lastdrehmomentschätzwert dazu zu zwingen, sich so zu verändern, dass der Geschwindigkeitsfehlers Δv möglichst schnell aufgehoben wird, während die Ausdrücke $C_2 \cdot \text{sign}(\Delta v)$ und $C_3 \cdot \int \text{sign}(\Delta v)$, die dem Vorzeichen des Fehlers Δv zugeordnet sind, eine Steuertätigkeit ausführen, die darauf abzielt, sicherzustellen, dass nach einer bestimmten Anzahl von Oszillationen um den Endwert des Schätzwerts für das Lastdrehmoment das geschätzte Lastdrehmoment mit dem Endwert selbst übereinstimmt.

[0059] Aus dem oben Beschriebenen ist ersichtlich, dass es bei der Maschine **1**, die als eine in Massen gefertigte Fahrzeugmaschine beabsichtigt ist, möglich ist, den Verlauf des Zyklus um Zyklus auf die Maschine ausgeübten Lastdrehmoments ausschließlich auf der Grundlage der Messung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle und ohne Unterstützung durch einen Sensor außerhalb des Motorblocks wie etwa eines direkt in der Verbrennungskammer angebrachten Drucksensors oder eines piezoelektrischen Beschleunigungsmessers zu bestimmen.

[0060] In Übereinstimmung mit dem in den [Fig. 4](#), [Fig. 6](#) und [Fig. 8](#) Gezeigten ist es durch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, die Verläufe des Drucks in dem Zylinder ([Fig. 4](#)), des auf die Kurbelwelle **6** übertragenen Drehmoments ([Fig. 6](#)) und des Lastdrehmoments ([Fig. 8](#)) mit einem ausgezeichneten Näherungsgrad zu rekonstruieren. Tatsächlich kann durch graphisches Darstellen als ununterbrochene Linie der Verläufe des Innendrucks P und des übertragenen Drehmoments T_t als Funktion der Winkelposition θ der Welle **6** erkannt werden, dass diese Verläufe von den Verläufen, die durch direktes Messen dieser Parameter

(in den [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) in unterbrochenen Linien gezeigt) erhalten werden, nicht wesentlich abweichen. Ähnlich kann im Zusammenhang mit [Fig. 8](#) durch graphisches Darstellen als ununterbrochene Linie des rekonstruierten Verlaufs des Lastdrehmoments T_c als Funktion der Zeit erkannt werden, dass dieser Verlauf von dem wirklichen Verlauf, der durch Messen des Lastdrehmoments (in unterbrochenen Linien gezeigt) erhalten wird, nicht wesentlich abweicht.

[0061] Als Ergebnis des beschriebenen Verfahrens ist es daher möglich, die Entwicklung des Innendrucks, des übertragenen Drehmoments und des Lastdrehmoments, ohne Kosten, die durch den Einbau von Sensoren außerhalb des Motorblocks selbst bedingt sind, auf sich nehmen zu müssen, zu bestimmen, und zwar ausschließlich auf der Grundlage von Messungen der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle. Dies stellt sicher, dass das Verfahren in einfacher und kostengünstiger Weise auf massengefertigte Maschinen angewandt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen des Verlaufs des Lastdrehmoments in einer Brennkraftmaschine (**1**), das die folgenden Schritte umfasst:

- a) Erfassen des Verlaufs eines physikalischen Parameters, der die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) der Maschine (**1**) angibt;
- b) Bestimmen des Verlaufs des Drucks ($P(t)$) in wenigstens einem Zylinder (**3**) der Maschine (**1**) in Abhängigkeit vom Verlauf des physikalischen Parameters; und
- c) Bestimmen des Verlaufs des Lastdrehmoments ($T_c(t)$) in Abhängigkeit vom Verlauf des physikalischen Parameters und vom Verlauf des internen Drucks ($P(t)$).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der physikalische Parameter die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) der Kurbelwelle (**6**) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Schritt des Bestimmens des Innendrucks ($P(t)$) nach Absatz b) für jeden Verbrennungszyklus der Maschine (**1**) die folgenden Unterschritte umfasst:

- c) Bestimmen (**22**) des vorhandenen Betriebspunkts (K) der Maschine (**1**) in Abhängigkeit von einer Menge von Betriebsparametern ($\text{min}^{-1}, \text{Pcm}$) der Maschine (**1**);
- d) Erfassen (**23**) des Verlaufs der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) der Kurbelwelle (**6**);
- e) Bestimmen (**25**) einer Übertragungsfunktion ($H(j\Omega m)$) für den Druck ($P(t)$) in dem Zylinder (**3**) und die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) in Bezug auf den vorhandenen Betriebspunkt (K); und
- f) Erhalten (**24, 26, 27**) des Verlaufs des Drucks ($P(t)$) in dem Zylinder (**3**) aus dem Verlauf der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) und aus der Übertragungsfunktion ($H(j\Omega m)$) in Bezug auf den vorhandenen Betriebspunkt (K).

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Übertragungsfunktion ($H(j\Omega m)$) eine Frequenzgangfunktion für den Innendruck ($P(t)$) und die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) ist.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 3 oder 4, bei dem der Schritt des Erfassens (**23**) des Verlaufs der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) gemäß Absatz d) durch Abtasten (**23**) der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) zu mehreren Abtastzeitpunkten für jeden Verbrennungszyklus und durch Erhalten mehrerer Messwerte (v_0, v_1, \dots, v_{N-1}) ausgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der Unterschritt des Erhaltens (**24, 26, 27**) des Verlaufs des Innendrucks ($P(t)$) nach Absatz f) die folgenden weiteren Unterschritte umfasst:

- g) Berechnen (**24**) der diskreten Fourier-Transformation der Winkelgeschwindigkeit ($V(j\Omega m)$) anhand der mehreren Messwerte (v_0, v_1, \dots, v_{N-1});
- h) Anwenden (**26**) der Übertragungsfunktion auf die Fourier-Transformation der Winkelgeschwindigkeit ($V(j\Omega m)$), um so die Fourier-Transformation des Drucks ($P(j\Omega m)$) in dem Zylinder (**3**) zu erhalten;
- i) Berechnen (**27**) der inversen Fourier-Transformation der Fourier-Transformation des Innendrucks ($P(j\Omega m)$), um so mehrere Schätzwerte des Innendrucks (P_0, P_1, \dots, P_{N-1}) zu den Zeitpunkten, zu denen die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) abgetastet wird, zu erhalten, wobei die mehreren Schätzwerte des Innendrucks (P_0, P_1, \dots, P_{N-1}) den Verlauf des Drucks ($P(t)$) in dem Zylinder (**3**) definieren.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, bei dem das Abtasten der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) für jeden Verbrennungszyklus der Maschine (**1**) in einem Zeitintervall (I) ausgeführt wird, in dem sich der dem Zylinder (**3**) zugeordnete Kolben (**5**) in eine im Voraus definierte Umgebung des oberen Totpunkts

während der Zündungsphase der Maschine (1) bewegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, das weiterhin die folgenden vorausgehenden Schritte umfasst:

- I) Bestimmen mehrerer Referenz-Betriebspunkte (R) der Maschine (1), wovon jeder von den Betriebsparametern (min^{-1} , Pcm) der Maschine (1) abhängt; und
- m) Bestimmen einer jeweiligen Referenz-Übertragungsfunktion ($H_R(j\Omega m)$) für den Druck ($P(t)$) in dem Zylinder (3) und die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) der Kurbelwelle (6) für jeden Referenz-Betriebspunkt (R).

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Betriebsparameter (min^{-1} , Pcm) der Maschine (1) die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit (min^{-1}) der Kurbelwelle (6) und den durchschnittlichen Druck (Pcm) im Einlasskrümmer (8) der Maschine (1) umfassen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit (min^{-1}) der Kurbelwelle (6) und der durchschnittliche Druck (Pcm) im Einlasskrümmer (8) eine Ebene ($\text{min}^{-1}\text{-Pcm}$) möglicher Betriebspunkte der Maschine (1) definieren, wovon jeder durch einen entsprechenden Punkt in der Ebene ($\text{min}^{-1}\text{-Pcm}$) repräsentiert ist, wobei die Referenz-Betriebspunkte (R) der Maschine (1) ein Gitter (G) in der Ebene ($\text{min}^{-1}\text{-Pcm}$) definieren.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem die Übertragungsfunktion ($H(j\Omega m)$) für den Innendruck ($P(t)$) und die momentane Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) der Kurbelwelle (6) an dem vorhandenen Betriebspunkt (K) der Maschine (1) durch Verarbeiten der Referenz-Übertragungsfunktionen ($H_R(j\Omega m)$) berechnet wird.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 10 und 11, das ferner den Schritt umfasst, bei dem auf dem Gitter (G) eine Untergruppe (S) der Referenz-Betriebspunkte (R) definiert wird, die jene Referenz-Betriebspunkte (R) enthält, die sich in der Ebene ($\text{min}^{-1}\text{-Pcm}$) am nächsten bei dem vorhandenen Betriebspunkt (K) befinden, wobei die Übertragungsfunktion ($H(j\Omega m)$) an dem vorhandenen Betriebspunkt (K) als gewichteter Durchschnitt der Referenz-Übertragungsfunktionen ($H_R(j\Omega m)$) bezüglich der Referenz-Betriebspunkte (R) der Untergruppe (S) berechnet wird, wobei jede Referenz-Übertragungsfunktion ($H_R(j\Omega m)$) auf den gewichteten Durchschnitt mit einem Gewicht einwirkt, das von dem euklidischen Abstand zwischen dem entsprechenden Referenz-Betriebspunkt (R) und dem vorhandenen Betriebspunkt (K) abhängt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Schritt des Bestimmens des Verlaufs des Lastdrehmoments ($Tc(t)$) in Abhängigkeit vom Verlauf der momentanen Winkelgeschwindigkeit ($v(t)$) und des Innendrucks ($P(t)$) den Unterschritt umfasst, bei dem der Verlauf des Drehmoments ($Tt(t)$), das an die Kurbelwelle (6) übertragen wird, aus dem Verlauf des Drucks ($P(t)$) in dem Zylinder (3) erhalten wird (30).

14. Verfahren nach Anspruch 13, das ferner die folgenden Schritte umfasst:

- n) Zuweisen eines Versuchslastdrehmoments (Tc_{st}) an einen ersten Eingang (32b) eines Blocks (32), der das dynamische Verhalten des durch die Kombination aus Maschine und Last definierten Systems modelliert, wobei der Block (32) einen zweiten Eingang (32a) besitzt, der das an die Kurbelwelle übertragene Drehmoment (Tc) empfängt;
- o) Schätzen (32) mittels des Blocks (32) der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle (V_{st}) in Abhängigkeit von dem Versuchslastdrehmoment (Tc_{st}) und von dem an die Kurbelwelle (6) übertragenen Drehmoment (Tt), wobei die geschätzte Winkelgeschwindigkeit jene Geschwindigkeit ist, mit der sich die Kurbelwelle (6) bewegen sollte, um das übertragene Drehmoment (Tt) an das Versuchslastdrehmoment (Tc_{st}) anzugeleichen;
- p) Vergleichen (31) der gemessenen Winkelgeschwindigkeit (v) mit der geschätzten Winkelgeschwindigkeit (V_{st}), um ein Geschwindigkeitsfehlersignal (Δv) zu erzeugen;
- q) Korrigieren (33) des Versuchslastdrehmoments (Tc_{st}) mittels einer Schätzungsschaltung (33), die an ihrem Eingang das Geschwindigkeitsfehlersignal (Δv) empfängt und das Lastdrehmoment (Tc_{st}) anhand des Geschwindigkeitsfehlersignals (Δv) selbst schätzen kann; und
- r) Wiederholen der Schritte der Absätze o), p) und q), bis das Geschwindigkeitsfehlersignal (Δv) angenähert gleich null ist, so dass das von der Schätzungsschaltung (33) ausgegebene Versuchslastdrehmoment (Tc_{st}) angenähert gleich dem Lastdrehmoment, das tatsächlich auf die Maschine ausgeübt wird, ist.

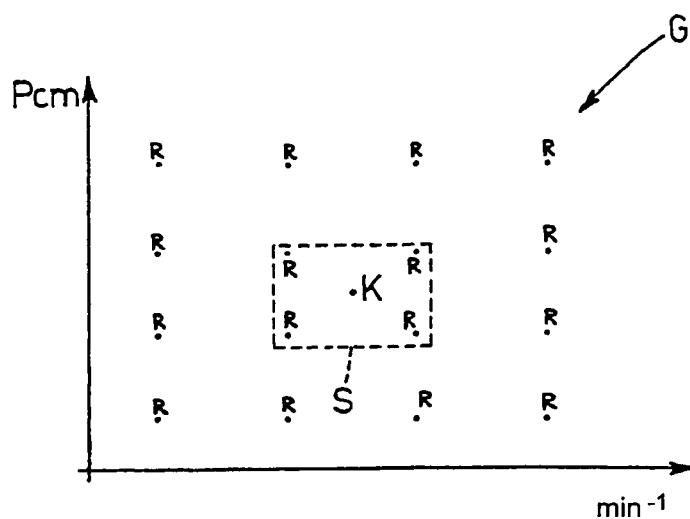
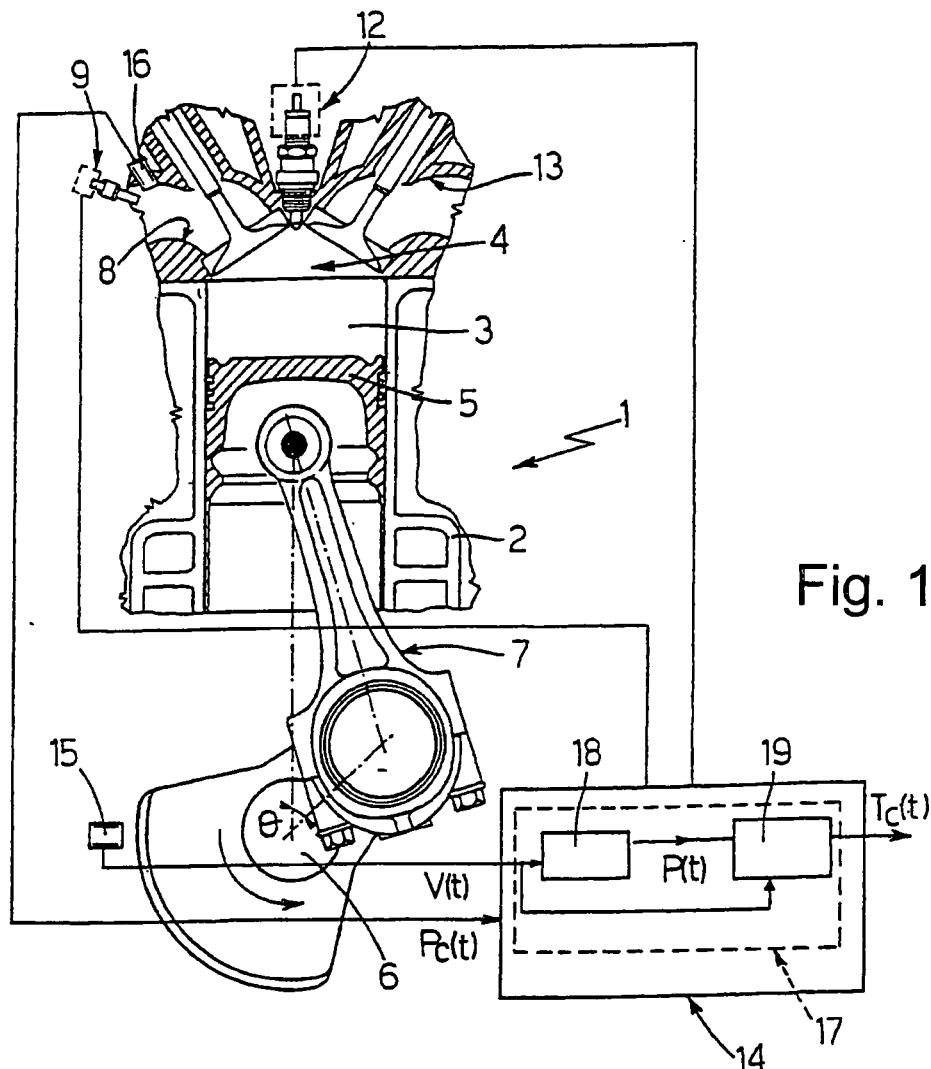
15. Verfahren nach Anspruch 14, das weiterhin den Schritt umfasst, bei dem das von der Schätzungsschaltung (33) ausgegebene geschätzte Lastdrehmoment (Tc_{st}) gefiltert wird (34), um Hochfrequenz-Spektralkomponenten zu beseitigen.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder Anspruch 15, bei dem der Schritt gemäß Absatz q) dadurch ausgeführt wird, dass das Geschwindigkeitsfehlersignal (Δv) mittels der Schätzungsschaltung (33) proportional (36, 39) und integral (41) verarbeitet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem das geschätzte Lastdrehmoment ($T_{C_{st}}$) durch die Schätzungsschaltung (33) in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitsfehlersignal (Δv) gemäß dem folgenden Ausdruck berechnet wird $T_{C_{st}} = C_1 \cdot \Delta v + C_2 \cdot \text{sign}(\Delta v) + C_3 \cdot \int \text{sign}(\Delta v)$ wobei $\text{sign}(\Delta v)$ die Signum-Funktion des Geschwindigkeitsfehlers Δv bezeichnet und C_1 , C_2 und C_3 kalibrierbare Parameter sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



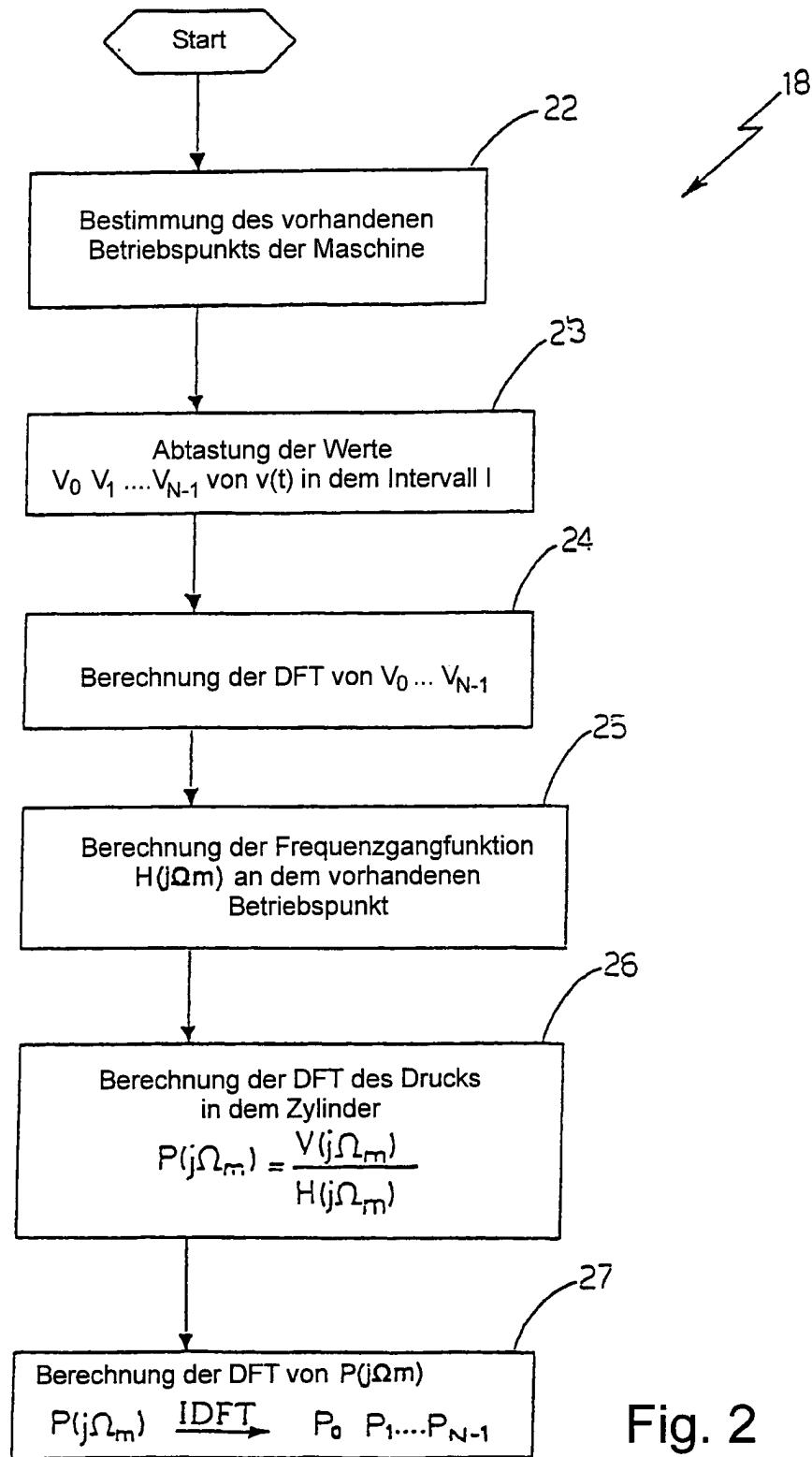


Fig. 2

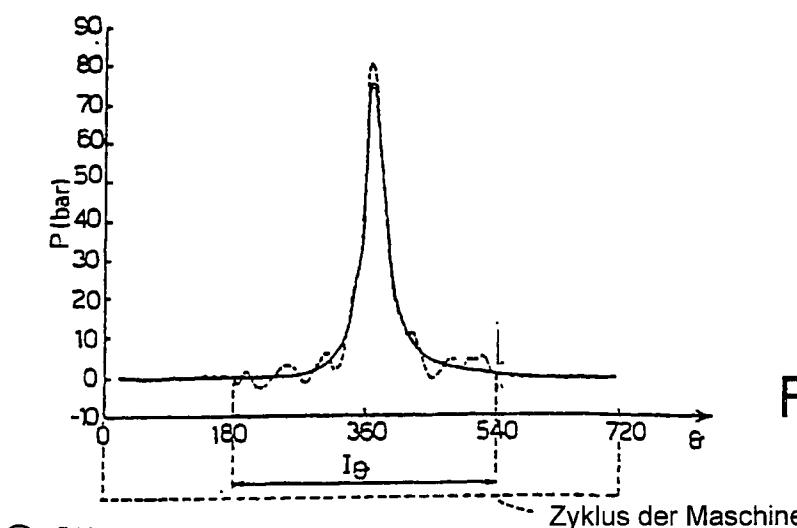


Fig. 4

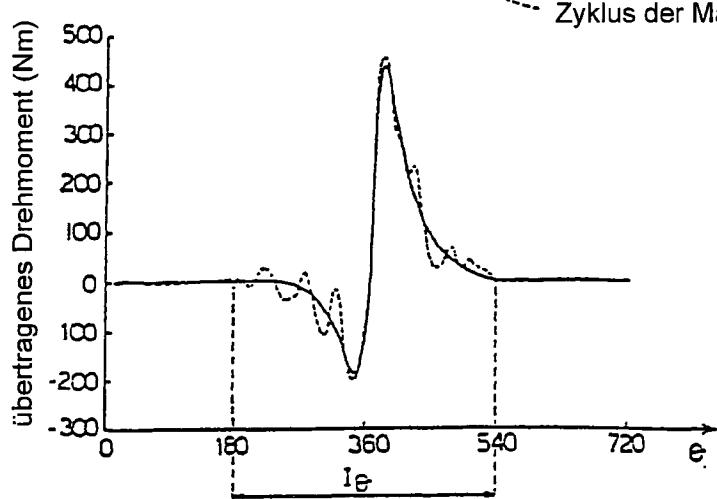


Fig. 6

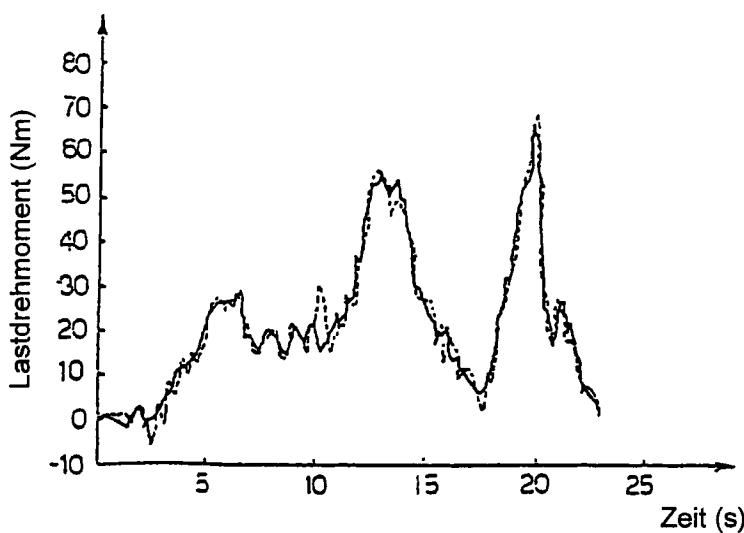


Fig. 8

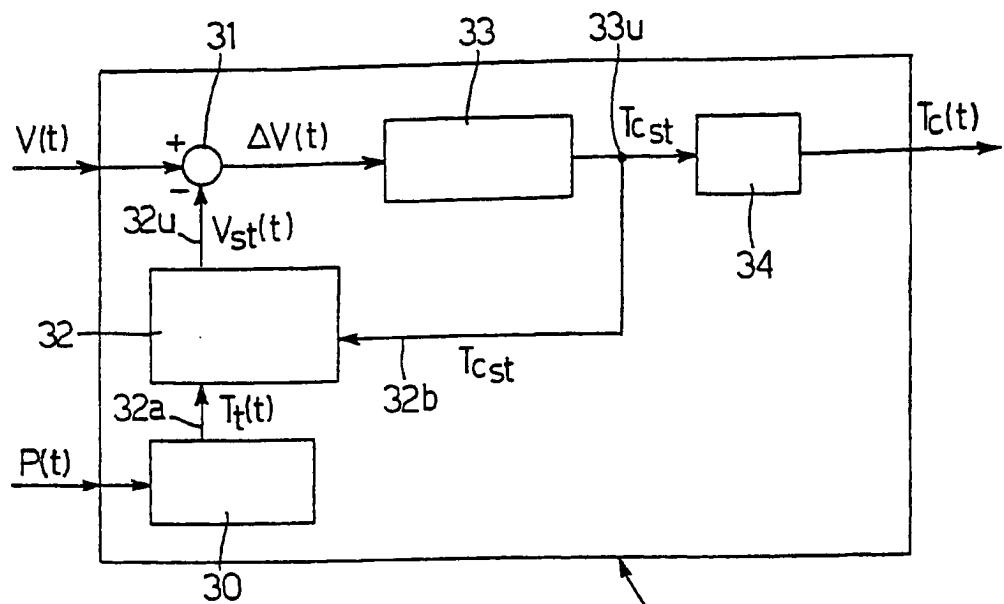


Fig. 5

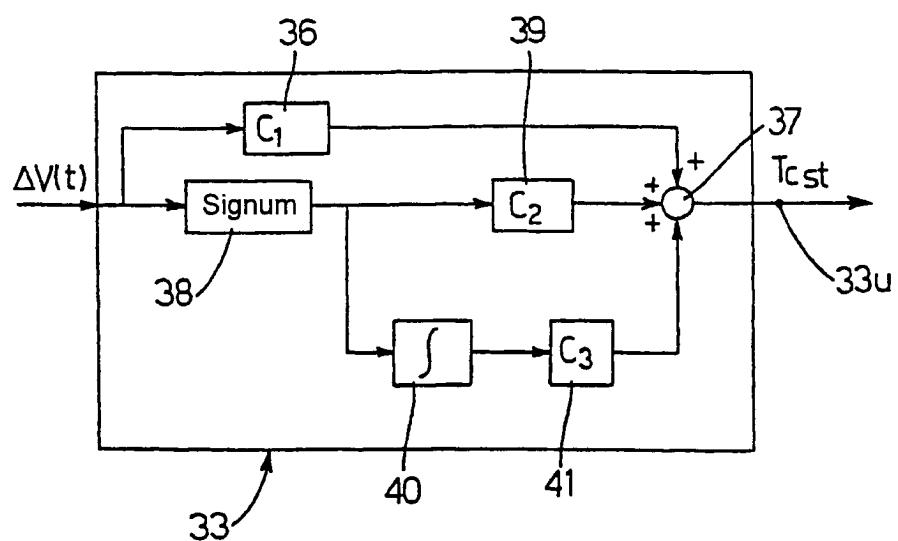


Fig. 7