



(11) **EP 1 559 888 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
09.04.2008 Patentblatt 2008/15

(51) Int Cl.:
F02D 35/02^(2006.01) F02D 41/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05001805.0**

(22) Anmeldetag: **28.01.2005**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer Verbrennungsgröße eines Verbrennungsvorgangs**

Method and device for determining at least a combustion parameter during a combustion process

Méthode et dispositif pour déterminer au moins un paramètre de combustion pendant le processus de combustion

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **28.01.2004 DE 102004004162**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.08.2005 Patentblatt 2005/31

(73) Patentinhaber: **STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG
37601 Holzminden (DE)**

(72) Erfinder:
• **Herrs, Martin
37671 Höxter (DE)**
• **Nolte, Hubert
37671 Höxter (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 420 155 DE-A1- 10 324 577
DE-C1- 10 236 979 DE-C1- 19 614 388
DE-C1- 19 917 708

EP 1 559 888 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung mindestens einer Verbrennungsgröße eines Verbrennungsvorgangs im Brennraum eines Verbrennungsmotors bei dynamischem Motorbetrieb, bei dem ein während des Verbrennungsvorgangs im Brennraum infolge einer Prüfspannung erzeugtes Ionisationssignal ausgewertet wird. Sie bezieht sich weiter auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Mittels eines beispielsweise aus der DE 196 14 388 C1 bekannten Verfahrens zur Regelung des Verbrennungsvorgangs eines Luft-Kraftstoff-Gemisches in einem Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Ottomotor, anhand eines während einer Verbrennungsphase oder eines Verbrennungsvorgangs erfassten Ionisationssignals sind Aussagen über charakteristische Verbrennungsgrößen möglich. Hierzu gehören insbesondere das Verhältnis von Luft zu Brenn- oder Kraftstoff A/F bzw. die Luftzahl λ , das Motorklopfen und die so genannte Abgasrezirkulationsrate AGR. Bei dieser wird durch eine Überschneidung der Ein- und Auslassventile des Verbrennungsmotors eine interne oder mittels eines Ventils eine externe Abgasrezirkulation realisiert.

[0003] Bei diesem Verfahren wird während des Verbrennungsvorgangs zeitlich versetzt zu dem die Verbrennung einleitenden Zündimpuls eine elektrische Prüfspannung in Form eines Spannungsimpulses an die Zündkerze des jeweiligen Brennraumes des Verbrennungsmotors gelegt. Während der Dauer des Prüfimpulses wird dessen Beeinflussung durch das jeweilige Luft-Kraftstoff-Gemisch des entsprechenden Verbrennungsraumes als elektrische Messgröße erfasst und ein daraus abgeleitetes Ionisationssignal ausgewertet. Der Verlauf des Ionisationssignals in Abhängigkeit von der Zeit oder dem Kurbelwinkel kann mathematisch, beispielsweise durch Ermittlung des Kurvenintegrals, des Maximums oder bestimmter Kurvenanstiege, ausgewertet werden.

[0004] Erkanntermaßen wirken sich jedoch auf das Ionisationssignal auch andere betriebsbedingte Parameter oder so genannte Querempfindlichkeiten des Motorbetriebs aus, insbesondere die jeweilige Drehzahl und der jeweilige Zündwinkel sowie dynamische Geometrieänderungen. Beispielsweise sinkt das Integral der Ionisationsspannung und damit des Ionisationssignals auch bei gleichem Luft-Brennstoff-Gemisch und damit gleich bleibender Luftzahl der Verbrennung mit zunehmender Drehzahl und steigt bei größer werdendem Zündwinkel.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem bei der Bestimmung zumindest einer Verbrennungsgröße eines Verbrennungsvorgangs im Brennraum eines Verbrennungsmotors auch Querempfindlichkeiten infolge sich verändernder Betriebszustände, insbesondere infolge des dynamischen Motorbetriebs entstehende Geometrieinflüsse, berücksichtigt werden. Des Weiteren soll eine zur Durchführung des Verfahrens besonders geeignete Vorrichtung angege-

ben werden.

[0006] Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Dazu wird ein Ionisationssignal, das aus einer während des Verbrennungsvorgangs im Brennraum durchgeführten Ionisationsmessung erzeugt oder abgeleitet wird, mittels eines die dynamische Änderung der Brennraumgeometrie berücksichtigenden Werteverlaufes korrigiert.

[0007] Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der auf den Anspruch 1 rückbezogenen Unteransprüche. So ist der Werteverlauf zweckmäßigerweise die inverse Funktion eines in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel für unterschiedliche Flächenelemente des Brennraums bestimmten Gesamtleitwertes des sich über die Zeit im Brennraum verteilenden oder ausbreitenden ionisierten Brenngases bei als konstant angenommenem spezifischem Leitwert der Verbrennungsgase.

[0008] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass die Ionisationsmessung auch bei gleich bleibendem Luft-Brennstoff-Verhältnis und damit auch bei gleich bleibender Luftzahl durch die betriebsbedingte dynamische Änderung der Brennraumgeometrie beeinflusst wird. So ist erkanntermaßen der messbare Ionisationsstrom von der beispielsweise durch die Mittelelektrode der Zündkerze des Brennraums gebildeten Anode zur durch die Massefläche des Brennraums gebildeten Kathode nicht nur vom Leitwert der ionisierten Brenngase abhängig. Vielmehr besteht auch eine Abhängigkeit vom Abstand der einzelnen Flächensegmente oder -elemente zwischen der Anode und der Kathode sowie von der Größe dieser Flächen. Zur die Massefläche des Brennraums bildenden Kathode gehört bei einem Verbrennungsmotor auch der Kolben, dessen Abstand zur Anode sich während des Motorbetriebs zyklisch verändert. Die Kolbenbewegung beeinflusst weiterhin die Größe der als Kathode zur Verfügung stehenden Zylinderwand.

[0009] Die als Kathode zur Verfügung stehende Massefläche des Brennraums lässt sich dabei unterteilen in ortsfeste und ortsveränderliche Flächenelemente. Ortsfeste und hinsichtlich deren Größe unveränderliche Flächenelemente sind die durch die Mittelelektrode der Zündkerze gebildete Anode und der Zylinderdeckel des Brennraums. Die ortsveränderlichen Flächenelemente lassen sich wiederum unterteilen in hinsichtlich deren Größe unveränderliche Flächenelemente, wie der Kolbenboden, und in Flächenelemente mit veränderlicher Größe, wie die Zylinderwand.

[0010] Durch Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs des Leitwertes des ionisierten Brenngases im Brennraum in Zeitabhängigkeit vom sich ändernden Kurbelwinkel - bezogen auf die einzelnen Flächenelemente - lässt sich der mit der dynamischen Änderung der Brennraumgeometrie verändernde Gesamtleitwert als Funktion des Kurbelwinkels bestimmen. Diese brennraumsspezifische Funktion spiegelt somit für diesen speziellen Brennraum dessen charakteristische dynamische Geo-

metrieänderung wider. Durch Invertieren dieser vorzugsweise normierten Funktion ist dann ein Werteverlauf mit dem jeweiligen Kurbelwinkel zugeordneten Korrekturwerten gegeben. Wird nun dieser Werteverlauf mit dem spezifischen Leitwert des ionisierten Brenngases im Brennraum gewichtet, insbesondere multipliziert oder verrechnet, so wird der Einfluss der dynamischen Geometrieänderungen des Brennraums im Motorbetrieb auf das aktuell gemessene Ionisationssignal eliminiert oder zumindest erheblich reduziert.

[0011] Bezüglich der Vorrichtung wird die genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 8. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der hierauf rückbezogenen Unteransprüche.

[0012] Der den funktionalen oder invers funktionalen Zusammenhang zwischen Leitwert und Kurbelwinkel und damit die Brennraumgeometrie berücksichtigende Werteverlauf wird zweckmäßigerweise nach Art einer Korrekturfunktionsmatrix in einem vorzugsweise mehrschichtigen Register hinterlegt. Dabei spiegelt jeder Werteverlauf dieser Matrix eine spezifische Brennraumgeometrie wider. Ein anhand des während einer Ionisationsmessung gleichzeitig erfassten Kurbelwinkels aus dem Register abgerufenes oder ausgelesenes Korrektorsignal in Form des brennraumspezifischen Werteverlaufs wird mit dem bei der Ionisationsmessung generierten Ionisationssignal verrechnet. Das somit hinsichtlich der Einflüsse der Änderung der Brennraumgeometrie korrigierte Ionisationssignal wird zur Auswertung der gewünschten Verbrennungsgrößen herangezogen.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch eine Korrektur des während einer Ionisationsmessung im Brennraum eines Verbrennungsmotors ermittelten Ionisationssignals mit einer die dynamische Änderung der Brennraumgeometrie berücksichtigenden Werteverlauf einer brennraumspezifischen Korrekturfunktion unerwünschte Querempfindlichkeiten bei der Bestimmung von charakteristischen Verbrennungsgrößen zumindest erheblich reduziert werden. Dadurch ist insgesamt eine die aktuellen Gegebenheiten zuverlässig angegebende Regel- oder Steuergröße bereitgestellt, die ihrerseits für die Generierung zuverlässiger Stellgrößen einer Verbrennungsregelung herangezogen werden kann.

[0013] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 ein Schaltbild zur Erzeugung und Auswertung eines Ionisationssignals in schematischer Darstellung,

Fig. 2 einen Verlauf des Ionisationssignals infolge eines Prüf- oder Spannungsimpulses während eines den Arbeitstakt eines Verbrennungsmotors charakterisierenden Verbrennungsvorgangs in einem Spannungs-Zeit-Diagramm,

Fig. 3a,3b schematisch unterschiedliche Brennraum-

Fig. 4a,4b

5

Fig. 5

10

geometrien eines Kolbenzylinders am oberen bzw. unteren Totpunkt, in einem Leitwert-Winkel-Diagramm Funktionsverläufe des flächenspezifischer Leitwerte bzw. ein zum normierten Gesamtverlauf inverser Funktionsverlauf, und schematisch ein Signalfußverlauf mit Funktionsbausteinen zur Bestimmung aktueller Verbrennungsregelgrößen anhand eines korrigierten Ionisationssignals.

[0014] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

15

[0015] Gemäß Fig. 1 weist ein Verbrennungsmotor 1 mindestens einen nachfolgend als Brennraum 2 bezeichneten Zylinder mit darin beweglichem Kolben 3 und mit einer Zündkerze 4 auf. Eine Zündspuleneinheit 5 mit einer Primärwicklung 5a und einer Sekundärwicklung 5b wird primärseitig von einem Unterbrecherkontakt 6 geschaltet. Während einer nachfolgend als Verbrennungsvorgang bezeichneten Verbrennungsphase wird an der Zündkerze 4 zunächst von der Zündspuleneinheit 5 ein Zündimpuls Z und diesem gegenüber zeitverzögert von einem Impulsgenerator 7 ein Prüf- oder Spannungsimpuls P erzeugt.

25

[0016] Fig. 2 zeigt in einem Spannungs-Zeit-Diagramm den Zündimpuls Z und den zeitlich diesem nachfolgenden, vorzugsweise rechteckförmigen, strichliniert dargestellte elektrische Prüfspannung P. Diese kann eine impulsartige Spannung in Form eines Spannungsimpulses oder ein zeitlich vergleichsweise lange andauerndes Spannungssignal. Während die Zündspannung des Zündimpulses Z zum Zeitpunkt t_0 etwa 15kV beträgt, liegt die Amplitude U_0 der rechteckförmigen Prüfspannung P zwischen 100V und 1000V. Diese Spannung oder Spannungsamplitude U_0 wird mittels des Impulsgenerators 7 vor einem Messwiderstand R_m während einer Impulsdauer $t_2 - t_1 = \Delta t$ auf einem konstanten Wert von vorzugsweise $U_0 = 600$ V gehalten.

30

35

40

[0017] Der dem Impulsgenerator 7 nachgeschaltete Messwiderstand R_m ist über eine Messleitung 8 an eine Kontaktstelle 9 mit einer zur Zündkerze 4 führenden Zündleitung 10 geführt. Infolge der während der Verbrennung der Brenngase im Brennraum 2 auftretenden Ionisation fließt über den Messwiderstand R_m ein Ionisationsstrom I_m , der nach dem Ohm'schen Gesetz $U_m = R_m \cdot I_m$ zu einem entsprechenden Spannungsabfall am Messwiderstand R_m führt. Die in Stromflussrichtung hinter dem Messwiderstand R_m abgreifbare Messspannung U_m , deren in Fig. 2 gezeigter Verlauf nachfolgend als Ionisationssignal I_s bezeichnet wird, ist proportional zum Ionisationsstrom I_m . Der sich abhängig von der jeweiligen Zusammensetzung des Luft-Brennstoff-Gemisches A/F im Brennraum 2 über die Dauer der Prüfspannung oder des Prüfspannungsimpulses P im Zeitintervall Δt ergebende zeitabhängige Verlauf der Messspannung U_m wird über den Messwiderstand R_m in einer Auswerteschaltung 11 erfasst. Gleichzeitig ist die zwischen dem

45

50

55

Impulsgenerator 7 und dem Messwiderstand R_m abgegriffene rechteckförmige Prüfspannung P ebenfalls an die Auswerteschaltung 11 geführt.

[0018] Zur Erfassung des Zündzeitpunkts t_0 ist der Impulsgenerator 7 über eine Signalleitung 12 an den Unterbrecherkontakt 6 oder an die Zündspuleneinheit 5 geführt. Zur Entkopplung der Sekundärwicklung 5b der Zündspuleneinheit 5 vom Spannungsimpuls P sind in die Sekundärwicklung 5b mit der Zündkerze 4 verbindende Zündleitung 10 im Ausführungsbeispiel zwei spannungsabhängige Widerstände R_s geschaltet. Dadurch ist gewährleistet, dass einerseits der Zündimpuls Z an die Zündkerze 4 und andererseits der Prüfimpuls bzw. die Prüfspannung P zeitlich nach dem Zündimpuls Z zur Zündkerze 4 gelangt. Die Auswerteschaltung 11 erhält zudem einen elektrischen Sollwert S_L . Dieser entspricht einem für den Motorbetrieb gewünschten Lambda-Sollwert mit $\lambda = 0,8$ bis $\lambda = 1,3$, beispielsweise $\lambda = 1$.

[0019] Die Spannungshöhe oder -amplitude U_0 der Prüfspannung P ist an den strichliniert angedeuteten elektrischen Widerstand R_l der innerhalb des Brennraums 2 gebildeten Ionisationsstrecke angepasst. Dabei ist die Spannungsamplitude U_0 der Prüfspannung P derart gewählt, dass in allen Motor- oder Betriebszuständen eine Messung des Ionisationsstroms I_m bzw. der Ionisationsspannung U_m und damit des Ionisationssignals I_s im linearen Bereich des sich aus der Strom-Spannungs-Abhängigkeit ergebenden Funktionsverlaufs erfolgt.

[0020] Der sich durch diese Ionisationsmessung ergebende zeitliche Verlauf des Ionisationssignals I_s ist in Fig. 2 für einen Lambda-Wert von $\lambda \approx 1$ gezeigt. Der zugehörige Ionisationsstrom I_m ergibt sich dann gemäß der Beziehung $I_m = U_m \cdot L$, wobei L der dem reziproken elektrischen Widerstand R , entsprechende Leitwert $L = R_l^{-1}$ des ionisierten Brenngases ist.

[0021] Bei einer aktuellen Ionisationsmessung während des Zeitintervalls Δt ergibt sich dieser funktionale Zusammenhang aus dem von der Auswerteschaltung 11 erfassten zeitlichen Verlauf des am Messwiderstand R_m bewirkten Spannungsabfall infolge des über die Ionisationsstrecke fließenden Ionisationsstroms I_m . Die Ionisationsstrecke ist dabei durch die Reihenschaltung aus dem Messwiderstand R_m und der Zündkerze 4 sowie dem elektrischen Widerstand R_l des im Brennraum 2 ionisierten Brennstoffs gebildet. An diese Ionisationsstrecke ist die Prüfspannung P gelegt.

[0022] Die Auswerteschaltung 11 vergleicht den jeweiligen Ist-Wert des Ionisationssignals I_s mit dem vorgegebenen elektrischen Sollwert S_L und berechnet für den folgenden Zündvorgang eine Anzahl von Stellgrößen $S_{1...n}$. Beispielsweise wird eine Stellgröße S_1 für eine die Zufuhr von Luft A in den Brennraum 2 einstellende Drosselklappe 13, eine Stellgröße S_2 für ein die Zufuhr von Brennstoff F in den Brennraum 2 einstellendes Einspritzsystem 14 und/oder eine weitere Stellgröße S_3 ermittelt, die über eine Signalleitung 15 zur Verstellung des Zündzeitpunkts an den Unterbrecherkontakt 6 geführt ist. Mittels eines Zündverteilers 16 werden die Zündimpulse Z

und die Prüfspannung P zeitlich nacheinander an weitere vorhandene Brennräume 2 des Verbrennungsmotors 1 gelegt.

[0023] Um bei der Auswertung des Ionisationssignals I_s die dessen Verlauf beeinflussende dynamische Änderung der Brennraumgeometrie zu berücksichtigen, erfolgt eine Korrektur des aktuell erfassten Ionisationssignals I_s . Hierzu wird zunächst ein für den vorliegenden Brennraum 2 charakteristischer Werteverlauf ermittelt. Dieser charakterisiert oder beschreibt die für diesen Brennraum 2 spezifische Brennraumgeometrie und deren dynamische Änderung während des Motorbetriebs. Hierzu werden die erkanntenmaßen bestehenden physikalischen Abhängigkeiten zur Auswertung der Luftzahl λ einer Verbrennung mittels der vorbeschriebenen Ionisationsmessung genutzt.

[0024] So ergibt sich aus dem Mischungsverhältnis von Verbrennungsluft A zu Kraft- oder Brennstoff F und somit aus dem Luft-Brennstoff-Verhältnis A/F die Luftzahl λ der Verbrennung. Aus dieser wiederum ergibt sich die zugehörige Verbrennungstemperatur, deren Proportionalität zur Ionisation des Gemischen A/F durch die Richardson-Gleichung mathematisch beschreibbar ist. Die Ionisation wiederum bestimmt den Leitwert $L = R_l^{-1}$ des Verbrennungsplasmas. Dieser Leitwert L lässt sich aus über die aktuelle Messspannung U_m aus dem Ionisationsstrom I_m und damit aus dem Ionisationssignal I_s nach der oben genannten Beziehung mathematischen bestimmen. Somit ist durch die Ionisationsmessung jeder der vorgenannten Verbrennungsgrößen, insbesondere auch die Luftzahl λ , bestimmbar. Diese wiederum repräsentiert in Richtung zu niedrigeren Lambda-Werten ein überstöchiometrisches und in Richtung zu größeren Lambda-Werten ein unterstöchiometrisches Gemischverhältnis, je nach Abweichung vom Wert $\lambda = 1$.

[0025] Einfluss hierauf hat jedoch auch die geometrische Anordnung der Elektroden für die Erzeugung des Zündimpulses Z im Brennraum 2. Bei deren Spannungsbeaufschlagung mit der Prüfspannung P und die zeitfolgerichtige Messung des Ionisationsstroms I_m kann der Leitwert L des Plasmas und damit die Ionisation quantifiziert werden. Zur Berücksichtigung dieser geometrischen Anordnung der Elektroden und deren dynamische Änderung infolge der sich betriebsbedingt ändernden Brennraumgeometrie wird zur Bestimmung des Leitwertes L der ionisierten Verbrennungswolke im Brennraum 2 zusätzlich zur Messung des Ionisationsstroms I_m aus der Messung des Spannungsverlaufs der über den Messwiderstand R_m erfassten Messspannung U_m auch die Geometrie des Brennraums 2 zu jedem Zeitpunkt innerhalb des Zeitintervalls $\Delta t = t_2 - t_1$ einbezogen.

[0026] Mit Bezug auf die Fig. 3a und 3b kann hierzu als Anode beim Verbrennungsmotor 1 die Mittelelektrode Z_A der Zündkerze 4 verwendet werden. Als Kathode ist dann die gesamte Massefläche des Brennraums 2 anzusehen. Hierzu gehört auch der Kolben 3, dessen Abstand zur Anode Z_A sich zyklisch verändert. Dabei beeinflusst die Kolbenbewegung die Größe der als Kathode

zur Verfügung stehenden Zylinder- oder Brennraumwand des Brennraums 2. Diese betriebsbedingte Änderung der Brennraumgeometrie und die sich daraus ergebenden Unterschiede für die Ionisationsmessung sind in den Fig. 3a und 3b verdeutlicht durch den oberen Totpunkt bzw. den unteren Totpunkt des Kolbens 3 innerhalb des Zylinders oder Brennraums 2.

[0027] Unter Berücksichtigung der Annahme, dass sich die ionisierten Gase im Brennraum 2 nach erfolgter Zündung gleichmäßig verteilen, ist der Stromfluss von der Anode Z_A zur durch die gesamte Massefläche des Brennraums 2 gebildeten Kathode sowohl vom Leitwert L der ionisierten Gase als auch vom Abstand der einzelnen von der Anode Z_A und der Kathode gebildeten Flächensegmente oder -elemente sowie von der Größe dieser Flächenelemente abhängig. Zur Berechnung des Gesamtstromflusses können die Stromflüsse zu den einzelnen Flächenelementen überlagert werden. Diese wiederum können in ortsfeste und ortsveränderliche unterteilt werden. So sind die Anode Z_A und der Zylinderdeckel Z_D ortsfeste und sich im dynamischen Motorbetrieb in deren Größe nicht verändernde Flächenelemente. Demgegenüber ist der Kolbenboden Z_B ein ortsveränderliches Flächenelement, das sich jedoch in dessen Größe nicht verändert. Demgegenüber bilden die Zylinderwände Z_W sowohl ortsveränderliche als auch in deren Größe veränderliche Flächenelemente.

[0028] Die Fig. 4a zeigt die Abhängigkeit der Leitwerte L dieser einzelnen Flächenelemente F_z , mit $Z = Z_B, Z_D$ oder Z_W , vom Kurbelwinkel K_W der den Kolben 3 innerhalb des Zylinders oder Brennraums 2 zwischen dem oberen und dem unteren Totpunkt bewegendes Pleuel 17, wie in den Figuren 3a und 3b angedeutet. In der unteren Hälfte des Diagramms nach Fig. 4a dargestellt ist der Verlauf des Leitwertes $L(Z_D)$ des Zylinderdeckel-Flächenelements Z_D vom Kurbelwinkel K_W . Dieser Verlauf ist konstant und spiegelt die Ortsfestigkeit sowie das in deren Größe unveränderte Zylinderdeckel-Flächenelement Z_D wider. Eine erhebliche periodische Abhängigkeit des Leitwertes $L(Z_B)$ des durch den Kolbenboden repräsentierten, sowohl ortsveränderlichen als auch in der Größe veränderlichen Flächenelementes Z_B vom Kurbelwinkel K_W zeigt der mittlere Kurvenverlauf in der unteren Diagrammhälfte 4a. Demgegenüber ist die Abhängigkeit des Leitwertes $L(Z_W)$ des die Zylinderwand repräsentierenden ortsveränderlichen, aber in dessen Größe nicht veränderlichen Flächenelementes Z_W vom Kurbelwellenwinkel K_W vergleichsweise gering. Dabei ist ein periodisch mit dem Kolbenwinkel K_W zu- und abnehmender Zylinderwand-Leitwert $L(Z_W)$ erkennbar, während der Leitwert $L(Z_B)$ des Kolbenboden-Flächenelementes Z_B periodisch mit zunehmendem Kolbenwinkel K_W zunächst abnimmt, um dann ab einem bestimmten Kolbenwinkel K_W wieder zuzunehmen.

[0029] Durch Summation dieser Kurvenverläufe ergibt sich der in der oberen Hälfte des Diagramms nach Fig. 4a dargestellte Gesamtleitwert L_G in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel K_W . Der als Summe der Einzelleitwerte L

(F_z) dargestellte und bei der Ionisationsmessung erfasste Gesamtleitwert $L_G = L(K_W) \cdot L_{spez}$ - mit dem spezifischen Leitwert L_{spez} des ionisierten Brenngases - weist eine Abhängigkeit $F(K_W)$ vom Kurbelwellenwinkel K_W auf und bildet somit nicht ausschließlich den von der Luftzahl λ abhängigen spezifischen Leitwert L_{spez} der Verbrennungsgase ab.

[0030] Diese Abhängigkeit $L(K_W)$ des Gesamtleitwertes L_G vom Kurbelwellenwinkel K_W , und damit der sich zeitabhängig mit der dynamischen Änderung der Brennraumgeometrie verändernde Gesamtleitwert L_G , ist in Fig. 4b auf den Wert $\lambda = 1$ normiert. Der zu diesem Funktionsverlauf des Gesamtleitwertes L_G inverse Funktionsverlauf bildet den zum für den spezifischen Brennraum 2 erfassten Werteverlauf L_G inversen Werteverlauf L'_G . Dieser wird zur Korrektur des aktuell erfassten Ionisationssignals I_s herangezogen, um den Einfluss der dynamischen Änderung der Brennraumgeometrie zu reduzieren oder vollständig zu eliminieren. Der Werteverlauf L_G und/oder der hierzu inverse Werteverlauf L'_G wird in einem Korrekturregister K_R der Auswerteschaltung 11 hinterlegt, wie in Fig. 5 dargestellt.

[0031] Das Korrekturregister K_R der Auswerteschaltung 11 gemäß Fig. 5 enthält nach Art einer Funktionsmatrix eine Vielzahl von brennraumspezifischen Werteverläufen L_{Gn}, L'_{Gn} . Diese charakterisieren die unterschiedlichen Brennraumgeometrien F_z der verschiedenen Brennräume 2. Die Bestimmung der oder jeder Verbrennungsgröße des in den einzelnen Brennräumen 2 stattfindenden Verbrennungsvorgangs erfolgt dann nach dem in Fig. 5 dargestellten Signalfuss.

[0032] Durch Anlegen der Prüfspannung P an die Zündkerze 4 fließt nach erfolgter Zündung, d.h. zeitlich versetzt zum Zündimpuls Z der das Ionisationssignal I_s charakterisierende Ionisationsstrom I_m zwischen der Anode Z_A und der anhand der Fig. 3a und 3b beschriebenen Brennraummasse. In einem Funktionsbaustein IO wird das zum Ionisationsstrom I_m proportionale elektrische Ionisationssignal I_s generiert. Parallel hierzu wird der Kurbelwinkel K_W erfasst und davon abhängig ein im Korrekturregister K_R als Korrekturfunktion hinterlegter Werteverlauf L'_{Gn} zur Berücksichtigung der dynamischen Änderung der Brennraumgeometrie abgerufen.

[0033] In einem Funktions- oder Verrechnungsbaustein VG wird das aktuelle Ionisationssignal I_s zeit- oder winkelsynchron mit dem Korrektursignal oder Werteverlauf L'_{Gn} verrechnet und somit das aktuelle Ionisationssignal I_s korrigiert. Im Verrechnungsbaustein VG erfolgt die Berechnung des korrigierten Ionisationssignals I'_s gemäß der Beziehung $I'_s = I_s \cdot L'_{Gn}$, wobei $n = 1, \dots, m$ und m die Anzahl der Brennräume 2 des Verbrennungsmotors 1 ist.

[0034] Das bezüglich der Einflüsse der Veränderung der Brennraumgeometrie korrigierte Ionisationssignal I'_s wird anschließend im Hinblick auf die gewünschten Verbrennungsgrößen in einem Funktions- oder Auswertebaustein AW ausgewertet. Dieser liefert die für die Verbrennungsregelung erforderlichen Stellgrößen S_n .

Bezugszeichenliste

[0035]

1	Verbrennungsmotor	
2	Brennraum/Zylinder	
3	Kolben	
4	Zündkerze	
5	Zündspuleneinheit	
5a	Primärwicklung	10
5b	Sekundärwicklung	
6	Unterbrecherkontakt	
7	Impulsgenerator	
8	Messleitung	
9	Kontaktstelle	15
10	Zündleitung	
11	Auswerteschaltung	
12	Signalleitung	
13	Drosselklappe	
14	Einspritzsystem	20
15	Signalleitung	
16	Zündverteiler	
17	Pleuel	
AW	Auswertebaustein	
IO	Funktionsbaustein	
I_s	Ionisationssignal	
K_R	Korrekturregister	
K_W	Kurbelwinkel	
L	Leitwert	
L_G	Gesamtleitwert / Werteverlauf	
L'_G	inverser Werteverlauf	
P	Prüfspannung / Spannungsimpuls	
S_n	Stellgröße	
VG	Verrechnungsbaustein	
Z	Zündimpuls	
Z_A	Anode/Mittelelektrode	
Z_B	Kolbenboden	
Z_D	Zylinderdeckel	
Z_W	Zylinderwand	
t_0	Zeitpunkt des max. Zündimpulses/Zündzeitpunkt	40
U_0	Amplitude der Prüfspannung P	
R_m	Messwiderstand	
Δt	Impulsdauer	
I_m	Ionisationsstrom	
R_s	spannungsabhängiger Widerstand	45
S_L	elektrischer Sollwert	
R_i	elektrischer Widerstand der innerhalb des Brennraums 2	
U_m	Ionisationsspannung	
A	Luft / Verbrennungsluft	50
F	Brennstoff	
F_Z	Flächenelemente mit $Z = Z_B, Z_D$ oder Z_W / Brennraumgeometrien	
I'_s	korrigiertes Ionisationssignal	55

Patentansprüche

- Verfahren zur Bestimmung mindestens einer Verbrennungsgröße (λ) eines Verbrennungsvorgangs im Brennraum (2) eines Verbrennungsmotors (1) bei dynamischem Motorbetrieb, bei dem ein während des Verbrennungsvorgangs im Brennraum (2) infolge einer Prüfspannung (P) erzeugtes Ionisationssignal (I_s) ausgewertet wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Ionisationssignal (I_s) mittels eines die dynamische Änderung der Brennraumgeometrie (F_Z) berücksichtigenden Werteverlaufs (L_G, L'_G) korrigiert wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**
dass als Werteverlauf (L'_G) der inverse Verlauf (L'_G) eines zeit- oder winkelabhängigen Leitwertes (L_G) eines im Brennraum (2) ionisierten Brenngases (A, F) bestimmt wird.
- Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**
dass zur Bestimmung des Werteverlaufs (L'_G) der Gesamtleitwert ($L_G(K_W)$) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel (K_W) erfasst wird.
- Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,**
dass der Gesamtleitwert ($L_G(K_W)$) aus der Summe von Leitwerten ($L(Z_n)$) brennraumspezifischer Flächenelemente (F_Z) ermittelt wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das korrigierte Ionisationssignal (I'_s) gemäß der Beziehung
$$I'_s = I_s \cdot L'_G$$

ermittelt wird, wobei I_s ein aktuell erfasstes Ionisationssignal und L'_G der inverse Gesamtleitwert L_G des ionisierten Brenngases (A, F) ist.
- Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,**
dass jeder brennraumspezifisch erfasste Werteverlauf (L_{Gn}, L'_{Gn}) als Korrekturfunktion hinterlegt wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand eines aktuell erfassten Kurbelwinkels (K_W) ein hinterlegter brennraumspezifischer Werteverlauf (L_{Gn}, L'_{Gn}) ausgelesen und dieser mit dem aktuellen Ionisationssignal (I_s) zu dessen Korrektur verrechnet wird.

8. Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer Verbrennungsgröße (λ) eines Verbrennungsvorgangs im Brennraum (2) eines Verbrennungsmotors (1) bei dynamischem Motorbetrieb, mit einer Auswerteschaltung (11), die aus einem während des Verbrennungsvorgangs im Brennraum (2) infolge einer Ionisationsmessung (P , U_m , I_m) erzeugten Ionisationssignal (I_s) eine Anzahl von Stellgrößen (S_n) zur Steuerung des Verbrennungsvorgangs generiert, **gekennzeichnet durch** ein Korrekturregister (K_R) mit einer Anzahl von die dynamische Änderung der Brennraumgeometrie (Z_n) berücksichtigenden Werteverläufen (L_{Gn} , L'_{Gn}) und einen Verrechnungsbaustein (VG) zur zeit- oder winkelsynchronen Verknüpfung eines aktuell erfassten Ionisationssignals (I_s) mit einem anhand eines aktuell erfassten Kurbelwinkel (K_w) aus dem Korrekturregister (KR) ausgelesenen brennraumspezifischen Werteverlauf (L'_{Gn}).
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** einen dem Verrechnungsbaustein (VG) vorgeschalteten Funktionsbaustein (IO) zur Ermittlung des Ionisationssignals (I_s) aus einem während des Verbrennungsvorgangs infolge einer Prüfspannung (P) an einem Messwiderstand (R_m) zeitabhängig erfassten Spannungsverlaufs (U_m).
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **gekennzeichnet durch** einen dem Verrechnungsbaustein (VG) nachgeschalteten Auswertebaustein (AW) zur Bestimmung brennraumspezifischer Verbrennungsgrößen (λ) aus einem im Verrechnungsbaustein (VG) ermittelten korrigierten Ionisationssignal (I'_s).

Claims

1. Procedure for determining at least one combustion characteristic (λ) of a combustion process in the combustion chamber (2) of a combustion engine (1) with dynamic engine operation, by the evaluation of an ionisation signal (I_s) generated in the combustion chamber (2) during the combustion process by means of a test voltage (P), **characterised by** the fact, that the ionisation signal (I_s) is corrected by a value progression (L_G , L'_G) which takes into account the dynamic change in the combustion chamber geometry (F_z).
2. Procedure in accordance with Claim 1, **characterised by** the fact that the value progression (L'_G) is determined as the inverse progression (L'_G) of a time- or angle-related conductance (L_G) of a combustion gas (A, F) ionised in the combustion chamber (2).
3. Procedure in accordance with Claim 2, **character-**

ised by the fact

that to determine the value progression (L'_G), the complete conductance ($L_G(K_w)$) in relation to the crank angle (K_w) is measured.

4. Procedure in accordance with Claim 3, **characterised by** the fact that the complete conductance ($L_G(K_w)$) from the sum of conductances ($L(Z_n)$) of specific combustion chamber area elements (F_z) is determined.
5. Procedure in accordance with Claims 1 to 4, **characterised by** the fact that the corrected ionisation signal (I'_s) is established in accordance with the relationship

$$I_s = I_s \cdot L'_G$$

in which I_s is the currently registered ionisation signal and L'_G the inverse total conductance L_G of the ionised combustion gas (A, F).

6. Procedure in accordance with Claim 5, **characterised by** the fact that every specific combustion chamber value progression registered (L_{Gn} , L'_{Gn}) is saved as a correction function.
7. Procedure in accordance with Claims 1 to 6, **characterised by** the fact that by means of the currently registered crank angle (K_w) a saved specific combustion chamber value progression (L_{Gn} , L'_{Gn}) is read out, and the latter applied to the current ionisation signal (I_s) for its correction.
8. Device for determining at least one combustion characteristic (λ) of a combustion process in the combustion chamber (2) of a combustion engine (1) with dynamic engine, with an evaluation circuit (11), which from an ionisation signal (I_s) produced during the combustion process in the combustion chamber (2) as a result of an ionisation measurement (P , U_m , I_m), generates a number of setting levels (S_n) for the control of the combustion process, **characterised by** a correction register (K_R) with a number of value progressions (L_{Gn} , L'_{Gn}) taking into account the dynamic change in the combustion chamber geometry (Z_n) and a calculation component (VG) for time- and angle-synchronous linking of a currently registered ionisation signal (I_s) with a specific combustion chamber value progression (L'_{Gn}) read out from the correction register (K_R) by means of a currently registered crank angle (K_w).
9. Device in accordance with Claim 8, **characterised by** a functional component (IO) wired in front of the

calculation component (VG) for registering the ionisation signal (I_s) from a voltage progression (U_m) resulting from a test voltage (P) registered over time during the combustion process at a measuring resistance (R_m).

10. Device in accordance with Claim 8 or 9, **characterised by** an evaluation component (AW) wired after the calculation component (VG) for determination of specific combustion chamber combustion characteristics (λ) from an ionisation signal (I'_s) registered and corrected in the calculation component (VG).

Revendications

1. Procédure de détermination d'une étendue de combustion (λ) au moins pour un processus de combustion dans la chambre de chauffe (2) d'un moteur à combustion interne (1) pendant la période de fonctionnement dynamique du moteur ; au cours de cette procédure, un signal d'ionisation (I_s) généré pendant la combustion dans la chauffe (2) suite à une tension d'essai (P) sera évalué, cette procédure est **caractérisée par** la correction du signal d'ionisation (I_s) à l'aide d'une courbe de valeurs (L_G , L'_G) prenant en compte la modification dynamique de la géométrie de la chambre de chauffe (F_Z).
2. Procédure selon la revendication 1, **caractérisée par** la définition comme courbe des valeurs (L'_G) de la courbe inverse (L_G) d'une valeur guide dépendante des angles ou de la durée d'un gaz de combustion (A, F) ionisé dans la chambre de chauffe.
3. Procédure selon la revendication 2, **caractérisée par le fait que**, pour définir la courbe des valeurs (L'_G), la valeur guide totale ($L_G(K_W)$) est saisie suivant l'angle de vilebrequin (K_W).
4. Procédure selon la revendication 3, **caractérisée par le fait que** la valeur guide totale ($L_G(K_W)$) est déterminée à partir de la somme des valeurs guide ($L(Z_n)$) des éléments de surface (F_Z) spécifiques à la chambre de chauffe.
5. Procédure selon l'une des revendications de 1 à 4, **caractérisée par le fait que** le signal d'ionisation corrigé (I'_s) est calculé selon la relation

$$I'_s = I_s \cdot L'_G$$

I_s étant le signal d'ionisation actuellement saisi et L'_G la valeur guide totale inverse L_G du gaz de combustion (A, F) ionisé.

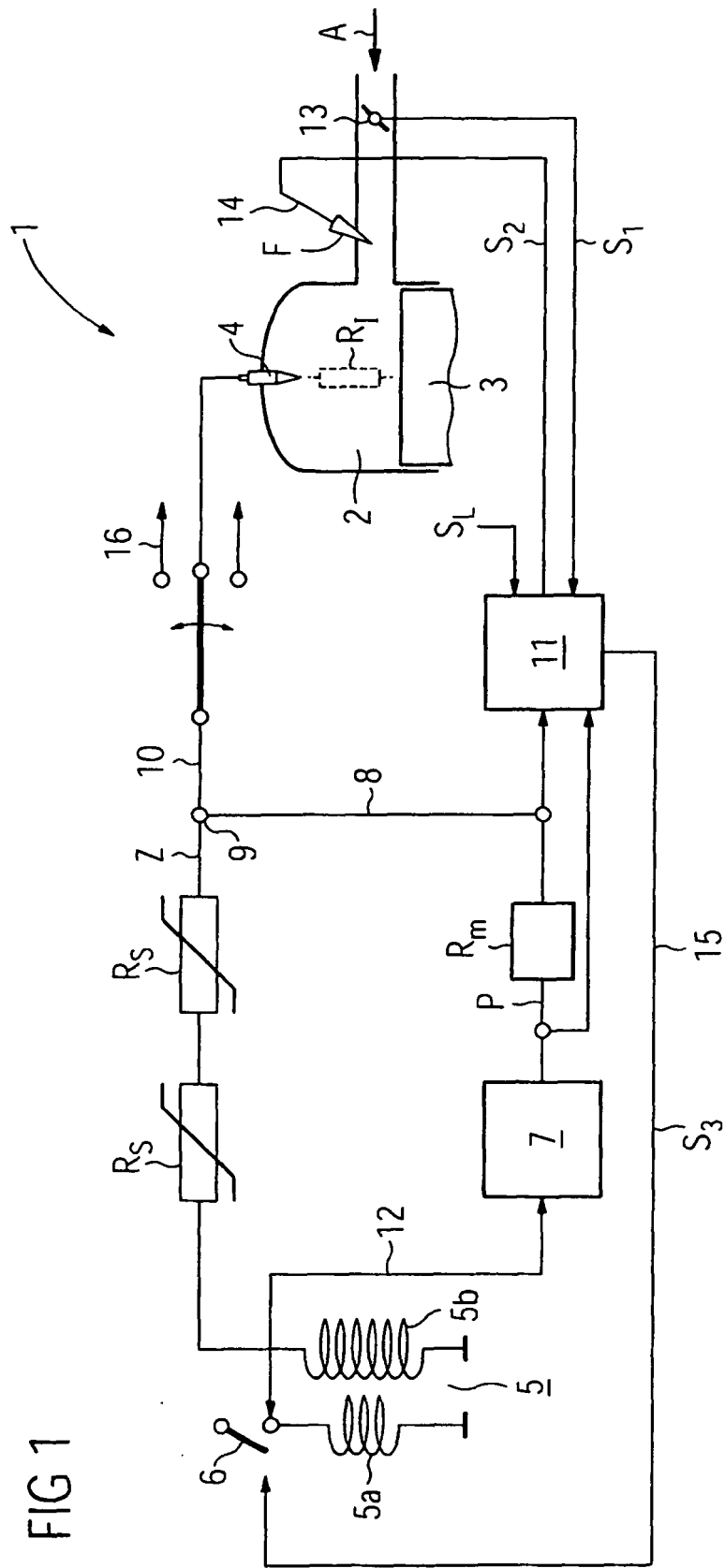
6. Procédure selon la revendication 5 **caractérisée par** l'enregistrement comme fonction de correction de chaque courbe de valeurs saisie spécifique à la chambre de chauffe (L_{Gn} , L'_{Gn}).

7. Procédure selon l'une des revendications de 1 à 6, **caractérisée par le fait que** - à l'aide d'un angle de vilebrequin actuellement saisi (K_W), une courbe de valeurs (L_{Gn} , L'_{Gn}) spécifique à la chambre de chauffe est lue et compensée avec le signal d'ionisation (I_s) afin d'opérer les rectifications nécessaires.

8. Dispositif de détermination d'une étendue de combustion (λ) au moins pour un processus de combustion dans la chambre de chauffe (2) d'un moteur à combustion interne (1) pendant la période de fonctionnement dynamique du moteur, avec un système d'activation de l'évaluation (11) qui génère un certain nombre de grandeurs de réglage (S_n) afin de contrôler la combustion et ceci à partir d'un signal d'ionisation (I_s) généré pendant la combustion dans la chambre de chauffe (2) suite à des mesures de la ionisation (P, U_m , I_m) ; ce dispositif est **caractérisé par** un registre de correction (K_R) comprenant un certain nombre de courbes de valeurs (L_{Gn} , L'_{Gn}) qui tiennent compte de la modification dynamique de la géométrie de la chambre de chauffe (Z_n) ; ce dispositif est également **caractérisé par** un module de compensation (VG) qui permet d'effectuer une lien synchrone pour les angles et la durée entre un signal d'ionisation entré actuellement (I_s) et une courbe de valeurs (L'_{Gn}) spécifique à la chambre de chauffe lue à l'aide de l'angle de vilebrequin (K_W) dernièrement saisi depuis le registre de correction.

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé par** un module de fonction (IO) placé en amont du module de compensation (VG), le tout permettant de déterminer le signal d'ionisation (I_s) à partir d'une courbe de tension (U_m) variable selon la durée saisie au niveau d'une résistance de précision (R_m) pour une tension d'essai (P) pendant la combustion.

10. Dispositif selon les revendications 8 ou 9, **caractérisé par** un module d'évaluation (AW) placé après la module de compensation (VG) afin de mesurer des étendues de combustion (λ) spécifiques à la chambre de chauffe à partir d'un signal d'ionisation (I'_s) corrigé et déterminé dans le module de compensation (VG).



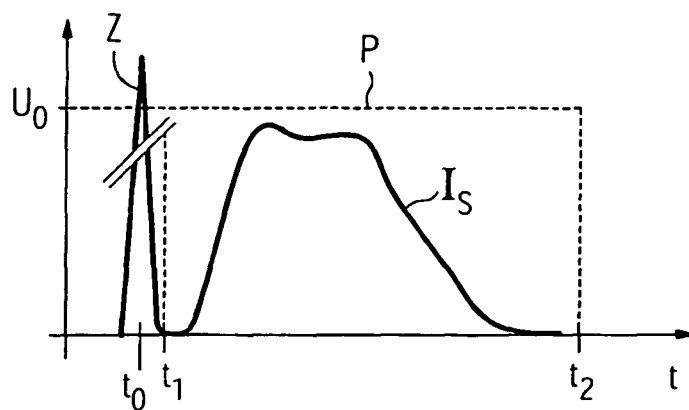


FIG 2

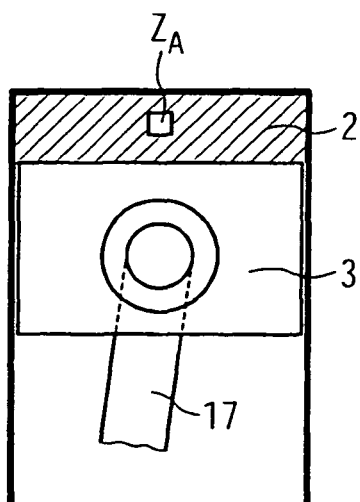


FIG 3a

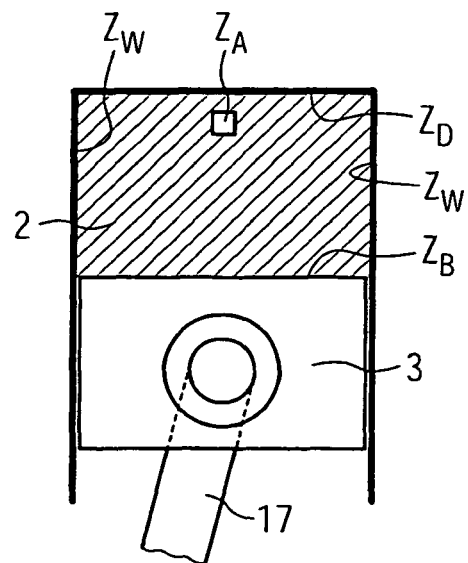


FIG 3b

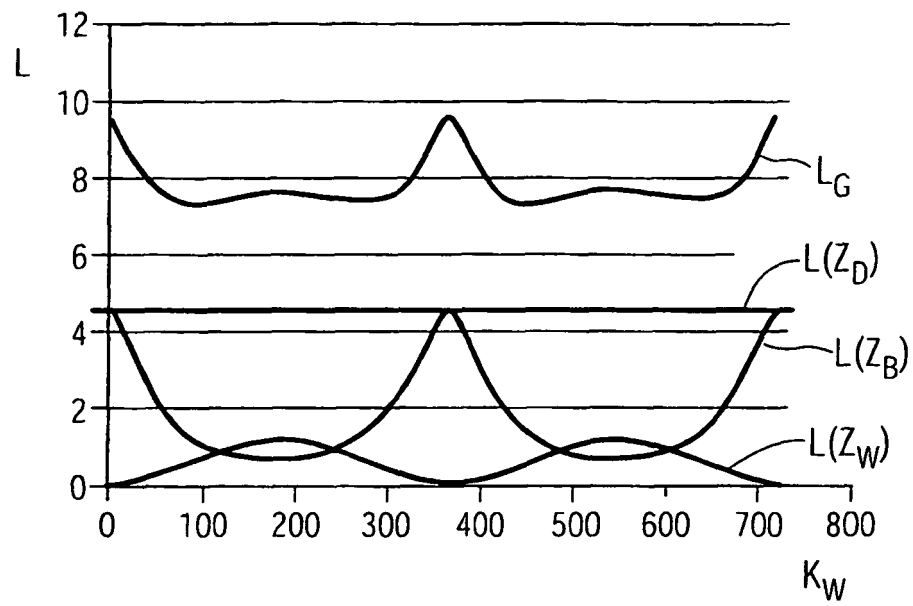


FIG 4a

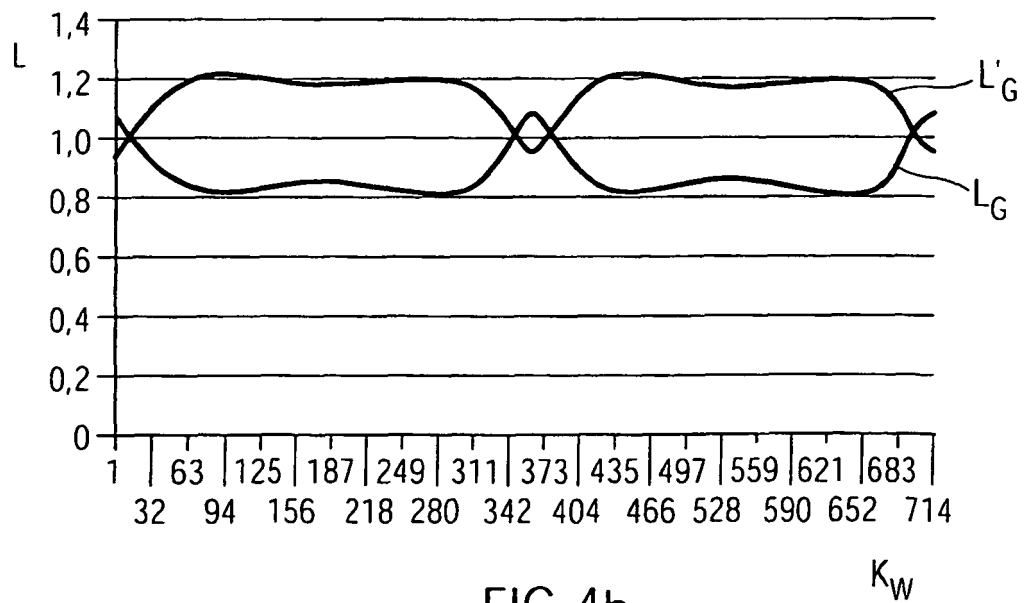


FIG 4b

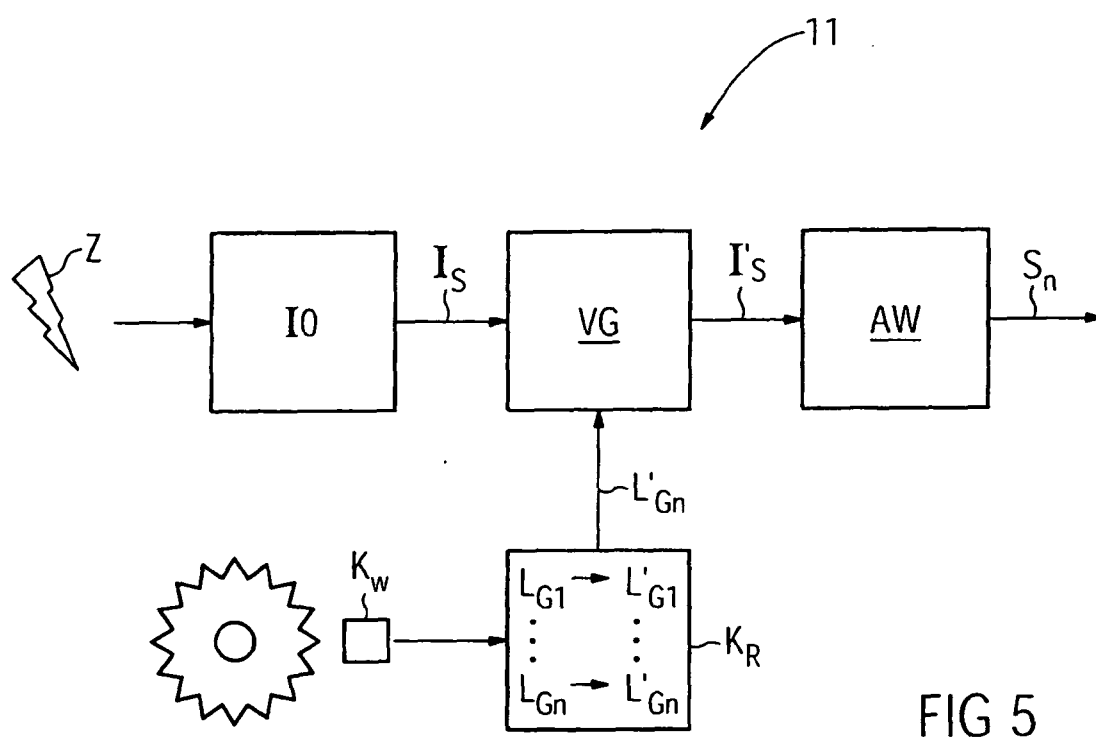


FIG 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19614388 C1 [0002]