

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 559 888 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.08.2005 Patentblatt 2005/31

(51) Int Cl.7: **F02D 35/02, F02D 41/14**

(21) Anmeldenummer: **05001805.0**

(22) Anmeldetag: **28.01.2005**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

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

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

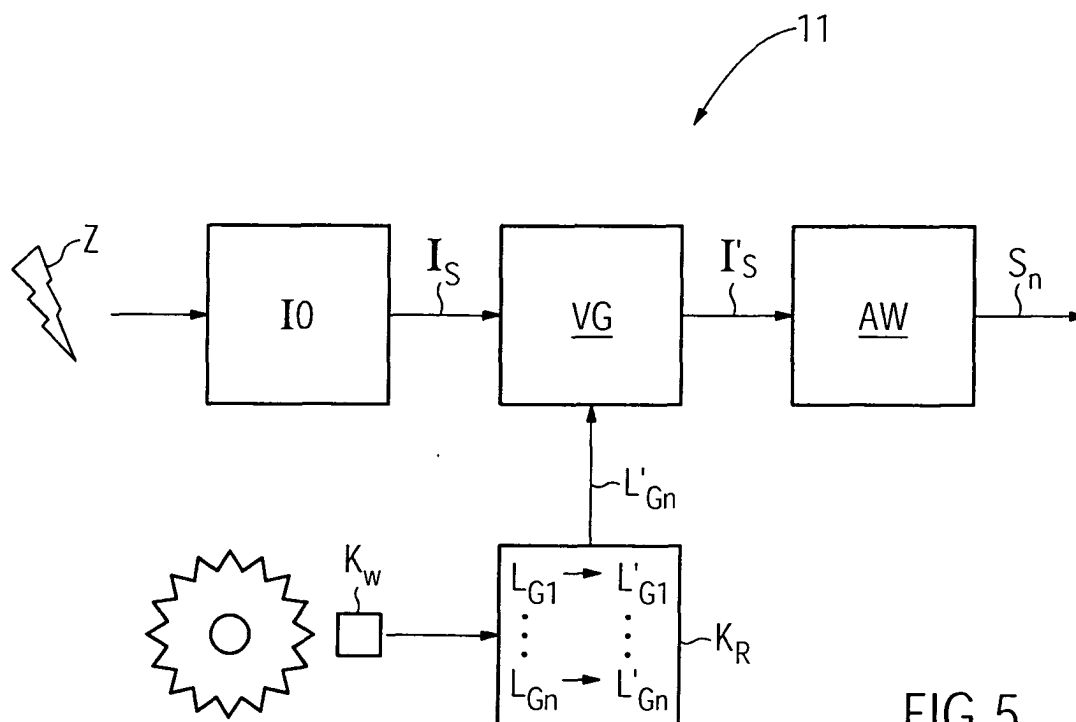
(74) Vertreter: **nospat Patentanwälte**
Isartorplatz 5
80331 München (DE)

(71) Anmelder: **Stiebel Eltron GmbH & Co. KG**
37601 Holzminden (DE)

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer Verbrennungsgröße (λ) eines Verbrennungsvorgangs im Brennraum (2) eines Verbrennungsmotors (1) bei dynamischem Motorbetrieb, wobei ein während des Verbren-

nungsvorgangs im Brennraum (2) infolge einer Prüfspannung (P) erzeugtes Ionisationssignal (I_S) mittels eines die dynamische Änderung der Brennraumgeometrie (2a, 2b, 2c) berücksichtigenden Werteverlauf (L_G , L'_G) korrigiert wird.

**FIG 5****EP 1 559 888 A2**

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 Prüfpulses 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 Motorbe-

triebs entstehende Geometrieinflüsse, berücksichtigt werden. Des Weiteren soll eine zur Durchführung des Verfahrens besonders geeignete Vorrichtung angegeben 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 brennraumspezifische Funktion spiegelt somit für diesen speziellen Brennraum dessen charakteristische dynamische Geometrieänderung 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 Brennraumgeometrien eines Kolbenzylinders am oberen bzw. unteren Totpunkt,

Fig. 4a,4b in einem Leitwert-Winkel-Diagramm Funktionsverläufe des flächenspezifischer Leitwerte bzw. ein zum normierten Gesamtverlauf inverser Funktionsverlauf, und

Fig. 5 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.

[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.

[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.

[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 je-

weiligen 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 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 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 Prüfpuls 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 voreingestellten elektrischen Sollwert S_L und berechnet für den folgenden Zündvorgang eine Anzahl von Stellgrößen $S_{1...n}$. Beispielsweise wird eine Stellgröße S_1 für ei-

ne 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 erkanntermaßen 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 bewegend 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 $L_G = L(K_W) \cdot L_{\text{spez}}$ - 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 er-

folgt die Berechnung des korrigierten Ionisationssignals I'_s gemäß der Beziehung $I'_s = I_s \cdot L'_G$ 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
5b	Sekundärwicklung
6	Unterbrecherkontakt
7	Impulsgenerator
8	Messleitung
9	Kontaktstelle
10	Zündleitung
11	Auswerteschaltung
12	Signalleitung
13	Drosselklappe
14	Einspritzsystem
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
U_0	Amplitude der Prüfspannung P
R_m	Messwiderstand
Δt	Impulsdauer
I_m	Ionisationsstrom
R_s	spannungsabhängiger Widerstand
S_L	elektrischer Sollwert

R,	elektrischer Widerstand der innerhalb des Brennraums 2
U_m	Ionisationsspannung
A	Luft / Verbrennungsluft
F	Brennstoff
F_z	Flächenelemente mit $Z = Z_B, Z_D$ oder Z_w / Brennraumgeometrien
I'_s	korrigiertes Ionisationssignal

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 Werteverlauf (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.

7. 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. 5
10

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, 15
20
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}). 25
30

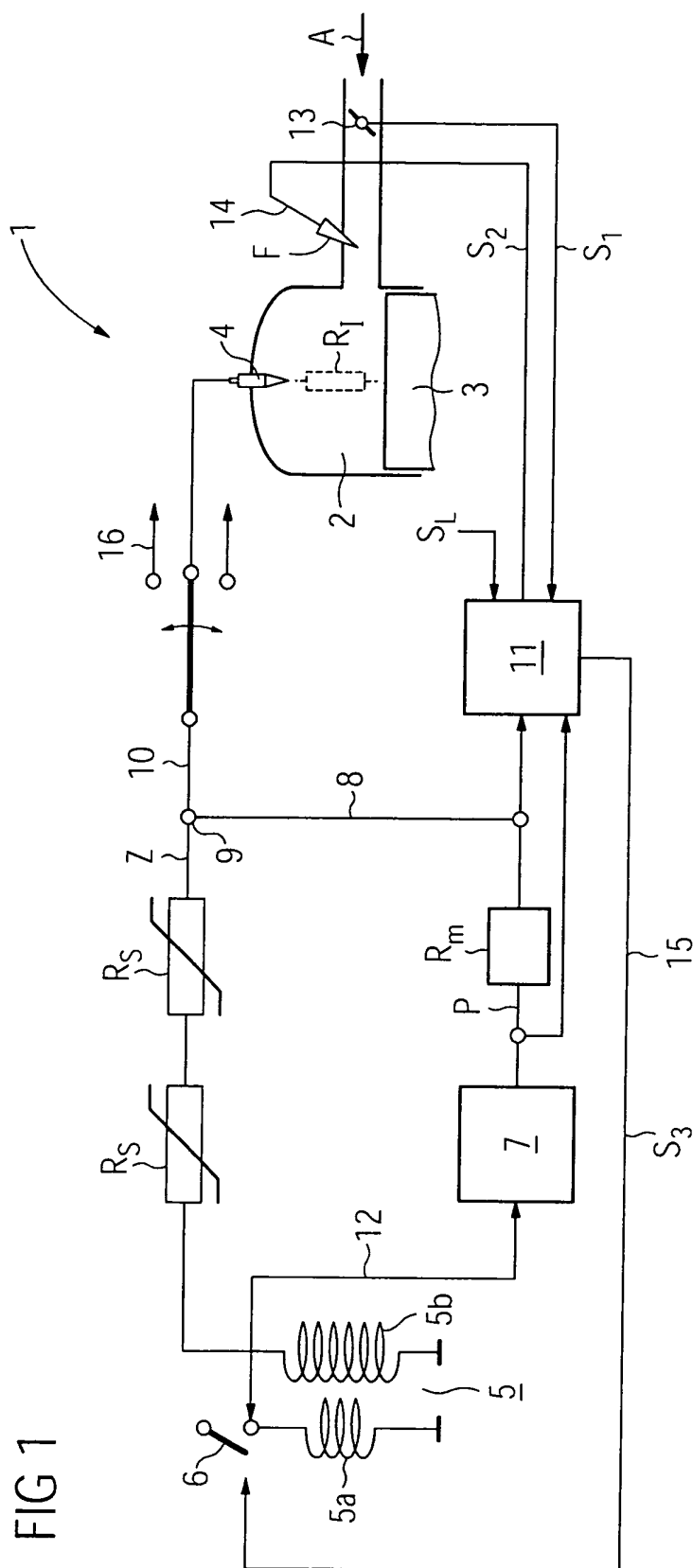
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** einen dem Verrechnungsbaustein (VG) vorgeschalteten Funktionsbaustein (IO) zur Ermittlung des Ionisationssignals (I_s) aus einem während des Verbrennungsvorgangs infolge einer Prüfspannung (P) an einem Messwiderstand (R_m) zeitabhängig erfassten Spannungsverlaufs (U_m). 35

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). 40
45

50

55

FIG 1



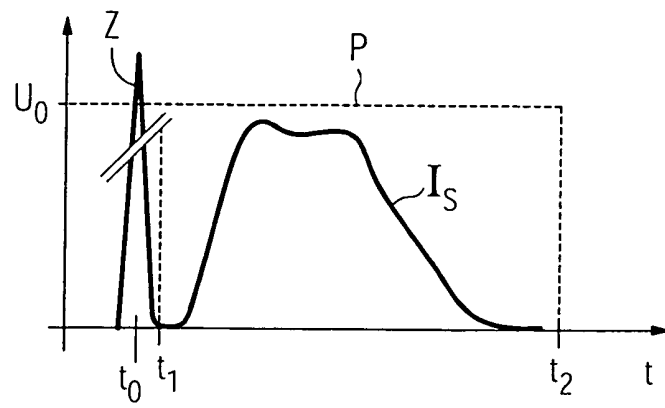


FIG 2

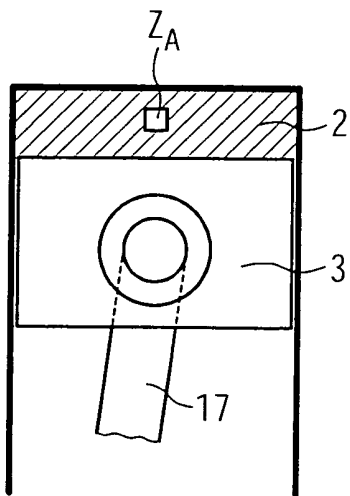


FIG 3a

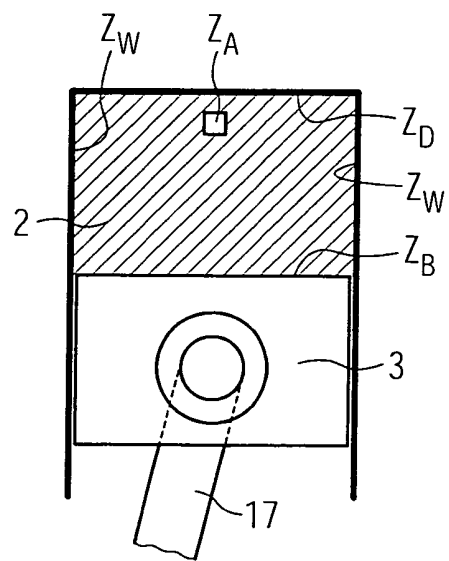


FIG 3b

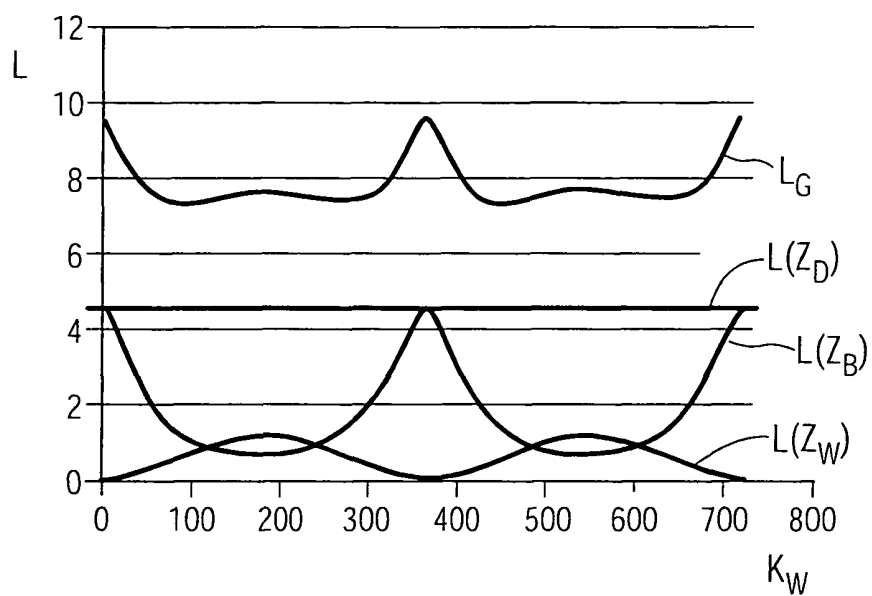


FIG 4a

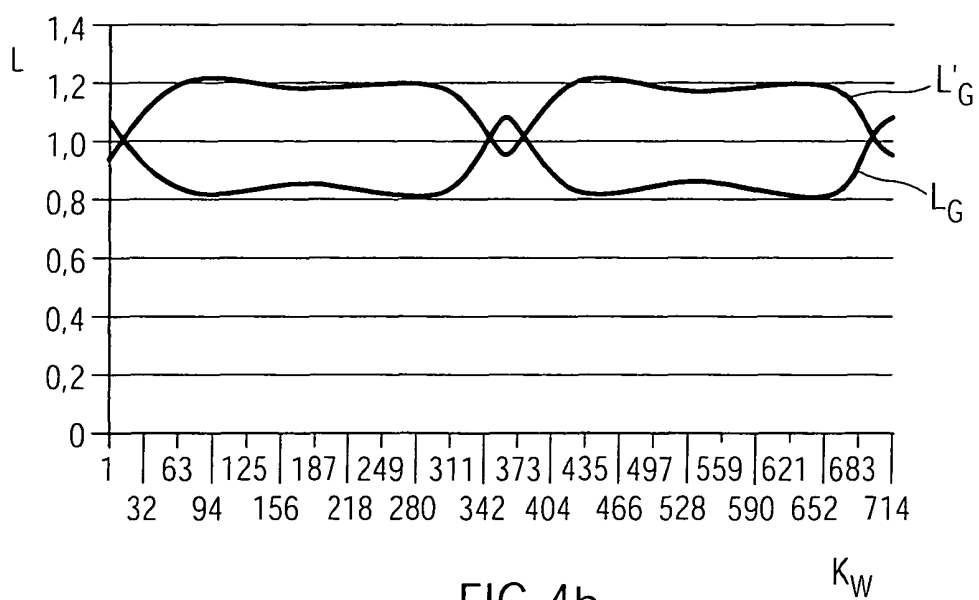


FIG 4b

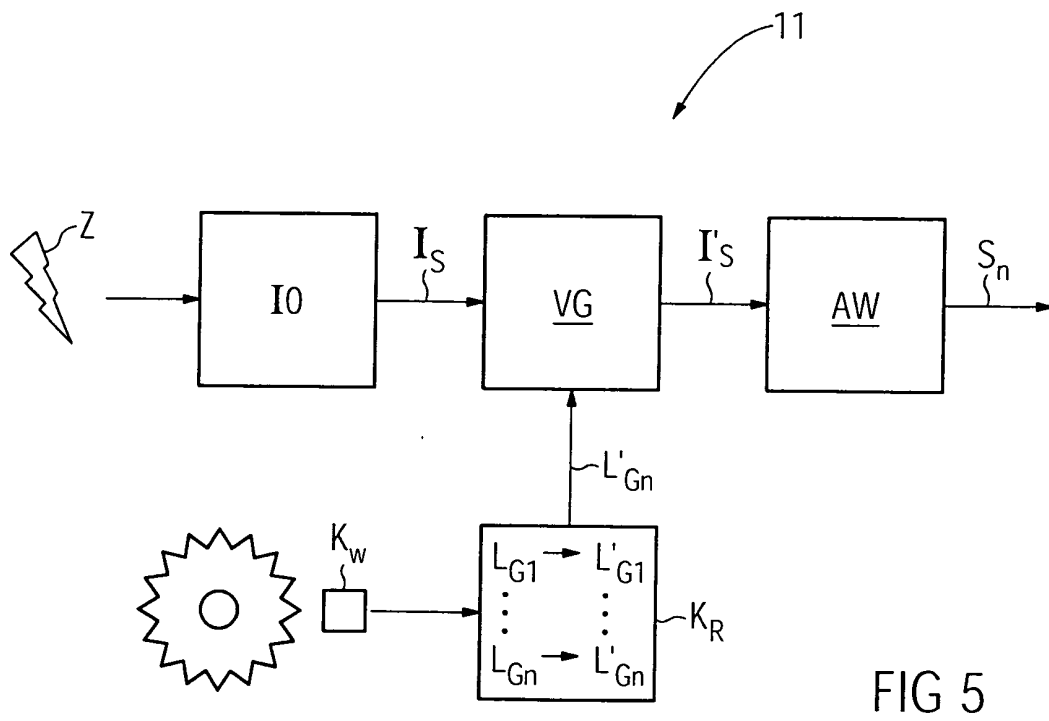


FIG 5