

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 508 817 A2 2011-04-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 2020/2010**

(51) Int. Cl.: **G01M 15/05** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **06.12.2010**

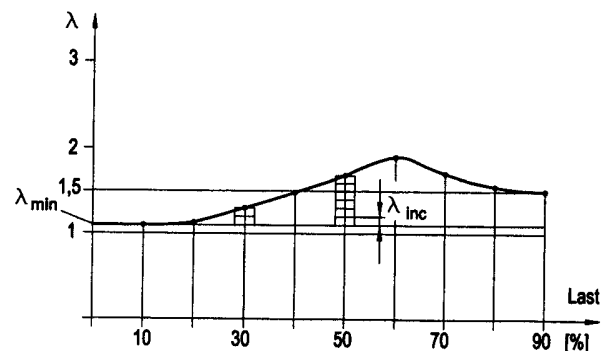
(43) Veröffentlicht am: **15.04.2011**

(73) Patentinhaber:

AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(54) VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG EINES RAUCHBEGRENZUNGS-KENNFELDES EINES VERBRENNUNGSMOTORS

- (57) Die Erstellung eines Rauchbegrenzungskennfeldes ist ein aufwendiger Vorgang, der hochqualifiziertes und hocherfahrenes Fachwissen erfordert. Um den Aufwand für die Erstellung zu reduzieren wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, für eine Anzahl von Drehzahlen jeweils eine Anzahl von Lastsprüngen durchzuführen und dabei die Opazität O zu messen und mit einer Opazitätsgrenze O_{limit} zu vergleichen, wobei für jede Drehzahl n mit einem vorgegebenen minimalen Verbrennungsluftverhältnis λ_{min} begonnen wird und jeder Lastsprung unter jeweiliger Erhöhung des jeweils letzten Verbrennungsluftverhältnisses λ um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement λ_{inc} solange wiederholt wird, bis die gemessene Opazität O unter einer vorgegebenen Opazitätsgrenze O_{limit} liegt.



AT 508 817 A2 2011-04-15

Zusammenfassung

Die Erstellung eines Rauchbegrenzungskennfeldes ist ein aufwendiger Vorgang, der hochqualifiziertes und hochoverfahrenes Fachwissen erfordert. Um den Aufwand für die Erstellung zu reduzieren wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, für eine Anzahl von Drehzahlen jeweils eine Anzahl von Lastsprüngen durchzuführen und dabei die Opazität O zu messen und mit einer Opazitätsgrenze O_{limit} zu vergleichen, wobei für jede Drehzahl n mit einem vorgegebenen minimalen Verbrennungsluftverhältnis λ_{min} begonnen wird und jeder Lastsprung unter jeweiliger Erhöhung des jeweils letzten Verbrennungsluftverhältnisses λ um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement λ_{inc} solange wiederholt wird, bis die gemessene Opazität O unter einer vorgegebenen Opazitätsgrenze O_{limit} liegt.

Fig. 2

Verfahren und Anordnung zur Bestimmung eines Rauchbegrenzungskennfeldes eines Verbrennungsmotors

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Rauchbegrenzungskennfeldes eines Verbrennungsmotors und eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei Verbrennungsmotoren, insbesondere bei Diesel-Motoren, tritt das Problem auf, dass bei großen, schnellen Laständerungen, insbesondere bei Beschleunigung, der Rußausstoß im Abgas stark ansteigt, was sich auch sichtbar an einer schwarzen Abgaswolke bemerkbar macht. Der Grund dafür liegt darin, dass das Verbrennungsluftverhältnis λ durch die Laständerung stark abfällt, da die träge Luftförderung mit dem raschen Anstieg der Menge an zugeführten Treibstoff nicht mithalten kann. Aus diesem Grund ist in heutigen Fahrzeugen, z.B. in der ECU, ein Kennfeld hinterlegt, das zur Vermeidung von hohem Rußausstoß die zugeführte Treibstoffmenge begrenzt, ein sogenanntes Rauchbegrenzungskennfeld. Im Kennfeld sind typischer Weise über die Last (z.B. Einspritzmenge, Luftmasse) und Drehzahl für jeden Punkt des Betriebsbereichs zulässige Verbrennungsluftverhältnisse λ aufgetragen. Damit kann z.B. die zugeführte Treibstoffmenge limitiert werden. Allerdings gibt es noch andere Einflussfaktoren, die dabei berücksichtigt werden müssen. Z.B. gibt es gesetzliche Vorschriften, was den zulässigen Emissionsausstoß (z.B. NO_x, CO₂, etc.) oder die geforderte dynamische Reaktion des Fahrzeugs bzw. des Verbrennungsmotors (hier wird vorgeschrieben, wie schnell eine geforderte Laständerung durchgeführt werden muss) betrifft. Die Erstellung bzw. Kalibrierung eines solchen Rauchbegrenzungskennfeldes ist daher ein sehr aufwendiger Vorgang, der hochqualifiziertes und hocherfahrenes Kalibrierpersonal erfordert.

Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, um den Aufwand für die Erstellung bzw. Kalibrierung eines Rauchbegrenzungskennfeldes zu reduzieren.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, indem für eine Anzahl von Drehzahlen jeweils eine Anzahl von Lastsprüngen durchgeführt werden und dabei die Opazität gemessen und mit einer Opazitätsgrenze verglichen wird, wobei für jede Drehzahl mit einem vorgegebenen minimalen Verbrennungsluftverhältnis begonnen wird und jeder Lastsprung unter jeweiliger Erhöhung des jeweils letzten Verbrennungsluftverhältnisses um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement solange wiederholt wird, bis die gemessene Opazität unter einer vorgegebenen Opazitätsgrenze liegt. Dieses Vorgehen erlaubt die Automatisierung der Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes, wodurch der Aufwand für dessen Erstellen erheblich reduziert werden kann.

Vorteilhaft wird bei jeder Drehzahl zuerst ein Volllastsprung durchgeführt und die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors ermittelt und berücksichtigt, indem die Zeit gemessen wird, die der Verbrennungsmotor benötigt, um eine vorgegebene Lastgrenze zu erreichen und die Drehzahl sofort um ein Drehzahlinkrement erhöht wird, wenn die gemessene Zeit größer als eine vorgegebene Zeit ist. Damit können auch Vorgaben hinsichtlich der zu erzielenden dynamischen Reaktion bei der Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes berücksichtigt werden und einfließen.

Ebenso ist es vorteilhaft, für eine Drehzahl das Rauchbegrenzungskennfeld mit einer vorgegebenen minimalen Abgasrückführung zu bestimmen und nach der Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes zur Bestimmung einer minimalen Abgasrückführung bei dieser Drehzahl einen Volllastsprung unter jeweiliger Erhöhung der minimalen Abgasrückführung um ein Abgasrückführungsinkrement solange zu wiederholen, bis die gemessene Opazität über der um einen parametrierbaren Faktor erhöhten Opazitätsgrenze liegt oder die dynamische Reaktion über einer zulässigen dynamischen Reaktion liegt. Dadurch kann gleichzeitig auch ein Kennfeld für die minimale Abgasrückführung erstellt werden, was wesentlichen Einfluss auf die Abgasemission hat.

Ganz besonders vorteilhaft wird für eine Drehzahl aus der Opazität, der dynamischen Reaktion und der Abgasrückführung ein Kompromiss bestimmt, um die Anforderungen, die sich zum Teil widersprechen, bestmöglich erfüllen zu können.

Die gegenständliche Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beispielhaften, schematischen und nicht einschränkenden Figuren 1 bis 8 beschrieben, dabei zeigt

Fig. 1 einen Verlauf des Verbrennungsluftverhältnisses λ bei Laständerung,

Fig. 2 das erfindungsgemäße Vorgehen zur Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes,

Fig. 3 einen Ablauf zur Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes unter Berücksichtigung der dynamischen Reaktion des Verbrennungsmotors,

Fig. 4 einen Ablauf zur Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes mit Abstimmung der Abgasrückführung,

Fig. 5 ein Ergebnis einer Abgasrückführungs-Abstimmung,

Fig. 6 und 7 jeweils ein Rauchbegrenzungskennfeld und

Fig. 8 eine Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In Fig. 1 ist mit Linie 1 beispielhaft eine Laständerung von 10% zu 90% Last (bezogen auf die Maximallast) bei einer bestimmten Drehzahl n dargestellt. Bei 10% Last läuft der Verbrennungsmotor hier mit einem statischen Verbrennungsluftverhältnis $\lambda=3$. Bei einer abrupt-

ten Laständerung, z.B. eine rasche Beschleunigung, wird die zugeführte Treibstoffmenge sprunghaft erhöht, womit das Verbrennungsluftverhältnis λ rasch abfällt, da die träge Luftförderung der raschen Treibstoffmengenänderung nicht folgen kann. Der Verbrennungsmotor erreicht irgendwann die gewünschte Last von 90% und hier ein statisches Verbrennungsluftverhältnis $\lambda=1,5$. Dazwischen würde der Verbrennungsmotor aber einen unerwünschten erhöhen Rußausstoß erzeugen. Um das zu vermeiden, müsste der Verbrennungsmotor in jedem Punkt ein minimal zulässiges Verbrennungsluftverhältnis λ einhalten, wie in Fig. 1 mit der Linie 2 dargestellt. Erfindungsgemäß soll für jede Drehzahl n eine solche Linie 2, also ein ganzes Rauchbegrenzungskennfeld 30, wie in Fig. 6 oder 7 dargestellt, erstellt werden. Das Verfahren zur erfindungsgemäßen Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes 30 wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 2 erläutert.

In bestimmten Drehzahlinkrementen n_{inc} , z.B. alle 250 min^{-1} , werden am Prüfstand eine bestimmte Anzahl von Lastsprüngen durchgeführt, z.B. ein Lastsprung von Leerlauf auf 20%, von Leerlauf auf 30% Last, auf 40% Last, usw. Die Lastsprünge werden dabei bevorzugt von niedriger Last in Richtung hohe Last durchgeführt. Dabei wird zuerst ein minimales Verbrennungsluftverhältnis λ im Rauchbegrenzungskennfeld λ_{min} , z.B. $\lambda=1,1$, vorgegeben und der Lastsprung mit diesem minimalen Verbrennungsluftverhältnis λ_{min} ausgeführt. Dabei wird die Rußentwicklung gemessen, z.B. über die Opazität O des Abgases durch geeignete, an sich bekannte Messgeräte (Opazimeter). Die Rußentwicklung kann aber über verschiedenste Messgrößen und Messverfahren bestimmt und angegeben werden. Im Weiteren wird der Begriff „Opazität“ allgemein als Maß für die Rußentwicklung verwendet, unabhängig von eigentlichen Messverfahren und der tatsächlichen Messgröße. Ist die gemessene Opazität O über einem vorgegebenen Grenzwert O_{limit} , wird also zuviel Ruß entwickelt, wird das momentan vorgegebene Verbrennungsluftverhältnis λ um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement λ_{inc} , z.B. $\lambda_{inc}=0,1$, erhöht und der Lastsprung damit wiederholt, bis das Verbrennungsluftverhältnis λ zu einer gemessenen Opazität O führt, die unter dem vorgegebenen Grenzwert der Opazität O_{limit} liegt. Danach wird der nächste volle Lastsprung ausgeführt, z.B. nun ein Lastsprung von Leerlauf auf 40% Last. Dieses Vorgehen wird wiederholt, bis für die momentane Drehzahl n alle Lastsprünge durchgeführt wurden und die Kennlinie für das Verbrennungsluftverhältnis λ für diese Drehzahl n bestimmt ist. Die Kennlinie kann z.B. anhand der bestimmten Punkte durch ein geeignetes mathematisches Verfahren, wie z.B. eine Kurvenapproximation, ermittelt werden. Danach wird die Drehzahl n um das vorgegebene Drehzahlinkrement n_{inc} erhöht und die obige Vorgehensweise wiederholt. Damit kann die Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes 30 (siehe Fig. 6) auch automatisiert werden.

Um die Qualität des Kalibrierergebnisses zu verbessern, kann auch vorgesehen sein, dass jeder Lastsprung und/oder jeder Drehzahlsprung mehr als einmal ausgeführt wird und aus den so erhaltenen Ergebnissen jeweils ein Mittelwert gebildet wird.

Das so erstellte Rauchbegrenzungskennfeld 30 (Fig. 6), oder die einzelnen Kennlinien, können noch mathematisch geglättet werden, wie in Fig. 7 dargestellt.

Sinnvoller Weise können bei der Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes aber auch noch andere Vorgaben, wie z.B. die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors zum Aufbau des Drehmoments T , berücksichtigt werden. Das Verfahren zur Erstellung des Rauchbegrenzungskennfeldes 30 kann dabei ablaufen, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 3 beschrieben. Zum Start wird wie oben beschrieben ein minimales Verbrennungsluftverhältnis $\lambda_{\min, \text{start}}$ vorgegeben und mit einer bestimmten Drehzahl n begonnen. Im Schritt B wird zuerst bei der Drehzahl n ein Volllastsprung ausgeführt und die zeitliche Reaktion TG (z.B. T_{90} für die Zeit bis zum Erreichen einer Lastgrenze von 90% der Volllast) des Verbrennungsmotors zum Aufbau des Drehmoments T gemessen. Liegt die zeitliche Reaktion TG nicht innerhalb einer vorgegebenen zulässigen zeitlichen Reaktion TG_{limit} (z.B. durch das Entwicklungsziel vorgegeben), ist also $TG > TG_{\text{limit}}$, wird der Vorgang unterbrochen und die nächste Drehzahlstützstelle durch Erhöhen der Drehzahl n um das Drehzahlinkrement n_{inc} angefahren, und wieder im Schritt A begonnen. Wenn die zeitliche Reaktion TG , z.B. das T_{90} Limit, mit minimalem Verbrennungsluftverhältnis $\lambda_{\min}$, z.B. $\lambda_{\min}=1,1$, bereits überschritten wurde, wird diese Drehzahl n sinnvollerweise übersprungen, da eine λ -Erhöhung eine Verlangsamung des Drehmomentenanstiegs und damit eine Verschlechterung der dynamischen Reaktion bewirken würde. Für diese Drehzahl n wird dann im Rauchbegrenzungskennfeld 30 das minimale Verbrennungsluftverhältnis $\lambda_{\min}$ verwendet. Ist die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors ausreichend, also $TG \leq TG_{\text{limit}}$, folgt Schritt C, in dem für die jeweilige Drehzahl n wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 2 die Kennlinie für das Verbrennungsluftverhältnis λ für diese Drehzahl n bestimmt wird. Danach wird die Drehzahl n um das Drehzahlinkrement n_{inc} erhöht und der Vorgang wiederholt, bis das ganze Rauchbegrenzungskennfeld 30, nun unter Berücksichtigung der dynamischen Reaktion des Verbrennungsmotors, erstellt ist.

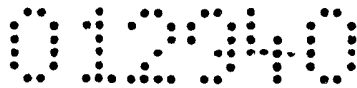
Das erfindungsgemäße Verfahren kann noch weiter um die Abstimmung der Abgasrückführung ergänzt werden, wie unter Bezugnahme auf die Fig. 4 beschrieben. Durch die Abgasrückführung wird z.B. der NO_x -Ausstoß beeinflusst, wobei die NO_x -Emissionen im Wesentlichen umso größer sind, je weniger Abgas rückgeführt wird. Bei der Abstimmung der Abgasrückführung geht es also darum, die untere Grenze $\text{EGR}_{\min}$ für die Abgasrückführung festzulegen bzw. das vollständige Schließen der Abgasrückführung zu begrenzen. Das kann z.B. als Maß der Öffnung (in Prozent) des Abgasrückführventils 14 angegeben werden. Das Ver-

fahren nach Fig. 3 wird dazu mit einer minimalen Abgasrückführung $EGR_{min,start}$ gestartet und wie oben unter Bezugnahme auf die Figuren 2 und 3 beschrieben durchgeführt. Nach dem Schritt C folgt nun ein weiterer Schritt D, wenn nach Abschluss der Erstellung der Kennlinie für das Verbrennungsluftverhältnis λ für die jeweilige Drehzahl n noch eine Opazitätsreserve vorhanden ist, also das Opazitätslimit O_{limit} aus Schritt C um einen parametrierbaren Faktor F erhöht werden kann, wenn also gilt $O < O_{limit} \times F$. Im Schritt D wird dann die aktuelle minimale Abgasrückführung EGR_{min} um ein Abgasrückführungsinkrement EGR_{inc} , z.B. 1%, erhöht und dann ein Volllastsprung durchgeführt. Dies wird solange wiederholt, bis die gemessene Opazität O größer der Opazitätsgrenze $O_{limit} \times F$ ist, oder bis die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors nicht mehr ausreichend ist, also $TG > TG_{limit}$ (falls die dynamische Reaktion berücksichtigt wird). Dann wird das gesamte Verfahren für die nächste Drehzahl n wiederholt.

Das Ergebnis der Abgasrückführungs-Abstimmung ist beispielhaft in Fig. 5 dargestellt. Hier sind für eine bestimmte Drehzahl n in drei Diagrammen die Opazität O , die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors TG und die NO_x -Emission über die minimale Abgasrückführung EGR_{min} dargestellt. Die Opazität O kann dabei eine maximale Opazität O bei dieser Drehzahl n , oder eine Opazität O bei einem bestimmten Lastsprung (z.B. ein Volllastsprung) sein. Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, wird hier vorteilhafter Weise ein Kompromiss zwischen den verschiedenen Anforderungen gesucht, da eine größere Abgasrückführung zwar bekanntermaßen die NO_x -Emissionen reduziert, aber gleichzeitig dadurch die dynamische Reaktion TG und die Opazität O verschlechtert werden. Der Kompromiss kann dabei durch Expertenwissen gefunden werden, entweder manuell durch entsprechend geschultes Personal oder durch geeignete Expertensysteme. Das erfindungsgemäße Verfahren liefert dazu die Werte für eine einfache, schnelle und objektive Entscheidungsfindung. Ein Kompromiss könnte aber auch in Form eines Optimierungsproblems mit hinlänglich bekannten mathematischen Methoden gelöst werden. Deshalb werden bei der Bestimmung der minimalen Abgasrückführung EGR_{min} auch bevorzugt beide Größen, Opazität O und dynamische Reaktion TG , berücksichtigt. Auf diese Weise kann ebenfalls ein ganzes Kennfeld für die minimale Abgasrückführung EGR_{min} über Last und Drehzahl erstellt werden.

Auf die oben beschriebene Weise lässt sich ein Rauchbegrenzungskennfeld 30 und ein Kennfeld für die minimale Abgasrückführung EGR_{min} automatisiert erstellen, dass dann unter Umständen z.B. von einem Fachmann nachjustiert werden kann. Die Kennfelder können dann z.B. in einer ECU in geeigneter Weise hinterlegt werden. Der Verbrennungsmotor kann dann bestimmten Lastzyklen, z.B. vorgegebenen oder genormten Lastzyklen, unterworfen werden und kontrolliert werden, ob die kalibrierten Kennfelder die Anforderungen erfüllen.

In Fig. 8 ist beispielhaft eine Anordnung zur Durchführung der oben beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahren dargestellt. Ein Verbrennungsmotor 10 ist hier mit einer Antriebs- und Belastungsmaschine (Dyno) 11 verbunden, mit dem z.B. eine bestimmte Drehzahl n einstellbar ist. Die Last kann z.B. mit Hilfe des Fahrpedals der Verbrennungskraftmaschine vorgegeben werden. Verbrennungsmotor 10 und Dyno 11 können z.B. in einem herkömmlichen Motorprüfstand angeordnet sein. Die Ansteuerung des Dynos 11 und/oder des Verbrennungsmotors 10 erfolgt mit einer Steuereinheit 20, z.B. einer Prüfstandssteuereinheit. Im Abgasstrom des Verbrennungsmotors 10 werden mit einem Opazimeter 12 die Opazität O und die Messwerte der Steuereinheit 20 zugeführt. Mit einer Lambdasonde 13 wird das Verbrennungsluftverhältnis λ gemessen und die Messwerte einer Motorsteuereinheit (ECU) 16 zugeführt, die die ermittelten λ -Werte an die Steuereinheit 20 weiterleitet. Das aktuelle Drehmoment T der Verbrennungskraftmaschine kann z.B. über einen am Dyno 11 angeordneten an sich bekannten Drehmomentenmessflansch ermittelt werden. Weiters kann eine Abgasrückführung 15 vorgesehen sein, wobei die Menge an rückgeführtem Abgas mittels eines Abgasrückführungsventils 14 einstellbar ist, wobei das Abgasrückführungsventil 14 von der ECU 16 gesteuert wird. Das in der Steuereinheit 20 ermittelte Rauchbegrenzungskennfeld 30 und gegebenenfalls das Kennfeld für die minimale Abgasrückführung EGR_{min} werden von der Steuereinheit 20 an die ECU 16 übertragen. Die ECU 16 übersetzt dann das ermittelte Rauchbegrenzungskennfeld 30 und gegebenenfalls das ermittelte Kennfeld für die minimale Abgasrückführung EGR_{min} in bekannter Weise in eine Einspritzmengenbegrenzung (z.B. der Einspritzventile) und gegebenenfalls in eine Öffnungsposition des Abgasrückführungsventils 14. Anstelle eines Verbrennungsmotors 10 kann natürlich aber auch ein Antriebsstrang oder ein Fahrzeug (auf einem Rollenprüfstand) verwendet werden.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Rauchbegrenzungskennfeldes (30) eines Verbrennungsmotors (10), **dadurch gekennzeichnet, dass** für eine Anzahl von Drehzahlen (n) jeweils eine Anzahl von Lastsprüngen durchgeführt werden und dabei die Opazität (O) gemessen und mit einer Opazitätsgrenze (O_{limit}) verglichen wird, wobei für jede Drehzahl (n) mit einem vorgegebenen minimalen Verbrennungsluftverhältnis ($\lambda_{\text{min, start}}$) begonnen wird und jeder Lastsprung unter jeweiliger Erhöhung des minimalen Verbrennungsluftverhältnisses (λ_{min}) um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement (λ_{inc}) solange wiederholt wird, bis die gemessene Opazität (O) unter der vorgegebenen Opazitätsgrenze (O_{limit}) liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei jeder Drehzahl (n) zuerst ein Volllastsprung durchgeführt wird und die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors (10) ermittelt und berücksichtigt wird, indem die zeitliche Reaktion (TG) gemessen wird, die der Verbrennungsmotor (10) benötigt, um eine vorgegebene Lastgrenze zu erreichen und die Drehzahl (n) sofort um ein Drehzahlinkrement (n_{inc}) erhöht wird, wenn die zeitliche Reaktion (TG) größer als eine zulässigen zeitliche Reaktion (TG_{limit}) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** für eine Drehzahl (n) das Rauchbegrenzungskennfeld (30) mit einer vorgegebenen minimalen Abgasrückführung ($EGR_{\text{min, start}}$) bestimmt wird und nach der Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes (30) zur Bestimmung einer minimalen Abgasrückführung (EGR_{min}) bei dieser Drehzahl ein Volllastsprung unter jeweiliger Erhöhung der minimalen Abgasrückführung (EGR_{min}) um ein Abgasrückführungsinkrement (EGR_{inc}) solange wiederholt wird, bis die gemessene Opazität (O) über der um einen parametrierbaren Faktor (F) erhöhten Opazitätsgrenze ($O_{\text{limit}} \times F$) liegt oder die zeitliche Reaktion (TG) über einer zulässigen zeitliche Reaktion (TG_{limit}) liegt.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** für eine Drehzahl (n) aus der Opazität (O), der dynamischen Reaktion (TG) und der Abgasrückführung (EGR) ein Kompromiss bestimmt wird.
5. Anordnung zur Bestimmung eines Rauchbegrenzungskennfeldes (30) eines Verbrennungsmotors (10), **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuereinheit (20) vorgesehen ist, die über Ansteuerung einer Antriebs- und Belastungsmaschine (11) und/oder des Verbrennungsmotors (10) für eine Anzahl von Drehzahlen (n) jeweils eine Anzahl von Lastsprüngen durchführt und dabei mittels eines Opazimeters (12) die Opazität (O) misst und die gemessene Opazität (O) mit einer vorgegebenen Opazitätsgrenze (O_{limit}) vergleicht, wobei die

Steuereinheit (20) den Ablauf so steuert, dass sie für jede Drehzahl (n) mit einem vorgegebenen minimalen Verbrennungsluftverhältnis ($\lambda_{\min, \text{start}}$) beginnt und jeden Lastsprung unter jeweiliger Erhöhung des minimalen Verbrennungsluftverhältnisses ($\lambda_{\min}$) um ein Verbrennungsluftverhältnisinkrement (λ_{inc}) solange wiederholt, bis die gemessene Opazität (O) unter einer vorgegebenen Opazitätsgrenze (O_{limit}) liegt.

6. Anordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (20) bei jeder Drehzahl (n) zuerst einen Volllastsprung durchführt und dabei die dynamische Reaktion des Verbrennungsmotors (10) ermittelt, indem die Steuereinheit (20) die zeitliche Reaktion (TG) misst, die der Verbrennungsmotor (10) benötigt, um eine vorgegebene Lastgrenze zu erreichen und die Steuereinheit (20) die Drehzahl (n) sofort um ein Drehzahlinkrement (n_{inc}) erhöht, wenn die zeitliche Reaktion (TG) größer als eine zulässigen zeitliche Reaktion (TG_{limit}) ist.

7. Anordnung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (20) für eine Drehzahl (n) das Rauchbegrenzungskennfeld (30) mit einer vorgegebenen minimalen Abgasrückführung ($EGR_{\min, \text{start}}$) bestimmt und die Steuereinheit (20) nach der Bestimmung des Rauchbegrenzungskennfeldes (30) zur Bestimmung einer minimalen Abgasrückführung ($EGR_{\min}$) bei dieser Drehzahl (n) einen Volllastsprung unter jeweiliger Erhöhung der minimalen Abgasrückführung ($EGR_{\min}$) um ein Abgasrückführungsinkrement (EGR_{inc}) solange wiederholt, bis die gemessene Opazität (O) über der um einen parametrierbaren Faktor (F) erhöhten Opazitätsgrenze ($O_{\text{limit}} \times F$) liegt oder die zeitliche Reaktion (TG) über einer zulässigen zeitlichen Reaktion (TG_{limit}) liegt.

012940

1/6

(1)

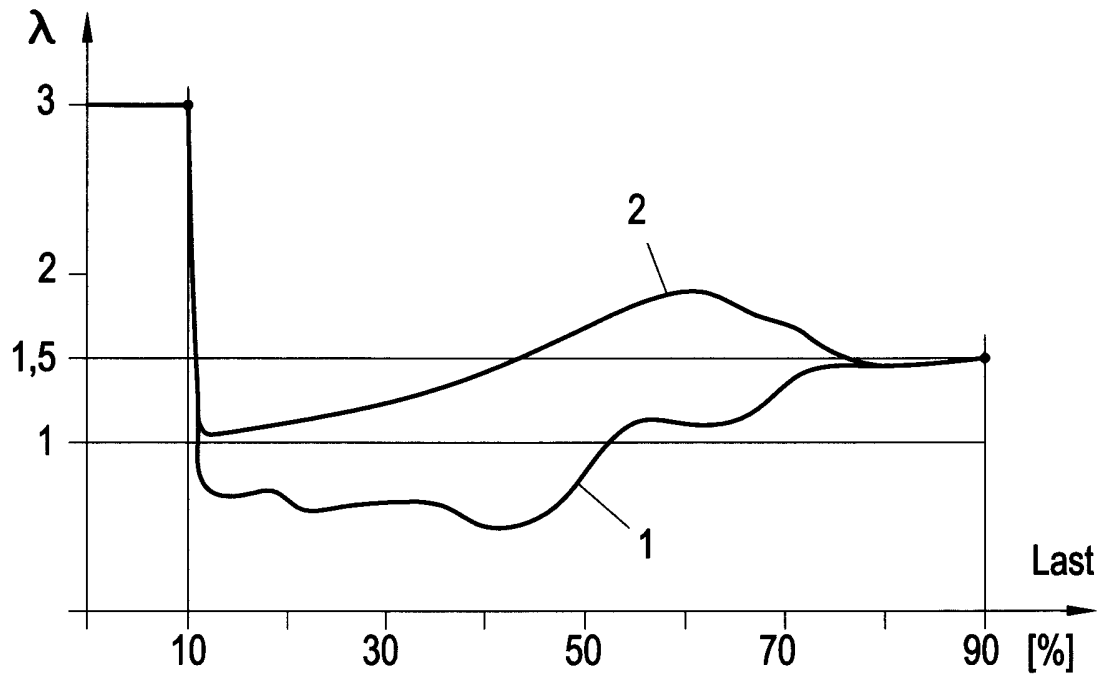


Fig. 1

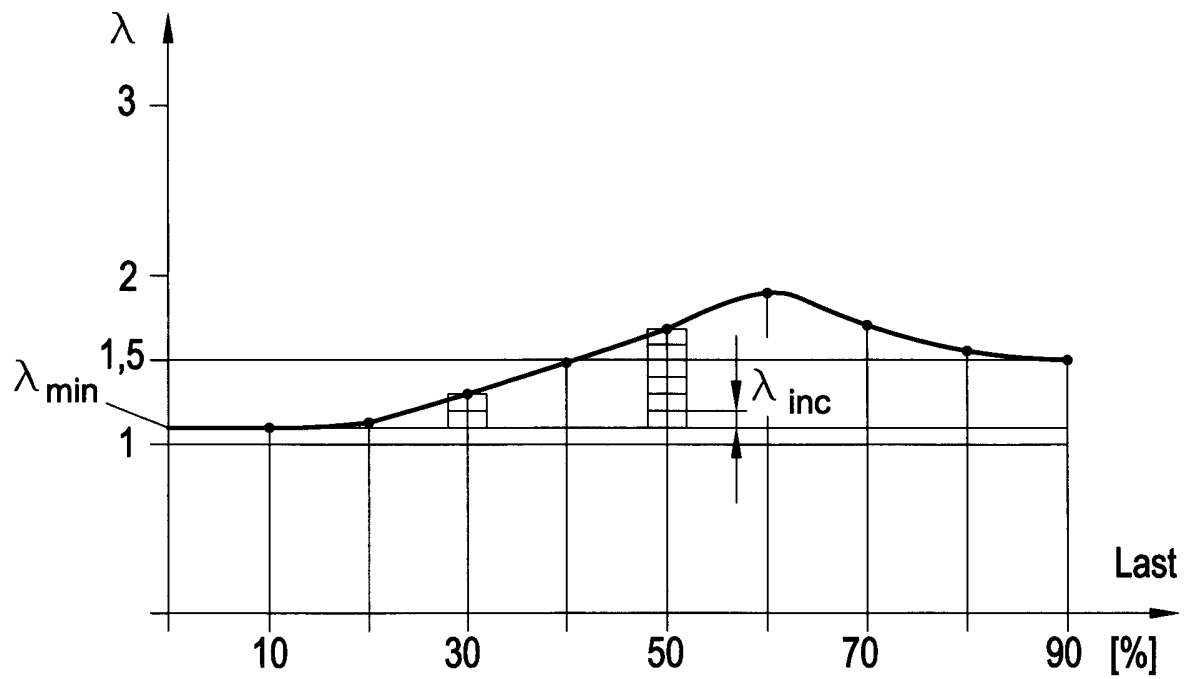


Fig. 2

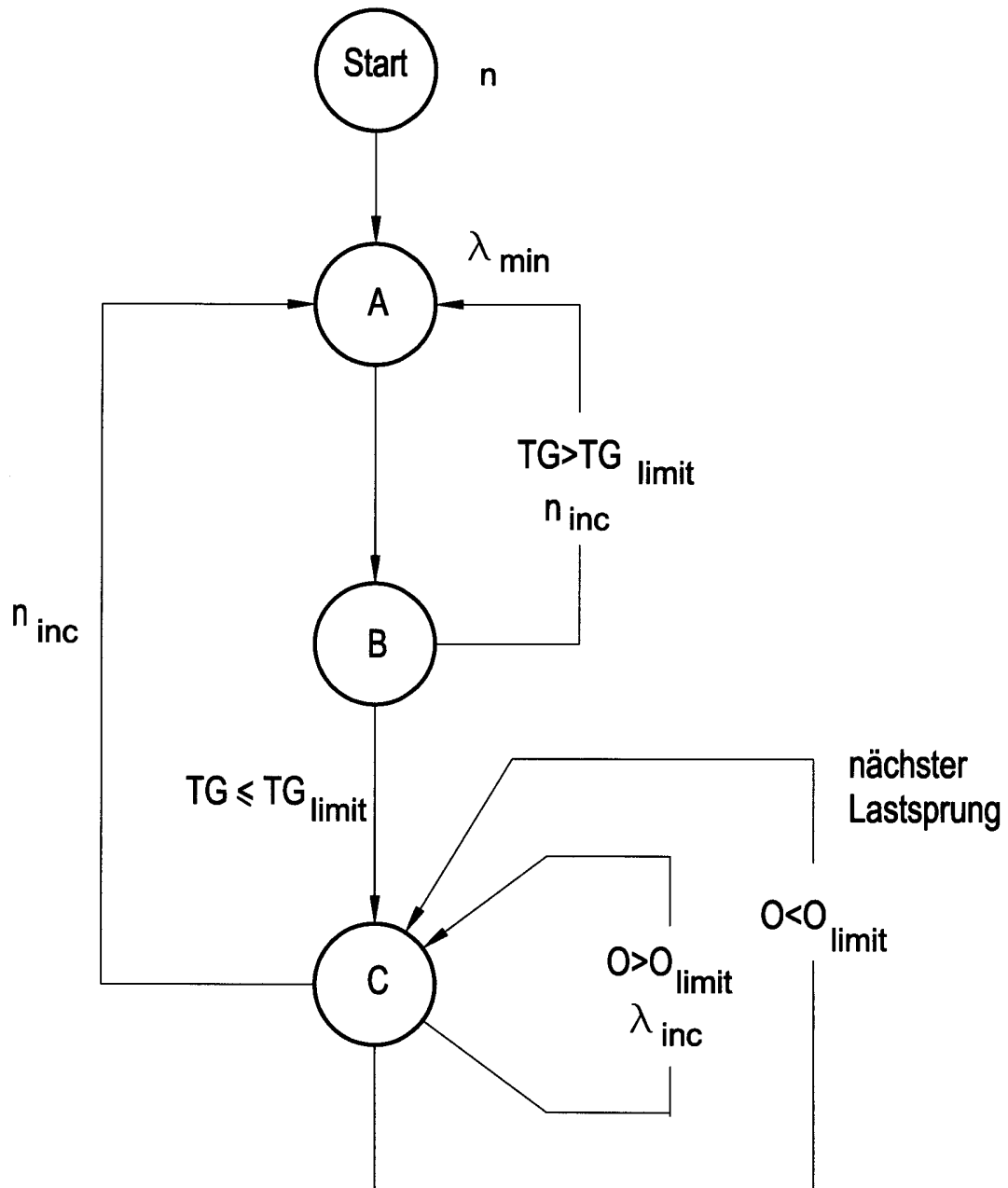


Fig. 3

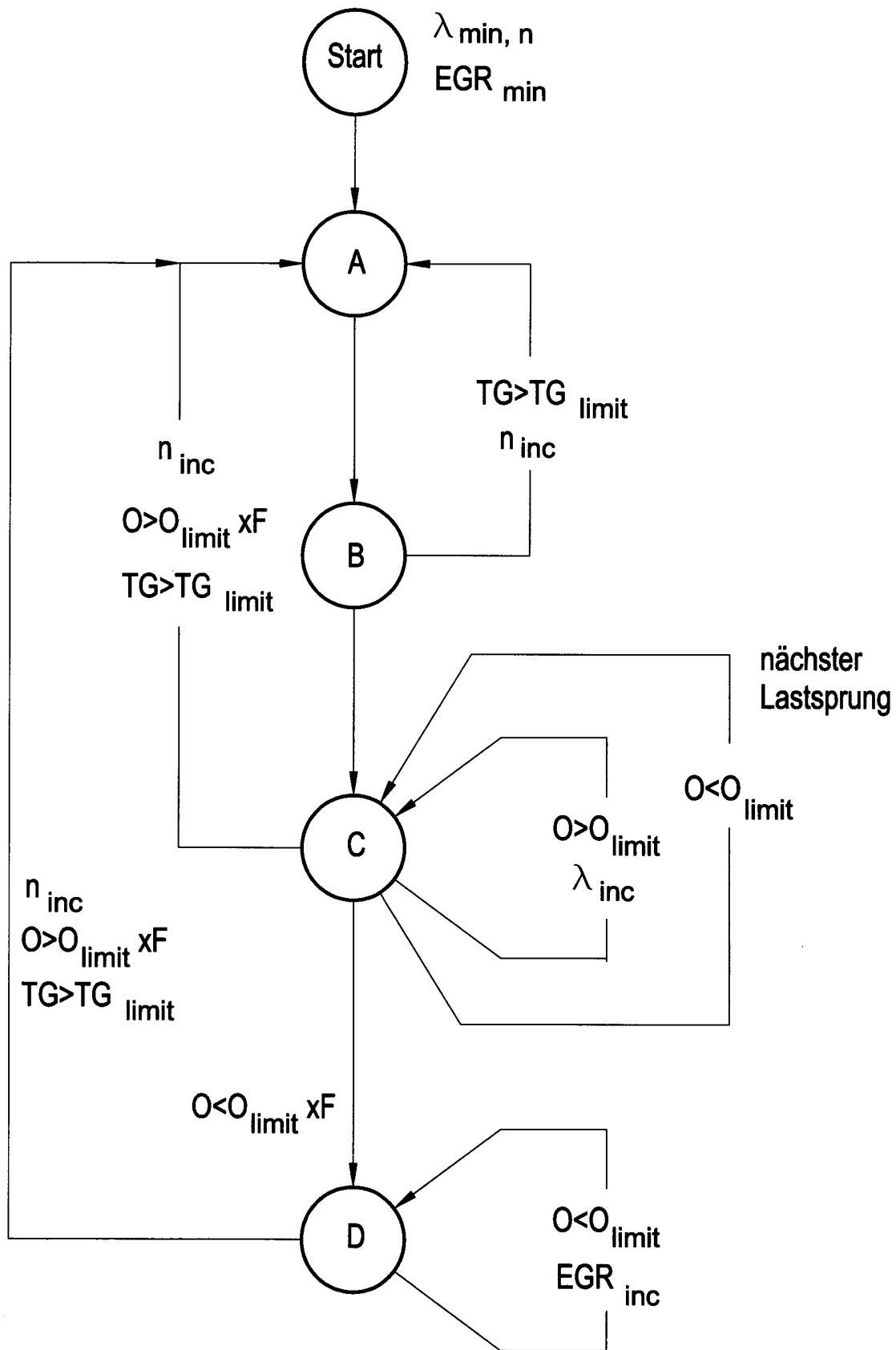


Fig. 4

012940

4/6

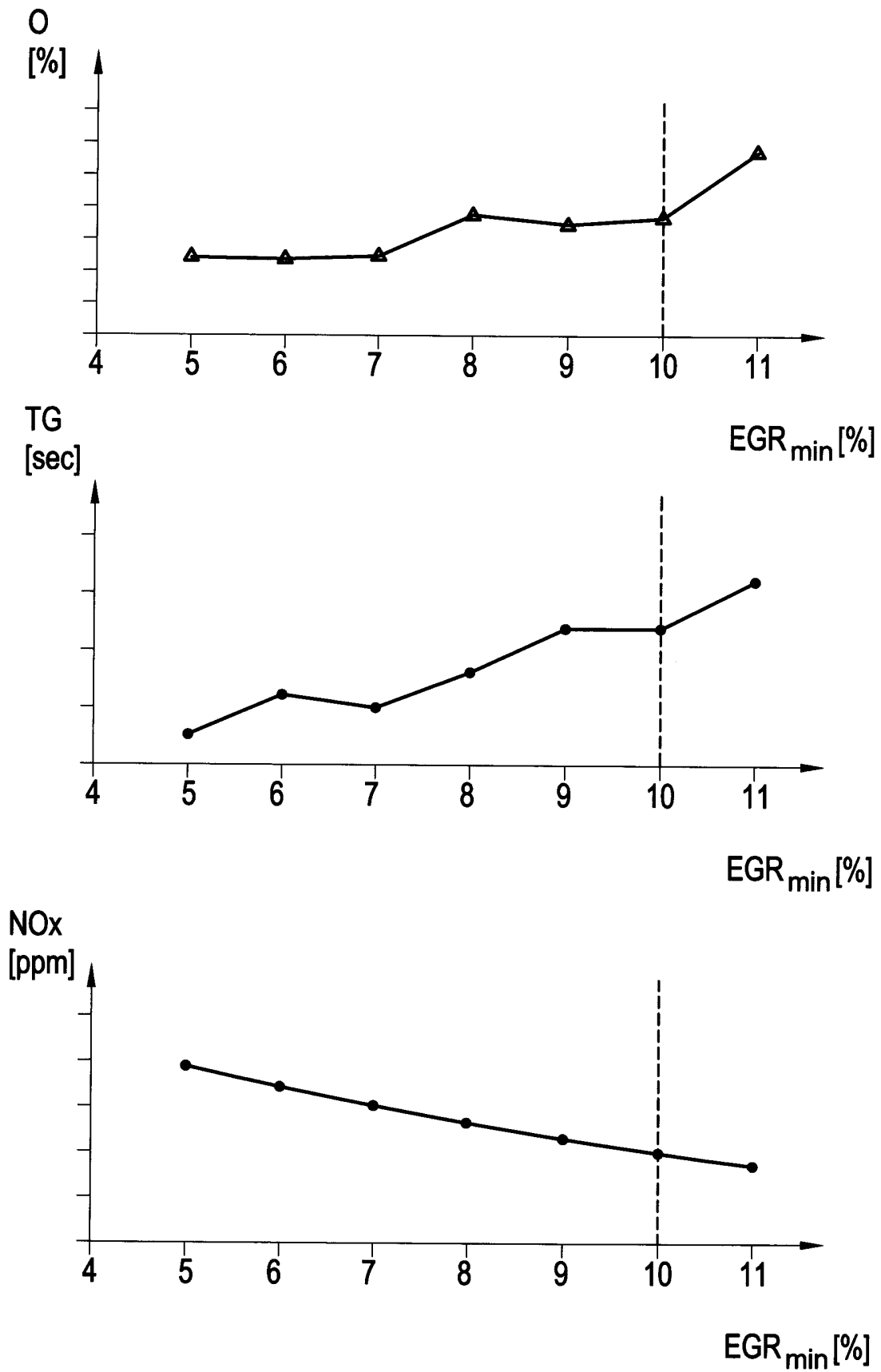


Fig. 5

012940

5/6

(1)

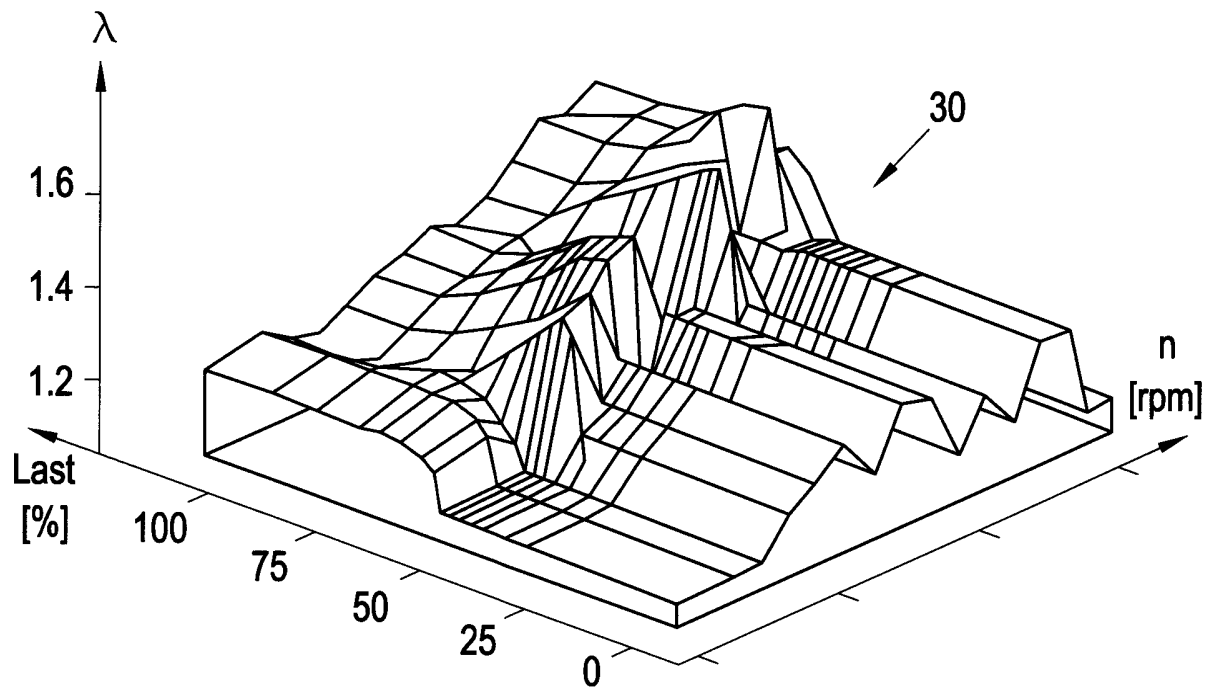


Fig. 6

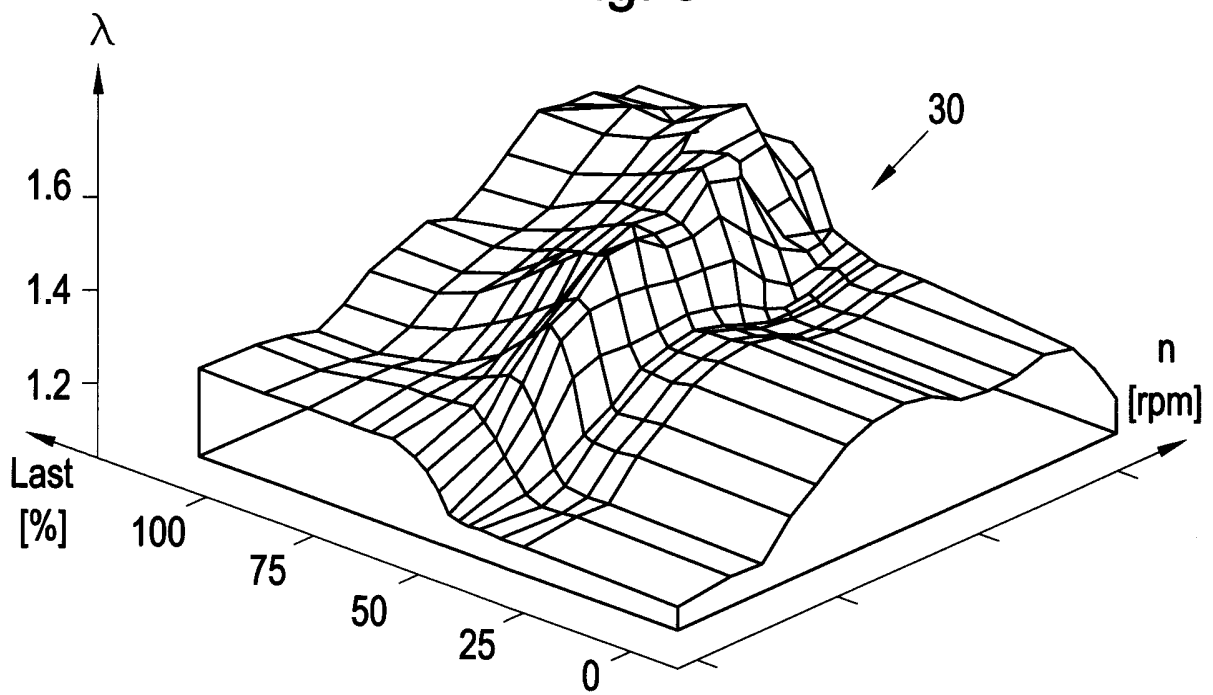


Fig. 7

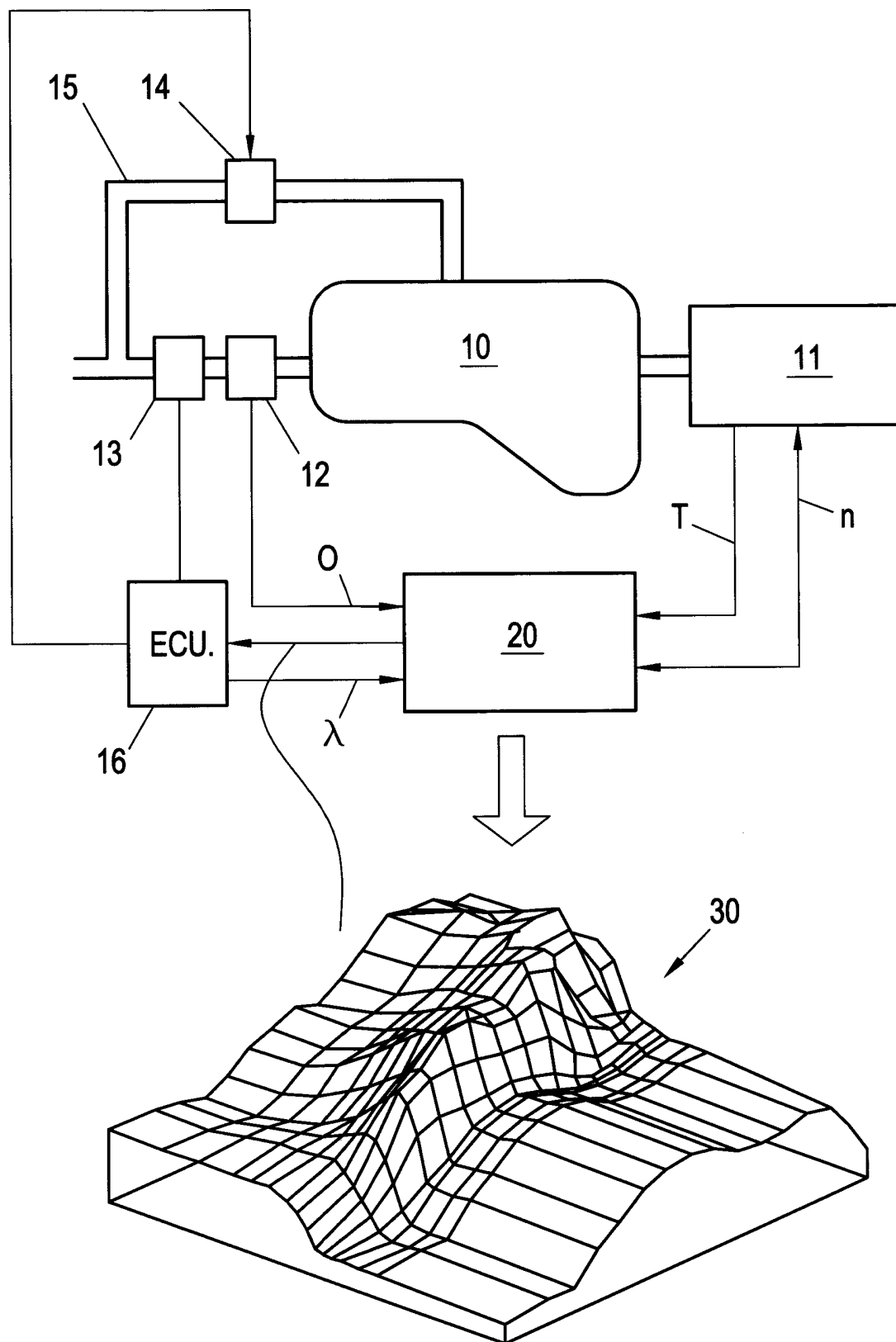


Fig. 8