



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 055 058.5**
 (22) Anmeldetag: **21.12.2009**
 (43) Offenlegungstag: **22.06.2011**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **28.03.2024**

(51) Int Cl.: **F01N 9/00 (2006.01)**
F01N 11/00 (2006.01)
F01N 3/08 (2006.01)
F02D 41/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(72) Erfinder:
**Ruthenberg, Ingo, 70469 Stuttgart, DE; Mueller,
 Horst, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE**

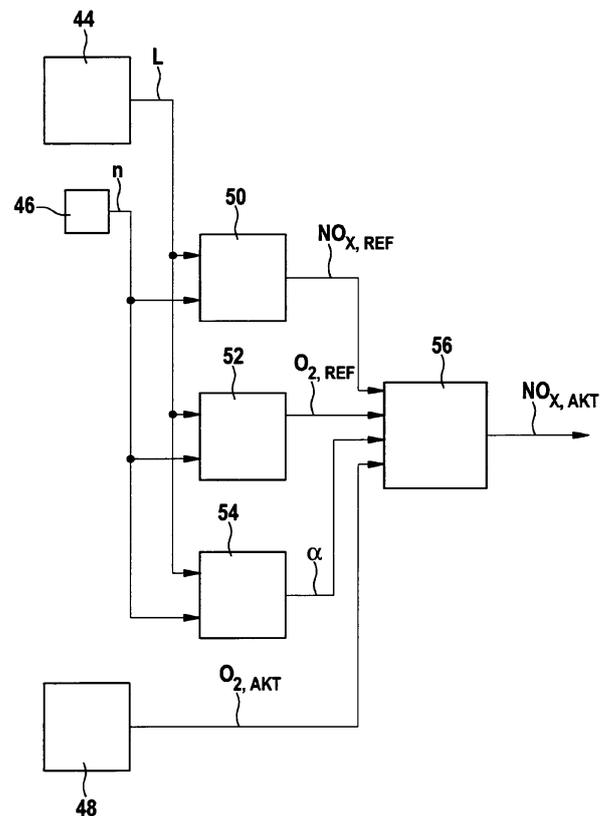
DE	103 18 116	A1
DE	10 2005 032 623	A1
DE	10 2009 036 060	A1
US	2010 / 0 083 640	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Steuergerät zur Berechnung der NO_x-Rohemissionen eines Verbrennungsmotors**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Berechnung der NO_x-Rohemissionen (NO_{x,AKT}) eines Verbrennungsmotors (10) aus Betriebsparametern des Verbrennungsmotors (10), wobei als wesentliche Betriebskenngroße eine Sauerstoffkonzentration (O_{2,AKT}) im Saugrohr (20) ermittelt wird und dass die Berechnung der NO_x-Rohemissionen (NO_{x,AKT}) in Abhängigkeit von dem ermittelten Wert der Sauerstoffkonzentration (O_{2,AKT}) erfolgt und wobei die Berechnung der NO_x-Rohemissionen (NO_{x,AKT}) auf der Basis des folgenden Zusammenhangs erfolgt:

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}} \right)^\alpha,$$

wobei NO_{x,AKT} die aktuelle NO_x-Konzentration ist, die sich in Abhängigkeit von der aktuellen Sauerstoffkonzentration O_{2,AKT} und den unter Referenzbedingungen erfassten Konzentrationen NO_{x,REF} der Nox-Rohemissionen und O_{2,REF} der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr (20) berechnen lässt, dadurch gekennzeichnet, dass der Exponent α jeweils von der Drehzahl (n) und der Last (L) des Verbrennungsmotors (10) abhängig und von der aktuellen O₂-Konzentration (O_{2,AKT}) unabhängig ist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Außerdem betrifft die Erfindung ein Steuergerät nach dem Oberbegriff des Anspruchs 5 sowie ein Computerprogramm nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7 und ein Computerprogrammprodukt nach dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

[0002] Ein Verfahren zur Berechnung der NO_x-Rohemissionen eines Verbrennungsmotors aus Betriebsparametern des Verbrennungsmotors ist zum Beispiel aus der DE 103 18 116 A1 bekannt. Nach dieser Schrift werden die NO_x-Rohemissionen zumindest in Abhängigkeit von der Drehzahl und der Last des Verbrennungsmotors durch ein NO_x-Rohemissionsberechnungsmodell im Steuergerät berechnet. Es wird hier ferner als bekannt vorausgesetzt, zusätzlich eine Abgasrückführrate bei der Berechnung der Rohemissionen zu verarbeiten.

[0003] Das bekannte NO_x-Rohemissionsmodell ist für den Einsatz in Kombination mit NO_x-Speicherkatalysatoren entwickelt worden. Die Anforderungen an die Genauigkeit des Modells sind moderat. So wird es bei dieser Anwendung als ausreichend betrachtet, Ungenauigkeiten der Berechnung durch eine Erhöhung der Regenerierfrequenz des Speicherkatalysators auszugleichen. Dies bedeutet, dass das Rechenmodell tendenziell zu hohe Werte der Rohemissionen ausgibt. Der Füllstand des Speicherkatalysators wird in Abhängigkeit von einem Integral der Rohemissionen berechnet. In Verbindung mit einer Regelstrategie, die eine Regeneration des Speicherkatalysators in Abhängigkeit von dem Füllstand des Speicherkatalysators auslöst, gewährleisten die tendenziell zu hohen Werte, dass NO_x-Durchbrüche durch den Speicherkatalysator durch eine rechtzeitige Regeneration vermieden werden.

[0004] Beim bekannten NO_x-Rohemissionsmodell werden die Rohemissionen in einem Kennfeld in Abhängigkeit vom Motorbetriebspunkt hinterlegt, wobei der jeweilige Motorbetriebspunkt im Wesentlichen durch die Last und die Drehzahl des Verbrennungsmotors charakterisiert wird. Im realen Betrieb treten Abweichungen von dem Auslegungszustand auf. Diese Abweichungen betreffen insbesondere die Abgasrückführrate, die Werte der Brennraumfüllungen, Temperaturen des Verbrennungsmotors, Umgebungsbedingungen und das Einspritzprofil, jeweils im Vergleich zu der entsprechenden Größe des Auslegungszustandes. Auswirkungen dieser Abweichungen auf die Werte der Rohemissionen werden durch Korrekturen zumindest teilweise kompensiert. Die Auswirkung von Serienstreuungen auf

die NO_x-Rohemissionen können vom bekannten Modell nicht berücksichtigt werden.

[0005] Aus der nachveröffentlichten Offenlegungsschrift DE 10 2009 036 060 A1 ist ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt. Zur Berechnung der NO_x-Rohemissionen eines Verbrennungsmotors werden Betriebsparameter des Verbrennungsmotors verwendet. Dabei wird als wesentliche Betriebskenngröße eine Sauerstoffkonzentration im Saugrohr ermittelt. Die Berechnung der NO_x-Rohemissionen erfolgt in Abhängigkeit von dem ermittelten Wert der Sauerstoffkonzentration. Dort ist ein exponentieller Zusammenhang für die Berechnung der NO_x-Emissionen offenbart. Als Basis wird ein Quotient aus einem Sauerstoffverhältnis und einem Referenzwert verwendet.

[0006] Aus der Offenlegungsschrift US 2010/0 083 640 A1 ist ein Verfahren zum Abschätzen von NO_x-Rohemissionen eines Viertakt-Verbrennungsmotors aus Betriebsparametern bekannt, die zum Modellieren eines Verbrennungsvorgangs dienen. Als hierfür wesentliche Betriebskenngröße wird eine Sauerstoffkonzentration im Saugrohr mittels eines Sensors oder einer Abschätzung ermittelt. Die Berechnung der NO_x-Rohemissionen erfolgt unter anderem in Abhängigkeit von dem ermittelten Wert der Sauerstoffkonzentration.

[0007] Aus der Offenlegungsschrift DE 10 2005 032 623 A1 ist ein Verfahren bekannt, durch das unter anderem zylinderselektiv NO_x-Emissionen einer Dieselmotorkraftmaschine bestimmt werden können. Mithilfe eines Modells mit einer vorgegebenen Anzahl von den Verbrennungsprozess beschreibenden Parametern werden unter anderem die NO_x-Emissionen der Dieselmotorkraftmaschine bestimmt. In diesem Modell werden unter anderem der Sauerstoffgehalt im Abgas oder das Luft-/Kraftstoffverhältnis und das Verhältnis der Luftmasse zur gesamten Gasmasse berücksichtigt. Von diesem Stand der Technik unterscheidet sich die Erfindung jeweils durch die kennzeichnenden Merkmale der unabhängigen Ansprüche.

[0008] Die gesteigerte Genauigkeit ist insbesondere, aber nicht nur, bei Verbrennungsmotoren von Vorteil, deren Abgase mit der sogenannten SCR-Technologie behandelt werden (SCR = selective catalytic reduction). Diese Technologie kommt in der Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren und von mit direkter Benzineinspritzung arbeitenden Motoren neben der Speicherkatalysatortechnologie zum Einsatz. Bei der SCR-Technologie hängt die Menge des zu dosierenden Reduktionsmittels von der Temperatur und dem momentanen NH₃-Speicherfüllstand des Katalysators und darüber hinaus auch ganz wesentlich von der aktuellen NO_x-Rohemissionskonzentration ab. Eine zu geringe Menge

an Reduktionsmittel würde zu einem zu geringen Umsatz an Stickoxiden führen, was vermieden werden sollte. Als Reduktionsmittel wird eine im Abgas Ammoniak freisetzende Harnstoff-Wasser-Lösung verwendet, wobei das Ammoniak die mit den Stickoxiden reagierende Substanz darstellt. Eine zu hohe Menge an Reduktionsmittel würde daher zu einem Ammoniak schlupf durch den SCR-Katalysator führen, welcher ebenfalls vermieden werden sollte.

[0009] Um eine optimale Dosierung zu gewährleisten, ist eine genaue Information über die aktuell vorliegenden NO_x-Rohemissionen unerlässlich. Diese werden üblicherweise von einem Sensor gemessen. Solange der Sensor nach einem Kaltstart nicht betriebsbereit ist, werden die NO_x-Rohemissionen vom NO_x-Rohemissionsmodell berechnet. Auch zur On Board Diagnose (OBD) wird der NO_x-Sensor mit dem Modellwert abgeglichen. Außerdem wird erwogen, den NO_x-Rohemissionssensor aus Kostengründen entfallen zu lassen.

[0010] Die Erfindung hat in diesem speziellen Umfeld den Vorteil, die für den Betrieb eines SCR-Katalysators insgesamt höheren Anforderungen an die Genauigkeit der Berechnung der NO_x-Rohemissionen besser zu erfüllen als das bekannte Verfahren, so dass die Erfindung auch ein Weglassen des NO_x-Rohemissionssensors erlaubt.

[0011] Weitere Vorteile ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den beigefügten Figuren.

[0012] Die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Zeichnungen

[0013] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen, jeweils in schematischer Form:

Fig. 1 das technische Umfeld der Erfindung;

Fig. 2 empirisch ermittelte Zusammenhänge der NO_x-Rohemissionen des Verbrennungsmotors 10 mit dem Massenanteil von Sauerstoff im Saugrohr;

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Funktionsblockdarstellung;

Fig. 4 den Verlauf der tatsächlichen NO_x-Konzentration im Abgas über der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr in einer auf Referenz-

konzentrationen normierten, doppelt-logarithmischen Skalierung;

Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel, das eine zusätzliche Korrekturfunktion verwendet;

Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel in einer Funktionsblockdarstellung; und

Fig. 7 ein weiteres Ausführungsbeispiel.

[0014] Gleiche Bezugszeichen bezeichnen dabei jeweils gleiche Gegenstände. Im Einzelnen zeigt die **Fig. 1** einen Verbrennungsmotor 10 der insbesondere zum Antrieb eines Kraftfahrzeugs dient. Der dargestellte Verbrennungsmotor 10 arbeitet mit einer Direkteinspritzung von Kraftstoff über Injektoren 12 in Brennräume 14 des Verbrennungsmotors 10 nach dem Otto-Brennverfahren, dem Diesel-Brennverfahren oder einem anderen Brennverfahren, zum Beispiel einem CAI-Brennverfahren (CAI = controlled auto ignition). Beim Ottomotor erfolgt eine Fremdzündung der Brennraumfüllung aus Luft und eingespritztem Kraftstoff mit einer Zündkerze 16. Jeder Brennraum 14 wird von einem Kolben 18 beweglich abgedichtet und über ein Saugrohr 20 mit Luft gefüllt. Verbrannte Füllungen des Brennraums 14 werden in ein Abgassystem 22 ausgestoßen. Der Wechsel der Brennraumfüllungen (Gaswechsel) wird durch Gaswechselventile 24, 26 gesteuert, die von Aktoren 28, 30 synchron zur Bewegung des Kolbens 18 in Arbeitsspielen des Verbrennungsmotors 10 betätigt werden. Bei den Aktoren 28, 30 handelt es sich in der Regel um Nocken einer oder mehrerer Nockenwellen, die synchron zur Kolbenbewegung angetrieben werden. Über eine Abgasrückführung 32 wird bei geöffnetem Abgasrückführventil 34 Abgas in den Brennraum 14 zurückgeführt, um die Stickoxid-Rohemissionen des Verbrennungsmotors 10 zu verringern.

[0015] Das Abgassystem 22 weist nicht dargestellte Abgasnachbehandlungskomponenten und wenigstens eine Abgassonde 36 auf, die als sauerstoffempfindlicher Lambdasensor realisiert ist. Die Abgassonde 36 dient in einer Ausgestaltung als Regelfühler für eine Regelung der Zusammensetzung der Brennraumfüllungen aus Kraftstoff und Luft.

[0016] Der Verbrennungsmotor 10 wird vom Steuergerät 38 gesteuert, das dazu die Signale S₃₆ des Abgassensors 36 und Signale S₄₀ eines Drehzahlsensors 40, Signale S₄₂ eines Fahrerwunschensors 42 sowie Signale weiterer Sensoren für weitere Betriebsparameter wie Temperaturen, angesaugte Frischluftmasse, usw. verarbeitet. Aus diesen Signalen bildet das Steuergerät 38 Ansteuersignale S₁₂ für Injektoren 12, S₁₆ für gegebenenfalls vorhandene Zündkerzen 16, S₃₄ für die Abgasrückführung und gegebenenfalls weitere Stellsignale für in der **Fig. 1** nicht dargestellte Stellglieder, die bei moder-

nen Verbrennungsmotoren vorhanden sind und dem Fachmann daher vertraut sind.

[0017] Im Übrigen ist das Steuergerät 38 dazu eingerichtet, insbesondere dazu programmiert, das erfindungsgemäße Verfahren oder eine seiner Ausgestaltungen durchzuführen. Das Steuergerät 38 ist insbesondere dazu eingerichtet, die NO_x-Rohemissionen in Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr 20 zu modellieren. Der Wert der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr wird bei bekannten Steuergeräten 38 von Verbrennungsmotoren 10 ohnehin berechnet oder liegt in den Steuergeräten 38 vor. Wesentliche Eingangsgrößen dafür sind die angesaugte Frischluftmasse, die Abgasrückführrate und eine modellierte oder mit der Abgassonde 36 gemessene Sauerstoffkonzentration im Abgas.

[0018] Eine wesentliche Voraussetzung für eine korrekte Modellierung der NO_x-Rohemissionen in Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr ist die Kenntnis der quantitativen Zusammenhänge.

[0019] Fig. 2 zeigt solche empirisch ermittelten Zusammenhänge, bei der die NO_x-Konzentration in ppm in den Rohemissionen des Verbrennungsmotors 10 jeweils über dem Massenanteil von Sauerstoff in % im Saugrohr 20 dargestellt ist. Dabei zeigt Fig. 2a diese Korrelation in einem linearen Maßstab, während Fig. 2b die gleichen Daten in doppeltlogarithmischer Auftragung zeigt.

[0020] Ein Auswertung der empirisch gewonnenen Daten hat ergeben, dass sich dieser Zusammenhang durch die Formel

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}} \right)^\alpha \quad (\text{Gleichung 1})$$

annähern lässt.

[0021] Darin ist NO_{x, AKT} die aktuelle NO_x-Konzentration in ppm, die sich in Abhängigkeit von der aktuellen Sauerstoffkonzentration O_{2, AKT} in Massenprozent und den unter Referenzbedingungen erfassten Konzentrationen NO_{x, REF} und O_{2, REF} berechnen lässt. Der Exponent α ist jeweils von der Drehzahl und der Last des Verbrennungsmotors abhängig und in erster Näherung von der aktuellen O₂-Konzentration unabhängig. Die Referenzkonzentrationen NO_{x, REF} und O_{2, REF} sind jeweils von der Drehzahl und der Last abhängig.

[0022] Entsprechend werden diese Werte in Prüfstandsversuchen ermittelt und in Kennfeldern über der Drehzahl und der Last abgelegt. Dabei bietet sich als Referenzzustand der Zustand ohne Abgas-

rückführung an, in dem O_{2,AKT} = O_{2,REF} = 23,14 % gilt. Es kann aber prinzipiell jeder beliebige Betriebszustand als Referenz definiert werden.

[0023] In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung werden diese Kennfelder im späteren Betrieb eines Verbrennungsmotors 10 mit aktuellen Werten der Drehzahl und der Last adressiert, um die NO_x-Konzentration NO_{x, AKT} unter Verwendung der Gleichung 1 zu berechnen.

[0024] Fig. 3 zeigt eine Funktionsblockdarstellung eines solchen Ausführungsbeispiels. Der Block 44 repräsentiert die Bildung einer die Last L des Verbrennungsmotors 10 repräsentierenden Größe. Als die Last L repräsentierende Größe wird in einer Ausgestaltung ein Kraftstoffzumesssignal verwendet. Alternativ wird ein vom Steuergerät 38 ohnehin berechneter Wert des inneren Drehmoments des Verbrennungsmotors 10 als Lastgröße L verwendet. Das innere Drehmoment ergibt sich dabei aus den Stellgrößen, mit denen das Steuergerät 38 den Verbrennungsmotor 10 steuert. Im Block 46 erfolgt eine Berechnung der Drehzahl n des Verbrennungsmotors aus den Signalen S_{_40} des Sensors 40.

[0025] Im Block 48 erfolgt eine Berechnung der Sauerstoffkonzentration r_{O₂,Saugrohr} im Saugrohr 20 des Verbrennungsmotors 10. Die Sauerstoffkonzentration ergibt sich dabei im Wesentlichen als Quotient aus dem Sauerstoffstrom in das Saugrohr im Zähler und dem Füllungs-Massenstrom (Frischluft und rückgeführtes Abgas) in die Brennräume des Verbrennungsmotors im Nenner.

[0026] Der Füllungsmassenstrom ergibt sich dabei durch die allgemeine Gasgleichung in Abhängigkeit von dem bekannten Saugrohrvolumen, dem gemessenen Saugrohrdruck, der gemessenen Temperatur und der allgemeinen Gaskonstante.

[0027] Der Sauerstoffstrom in das Saugrohr ergibt sich als Summe des mit der bekannten Sauerstoffkonzentration der Frischluft (23,14 Massenprozent) gewichteten Frischluftmassenstroms, der gemessen wird, und des mit der Sauerstoffkonzentration im Abgas gewichteten Massenstroms des rückgeführten Abgases. Dabei wird die Sauerstoffkonzentration im Abgas aus dem Signal S_{_36} bestimmt. Der Massenstrom des rückgeführten Abgases ergibt sich durch Subtrahieren des gemessenen Frischluftmassenstroms vom aus der allgemeinen Gasgleichung berechneten Füllungsmassenstrom.

[0028] Die Sauerstoffkonzentration im Abgas ist niedriger als die Sauerstoffkonzentration der Frischluft, so dass sich die resultierende Sauerstoffkonzentration im Saugrohr als Mittelwert der mit den beteiligten Frischluft- und Abgasmassen gewichteten Sauerstoffkonzentrationen im Abgas und in der

Frischluff ergibt. Derartige Berechnungen werden von modernen Steuergeräten ohnehin durchgeführt und sind dem Fachmann vertraut.

[0029] In einem Kennfeld 50 sind in Referenzzuständen ermittelte Referenzwerte $NO_{x,REF}$ der NO_x -Konzentration Last- und Drehzahl-abhängig gespeichert. Ein Kennfeld 52 enthält Last- und Drehzahl-abhängig gespeicherte Werte der jeweils zugehörigen Sauerstoffkonzentration $O_{2,REF}$. Im Kennfeld 54 sind Werte des Exponenten α ebenfalls Last- und Drehzahl-abhängig gespeichert. Die Blöcke 48 bis 54 liefern damit sämtliche für die Anwendung der Gleichung 1 erforderlichen Größen an den Block 56, der die Berechnung der aktuellen NO_x -Konzentration $NO_{x,AKT}$ durch die Gleichung 1 repräsentiert.

[0030] Fig. 4 zeigt den Verlauf der tatsächlichen NO_x -Konzentration $NO_{x,AKT}$ über der Sauerstoffkonzentration $O_{2,AKT}$ im Abgas in doppelt-logarithmischer Skalierung. Dabei wurden die aufgetragenen Werte jeweils auf Referenzkonzentrationen $NO_{x,REF}$, $O_{2,REF}$ normiert. Der Punkt REF bezeichnet ein Wertepaar, das ohne Abgasrückführung auf einem Prüfstand aufgenommen worden ist. Der Punkt EGR bezeichnet einen möglichen Kennfeldpunkt, der mit Abgasrückführung auf einem Prüfstand aufgenommen worden ist und der Punkt AKT bezeichnet einen Punkt, der sich im realen Betrieb eines Verbrennungsmotors 10 einstellt. Die Kurve 58 der empirisch gewonnenen Daten weicht dabei von der Geraden 60 ab, die dem Graphen der Gleichung 1 in dieser doppelt-logarithmischen Auftragung entspricht. Dies zeigt, dass die mit der Gleichung 1 verbundene Näherung den tatsächlich gültigen Zusammenhang nicht exakt beschreibt. Um die Näherung weiter zu verbessern, sieht eine Ausgestaltung eine Korrekturfunktion $f(O_{2,AKT}, L, n)$ vor, die so ausgestaltet ist, dass sie die Gerade 60 der Gleichung 1 in die Kurve 58 der empirischen Werte überführt.

[0031] Dies erfolgt in einer Ausgestaltung durch eine multiplikative Korrektur des Exponenten α . Die Korrektur ist eine von der Sauerstoffkonzentration $O_{2,AKT}$ im Saugrohr 20 und den aktuellen Werten der Last L und der Drehzahl n abhängige Korrekturfunktion $f(O_{2,AKT}, L, n)$. Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem Werte einer solchen Korrekturfunktion f in einem Kennfeld 64 gespeichert sind, das durch die Größen $O_{2,AKT}$, L und n adressiert wird. Die ausgelesenen Werte von f werden im Block 56 zu einer bevorzugt multiplikativen, gegebenenfalls aber auch additiven Korrektur des Exponenten α verwendet, so dass sich ein korrigierter Exponent $\hat{\alpha} = \alpha \cdot f$ oder $\hat{\alpha} = \alpha + f$ ergibt. Anschließend erfolgt im Block 56 die Berechnung von $NO_{x,AKT}$ durch eine entsprechend modifizierte Gleichung 1

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}} \right)^{\alpha'}$$

durchgeführt. In einer Ausgestaltung wird an Stelle des Exponenten α der Wert $O_{2,AKT}$ korrigiert. D.h.: An Stelle des Wertes $O_{2,AKT}$ wird ein Wert $O_{2,AKT}'$ in der Gleichung verwendet:

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{(O_{2,AKT})'}{O_{2,REF}} \right)^{\alpha}$$

[0032] Dabei erfolgt die Bestimmung des Wertes $O_{2,AKT}'$ mit der gleichen Zielsetzung wie die Bestimmung eines korrigierten Exponenten $\hat{\alpha}$.

[0033] Mit anderen Worten: Eine weitere Ausgestaltung zeichnet sich durch Korrigieren des Exponenten α oder des Wertes $O_{2,AKT}$ in der Gleichung

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}} \right)^{\alpha}$$

aus, wobei die Korrekturfunktion $f(O_{2,AKT}, L, n)$ so ausgestaltet ist, dass sie Abweichungen von Werten, die nach der unkorrigierten Gleichung bestimmt wurden, von in gleichen Betriebspunkten empirisch bestimmten Werten verringert.

[0034] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung sieht vor, dass der Exponent α nicht wie bei den bis hier beschriebenen Ausgestaltungen durch einen Kennfeldzugriff ermittelt wird, sondern dass er während des Betriebes des Verbrennungsmotors 10 berechnet wird. Dieses Ausführungsbeispiel wird im Folgenden unter Bezug auf die Fig. 6 vorgestellt.

[0035] Für diese Ausgestaltung werden drei Kennfelder 50, 66 und 68 verwendet, die jeweils durch Drehzahl- und Lastwerte adressiert werden. In dem Kennfeld 50 sind $NO_{x,REF}$ Werte gespeichert, die ohne Abgasrückführungseinflüsse in einem Auslegungspunkt ermittelt worden sind, wie er durch den Punkt REF der Fig. 4 repräsentiert wird. In einem zweiten Kennfeld 66 sind Werte der Sauerstoffkonzentrationen $O_{2,EGR}$ im Saugrohr gespeichert 10, wie sie in einem Auslegungspunkt bei aktiver Abgasrückführung ermittelt worden sind. Dies entspricht dem Punkt EGR in der Fig. 4. In einem dritten Kennfeld sind NO_x -Rohemissionswerte $NO_{x,EGR}$ gespeichert, wie sie in einem Auslegungspunkt mit aktiver Abgasrückführung ermittelt worden sind. Dies entspricht ebenfalls dem Punkt EGR in der Fig. 4. Die für eine Anwendung der Gleichung 1 erforderliche Sauerstoffkonzentration ist unter diesen Umständen konstant = 23,14 Massenprozent und wird vom Block 70 bereitgestellt, der insofern eine Speicherzelle repräsentiert.

[0036] Aus der doppellogarithmischen Darstellung der Fig. 4 ergibt sich für die Gerade 60, dass für den Exponenten α der folgende Zusammenhang gilt:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{NO_{x,EGR}}{NO_{x,REF}}\right)}{\ln\left(\frac{O_{2,EGR}}{O_{2,REF}}\right)} \quad (\text{Gleichung 2})$$

[0037] Im Block 56 erfolgt dann zunächst die Berechnung des Exponenten α gemäß der Gleichung 2 und anschließend die Berechnung der NO_x-Konzentration $NO_{x,AKT}$ gemäß Gleichung 1. Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass auch hier eine modifizierte Gleichung 1 mit einem korrigierten Exponenten $\hat{\alpha} = \alpha \cdot f$ oder $\hat{\alpha} = \alpha + f$ verwendet wird.

[0038] Fig. 7 zeigt eine weitere Ausgestaltung, die eine Integration der Berücksichtigung der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr in eine bestehende Modellierung der NO_x-Rohemissionen vorsieht.

[0039] Der Block 72 repräsentiert ein Kennfeld, in dem Werte von NO_x-Rohemissionen in Abhängigkeit von Last und Drehzahl gespeichert sind, die an einem „goldenen“ Motor unter festgelegten Bedingungen an einem Prüfstand ermittelt worden sind. Wenn der reale Motor diesem goldenen Motor entspricht und unter den festgelegten Bedingungen in den Kennfeldpunkten betrieben wird, liefert das Kennfeld 72 bereits die richtigen NO_x-Rohemissionen. Das Kennfeld 72 ist unter dem Einfluss einer aktiven Abgasrückführung ermittelt worden.

[0040] Das Kennfeld 74 liefert die Sauerstoffkonzentration im Saugrohr des goldenen Motors unter den Bedingungen, unter denen auch die Werte der NO_x-Rohemissionen des Kennfeldes 72 ermittelt worden sind.

[0041] In der nachfolgenden Verknüpfung 76 wird die vom Block 48 für den aktuellen Betriebspunkt berechnete Sauerstoffkonzentration von der aus dem Kennfeld 74 ermittelten Sauerstoffkonzentration des goldenen Motors subtrahiert. Das Ergebnis ist ein Maß für die Abweichung der aktuellen Sauerstoffkonzentration im Saugrohr von der Sauerstoffkonzentration im Auslegungspunkt/Kennfeldpunkt und dient als Basis für eine kompensierende Korrektur K. Diese kompensierende Korrektur K wird im Block 78 gebildet. In der dargestellten Ausgestaltung wird die kompensierende Korrektur als Offsetwert K gebildet und in der Verknüpfung 80 zum NO_x-Rohemissionenwert des goldenen Motors aus dem Kennfeld 72 addiert.

[0042] Im Kennfeld 82 sind Werte der NO_x-Rohemissionen des goldenen Motors bei deaktivierter

Abgasrückführung in Abhängigkeit von der Last und der Drehzahl gespeichert.

[0043] Weitere Ausgestaltungen sehen vor, dass die Bildung des Abweichungen vom Auslegungspunkt kompensierenden Offsets K im Block 78 zusätzlich in Abhängigkeit von der Last L und/oder der Drehzahl n; und/oder dem Basiswert der NO_x-Rohemissionen aus dem Kennfeld 72 und/oder der aktuell im Block 48 berechneten Sauerstoffkonzentration im Saugrohr erfolgt. Auch diese Ausgestaltung zeichnet sich letztlich dadurch aus, dass der Wert $NO_{x,AKT}$ der NO_x-Rohemissionen in Abhängigkeit von der aktuellen Sauerstoffkonzentration im Saugrohr bestimmt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Berechnung der NO_x-Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) eines Verbrennungsmotors (10) aus Betriebsparametern des Verbrennungsmotors (10), wobei als wesentliche Betriebskenngröße eine Sauerstoffkonzentration ($O_{2,AKT}$) im Saugrohr (20) ermittelt wird und dass die Berechnung der NO_x-Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) in Abhängigkeit von dem ermittelten Wert der Sauerstoffkonzentration ($O_{2,AKT}$) erfolgt und wobei die Berechnung der NO_x-Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) auf der Basis des folgenden Zusammenhangs erfolgt:

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}}\right)^\alpha,$$

wobei $NO_{x,AKT}$ die aktuelle NO_x-Konzentration ist, die sich in Abhängigkeit von der aktuellen Sauerstoffkonzentration $O_{2,AKT}$ und den unter Referenzbedingungen erfassten Konzentrationen $NO_{x,REF}$ der NO_x-Rohemissionen und $O_{2,REF}$ der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr (20) berechnen lässt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Exponent α jeweils von der Drehzahl (n) und der Last (L) des Verbrennungsmotors (10) abhängig und von der aktuellen O_2 -Konzentration ($O_{2,AKT}$) unabhängig ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Korrigieren des Exponenten α oder des Wertes $O_{2,AKT}$ in der Gleichung

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}}\right)^\alpha$$

durch eine Korrekturfunktion $f(O_{2,AKT}, L, n)$, die so ausgestaltet ist, dass sie Abweichungen von Werten, die nach der unkorrigierten Gleichung bestimmt wurden, von in gleichen Betriebspunkten empirisch bestimmten Werten verringert.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzkonzentrationen $NO_{x,REF}$ und $O_{2,REF}$ jeweils von der Drehzahl (n) und der Last (L) abhängig sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Exponent (α) durch einen Kennfeldzugriff ermittelt oder während des Betriebes des Verbrennungsmotors (10) berechnet wird.

5. Steuergerät (38), das zur Berechnung der NO_x -Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) eines Verbrennungsmotors (10) aus Betriebsparametern des Verbrennungsmotors (10) eingerichtet ist, wobei das Steuergerät (38) dazu eingerichtet ist, als wesentliche Betriebskenngröße eine Sauerstoffkonzentration ($O_{2,AKT}$) im Saugrohr (20) zu ermitteln und die NO_x -Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) in Abhängigkeit von dem ermittelten Wert der Sauerstoffkonzentration ($O_{2,AKT}$) zu berechnen, wobei das Steuergerät (38) dazu eingerichtet ist, die Berechnung der NO_x -Rohemissionen ($NO_{x,AKT}$) auf der Basis des folgenden Zusammenhangs vorzunehmen:

$$NO_{x,AKT} = NO_{x,REF} \cdot \left(\frac{O_{2,AKT}}{O_{2,REF}} \right)^\alpha,$$

wobei $NO_{x,AKT}$ die aktuelle NO_x -Konzentration ist, die sich in Abhängigkeit von der aktuellen Sauerstoffkonzentration $O_{2,AKT}$ und den unter Referenzbedingungen erfassten Konzentrationen $NO_{x,REF}$ der NO_x -Rohemissionen und $O_{2,REF}$ der Sauerstoffkonzentration im Saugrohr (20) berechnen lässt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Exponent (α) jeweils von der Drehzahl (n) und der Last (L) des Verbrennungsmotors (10) abhängig und von der aktuellen O_2 -Konzentration ($O_{2,AKT}$) unabhängig ist.

6. Steuergerät (38) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass es dazu eingerichtet ist, einen Ablauf eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zu steuern.

7. Computerprogramm, das dazu programmiert ist, auf einem die Merkmale des Anspruchs 6 aufweisenden Steuergerät (38) abzulaufen, wobei das Computerprogramm dazu programmiert ist, beim Ablaufen auf dem Steuergerät (38) einen Ablauf eines Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu steuern, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Computerprogramm dazu programmiert ist, einen Ablauf eines Verfahrens mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 zu steuern.

8. Computerprogramm nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass es dazu programmiert ist, beim Ablaufen auf dem Steuergerät (38)

ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zu steuern.

9. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Computerprogrammprodukt ein Computerprogramm mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 7 oder 8 in maschinenlesbarer Form aufweist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

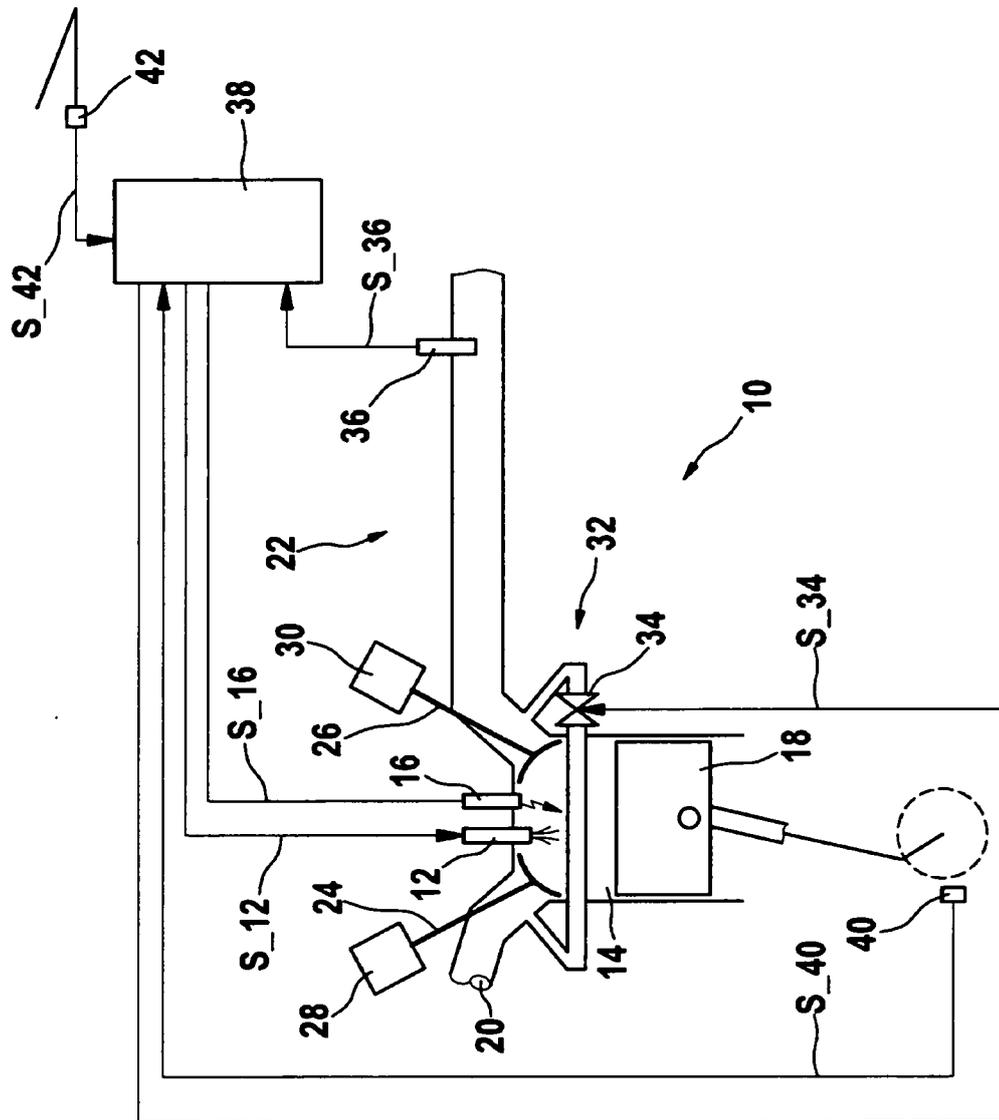


Fig. 1

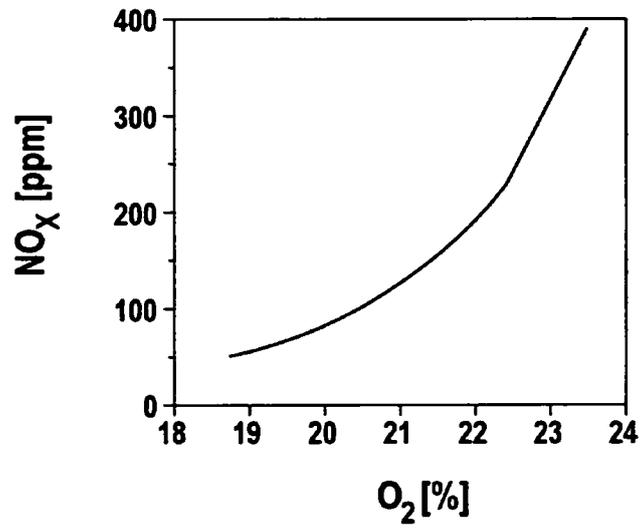


Fig. 2a

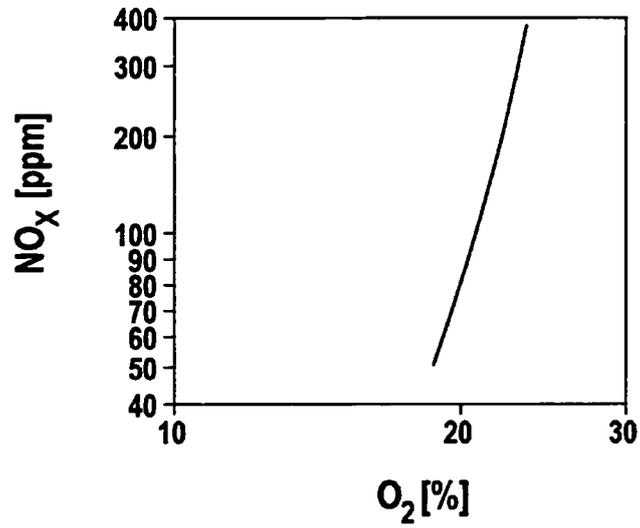


Fig. 2b

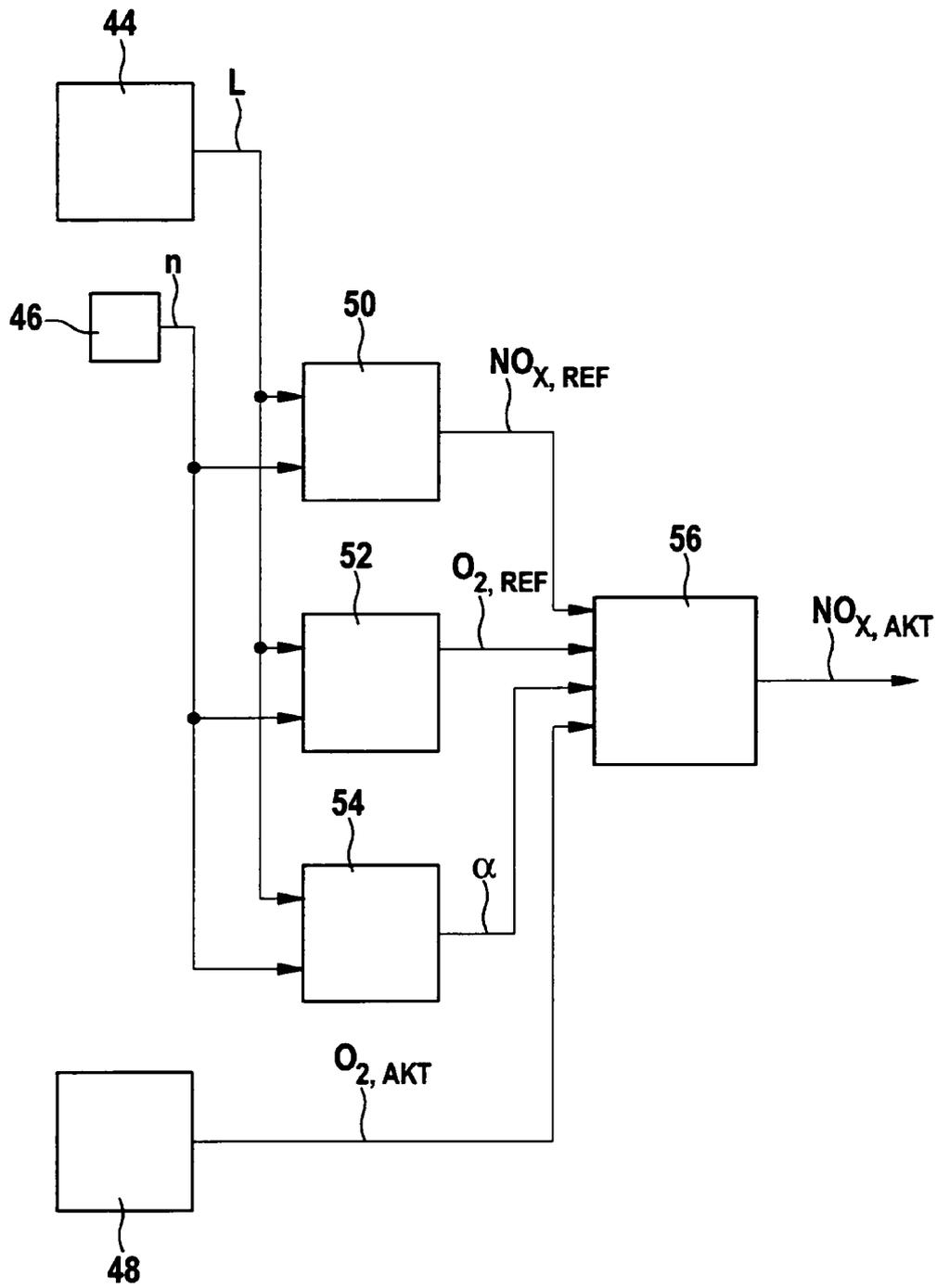


Fig. 3

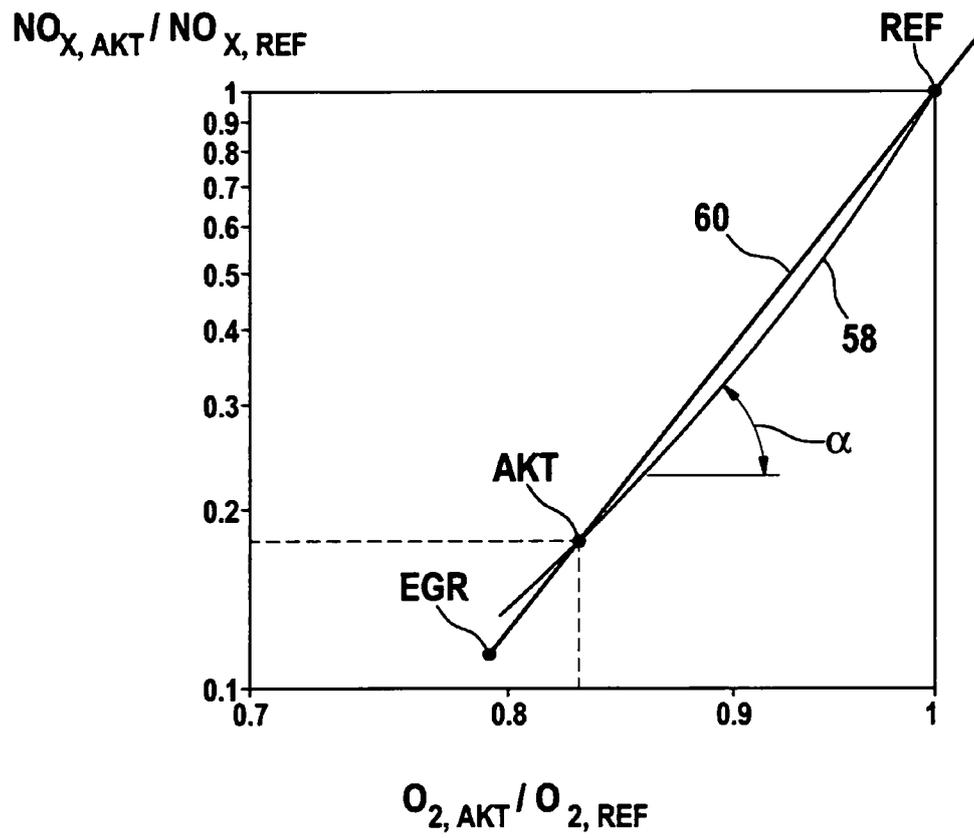


Fig. 4

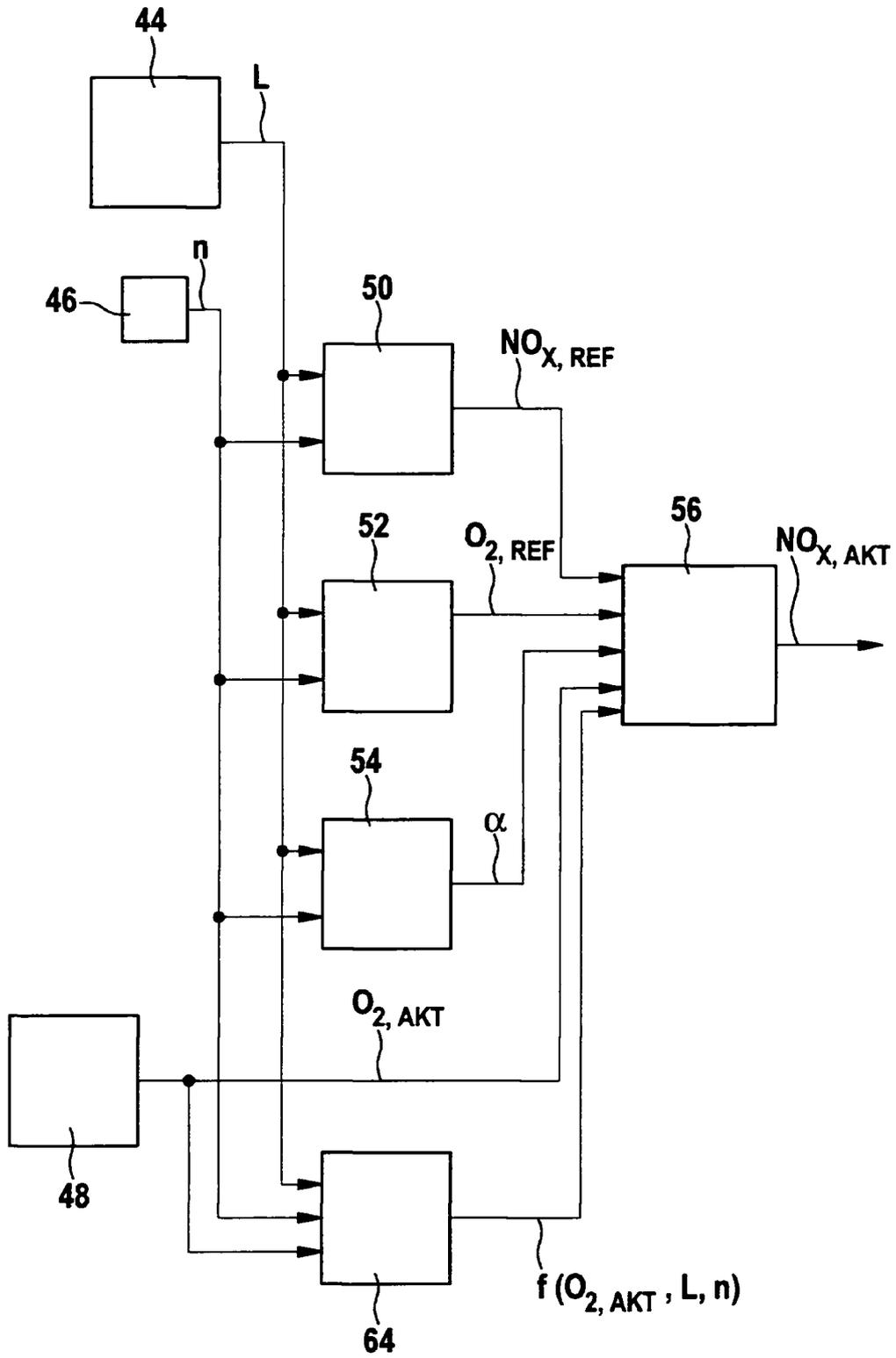


Fig. 5

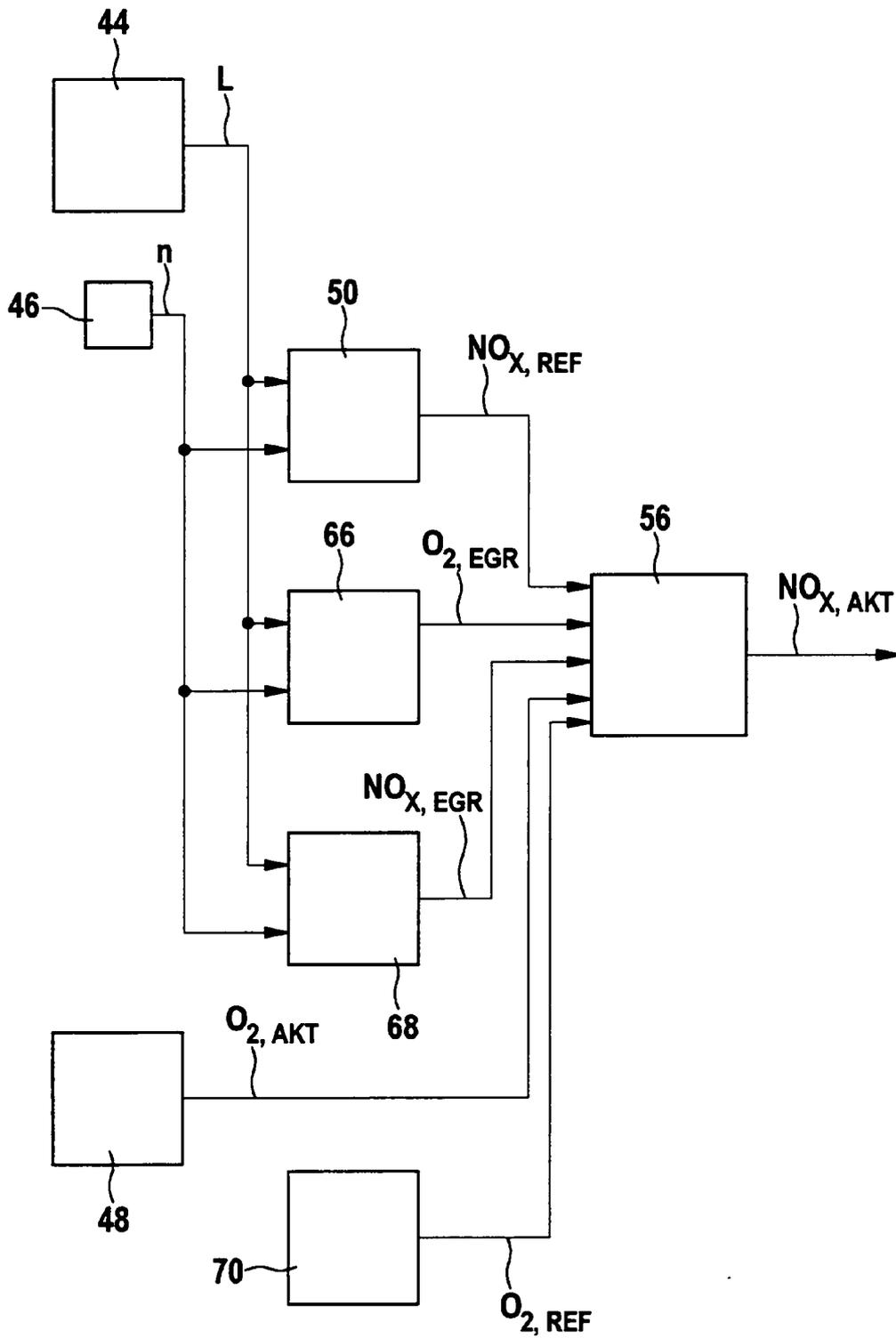


Fig. 6

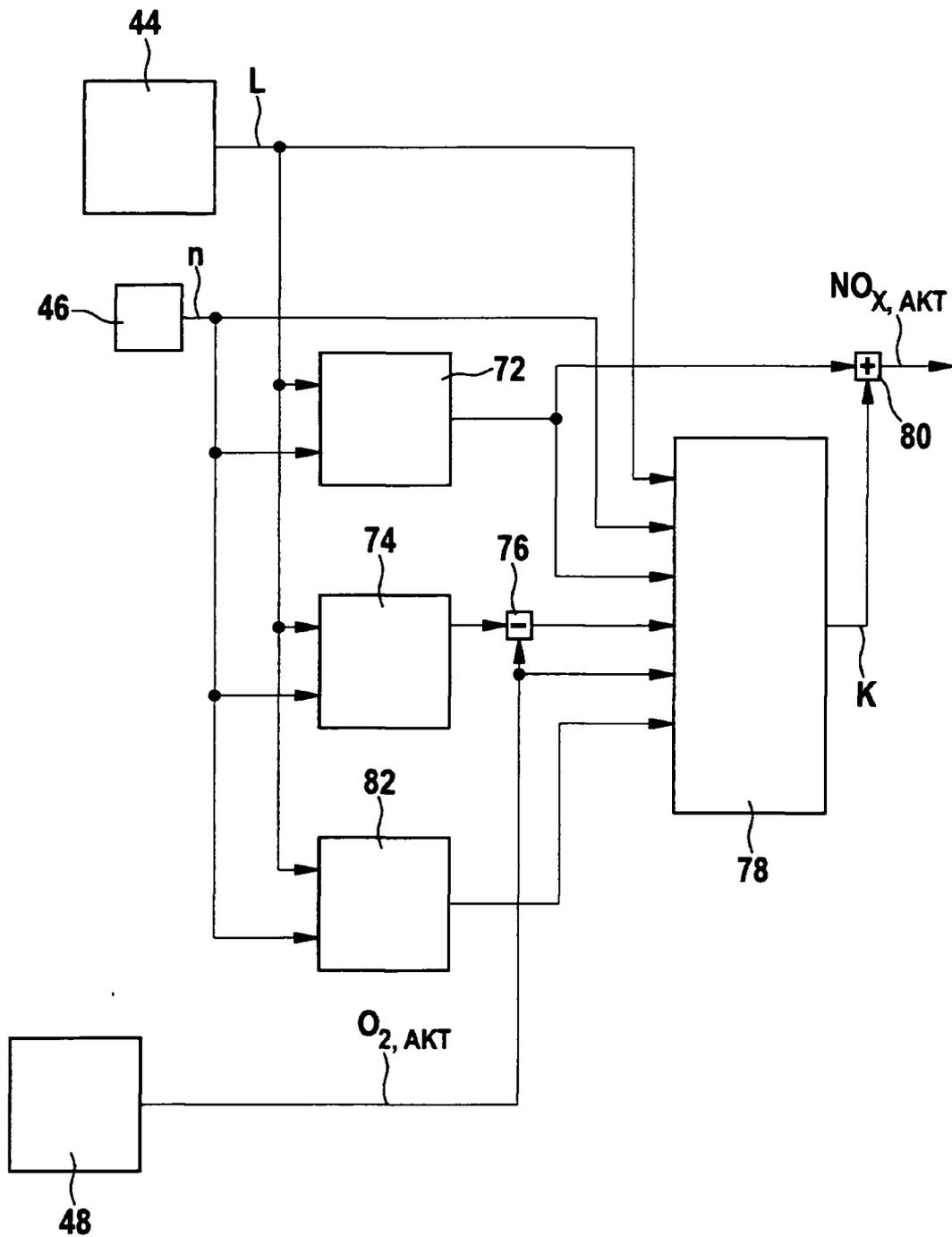


Fig. 7