



(10) **DE 10 2019 215 819 A1** 2021.04.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 215 819.6**

(22) Anmeldetag: **15.10.2019**

(43) Offenlegungstag: **15.04.2021**

(51) Int Cl.: **G01N 27/417 (2006.01)**

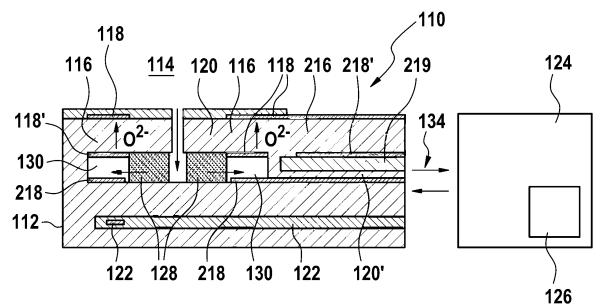
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Ledermann, Bernhard, 71263 Weil der Stadt, DE;
Zimmerschied, Ralf, 70469 Stuttgart, DE; Huber,
Hanna, 70469 Stuttgart, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Breitbandlambdasonde**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Betreiben einer Breitbandlambdasonde (110) vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst die Schritte Regeln der Nernstspannung (U_n) auf einen vorgegebenen Sollwert durch Stellen der Pumpspannung (U_p) und/oder des Pumpstroms (I_p), Messen der Pumpspannung (U_p), des Pumpstroms (I_p) und/oder des Lambdawerts (λ), Bilden von Messwertpaaren basierend auf gemessenen Messwerten der Pumpspannung (U_p), des Pumpstroms (I_p) und/oder des Lambdawerts (λ), Berechnen einer Regressionsgeraden (314, 414, 514, 516) basierend auf den Messwertpaaren zum Approximieren eines vorbestimmten Abschnitts einer (300, 400, 500) der Pumpspannung (U_p), und Ermitteln eines Pumpstromoffsets und/oder Lambdaoffsets basierend auf der Regressionsgeraden (300, 400, 500).



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Sensorelementen und Verfahren zur Erfassung mindestens einer Eigenschaft eines Messgases in einem Messgasraum bekannt. Dabei kann es sich grundsätzlich um beliebige physikalische und/oder chemische Eigenschaften des Messgases handeln, wobei eine oder mehrere Eigenschaften erfasst werden können. Die Erfindung wird im Folgenden insbesondere unter Bezugnahme auf eine qualitative und/oder quantitative Erfassung eines Anteils einer Gas-Komponente des Messgases beschrieben, insbesondere unter Bezugnahme auf eine Erfassung eines Sauerstoffanteils in dem Messgas. Der Sauerstoffanteil kann beispielsweise in Form eines Partialdrucks und/oder in Form eines Prozentsatzes erfasst werden. Alternativ oder zusätzlich sind jedoch auch andere Eigenschaften des Messgases erfassbar, wie beispielsweise die Temperatur.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind insbesondere Sensoren mit keramischen Sensorelementen bekannt, welche auf der Verwendung von elektrolytischen Eigenschaften bestimmter Festkörper basieren, also auf Ionen leitenden Eigenschaften dieser Festkörper. Insbesondere kann es sich bei diesen Festkörpern um keramische Festelektrolyte handeln, wie beispielsweise Zirkoniumdioxid (ZrO_2), insbesondere yttriumstabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ) und scandiumdotiertes Zirkoniumdioxid (ScSZ), die geringe Zusätze an Aluminiumoxid (Al_2O_3) und/oder Siliziumoxid (SiO_2) enthalten können.

[0003] Beispielsweise können derartige Sensorelemente als so genannte Lambdasonden ausgestaltet sein, wie sie beispielsweise aus Konrad Reif (Hrsg.) : Sensoren im Kraftfahrzeug, 1. Auflage 2010, S. 160-165, bekannt sind. Mit Breitbandlambdasonden, insbesondere mit planaren Breitbandlambdasonden, kann beispielsweise die Sauerstoffkonzentration im Abgas in einem großen Bereich bestimmt und damit auf das Luft-Kraftstoff-Verhältnis im Brennraum geschlossen werden. Die Luftzahl λ beschreibt dieses Luft-Kraftstoff-Verhältnis.

[0004] Laut Gesetzgebung zur so genannten On Board Diagnose ist es gefordert, das Signal einer Breitbandlambdasonde zu überwachen. Ein zu überwachendes Fehlerbild ist dabei ein additiver Offset, vor allem in Benzin-Systemen bei stöchiometrischer Verbrennung ($\lambda=1.0$). Aktuell wird dieser Offset mit Hilfe einer Zwei-Punkt-Lambdasonde hinter dem Katalysator identifiziert, in dem bei aktiver Lambda=1-Regelung (Vor- und Hinterkatregelung aktiv) die Differenz des Lambdawerts der Sensoren vor und hinter Kat als Offset der Sonde vor dem Katalysator betrachtet wird. Dafür ist es notwendig, dass es in jedem

Abgastrakt eine Lambdasonde vor dem Katalysator und eine Lambdasonde nach dem Katalysator gibt.

[0005] Aus der EP 0 444 674 B1 ist ein Verfahren bekannt, welches einen Offset der Breitbandlambdasonde vor dem Katalysator identifiziert, ohne dass eine zweite Lambdasonde hinter dem Katalysator als Referenz notwendig ist. Dies kann man als Selbstabgleich bezeichnen, da nur Signale der Breitbandlambdasonde selbst verwendet werden. Bei diesem Verfahren wird neben dem Pumpstromsignal, aus welchem der Lambdawert des Messgases berechnet wird, zusätzlich die Pumpspannung ausgewertet, wobei das Pumpspannungssignal als Referenz dient und angenommen wird, dass die Pumpspannung, insbesondere bei $\lambda=1.0$, keinen Alterungs- oder Störeffekten unterliegt. Durch Abgleich von Pumpstrom und Pumpspannung bei $\lambda=1.0$, was theoretisch einer Pumpspannung vom ungefähr 0 mV entspricht, wird hierbei auf einen Pumpstromoffset und damit auch einen Lambdaoffset geschlossen.

[0006] Aus der DE 10 2013 202 161 A1 und DE 10 2013 202 260 A1 sind Verfahren bekannt, die ebenfalls auf dem Pumpstrom und der Pumpspannung basieren, aus beiden Größen aber je einen Lambdawert berechnen, wobei die Differenz dieser beiden Lambdawerte als Lambdaoffset der Breitbandlambdasonde interpretiert wird, wobei der Lambdawert berechnet aus der Pumpspannung als Referenz dient.

[0007] Trotz der Vorteile, die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren zum Betreiben von Breitbandlambdasonden, beinhalten diese noch Verbesserungspotenzial. So wird bei den genannten Verfahren direkt ein aus der Pumpspannung berechneter Pumpstrom oder Lambdawert mit dem gemessenen Pumpstrom oder dem daraus berechneten Lambdawert verglichen. Diese Verfahren benötigen einen Filter, um Störungen aus den gemessenen Signalen auszugleichen bzw. herauszumitteln.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Es wird daher ein Verfahren zum Betreiben einer Breitbandlambdasonde vorgeschlagen, welches die Nachteile bekannter Verfahren zumindest weitgehend vermeidet und das insbesondere erlaubt, einen additiven Offset einer Breitbandlambdasonde zu identifizieren und gegebenenfalls zu adaptieren, wobei allein Signale der Lambdasonde selbst verwendet werden und kein weiterer Sensor, wie beispielsweise eine Lambdasonde, hinter dem Katalysator notwendig ist.

[0009] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Breitbandlambdasonde, die ein keramisches Sensorelement aufweist, das eine elek-

trochemische Pumpzelle, eine elektrochemische Nernstzelle, eine Diffusionsbarriere und einen Hohlraum aufweist, wobei der Hohlraum über die Diffusionsbarriere mit einem Abgas kommuniziert, wobei die elektrochemische Pumpzelle eine äußere Pumpelektrode aufweist, die dem Abgas unmittelbar ausgesetzt ist, und eine innere Pumpelektrode aufweist, die in dem Hohlraum angeordnet ist, und einen zwischen der äußeren Pumpelektrode und der inneren Pumpelektrode angeordneten ersten Festelektrolyten aufweist, wobei die elektrochemische Nernstzelle eine Nernstelektrode aufweist, die in dem Hohlraum angeordnet ist, und eine Referenzelektrode aufweist, die in einem Referenzgasraum angeordnet ist, und einen zwischen der Nernstelektrode und der Referenzelektrode angeordneten zweiten Festelektrolyten aufweist, wobei zwischen der äußeren Pumpelektrode und der inneren Pumpelektrode eine Pumpspannung anlegbar ist, so dass ein Pumpstrom fließt, wobei zwischen der Nernstelektrode und der Referenzelektrode eine Nernstspannung messbar ist, wobei basierend auf dem Pumpstrom ein Lambdawert eines Messgases erfassbar ist, umfasst das Verfahren die folgenden Schritte, bevorzugt in der angegebenen Reihenfolge:

- Regeln der Nernstspannung auf einen vorgegebenen Sollwert durch Stellen der Pumpspannung und/oder des Pumpstroms,
- Messen der Pumpspannung, des Pumpstroms und/oder des Lambdawerts,
- Bilden von Messwertpaaren basierend auf gemessenen Messwerten der Pumpspannung, des Pumpstroms und/oder des Lambdawerts,
- Berechnen einer Regressionsgeraden basierend auf den Messwertpaaren zum Approximieren eines vorbestimmten Abschnitts einer Referenzkennlinie der Pumpspannung, und
- Ermitteln eines Pumpstromoffsets und/oder Lambdaoffsets basierend auf der Regressionsgeraden.

[0010] Der vorbestimmte Abschnitt der Referenzkennlinie kann ein Abschnitt mit einem steilen Verlauf sein. Unter einem steilen Verlauf kann ein Verlauf verstanden werden, dessen Steigung einen vorbestimmten Schwellwert überschreitet, wobei der vorbestimmte Schwellwert von null verschieden ist.

[0011] Der Abschnitt mit dem steilen Verlauf kann durch ein Pumpstromintervall, Lambdaintervall und/oder Pumpspannungsintervall definiert ist. Somit wird der Abschnitt durch eine untere Grenze und eine obere Grenze für den Pumpstrom, das Lambda und/oder die Pumpspannung definiert.

[0012] Das Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset können basierend auf einem Abstand der Regressionsgeraden von der Referenzkennlinie der Pump-

spannung an einer vorbestimmten Stelle ermittelt werden. Beispielsweise ist die vorbestimmte Stelle ein Pumpstrom bei einer Pumpspannung von 0 mV oder ein Pumpstrom bei $\lambda = 1$.

[0013] Das Verfahren kann weiterhin Ermitteln von einem korrigierten Pumpstrom und/oder Lambdawerts basierend auf dem Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset umfassen. Damit wird die Messgenauigkeit erhöht.

[0014] Alternativ oder zusätzlich kann das Verfahren weiterhin Durchführen einer Diagnose der Breitbandlambdasonde umfassen, wobei ein Fehler der Breitbandlambdasonde identifiziert wird, falls der Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset einen ersten vorbestimmten Schwellwert überschreitet oder einen zweiten vorbestimmten Schwellwert, der sich von dem ersten vorbestimmten Schwellwert unterscheidet, unterschreitet. Entsprechend kann der Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset als Diagnosekriterium verwendet werden, um einen Selbstabgleich durchzuführen, der den gesetzlich geforderten Vorgaben zur On Board Diagnose entspricht.

[0015] Die Regressionsgerade kann mittels des Verfahrens der kleinsten Quadrate berechnet werden. Dabei kann das Berechnungsverfahren der kleinsten Quadrate rekursiv implementierbar sein. Durch Bilden der Regressionsgeraden können implizit Störungen aus den gemessenen Signalen ausgeglichen bzw. herausgemittelt werden, so dass kein weiterer Filter notwendig ist. Weiterhin kann die Regressionsgerade mit dem linearen Verfahren der kleinsten Quadrate ermittelt werden, was sich auch rekursiv implementieren lässt, so dass der Speicher- und Rechenbedarf z.B. in einem Motorsteuergerät gering ist.

[0016] Die Messwertpaare können eine gemessene Pumpspannung U_p abhängig vom Pumpstrom I_p , einen gemessenen Pumpstrom I_p abhängig von der Pumpspannung, eine gemessene Pumpspannung abhängig von Lambda oder gemessenes Lambda abhängig von der Pumpspannung U_p umfassen. Mit anderen Worten wird aus mehreren Messwerten eine Regressionsgerade berechnet wie z.B. gemessene Pumpspannung U_p abhängig vom Pumpstrom I_p oder umgekehrt oder gemessene Pumpspannung abhängig von Lambda oder umgekehrt.

[0017] Weiterhin wird ein Computerprogramm vorgeschlagen, welches dazu eingerichtet ist, jeden Schritt des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ausführungen durchzuführen.

[0018] Weiterhin wird ein elektronisches Speichermedium vorgeschlagen, auf welchem ein solches Computerprogramm gespeichert ist.

[0019] Weiterhin wird ein elektronisches Steuergerät vorgeschlagen, welches ein solches elektronisches Speichermedium umfasst.

[0020] Ein Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist, dass weiterhin die Pumpspannung als Referenz dient, dass aber nicht direkt ein aus der Pumpspannung berechneter Pumpstrom oder Lambdawert mit dem gemessenen Pumpstrom oder dem daraus berechneten Lambdawert verglichen wird, sondern zunächst aus mehreren Messwerten eine Regressionsgerade berechnet wird. Die Regressionsgerade soll dabei den steilen Abschnitt einer für die Breitbandlambdasonde typischen Kennlinie abbilden. Der Abstand dieser Regressionsgeraden von einer nominalen Sensorkennlinie an einem typischen Punkt kann dann als Offset der Breitbandlambdasonde interpretiert werden.

[0021] Vorteil der Erfindung ist, dass durch Bilden der Regressionsgeraden implizit Störungen aus den gemessenen Signalen ausgeglichen bzw. herausgemittelt werden, so dass kein weiterer Filter notwendig ist. Weiterhin kann die Regressionsgerade mit dem linearen Verfahren der kleinsten Quadrate ermittelt werden, was sich auch rekursiv implementieren lässt, so dass der Speicher- und Rechenbedarf z.B. in einem Motorsteuergerät gering ist.

[0022] Außerdem ist das Verfahren anwendbar für Größen auf Basis Pumpstrom oder Lambda. Damit kann je nach Spezifikation der Breitbandlambdasonde die Regressionsgerade Pumpspannung = f(Pumpstrom) oder Pumpspannung = f(Lambda) berechnet und mit der auf derselben Basis spezifizierten nominalen Kennlinie verglichen werden.

[0023] Da der Vergleichspunkt von Regressionsgerade und nominaler Kennlinie frei wählbar ist z.B. Pumpspannung = 0mV oder Pumpspannung bei $\lambda=1$, kann dieser vorteilhafterweise auf einen gut spezifizierbaren und stabilen Punkt der Kennlinie der Breitbandlambdasonde gelegt werden.

Figurenliste

[0024] Weitere optionale Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

[0025] Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsansicht einer Breitbandlambdasonde,

Fig. 2 exemplarisch ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 ein Ergebnis des Verfahrens bei einer neuen Breitbandlambdasonde ohne Offset,

Fig. 4 ein Ergebnis des Verfahrens bei einer neuen Breitbandlambdasonde mit Offset und

Fig. 5 ein Ergebnis des Verfahrens bei gealterten Breitbandlambdasonden mit Offset.

Ausführungsformen der Erfindung

[0026] In **Fig. 1** zeigt eine Querschnittsansicht einer Breitband-Lambda-Sonde **110**. Die Breitband-Lambda-Sonde **110** ist mit einem elektronischen Steuergerät **124** verbunden. Die Breitband-Lambda-Sonde **110** umfasst ein Sensorelement **112**. Das Sensorelement **112** weist eine elektrochemische Pumpzelle **116** mit einer äußeren Pumpelektrode **118** und einer inneren Pumpelektrode **118'** und einem dazwischen angeordneten Festelektrolyten **120** auf. Die äußere Pumpelektrode **118** ist von einem Messgas **114**, wie beispielsweise Abgas, lediglich durch eine Schutzschicht getrennt, unmittelbar ausgesetzt, die innere Pumpelektrode **118'** ist in einem inneren Hohlraum **130** des Sensorelements **112** angeordnet. Der Zutritt des Gases zu dem Hohlraum **130** bzw. zu der in ihm angeordneten Elektrode **118** ist durch eine poröse Diffusionsbarriere **128** limitiert.

[0027] Das Sensorelement **112** weist eine elektrochemische Nernstzelle **216** mit einer Nernstelektrode **218** und einer in einem Referenzkanal **219** angeordneten Referenzelektrode **218'** auf, die durch den zweiten Festelektrolyten **120'** miteinander verbunden sind. Das Sensorelement **112** umfasst ferner ein als elektrische Widerstandheizung ausgebildetes Heizelement **122**.

[0028] Das elektronische Steuergerät **124** ist eingerichtet, um das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb der Breitbandlambdasonde durchzuführen, insbesondere um eine aktivierbare und/oder deaktivierbare äußere elektrische Beschaltung zu realisieren, durch die elektrische Spannungen und/oder elektrische Ströme in die elektrochemische Pumpzelle **116**, die elektrochemische Nernstzelle **216** und/oder das Heizelement **122** einprägnbar sind. Überdies kann das Steuergerät **124** eingerichtet sein, die Bestimmung einer Temperatur des Sensorelements **112** und/oder der elektrochemischen Pumpzelle **116** und/oder der elektrochemischen Nernstzelle **216** vorzunehmen, beispielsweise durch entsprechende Widerstandsmessungen oder dergleichen. Das elektronische Steuergerät **124** kann zu diesem Zweck mindestens eine Datenverarbeitungsvorrichtung **126** umfassen. Weiterhin kann das elektronische Steuergerät **124** ein elektronisches Speichermedium umfassen, auf dem ein Computerprogramm gespeichert ist, das Anweisungen zum Durchführen der einzelnen Verfahrensschritte umfasst. Das Sensorelement **112** kann über mindestens eine Schnittstelle **134** mit dem elektronischen Steuergerät **124** und/oder mit der Datenverarbeitungsvorrichtung **126** verbunden sein. Insbesondere ist zwischen der äußeren Pumpelek-

trode **118** und der inneren Pumpelektrode **118'** eine Pumpspannung U_p anlegbar, sodass ein Pumpstrom I_p fließt, und zwischen der Nernstelektrode **218** und der Referenzelektrode **218'** eine Nernstspannung U_n messbar.

[0029] Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben. Der Betrieb der Lambdasonde **110** beginnt, nachdem das Sensorelement **112** ausreichend aufgeheizt ist, beispielsweise nachdem mittels der elektrischen Widerstandsheizung eine Betriebstemperatur zwischen 700°C und 800°C eingeregelt ist. Die Temperatur des Sensorelements **112** und damit der Innenwiderstand der elektrochemischen Zellen **116**, **216** wird nachfolgend weiterhin stets auf diese Temperatur geregelt.

[0030] Im Betrieb der Breitbandlambdasonde wird die Nernstspannung U_n stets auf einen vorgegebenen Sollwert, beispielsweise 450mV geregelt, wie in Schritt **S10** angegeben ist. Hierzu wird die Pumpspannung U_p und/oder der Pumpstroms I_p durch einen Regelalgorithmus geeignet gestellt. Es wird somit in dem inneren Hohlraum **130** ein Gasgemisch mit einer vorgegebenen Luftzahl eingestellt, beispielsweise $\lambda = 1$. Dieser Pumpstrom I_p fließt physikalisch als Ionenstrom in der elektrochemischen Pumpzelle **116** und als Elektronenstrom in deren Zuleitung und ist grundsätzlich bereits ein Maß für den Partialdruck des Sauerstoffs im Messgas **114**, wie beispielsweise Abgas, also für λ . Basierend auf dem Pumpstrom I_p ist somit ein Lambdawert des Messgases **114** erfassbar. Die Grundlage für das Einstellen der Spannung an so genannten Nernstzellen ist das chemische Potential. Dieses ist jedoch gegenüber einem definierten Fix-Potential anzugeben. Innerhalb der Lambdasonde **110** existiert ein im Normalfall klar definiertes chemisches Potential an dem RE-Anschluss der Lambdasonde, wo sich die sogenannte Luft-Referenz befindet. Auf diese Luft-Referenz beziehen sich alle weiteren Potentiale des Lambda-Sensors inklusive dem Potential am IPE-Pin, wo sich der sogenannte Lambda-1-Hohlraum **130** befindet, dessen chemisches Potential über eine Differenzspannung von 450mV so eingestellt wird, dass sich dort der Lambda-Wert von 1 einstellt. Die bisher benannte Pumpspannung U_p ist die Spannung des APE-Pins gegenüber dem IPE-Pin. Da sich jedoch der IPE-Pin auf ein Potential am RE-Pin bezieht, könnte bei dem Verfahren statt der Pumpspannung U_p auch die Spannung zwischen APE-Pin und RE-Pin verwendet werden, die in diesem Fall als Sensorinternes Signal einer binären Lambdasonde bezeichnet werden kann.

[0031] In Schritt **S12** wird die Pumpspannung U_p , der Pumpstrom I_p und/oder der Lambdawert des Messgases gemessen, beispielsweise erfasst. Die dadurch erfassten Messwerte werden zumindest vorübergehend gespeichert.

[0032] Basierend auf den gemessenen Messwerten der Pumpspannung U_p , des Pumpstroms I_p und/oder des Lambdawerts des Messgases werden in Schritt **S14** Messwertpaare gebildet.

[0033] In Schritt **S16** wird basierend auf den Messwertpaaren eine Regressionsgerade zum Approximieren eines vorbestimmten Abschnitts einer Referenzkennlinie der Pumpspannung U_p berechnet. So wird aus mehreren Messwertpaaren wie beispielsweise gemessene Pumpspannung U_p abhängig vom Pumpstrom I_p oder umgekehrt oder gemessene Pumpspannung U_p abhängig von λ oder umgekehrt eine Regressionsgerade berechnet. Der vorbestimmte Abschnitt der Referenzkennlinie kann ein Abschnitt mit einem steilen Verlauf sein, d.h. ein Abschnitt mit einer Steigung, die deutlich größer, d.h. beispielsweise mindestens Faktor 3 und beispielsweise bevorzugt mindestens Faktor 5, als in übrigen Abschnitten der Kennlinie ist. Ein solch steiler Verlauf ist für Lambdasonden typisch und allgemein bekannt. Die Regressionsgerade soll somit den steilen Abschnitt einer für die Breitbandlambdasonde typischen Funktion $U_p = f(I_p)$ oder $U_p = f(\lambda)$ abbilden. Der Abschnitt mit dem steilen Verlauf kann durch ein Pumpstromintervall, Lambdaintervall und/oder Pumpspannungsintervall definiert sein. Mit anderen Worten kann der steile Abschnitt dabei anhand der spezifizierten nominalen Kennlinie durch ein Pumpstromintervall oder Lambda-Intervall und/oder ein Pumpspannungsintervall definiert werden.

[0034] Zur Schätzung der Regressionsgeraden können zum einen Messwertpaare aus dem definierten U_p/I_p - oder U_p/λ -Intervall zunächst zwischengespeichert und dann eine lineare Regression mit dem Verfahren der kleinsten Quadrate in einem Rechenschritt durchgeführt werden. Alternativ ist die Berechnung auch rekursiv möglich, wodurch Speicher- und Rechenbedarf reduziert wird. Dabei kann sowohl U_p abhängig von I_p oder λ berechnet werden oder auch der umgekehrte Zusammenhang, je nachdem welche Größe als stärker verrauscht betrachtet wird. Annahme des Verfahrens der kleinsten Quadrate ist nämlich, dass nur die abhängige Größe (Y-Achse) gestört ist. Da hier jedoch sowohl die Pumpspannung als auch der Pumpstrom oder Lambda gemessen und damit gestört sind, kann auch das Verfahren der totalen kleinsten Quadrate vorteilhaft verwendet werden, welches Störungen sowohl auf X-Achse als auch auf der Y-Achse bei der Parameterschätzung berücksichtigen kann.

[0035] In Schritt **S18** wird basierend auf der Regressionsgeraden ein Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset ermittelt. Insbesondere wird Der Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset basierend auf einem Abstand der Regressionsgeraden von der Referenzkennlinie der Pumpspannung an einer vorbestimmten Stelle ermittelt. Die vorbestimmte Stelle ist bei-

spielsweise ein Pumpstrom bei einer Pumpspannung von 0 mV oder ein Pumpstrom bei $\lambda = 1$. Mit anderen Worten kann der Abstand dieser Regressionsgeraden von einer nominalen Sensorkennlinie an einem typischen Punkt, wie z.B. horizontaler Abstand von Regressionsgerade zu nominaler Sensorkennlinie $U_p=f(I_p)$ bei $U_p=0\text{mV}$ oder U_p bei $\lambda=1$, dann als Offset, wie z.B. Pumpstrom oder Lambdaoffset, interpretiert werden.

[0036] In Schritt **S20** wird basierend auf dem Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset ein korrigierter Pumpstrom und/oder Lambdawert ermittelt, beispielsweise durch Subtraktion oder Addition von dem gemessenen Pumpstrom I_p oder Lambda. Der mit diesem Verfahren ermittelte Pumpstromoffset oder Lambdaoffset kann somit direkt zur Adaption und Korrektur des fehlerhaften Pumpstromsignals oder Lambdasignals verwendet werden.

[0037] Weiterhin kann in Schritt **S22** optional eine Diagnose der Breitbandlambdasonde **110** durchgeführt werden, wobei ein Fehler der Breitbandlambdasonde **110** identifiziert wird, falls der Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset einen ersten vorbestimmten Schwellwert überschreitet oder einen zweiten vorbestimmten Schwellwert, der sich von dem ersten vorbestimmten Schwellwert unterscheidet, unterschreitet. Weiterhin kann somit der identifizierte Pumpstromoffset zur Diagnose der Breitbandlambdasonde **110** verwendet werden, indem ein Fehlereintrag erfolgt, wenn der identifizierte Pumpstromoffset oder Lambdaoffset größer oder kleiner spezifizierter Schwellwerte ist.

[0038] Die Verwendung der Erfindung kann nachgewiesen werden, wenn z.B. beim Einbringen eines Leckstroms oder einer Einkopplung auf den Pumpstrom ein Fehler erkannt wird. Dieser wird dann durch das Steuergerät eingetragen und über die Diagnose-Schnittstelle messbar gemacht.

[0039] **Fig. 3** zeigt ein Ergebnis des Verfahrens bei einer neuen Breitbandlambdasonde ohne Offset. Bei dem gezeigten Beispiel ist auf der X-Achse der gemessene Pumpstrom I_p oder das gemessene Lambda aufgetragen. Auf der Y-Achse ist die davon abhängige Pumpspannung U_p aufgetragen. Weiterhin ist der Verlauf einer beispielhaften Referenzkennlinie **300** der neuen Breitbandlambdasonde dargestellt. Der steile Abschnitt der Referenzkennlinie **300** ist durch ein Pumpstromintervall oder Lambdaintervall mit einer unteren Grenze **302** und einer oberen Grenze **304** sowie durch ein Pumpspannungsintervall mit einer unteren Grenze **306** und einer oberen Grenze **308** definiert. Die jeweiligen Messwerte **310**, **312** für den gemessenen Pumpstrom I_p bzw. Lambda sind ebenfalls dargestellt. Dabei sind Messwerte außerhalb des Pumpstrom- bzw. Lambdaintervalls und Pumpspannungsintervalls mit **310** bezeich-

net und Messwerte innerhalb des Pumpstrom- bzw. Lambdaintervalls und Pumpspannungsintervalls sind mit **312** bezeichnet. Die so berechnete Regressionsgerade **314** ist ebenfalls dargestellt. Da es sich bei dem Beispiel in **Fig. 3** um eine neue Breitbandlambdasonde ohne Offset handelt, ist ein horizontaler Abstand **316** der Regressionsgeraden **314** von der Referenzkennlinie **300** an einer vorbestimmten Stelle innerhalb des Abschnitts mit dem steilen Verlauf, wie beispielsweise bei einer Pumpspannung $U_p = 0$ mV, ebenfalls null, was keinen Offset anzeigt.

[0040] **Fig. 4** zeigt ein Ergebnis des Verfahrens bei einer neuen Breitbandlambdasonde mit Offset. Bei dem gezeigten Beispiel ist auf der X-Achse der gemessene Pumpstrom I_p oder das gemessene Lambda aufgetragen. Auf der Y-Achse ist die davon abhängige Pumpspannung U_p aufgetragen. Weiterhin ist der Verlauf einer beispielhaften Referenzkennlinie **400** der neuen Breitbandlambdasonde dargestellt. Der steile Abschnitt der Referenzkennlinie **400** ist durch ein Pumpstromintervall oder Lambdaintervall mit einer unteren Grenze **402** und einer oberen Grenze **404** sowie durch ein Pumpspannungsintervall mit einer unteren Grenze **406** und einer oberen Grenze **408** definiert. Die jeweiligen Messwerte **410**, **412** für den gemessenen Pumpstrom I_p bzw. Lambda sind ebenfalls dargestellt. Dabei sind Messwerte außerhalb des Pumpstrom- bzw. Lambdaintervalls und Pumpspannungsintervalls mit **410** bezeichnet und Messwerte innerhalb des Pumpstrom- bzw. Lambdaintervalls und Pumpspannungsintervalls sind mit **412** bezeichnet. Die so berechnete Regressionsgerade **414** ist ebenfalls dargestellt. Da es sich bei dem Beispiel in **Fig. 4** um eine neue Breitbandlambdasonde mit Offset handelt, ist ein horizontaler Abstand **416** der Regressionsgeraden **414** von der Referenzkennlinie **400** an einer vorbestimmten Stelle innerhalb des Abschnitts mit dem steilen Verlauf, wie beispielsweise bei einer Pumpspannung $U_p = 0$ mV, von null verschieden, was einen Offset anzeigt.

[0041] **Fig. 5** zeigt ein Ergebnis des Verfahrens bei gealterten Breitbandlambdasonden mit Offset. Bei dem gezeigten Beispiel ist auf der X-Achse der gemessene Pumpstrom I_p oder das gemessene Lambda aufgetragen. Auf der Y-Achse ist die davon abhängige Pumpspannung U_p aufgetragen. Weiterhin ist der Verlauf einer beispielhaften Referenzkennlinie **500** einer neuen Breitbandlambdasonde dargestellt. Der steile Abschnitt der Referenzkennlinie **500** ist durch ein Pumpstromintervall oder Lambdaintervall mit einer unteren Grenze **502** und einer oberen Grenze **504** sowie durch ein Pumpspannungsintervall mit einer unteren Grenze **506** und einer oberen Grenze **508** definiert. Weiterhin sind ein erster Verlauf **510** der Pumpspannung U_p abhängig von I_p oder Lambda einer ersten gealterten Breitbandlambdasonde sowie ein zweiter Verlauf **512** der Pumpspannung U_p abhängig von I_p oder Lambda dargestellt. Eine be-

rechnete erste Regressionsgerade **514** der ersten gealterten Breitbandlambdasonde und eine berechnete zweite Regressionsgerade **516** der zweiten gealterten Breitbandlambdasonde sind ebenfalls dargestellt. Da es sich bei dem Beispiel in **Fig. 5** um gealterte Breitbandlambdasonden mit Offset handelt, ist ein horizontaler Abstand **518** von beispielsweise der zweiten Regressionsgeraden **516** von der Referenzkennlinie **500** an einer vorbestimmten Stelle innerhalb des Abschnitts mit dem steilen Verlauf, wie beispielsweise bei einer Pumpspannung $U_p = 0$ mV von null verschieden, was einen Offset anzeigt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 0444674 B1 [0005]
- DE 102013202161 A1 [0006]
- DE 102013202260 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Breitbandlambdasonde (110), wobei die Breitbandlambdasonde (110) ein keramisches Sensorelement (112) aufweist, das eine elektrochemische Pumpzelle (116), eine elektrochemische Nernstzelle (216), eine Diffusionsbarriere (128) und einen Hohlraum (130) aufweist, wobei der Hohlraum (130) über die Diffusionsbarriere (128) mit einem Abgas (114) kommuniziert, wobei die elektrochemische Pumpzelle (116) eine äußere Pumpelektrode (118) aufweist, die dem Abgas (114) unmittelbar ausgesetzt ist, und eine innere Pumpelektrode (118') aufweist, die in dem Hohlraum (130) angeordnet ist, und einen zwischen der äußeren Pumpelektrode (118) und der inneren Pumpelektrode (118') angeordneten ersten Festelektrolyten (120) aufweist, wobei die elektrochemische Nernstzelle (216) eine Nernstelektrode (218) aufweist, die in dem Hohlraum (130) angeordnet ist, und eine Referenzelektrode (218') aufweist, die in einem Referenzgasraum (219) angeordnet ist, und einen zwischen der Nernstelektrode (218) und der Referenzelektrode (218') angeordneten zweiten Festelektrolyten (120') aufweist, wobei zwischen der äußeren Pumpelektrode (118) und der inneren Pumpelektrode (118') eine Pumpspannung (U_p) anlegbar ist, so dass ein Pumpstrom (I_p) fließt, wobei zwischen der Nernstelektrode (218) und der Referenzelektrode (218') eine Nernstspannung (U_n) messbar ist, wobei basierend auf dem Pumpstrom ein Lambdawert (λ) eines Messgases erfassbar ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Regeln der Nernstspannung (U_n) auf einen vorgegebenen Sollwert durch Stellen der Pumpspannung (U_p) und/oder des Pumpstroms (I_p),
- Messen der Pumpspannung (U_p), des Pumpstroms (I_p) und/oder des Lambdawerts (λ),
- Bilden von Messwertpaaren basierend auf gemessenen Messwerten der Pumpspannung (U_p), des Pumpstroms (I_p) und/oder des Lambdawerts (λ),
- Berechnen einer Regressionsgeraden (314, 414, 514, 516) basierend auf den Messwertpaaren zum Approximieren eines vorbestimmten Abschnitts einer Referenzkennlinie (300, 400, 500) der Pumpspannung (U_p), und
- Ermitteln eines Pumpstromoffsets und/oder Lambdaoffsets basierend auf der Regressionsgeraden (314, 414, 514, 516).

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der vorbestimmte Abschnitt der Referenzkennlinie (300, 400, 500) ein Abschnitt mit einem steilen Verlauf ist.

3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Abschnitt mit dem steilen Verlauf durch ein Pumpstromintervall, Lambdaintervall und/oder Pumpspannungsintervall definiert ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend Ermitteln des Pumpstromoffsets und/oder Lambdaoffsets basierend auf einem Abstand der Regressionsgeraden (314, 414, 514, 516) von der Referenzkennlinie (300, 400, 500) der Pumpspannung (U_p) an einer vorbestimmten Stelle.

5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die vorbestimmte Stelle ein Pumpstrom (I_p) bei einer Pumpspannung (U_p) von 0 mV oder ein Pumpstrom (I_p) bei $\lambda = 1$ ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend Ermitteln von einem korrigierten Pumpstrom und/oder Lambdawerts basierend auf dem Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend Durchführen einer Diagnose der Breitbandlambdasonde (110), wobei ein Fehler der Breitbandlambdasonde (110) identifiziert wird, falls der Pumpstromoffset und/oder Lambdaoffset einen ersten vorbestimmten Schwellwert überschreitet oder einen zweiten vorbestimmten Schwellwert, der sich von dem ersten vorbestimmten Schwellwert unterscheidet, unterschreitet.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Regressionsgerade (314, 414, 514, 516) mittels des Verfahrens der kleinsten Quadrate berechnet wird, wobei das Verfahren der kleinsten Quadrate bevorzugt rekursiv implementierbar ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messwertpaare eine gemessene Pumpspannung (U_p) abhängig vom Pumpstrom (I_p), einen gemessenen Pumpstrom (I_p) abhängig von der Pumpspannung (U_p), eine gemessene Pumpspannung (U_p) abhängig von λ oder gemessenes λ abhängig von der Pumpspannung (U_p) umfassen.

10. Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, jeden Schritt des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

11. Elektronisches Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm nach dem vorhergehenden Anspruch gespeichert ist.

12. Elektronische Steuergerät, welches ein elektronisches Speichermedium nach dem vorhergehenden Anspruch umfasst.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

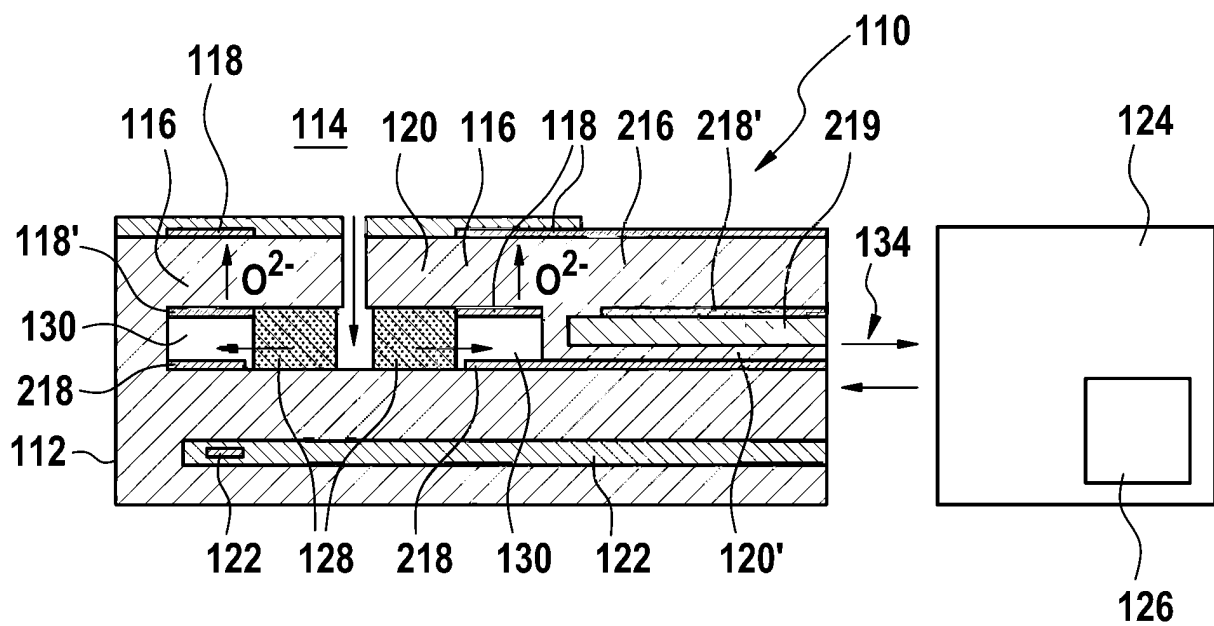


FIG. 1

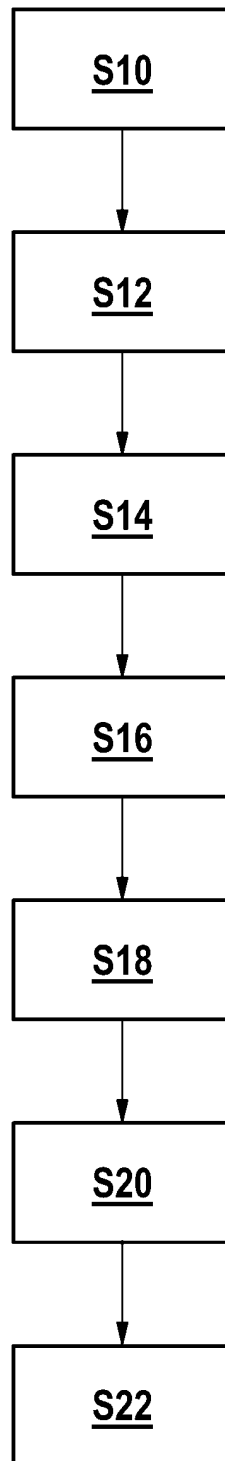


FIG. 2

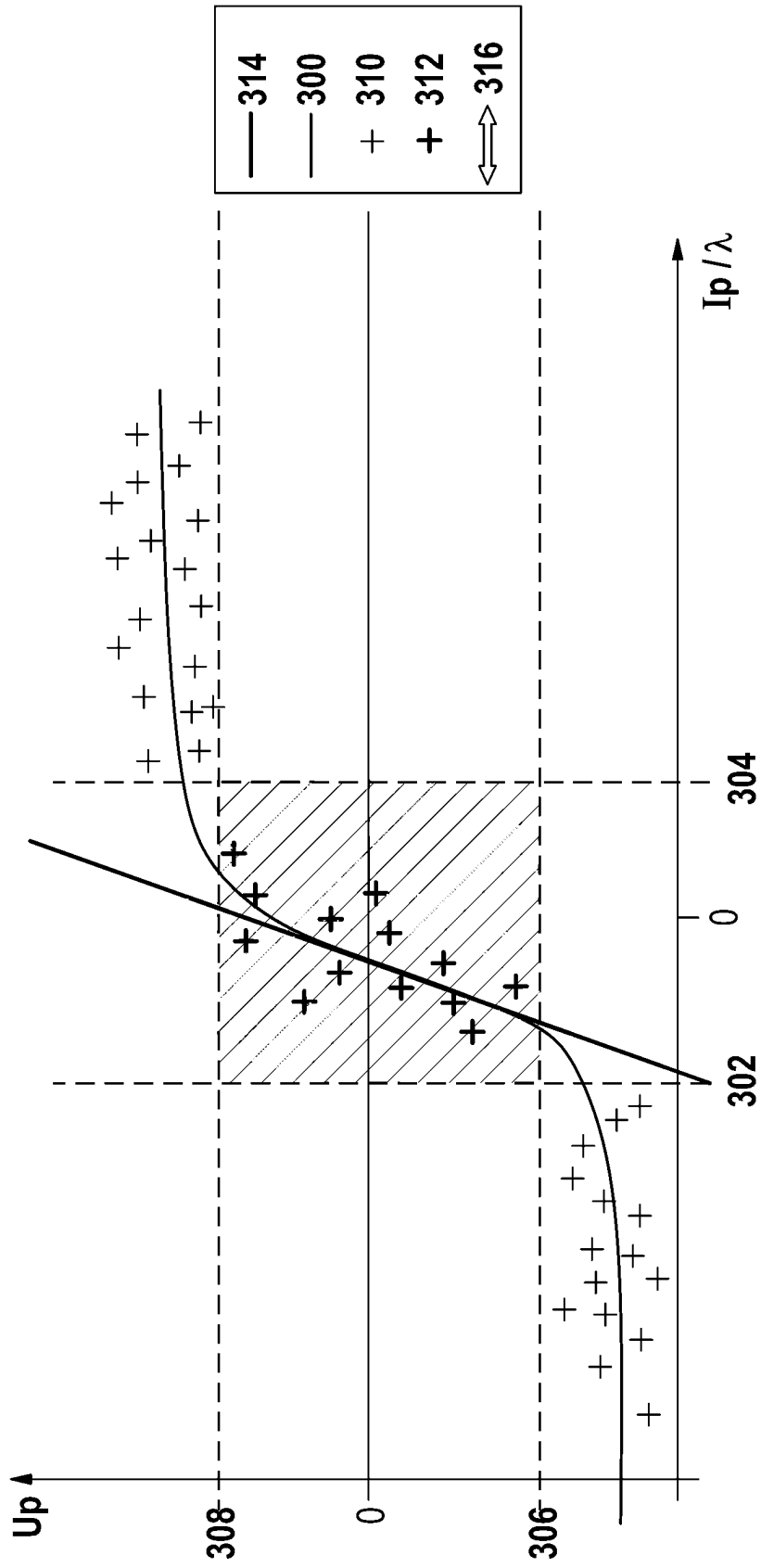


FIG. 3

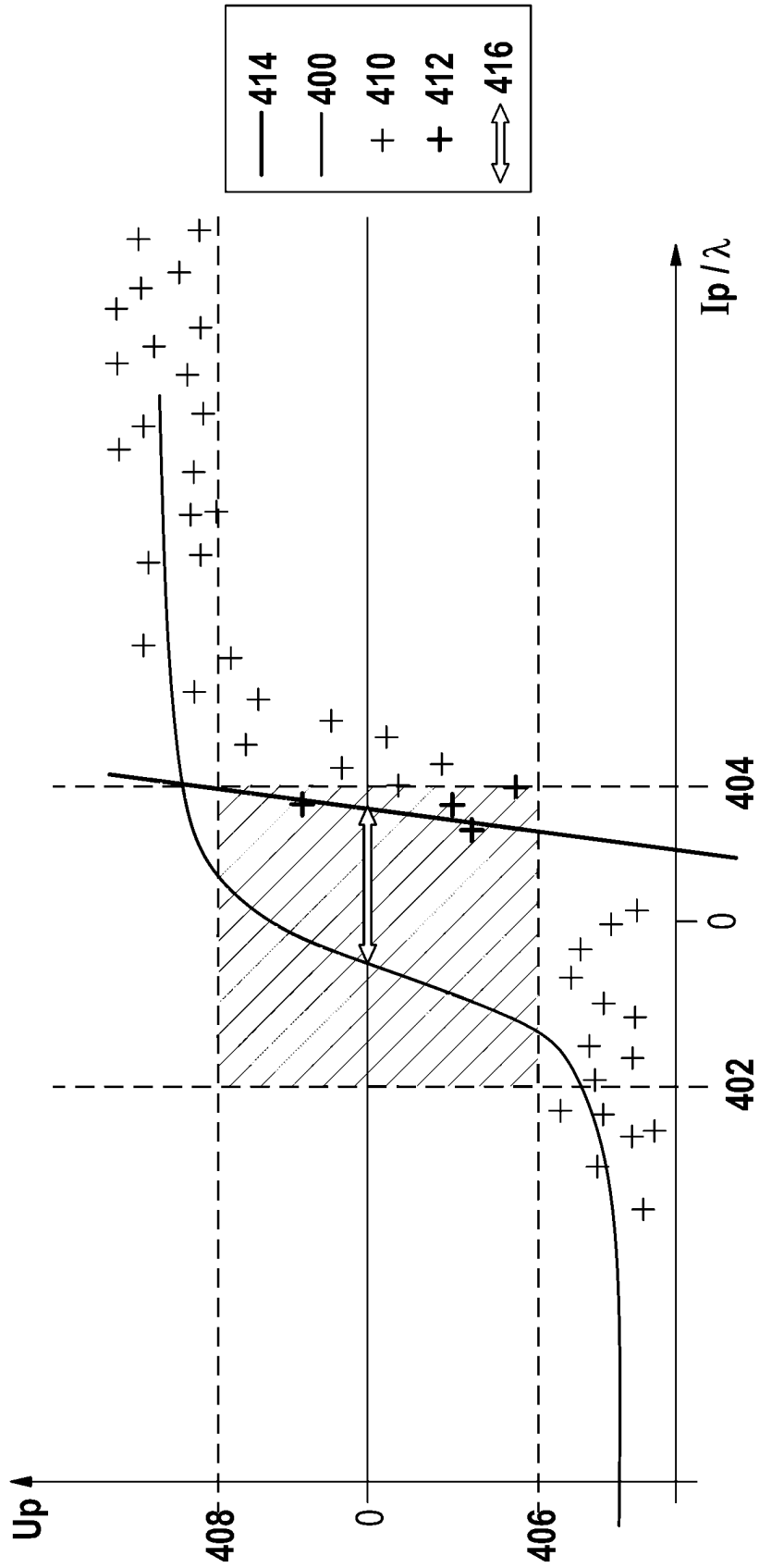


FIG. 4

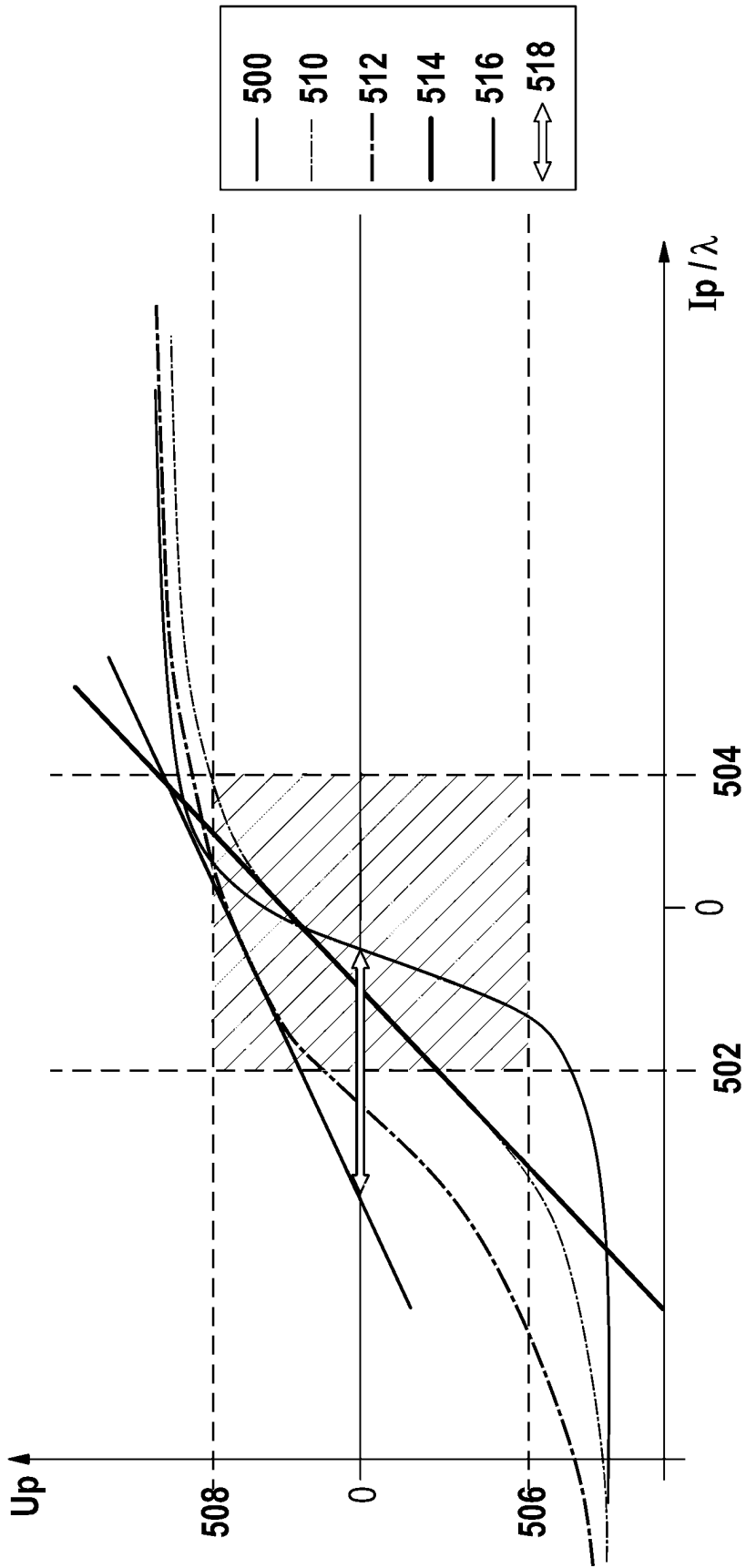


FIG. 5