(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 786 002 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.09.2016 Patentblatt 2016/39

(21) Anmeldenummer: **12795389.1**

(22) Anmeldetag: **23.11.2012**

(51) Int Cl.:
F01N 3/10 *(2006.01)* ***F02D 41/24*** *(2006.01)*
F02D 41/14 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/073470

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/079405 (06.06.2013 Gazette 2013/23)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE SOWIE ZUR AUSFÜHRUNG DES VERFAHRENS EINGERICHTETES STEUERGERÄT**

METHOD FOR OPERATING A COMBUSTION ENGINE AND DEVICE FOR IMPLEMENTING THE METHOD

PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE ET APPAREIL DE COMMANDE POUR L'EXÉCUTION DU PROCÉDÉ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **30.11.2011 DE 102011087399**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.10.2014 Patentblatt 2014/41

(73) Patentinhaber: **Volkswagen AG**
38440 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder: **HAHN, Hermann**
Carlton VIC 3053 (AU)

(74) Vertreter: **Gulde & Partner**
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei mbB
Wallstraße 58/59
10179 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102006 047 188
DE-A1-102006 049 656
DE-A1-102007 057 632

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 786 002 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine, wobei ein von der Verbrennungskraftmaschine erzeugtes Abgas über einen in einem Abgaskanal angeordneten 3-Wege-Katalysator geführt wird.

Stand der Technik und technologischer Hintergrund

[0002] Verfahren zur Lambdaregelung bei Verbrennungsmotoren können eingesetzt werden, um die Emissionen schädlicher Abgase in die Umwelt zu reduzieren. Dazu kann in der Abgasanlage des Verbrennungsmotors zumindest ein Katalysator angeordnet werden. Um den Katalysator in einem optimalen Betriebspunkt zu halten, ist es notwendig, die Gemischaufbereitung des Verbrennungsmotors mit Hilfe einer Lambdaregelung so zu steuern, dass sich zumindest im Mittelwert ein geregelter Lambdawert ergibt, der möglichst nahe bei 1,0 liegt. Zum Generieren eines Messsignals kann in der Abgasanlage des Verbrennungsmotors eine Lambdasonde angeordnet sein.

[0003] Stand der Technik ist unter anderem die Anwendung eines der beiden nachfolgend beschriebenen Regelverfahren.

[0004] In Figur 2 dargestellt ist ein Regelverfahren, wie es üblicherweise bei Verwendung von Sprung-Lambdasonden angewendet wird. Die obere Kurve zeigt das Sondensignal gegen die Zeit und die untere Kurve den Reglereingriff gegen die Zeit. Mit diesen Sonden wird die Richtung des Reglers geändert, wenn das Sondensignal eine vorgegebene Schwelle, zum Beispiel 450mV, kreuzt, was hier dem stöchiometrischen Punkt entspricht (hier zu den Zeiten t1, t2 und t3). Der Verlauf des Signals oberhalb oder unterhalb der jeweiligen Schwelle wird bei der Regelung nicht weiter verwendet oder verwertet, sondern die Verstellung findet davon unabhängig vorgesteuert statt, in der Regel über einen festgelegten P- und einen I-Anteil, welche wiederum abhängig von weiteren Größen wie zum Beispiel dem Betriebspunkt sein können.

[0005] Nachteilig bei diesem Verfahren ist die vergleichsweise langsame Regelgeschwindigkeit, da oberbeziehungsweise unterhalb der Regelschwelle der absolute Signalwert nicht weiter betrachtet wird und somit auch größere Gemischabweichungen nur mit der vorher bestimmten Regelgeschwindigkeit ausgeregelt werden. Des Weiteren ist es nachteilig, dass die Umschaltfrequenz vergleichsweise hoch ist und im Wesentlichen nur von der Streckenlaufzeit bis zur Sonde und der Sondentotzeit bestimmt ist. Somit besteht nicht die Möglichkeit, den Sauerstoffeintrag oder -austrag in den nachgeschalteten Katalysator definiert vorzugeben, so dass die Konvertierungseffizienz des Katalysators eingeschränkt ist.

[0006] In Figur 3 ist ein Regelverfahren, wie es üblicherweise bei Verwendung von Sonden mit genauem Lambdasignal auch außerhalb des stöchiometrischen Punktes, also in der Regel Breitband-Lambdasonden angewendet wird, dargestellt (Lambda-Istwert aus dem Sondensignal: fette durchgezogene Kurve; Lambda-Sollwert an der Sonde: schmale durchgezogene Kurve; Stellgröße des Reglers: fette gestrichelte Kurve; motorischer Lambda-Sollwert: schmale gestrichelte Rechteckkurve). Die Modulation wird über eine Variation des Lambda-Sollwertes eingestellt. Aus der Differenz zwischen dem Sollwert und dem gemessenen Ist-Wert wird die Regelabweichung bestimmt, welche einem geeigneten Regler (zum Beispiel PID-Regler) zugeführt wird. Eine Berücksichtigung des Streckenverhaltens findet statt, wenn nicht der motorische Sollwert zur Differenzberechnung verwendet wird, sondern unter Berücksichtigung der Streckenlaufzeit der Verlauf des motorischen Sollwertes auf die Position der Sonde bezogen wird und dieser Wert als Sollwert an der Sondenposition verwendet wird.

[0007] Vorteilhaft an diesem Verfahren ist, dass der gewünschte Lambda-Wert genau eingestellt werden kann und der Regler eine schnelle Regelgeschwindigkeit aufweist. Nachteilig ist, dass es zu Überschwingen des Reglers und stärkeren Schwankungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches kommen kann, wenn das hinterlegte Streckenverhalten nicht mit der tatsächlichen Streckendynamik übereinstimmt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Sonde durch Alterung oder Vergiftung dynamisch träger wird. Dies ist beispielhaft in Figur 4 dargestellt (Lambda-Istwert aus dem Sondensignal: fette dunkle Kurve; Stellgröße des Reglers: fette helle Kurve; motorischer Lambda-Sollwert: schmale Rechteckkurve). Das Sondensignal ist hier deutlich träger, als in Figur 3. Zu dem Zeitpunkt t1, wenn das Sondensignal den Sollwert erreicht, ist daher der Reglerwert bereits stark aufgezogen und es kommt in der Folge zu Überschwingen im Regler und im Lambdawert (Zeitpunkt t2), und erst mit Verzögerung kann der Sollwert stabil eingeregelt werden (Zeitpunkt t3). Dies ist nachteilig für die Effizienz des nachgeschalteten Katalysators, dass heißt es kommt zu erhöhten Emissionen, bei größeren Schwankungen im Kraftstoff-Luft-Verhältnis kann dies auch ein spürbares Ruckeln des Motors bewirken.

[0008] Wenn das Lambdasignal aus dem Signal einer Sprung-Lambdasonde bestimmt wird, hat ein Regler gemäß Figur 3 noch einen weiteren Nachteil. In Figur 5 ist eine typische Kennlinie von Sprung-Lambdasonden dargestellt. Man erkennt den Sprungbereich, dass heißt den Bereich der großen Signaländerung, im Bereich von Lambda = 1. Dynamisch reagieren heutige Sonden in diesem Sprungbereich träger als im rein fetten oder rein mageren Bereich. Ein aus einem Sprungsondensignal berechnetes Lambdasignal weist daher bei einem Gemischwechsel zwischen fettem und magerem Abgas beim Lambda = 1-Bereich eine zeitliche Verzögerung auf. Diese ist in Figur 4 zum Zeitpunkt t4 zu erkennen. Auch dieses Verhalten führt bei diesem Reglertyp zu Überschwingern im Reglerwert und resultierend im

Lambdawert, wie zum Zeitpunkt t5 dargestellt, mit den oben beschriebenen Nachteilen. Alternativ könnten die Regelparameter an die reduzierte Dynamik im Lambda = 1-Punkt angepasst werden, dann wäre der Regler jedoch im Bereich außerhalb des Lambda = 1-Bereiches deutlich langsamer als er eigentlich sein könnte.

[0009] Aus DE 10 2006 049 656 A1 ist bereits ein Ansatz bekannt, wie bei Sonden mit ungenauer Korrelation zwischen Signal und tatsächlicher Gemischzusammensetzung im Bereich außerhalb des stöchiometrischen Punktes (also zum Beispiel Sprungsonden), bei welchen nach Stand der Technik das in Figur 2 dargestellte Verfahren angewendet wird, Vorteile des in Figur 3 dargestellten Verfahrens erschlossen werden können. Es wird dort beschrieben, wie eine Umschaltung der Reglerrichtung erst dann erfolgt, wenn nicht nur ein Signal-Schwellwert überbeziehungsweise unterschritten wird, sondern zusätzlich auch ein Schwellwert für eine aus dem Sondensignal abgeleitete Größe. Damit kann mit gewisser Genauigkeit für einen definierten Sauerstoffeintrag beziehungsweise -austrag in den Katalysator gesorgt und somit die Konvertierungseffizienz des Katalysators erhöht werden. Bestehen bleibt jedoch der Nachteil der langsamen Ausregelung von Gemischabweichungen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0010] Ein oder mehrere der angesprochenen Probleme des Standes der Technik lassen sich mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine beheben oder zumindest mindern. Gemäß dem Verfahren wird ein von der Verbrennungskraftmaschine erzeugtes Abgas über einen im Abgaskanal angeordneten 3-Wege-Katalysator geführt. Eine Lambdasonde erfasst eine für ein Abgaslambda charakteristische Größe vor dem 3-Wege-Katalysator und leitet diese an ein Motorsteuergerät mit integriertem PI- oder PID-Regler weiter. Mit dem PI- oder PID-Regler des Motorsteuergeräts wird durch Vorgabe eines Sollwertes ein im Wesentlichen stöchiometrisches Abgaslambda eingestellt und das Abgaslambda mit vorgegebener periodischer Sollwertvariation alternierend in Richtung eines Magerlambdawertes und eines Fettlambdawertes ausgelenkt (Lambdamodulation). Zu Beginn einer jeden Sollwertvariation wird ein vorgesteuerter P-Anteil mit anschließendem I-Anteil bis zu einem Zeitpunkt t2 vorgegeben, wobei der Zeitpunkt t2 mittels hinterlegter, ein Streckenzeitverhalten charakterisierender Parameter so festgelegt wird, dass zu diesem Zeitpunkt t2 das Sondensignal oder eine davon abgeleitete Größe die Sollwertvorgabe erreicht haben müsste. Vom Zeitpunkt t2 an wird für eine vorgebbare Zeitspanne bis zum Ende der jeweiligen Sollwertvariation auf eine Regelung umgeschaltet, welche auf einer Differenz zwischen einem Istwert und dem Sollwert der Lambdasonde oder einer davon abgeleiteten Größe beruht.

[0011] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass ein Wechsel von der vorgesteuerten Reglereinstellung auf eine (vorzugsweise stetige) Regelung die Vorteile der beiden verschiedenen Reglertypen mit sich bringt, ohne dass die geschilderten Nachteile der beiden Reglertypen in Kauf genommen werden müssen.

[0012] Vorzugsweise wird eine Größe des P-Anteils in Abhängigkeit von einer Soll-Amplitude der Sollwertvariation festgelegt. Ein I-Anteil kann dann so festgelegt werden, dass zum Zeitpunkt t2 das Sondensignal oder eine daraus abgeleitete Größe den Sollwert erreichen würde.

[0013] Eine bevorzugte Variante des Verfahrens sieht vor, dass zur Ermittlung einer Reaktionszeit der Lambdasonde eine Mindestreaktion der Lambdasonde im Vergleich zum Zustand vor der Reglerumschaltung definiert wird und als Reaktionszeit die Zeit erfasst wird, die seit der Reglerumschaltung bis zur Mindestreaktion der Lambdasonde vergangen ist. Die Reaktionszeit wir vorzugsweise jedoch nur ermittelt, wenn der vom PI- oder PID-Regler vorgegebene Sollwert eine vorgegebene Mindestgröße übersteigt. Die Reaktionszeit kann von der Lambdasonde getrennt nach fett-mager-Sprung und mager-fett-Sprung erfasst werden.

[0014] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Steuergerät zur Steuerung eines Betriebs einer Verbrennungskraftmaschine, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist. Zu diesem Zweck kann das Steuergerät einen computerlesbaren Steuerungsalgorithmus zur Durchführung des Verfahrens enthalten. In vorteilhafter Ausgestaltung ist das Steuergerät integraler Bestandteil des Motorsteuergeräts.

[0015] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen oder aus der nachfolgenden Beschreibung.

[0016] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 schematischer Aufbau einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage und 3-Wege-Katalysator;
- Figur 2 zeitlicher Verlauf des Abgaslambdas stromauf des 3-Wege-Katalysators sowie des Reglereingriffs nach einer ersten Variante des herkömmlichen Verfahrens;
- Figur 3 zeitlicher Verlauf des Abgaslambdas stromauf des 3-Wege-Katalysators sowie des Reglereingriffs nach einer zweiten Variante des herkömmlichen Verfahrens;
- Figur 4 Verhalten des Reglers für das herkömmliche Verfahren gemäß Fig. 3 bei unpassenden Streckenparametern;
- Figur 5 Kennlinie einer Sprung-Lambdasonde für das herkömmliche Verfahren gemäß Fig. 3;

Figur 6 zeitlicher Verlauf des Abgaslambdas stromauf des 3-Wege-Katalysators sowie des Reglereingriffs nach dem erfindungsgemäßen Verfahren; und

Figur 7 Ermittlung der Sprungantwortzeit nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

[0017] Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau einer Verbrennungskraftmaschine 10 mit einer nachgeschalteten Abgasanlage. Die Verbrennungskraftmaschine 10 kann ein fremdgezündeter Motor (Ottomotor) sein. Hinsichtlich ihrer Kraftstoffzuführung kann sie über eine direkteinspritzende Kraftstoffzufuhr verfügen, also mit innerer Gemischbildung arbeiten, oder über eine Kraftstoffvoreinspritzung verfügen und damit mit äußerer Gemischbildung arbeiten. Darüber hinaus kann die Verbrennungskraftmaschine 10 homogen betrieben werden, wobei in dem gesamten Brennraum eines Zylinders ein homogenes Luft-Kraftstoff-Gemisch zum Zündzeitpunkt vorliegt, oder in einem inhomogenen Modus (Schichtladebetrieb), bei dem zum Zündzeitpunkt ein vergleichsweise fettes Luft-Kraftstoff-Gemisch, insbesondere im Bereich einer Zündkerze, vorliegt, das im übrigen Brennraum von einem sehr mageren Gemisch umgeben wird. Wichtig im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist, dass die Verbrennungskraftmaschine 10 mit einem im Wesentlichen stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Gemisch betrieben werden kann, das heißt mit einem Gemisch mit einem Lambdawert nahe oder gleich 1.

[0018] Die Abgasanlage umfasst einen Abgaskrümmer, welcher das Abgas der einzelnen Zylinder der Verbrennungskraftmaschine 10 in einen Abgaskanal 16 zusammenführt. In dem Abgaskanal 16 können verschiedene Abgasreinigungskomponenten vorhanden sein. Wesentlich im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist ein im Abgaskanal 16 angeordneter 3-Wege-Katalysator 20.

[0019] Der 3-Wege-Katalysator 20 besitzt eine Beschichtung aus katalytisch wirksamen Komponenten, wie Platin, Rhodium und/oder Palladium, die auf einem porösen Katalysatorträger auf, beispielsweise aus Al_2O_3, aufgebracht sind. Der Beschichtung umfasst ferner eine Sauerstoffspeicherkomponente, beispielsweise Ceroxid (CeO_2) und/oder Zirkoniumoxid (ZrO_2), welche die Sauerstoffspeicherkapazität (OSC für *oxygen storage capacity*) des 3-Wege-Katalysators 20 bestimmt. Bei einer stöchiometrischen oder leicht fetten Abgasatmosphäre vermag der 3-Wege-Katalysator 20 Stickoxide NO_x zu Stickstoff N_2 und Sauerstoff O_2 zu reduzieren. Bei stöchiometrischem oder leicht magerem Betrieb werden unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC und Kohlenmonoxid CO zu Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O oxidiert. Bei im Wesentlichen stöchiometrischer Abgasatmosphäre, das heißt bei einem λ von 1 oder nahe 1, laufen diese Umsätze praktisch vollständig ab. Derartige katalytische Beschichtungen sind im Stand der Technik aus der Abgasnachbehandlung von Ottomotoren bekannt und üblich. Aufbau und Funktionsweise von 3-Wege-Katalysatoren sind im Stand der Technik somit hinreichend bekannt und bedürfen hier keiner näheren Erläuterung.

[0020] Der Abgaskanal 16 kann verschiedene Sensoren, insbesondere Gas- und Temperatursensoren enthalten. Dargestellt ist vorliegend eine Lambdasonde 26, die an einer motornahen Position im Abgaskanal 16 angeordnet ist. Die Lambdasonde 26 kann als Sprungantwortlambdasonde oder als Breitbandlambdasonde ausgestaltet sein und ermöglicht in bekannter Weise die Lambdaregelung des Verbrennungsmotors 10, wofür sie den Sauerstoffgehalt des Abgases misst.

[0021] Die von den verschiedenen Sensoren erfassten Signale, insbesondere das mit der Lambdasonde 26 gemessene Abgaslambda gehen in ein Motorsteuergerät 28 ein. Desgleichen werden verschiedene Parameter der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere die Motordrehzahl sowie die Motorlast von dem Motorsteuergerät 28 eingelesen. In Abhängigkeit der verschiedenen Signale regelt ein in das Motorsteuergerät 28 implementierter Regler somit den Betrieb der Verbrennungskraftmaschine 10, wobei sie insbesondere die Kraftstoffzufuhr sowie die Luftzufuhr so regelt, dass eine gewünschte Kraftstoffmasse und eine gewünschte Luftmasse zugeführt werden, um ein gewünschtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (das Abgas-Solllambda) darzustellen. Das Luft-Kraftstoff-Gemisch wird in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere der Motordrehzahl sowie der Motorlast aus Kennfeldern ermittelt.

[0022] Zur Verbesserung der Reinigungswirkung des 3-Wege-Katalysators 20 ist vorgesehen, dass die Verbrennungskraftmaschine 10 kontinuierlich mit einem im Wesentlichen stöchiometrischen mittleren Lambdawert betrieben wird, wobei das der Verbrennungskraftmaschine 10 zugeführte Luft-Kraftstoff-Verhältnis mit einer vorbestimmten Schwingungsfrequenz und einer vorbestimmten Schwingungsamplitude um diesen mittleren Lambdawert periodisch alternierend in Richtung eines Magerlambdawertes und eines Fettlambdawertes ausgelenkt wird (so genannte Lambdamodulation). Dabei werden die Schwingungsfrequenz und die Schwingungsamplitude so gewählt, dass der 3-Wege-Katalysator 20 quasi-kontinuierlich regeneriert wird.

[0023] Dabei wird vorliegend unter einem kontinuierlichen stöchiometrischen Betrieb der Verbrennungskraftmaschine 10 verstanden, dass diese nicht zwischen einem Standardbetriebsmodus und einem Regenerationsbetriebsmodus wie im Stand der Technik üblich hin- und hergeschaltet wird, sondern praktisch über ihren gesamten Betriebsbereich in dem dargestellten stöchiometrischen Betrieb mit der Lambdaschwingung betrieben wird. Vorzugsweise wird die Verbrennungskraftmaschine über zumindest 98 % aller in dem Betriebskennfeld des Steuergeräts 28 gespeicherten Betriebspunkte in dem dargestellten stöchiometrischen Betrieb gefahren und dieser wird nicht durch Regenerationsintervalle un-

terbrochen.

[0024] Ferner wird unter dem Begriff quasi-kontinuierliche Regeneration des 3-Wege-Katalysators 20 verstanden, dass sein Beladungszustand im Wesentlichen konstant und insbesondere auf einem äußerst geringen Niveau bleibt. Dies bedeutet, dass im Zeitmittel während eines Zeitintervalls im Größenbereich weniger Lambdaschwingungen keine zunehmende Beladung des 3-Wege-Katalysators 20 stattfindet. Vorzugsweise wird eine Grenze von höchstens 50 % der maximalen Beladung des 3-Wege-Katalysators 20 nicht überschritten.

[0025] Die Schwingungsfrequenz und die Schwingungsamplitude werden ferner so gewählt, dass an der 3-Wege-katalytischen Beschichtung 22 eine Mindestkonvertierungsrate von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) und/oder Kohlenmonoxid (CO) und/oder Stickoxiden (NO_x) vorliegt, wobei sich Mindestkonvertierungsrate an gesetzlichen Grenzwerten orientieren kann.

[0026] Zumeist wird die Schwingungsfrequenz in Abhängigkeit von einem aktuellen Betriebspunkt der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere in Abhängigkeit von der Motorlast und/oder Motordrehzahl, bestimmt. Die Schwingungsamplitude kann ergänzend auch in Abhängigkeit von der OSC bestimmt werden.

[0027] In Abhängigkeit der verschiedenen Signale, die am Motorsteuergerät 28 auflaufen, regelt ein in das Motorsteuergerät 28 implementierter Regler demnach den Betrieb der Verbrennungskraftmaschine 10, um ein gewünschtes das Abgas-Solllambda darzustellen.

[0028] Regler beeinflussen selbsttätig eine oder mehrere physikalische Größen auf ein vorgegebenes Niveau unter Reduzierung von Störeinflüssen. Dazu vergleichen Regler innerhalb eines Regelkreises laufend das Signal des Sollwertes mit dem gemessenen und zurückgeführten Istwert der Regelgröße und ermitteln aus dem Unterschied der beiden Größen - der Regelabweichung (Regeldifferenz) - eine Stellgröße, welche die Regelstrecke so beeinflusst, dass die Regelabweichung zu einem Minimum wird. Weil die einzelnen Regelkreisglieder ein Zeitverhalten haben, muss der Regler den Wert der Regelabweichung verstärken und gleichzeitig das Zeitverhalten der Strecke so kompensieren, dass die Regelgröße den Sollwert in gewünschter Weise erreicht. Falsch eingestellte Regler machen den Regelkreis zu langsam, führen zu einer großen Regelabweichung oder zu ungedämpften Schwingungen der Regelgröße und damit unter Umständen zur Zerstörung der Regelstrecke. Allgemein werden die Regler nach stetigem und unstetigem Verhalten unterschieden. Zu den bekanntesten stetigen Reglern gehören die "Standardregler" mit P-, PI-, PD- und PID-Verhalten.

[0029] Für die Zwecke der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise ein linearer Regler mit proportionalem, integralem und differentialem Verhalten (PID-Regler) verwendet. Der PID-Regler besteht demnach aus den Anteilen des P-Gliedes, des I-Gliedes und des D-Gliedes. Das P-Glied liefert einen Beitrag zur Stellgröße, der zur Regelabweichung proportional ist. Das I-Glied wirkt durch zeitliche Integration der Regelabweichung auf die Stellgröße mit einer Gewichtung durch die Nachstellzeit. Das D-Glied ist ein Differenzierer, der nur in Verbindung zu Reglern mit P-und/oder I-Verhalten als Regler eingesetzt wird. Er reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung, sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit.

[0030] Erfindungsgemäß erfolgt die Lambdamodulation wie in Figur 6 dargestellt (Lambda-Istwert aus dem Sondensignal: fette dunkle Kurve; Stellgröße des Reglers: fette helle Kurve; Lambda-Sollwertbereiche: helle Rechtecke).

[0031] Zum Zeitpunkt t1 erfolgt die Umschaltung der Reglerrichtung. Zunächst erfolgt ein vorgesteuerter P-Sprung (P-Anteil zur Erreichung des Sollwerts). Die Größe des P-Sprunges kann hierbei von verschiedenen Parametern abhängen. Unter anderen kann der P-Sprung von einer festgelegten Soll-Amplitude abhängig sein. In einer bevorzugten Ausgestaltung kann hierbei festgelegt werden, welcher Anteil der festgelegten Soll-Amplitude über den P-Sprung dargestellt werden soll. Zusätzlich kann der aktuelle Abstand des Sondensignals oder einer daraus abgeleiteten Größe (bevorzugt Lambda) vom derzeitigen oder zukünftigen Zielwert beziehungsweise Zielbereich bewertet und der P-Sprung zusätzlich von diesem Abstand abhängig gemacht werden. In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wird daher die Größe des P-Sprunges bestimmt, welcher notwendig ist, um vom aktuellen Lambda-Istwert zum künftigen Sollwert zu kommen, wobei der gewünschte Sollwert den festgelegten Anteil beinhaltet, welcher von der festgelegten Soll-Amplitude dem P-Sprung zugeordnet wurde.

[0032] Zwischen den Zeitpunkten t1 und t2 wird der Regler mit einem festgelegten I-Anteil weiter verstellt. Aus hinterlegten Daten ist die Streckenlaufzeit und die Sondenreaktionszeit bekannt. Es wird daher der I-Anteil so festgelegt, dass zum Zeitpunkt t2 (ohne weitere Störeinflüsse) das Sondensignal oder eine daraus abgeleitete Größe (bevorzugt Lambda) den Zielwert beziehungsweise den Zielbereich voraussichtlich erreichen wird, wobei dieser die Einstellung der vollen gewünschten Soll-Amplitude bedeutet. Damit wird der I-Anteil sowohl von den Strecken-Kenngrößen, als auch von dem festgelegten Anteil der Amplitude auf den P-Sprung abhängig, da die Differenz zwischen der Gesamt-Amplitude und dem festgelegten Anteil der Amplitude für den P-Sprung nun über den I-Anteil bis zum Zeitpunkt t2 eingeregelt werden muss.

[0033] Ab dem Zeitpunkt t2 wird nun von der vorgesteuerten Reglereinstellung auf eine (stetige) Regelung umgeschaltet, welche auf der Differenz zwischen dem Istwert und dem Sollwert des Sondensignals oder einer daraus abgeleiteten Größe (bevorzugt Lambda) beruht.

[0034] Damit kombiniert das Verfahren die Vorteile einer Vorsteuerung und einer (stetigen) Regelung. Die Daten, welche zur Charakterisierung des Streckenverhaltens hinterlegt werden, können zum Beispiel ein Verhal-

ten wie in Figur 4 zum Zeitpunkt t4 dargestellt berücksichtigen. Überschwinger werden daher vermieden, und sowohl Lambda, als auch der Reglerwert bleiben stabil. Gleichzeitig bleibt eine schnelle Regelgeschwindigkeit und ein definierter Sauerstoffeintrag beziehungsweise -austrag in den Katalysator erhalten, da nach Ablauf der Streckenreaktionszeiten auf einen schnellen Regler geschaltet wird, dessen Parameter unabhängig von eventuellen Trägheiten im Lambda = 1-Punkt der Sonde festgelegt werden können.

[0035] Des Weiteren kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch sehr einfach und mit guter Genauigkeit die Dynamik der Sonde ermittelt werden. Da die Reglerumschaltung gesteuert über einen P-Sprung und einen I-Anteil erfolgt und während der Zeit dieser vorgesteuerten Regelung das Sondensignal nicht zur Regelung ausgewertet wird, kann die in Figur 7 dargestellte Sprungantwortzeit zur Bewertung der Sondendynamik herangezogen werden (Lambda-Istwert aus dem Sondensignal: fette dunkle Kurve; Stellgröße des Reglers: fette helle Kurve; motorischer Lambda-Sollwert: schmale Rechteckkurve; Δt_s: Sprungantwortzeit).

[0036] In einer bevorzugten Ausgestaltung wird abhängig von der Größe des P-Sprunges oder der bis zum Zeitpunkt der Sprungantwortzeitermittlung erfolgten Gemischverstellung eine Mindestreaktion der Sonde im Vergleich zum Zustand vor der Reglerumschaltung definiert. Dies kann zum Beispiel eine Signaländerung sein, welche 20 bis 50%, bevorzugt 30%, der vorgesteuerten Gemischverstellung entspricht. Als Sprungantwortzeit ergibt sich nun die Zeit, welche seit dem Reglersprung bis zur Erreichung der Mindestreaktion der Sonde vergangen ist.

[0037] In einer bevorzugten Ausgestaltung wird als Zeitpunkt der Reglerumschaltung für die Ermittlung der Mindestreaktion der Sonde nicht exakt der tatsächliche Zeitpunkt der Reglerumschaltung herangezogen, sondern unter Berücksichtigung der bekannten Streckenparameter wird der Vergleichswert der Sonde erst zu einem festlegbaren späteren Zeitpunkt bestimmt, welcher nach der Reglerumschaltung liegt, aber bevor das geänderte Gemisch die Sonde erreicht. Damit können dynamische Gemischstreuungen, welche sich ggf. unmittelbar vor der Reglerumschaltung im Motor ereignet haben, berücksichtigt werden und führen nicht zu einer Verfälschung der Sprungantwortzeiten. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung wird eine gültige Sprungantwortzeit nur dann ermittelt, wenn die vorgesteuerte Reglerverstellung mindestens eine vorgebbare Mindestgröße hatte.

[0038] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung wird nach Ablauf einer vorgebbaren Mindestzeit seit der Reglerumschaltung, ohne dass die Sonde die festgelegte Mindestreaktion zeigte, die aktuelle Zeit oder eine Ersatzgröße ebenfalls als gültige Sprungantwortzeit ausgewertet. Damit wird der Fall berücksichtigt, dass das Sondensignal durch einen Fehler einen durchgängig konstanten Wert aufweist, dass heißt, die Mindestreaktion nie erreicht werden würde und somit keine Sprungantwortzeit ermittelt werden würde.

[0039] Von der ermittelten Sprungantwortzeit kann die hinterlegte Streckentotzeit abgezogen und so die reine Sondenreaktionszeit ermittelt werden. Die Sondenreaktionszeit kann zur Erzeugung eines Wartungssignals genutzt werden, wenn diese oder eine davon abgeleitete Größe definierte Schwellwerte überschreitet. Dabei kann die Sondenreaktionszeit zur Bewertung getrennt nach fett-mager-Sprung und mager-fett-Sprung betrachtet werden.

[0040] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass bei dynamisch schlechter werdenden Sonden die in Figur 4 zu den Zeitpunkten t1 und t2 beschriebenen Überschwinger leicht vermieden werden können, so dass das erfindungsgemäße Verfahren eine höhere Stabilität und Robustheit gegenüber dynamisch schlechter werdenden Sonden aufweist als bisher bekannte Verfahren.

[0041] Für dynamisch nur geringfügig schlechter werdende Sonden, kann zur Festlegung des Zeitpunktes t2 in Figur 6, sprich der Umschaltung auf den schnellen Regler, eine gewisse Sicherheit auf die Streckenlaufzeitparameter aufgeschlagen werden. Dies kann zum Beispiel durch multiplikative und/oder additive Werte erfolgen. Die Umschaltung auf den schnellen Regler erfolgt dann etwas später als es bei einem schnellen Sensor eigentlich möglich wäre, jedoch erst dann, wenn auch ein langsamer reagierender Sensor beim Signal-Zielwert angekommen wäre.

[0042] In einer weiteren Ausgestaltung kann die wie oben beschrieben ermittelte Sondenreaktionszeit zur Anpassung des Regelverfahrens genutzt werden. Dazu wird mindestens eine, vorzugsweise die größere der beiden Sondenreaktionszeiten (dass heißt Reaktionszeiten getrennt nach fett-mager- bzw. mager-fett-Sprung) genutzt. Aus dieser Sondenreaktionszeit werden vorzugsweise geeignete Zeitglieder für die Streckenparameter abgeleitet. Dabei erfolgt die Festlegung des Zeitpunktes t2 in Figur 6, sprich die Umschaltung auf den schnellen Regler, unter Berücksichtigung der ermittelten Sondenreaktionszeit so, dass das Sondensignal oder eine daraus abgeleitete Größe (bevorzugt Lambda) zu diesem Zeitpunkt den Sollwert erreicht hat.

[0043] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung werden die Regelparameter der nachfolgend aktivierten, stetigen Regelung an die Sondenreaktionszeit angepasst. Insbesondere kann so für einer dynamisch schlechtere Sonde der Regler langsamer gemacht und so Überschwinger vermieden werden.

Bezugszeichenliste

[0044]

10	Verbrennungskraftmaschine
16	Abgaskanal
20	3-Wege-Katalysator
22	3-Wege-katalytischen Beschichtung

26 Lambdasonde
28 Motorsteuergerät
Δt_s Sprungantwortzeit

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine (10), bei dem ein von der Verbrennungskraftmaschine (10) erzeugtes Abgas über einen im Abgaskanal (16) angeordneten 3-Wege-Katalysator (20) geführt wird und eine Lambdasonde (26) eine für ein Abgaslambda charakteristische Größe vor dem 3-Wege-Katalysator (20) erfasst und an ein Motorsteuergerät (28) mit integriertem PI- oder PID-Regler weiterleitet, wobei mit dem PI- oder PID-Regler des Motorsteuergeräts (28) durch Vorgabe eines Sollwertes ein im Wesentlichen stöchiometrisches Abgaslambda eingestellt wird und das Abgaslambda mit vorgegebener periodischer Sollwertvariation alternierend in Richtung eines Magerlambdawertes und eines Fettlambdawertes ausgelenkt wird, derart, dass zu Beginn einer jeden Sollwertvariation ein vorgesteuerter P-Anteil mit anschließendem I-Anteil bis zu einem Zeitpunkt t2 vorgegeben wird, wobei der Zeitpunkt t2 mittels hinterlegter, ein Streckenzeitverhalten charakterisierender Parameter so festgelegt wird, dass zu diesem Zeitpunkt t2 das Sondensignal oder eine davon abgeleitete Größe die Sollwertvorgabe erreicht haben müsste, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Zeitpunkt t2 an für eine vorgebbare Zeitspanne bis zum Ende der jeweiligen Sollwertvariation auf eine Regelung umgeschaltet wird, welche auf einer Differenz zwischen einem Istwert und dem Sollwert der Lambdasonde (26) oder einer davon abgeleiteten Größe beruht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung einer Reaktionszeit der Lambdasonde (26) eine Mindestreaktion der Lambdasonde (26) im Vergleich zum Zustand vor der Reglerumschaltung definiert wird und als Reaktionszeit die Zeit erfasst wird, die seit der Reglerumschaltung bis zur Mindestreaktion der Lambdasonde (26) vergangen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reaktionszeit nur ermittelt wird, wenn der vom PI- oder PID-Regler vorgegebene Sollwert eine vorgegebene Mindestgröße übersteigt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reaktionszeit der Lamdasonde (26) getrennt nach fett-mager-Sprung und mager-fett-Sprung erfasst wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Größe des P-Anteils in Abhängigkeit von einer Soll-Amplitude der Sollwertvariation festgelegt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der I-Anteil so festgelegt wird, dass zum Zeitpunkt t2 das Sondensignal oder eine daraus abgeleitete Größe den Sollwert erreicht hat.

7. Motorsteuergerät (20) zur Steuerung eines Betriebs einer Verbrennungskraftmaschine (10), das zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 eingerichtet ist.

Claims

1. Method for operating an internal combustion engine (10) in which exhaust gas produced by the internal combustion engine (10) is passed via a 3-way catalytic converter (20) disposed in the exhaust duct (16) and a lambda probe (26) detects a variable that is characteristic of an exhaust gas lambda number before the 3-way catalytic converter (20) and forwards the same to an engine controller (28) with integrated PI controller or PID controller, wherein an essentially stoichiometric exhaust gas lambda number is set up with the PI controller or PID controller of the engine controller (28) by specifying a target value and the exhaust gas lambda number is alternately deflected towards a weak lambda number and a rich lambda number with a specified periodic target value variation such that at the start of each target value variation a precontrolled P component with following I component is specified up to a point in time t2, wherein the point in time t2 is specified using stored parameters characterizing a path behavior so that at said point in time t2 the probe signal or a variable derived therefrom must have reached the specified target value, **characterized in that** from the point in time t2 a changeover to control based on a difference between an actual value and the target value of the lambda probe (26) or a variable derived therefrom takes place for a specifiable time period until the end of the respective target value variation.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** for determining a response time of the lambda probe (26) a minimum response of the lambda probe (26) is defined in comparison to the state before the controller changeover and the time that has passed between the controller changeover and the minimum response of the lambda probe (26) is recorded as the response time.

3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the response time is only determined if the target value specified by the PI controller or PID controller

exceeds a specified minimum magnitude.

4. Method according to Claim 2 or 3, **characterized in that** the response time of the lambda probe (26) is recorded separately for a rich-weak step and a weakrich step.

5. Method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** a magnitude of the P component is specified depending on a target amplitude of the target value variation.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the I component is specified such that the probe signal or a variable derived therefrom has reached the target value at the point in time t2.

7. Engine controller (20) for controlling an operation of an internal combustion engine (10), which is set up to perform the method according to any one of Claims 1 to 6.

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un moteur à combustion interne (10), avec lequel un gaz d'échappement produit par le moteur à combustion interne (10) est amené à passer par un catalyseur à 3 voies (20) disposé dans un conduit de gaz d'échappement (16) et une sonde lambda (26) détecte une grandeur caractéristique pour un lambda des gaz d'échappement avant le catalyseur à 3 voies (20) et la transmet à un contrôleur de moteur (28) avec régulateur PI ou PID intégré, un lambda des gaz d'échappement sensiblement stoechiométrique étant réglé avec le régulateur PI ou PID intégré du contrôleur de moteur (28) en prédéfinissant une valeur de consigne et le lambda des gaz d'échappement étant dévié avec une variation périodique prédéfinie de la valeur de consigne en alternance dans la direction d'une valeur lambda maigre et d'une valeur lambda riche de telle sorte qu'au début de chaque variation de la valeur de consigne, une part P pilotée suivie d'une part I est prédéfinie jusqu'à un instant t2, l'instant t2 étant défini au moyen de paramètres enregistrés qui caractérisent un comportement dans le temps de parcours de telle sorte qu'à cet instant t2, le signal de sonde ou une grandeur qui en est dérivée devrait avoir atteint la valeur de consigne prédéfinie, **caractérisé en ce qu'**à partir de l'instant t2, pendant un intervalle de temps pouvant être prédéfini, jusqu'à la fin de la variation respective de la valeur de consigne, une permutation est effectuée vers une régulation qui s'appuie sur une différence entre une valeur réelle et la valeur de consigne de la sonde lambda (26) ou d'une grandeur qui en est dérivée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour déterminer un temps de réaction de la sonde lambda (26), une réaction minimale de la sonde lambda (26) en comparaison de l'état avant la permutation du régulateur est définie et le temps de réaction détecté est le temps qui s'est écoulé entre la permutation du régulateur et la réaction minimale de la sonde lambda (26).

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le temps de réaction n'est déterminé que lorsque la valeur de consigne prédéfinie par le régulateur PI ou PID dépasse une grandeur minimale prédéfinie.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le temps de réaction de la sonde lambda (26) est détecté séparément par saut de riche à maigre et de maigre à riche.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une grandeur de la part P est définie en fonction d'une amplitude de consigne de la variation de la valeur de consigne.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la part I est définie de telle sorte qu'à l'instant t2, le signal de sonde ou une grandeur qui en est dérivée a atteint la valeur de consigne.

7. Contrôleur de moteur (20) destiné à commander un fonctionnement d'un moteur à combustion interne (10), lequel est conçu pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 6.

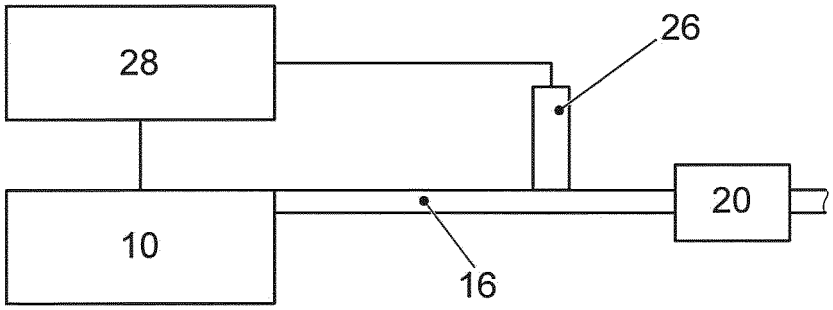


FIG. 1

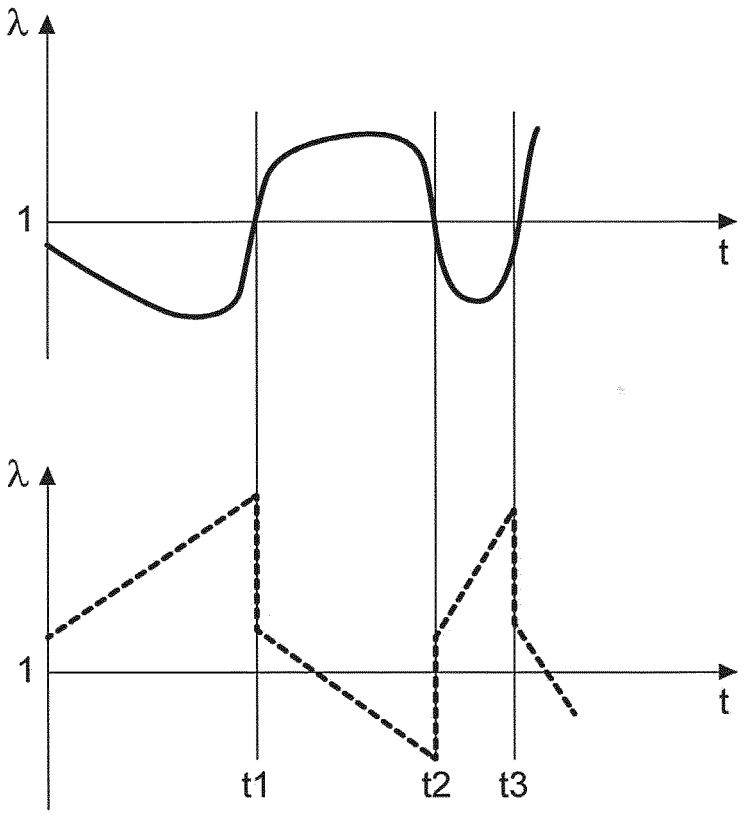


FIG. 2

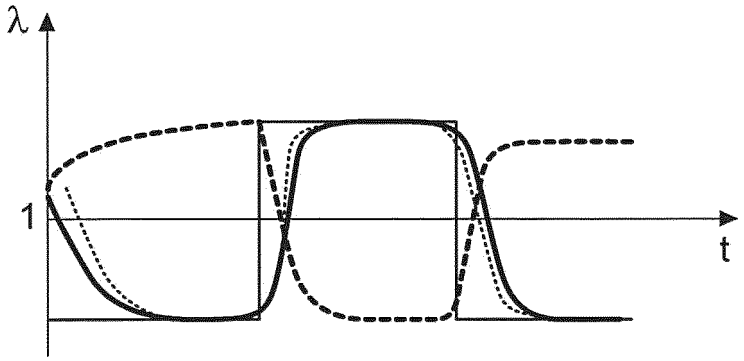


FIG. 3

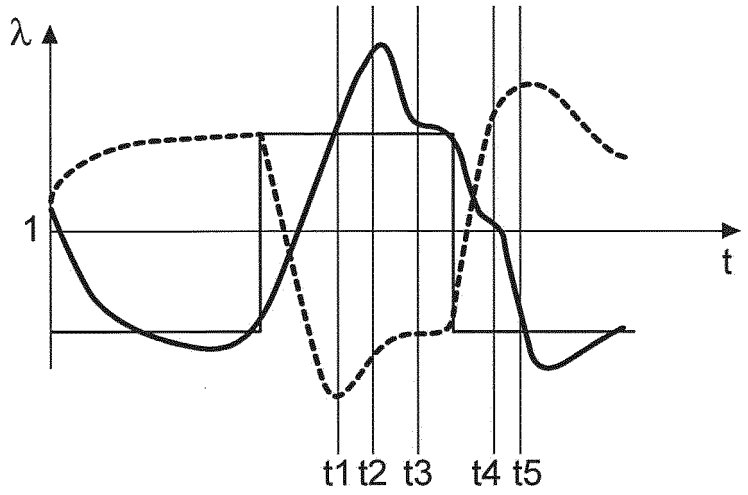

λ
1
t
t1 t2 t3 t4 t5

FIG. 4

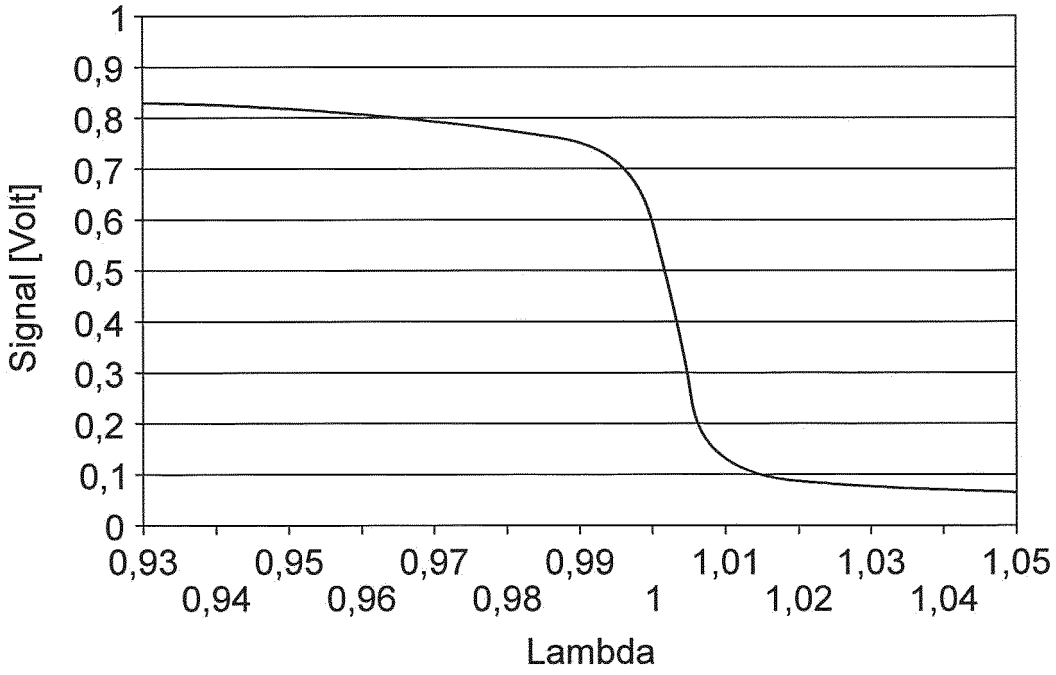

Signal [Volt]
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0,93
0,94
0,95
0,96
0,97
0,98
0,99
1
1,01
1,02
1,03
1,04
1,05
Lambda

FIG. 5

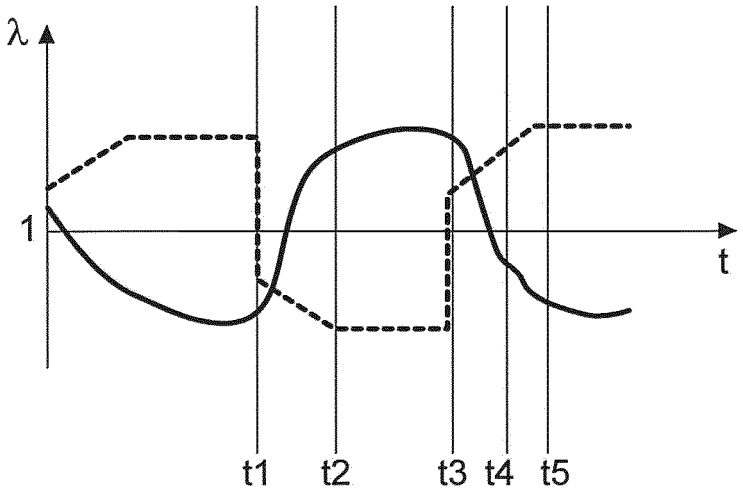


FIG. 6

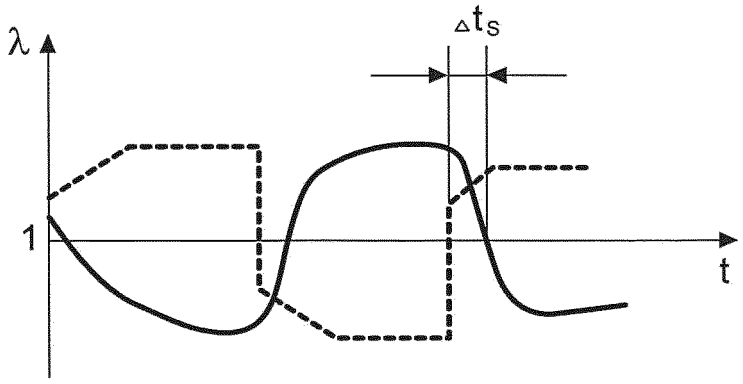


FIG. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102006049656 A1 **[0009]**