



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 300 573 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
09.04.2003 Patentblatt 2003/15

(51) Int Cl.7: **F02D 41/30, F02D 41/14**

(21) Anmeldenummer: **02017580.8**

(22) Anmeldetag: **07.08.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Hartmann, Dirk**
70469 Stuttgart (DE)
• **Qiu, Qiang**
71254 Ditzingen (DE)
• **Hess, Werner**
70499 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **02.10.2001 DE 10148665**

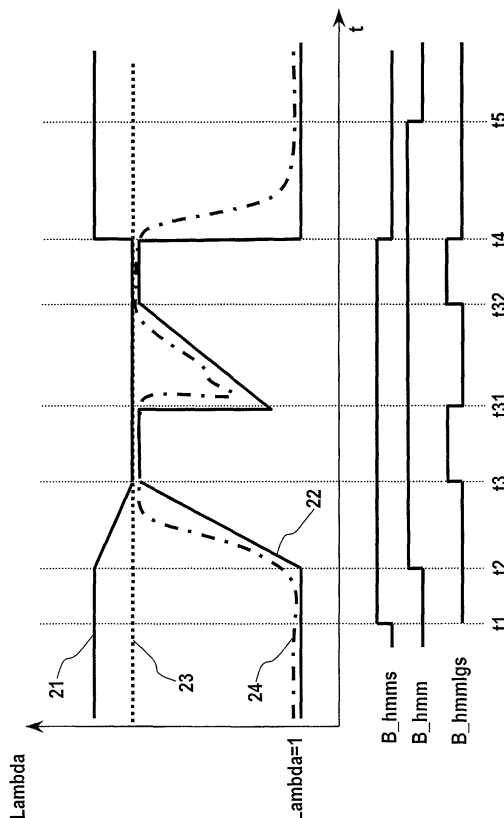
(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(54) **Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, Steuergerät und Brennkraftmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm

für eine Brennkraftmaschine, ein Steuergerät zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine und eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine.

Fig. 2



EP 1 300 573 A2

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine, ein Steuergerät zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine und eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine.

[0002] Bei Otto-Motoren mit Benzindirekteinspritzung (BDE) ist es das Ziel, den Motor in möglichst ungedroseltem Zustand zu betreiben. Hierdurch fallen die Drosselverluste weitgehend weg und der Motor kann mit einem höheren Wirkungsgrad betrieben werden, was zu einer Kraftstoffeinsparung führt. Ein Otto-Motor mit Benzindirekteinspritzung kann in der Regel in verschiedenen Betriebsarten betrieben werden. Diese umfassen wenigstens eine fette Betriebsart (Homogenbetriebsart) mit $\Lambda = 1$ und eine Magerbetriebsart (Schichtbetrieb) mit $\Lambda \gg 1$. Es ist hierbei üblich, in den luftgeführten Betriebsarten den Lambdawert, also das Luftmassen-/Kraftstoffmassenverhältnis, auf den gewünschten Soll-Lambdawert zu regeln. Hierzu dient eine Lambdasonde, die im Abgasstrang der Brennkraftmaschine angeordnet ist. In Kenntnis der von der Lambdasonde gelieferten Signale werden in der Regel von einem Motorsteuergerät verschiedenste Komponenten angesteuert, um den gewünschten Soll-Lambdawert einzuregulieren. Diese Komponenten können beispielsweise eine variable Ventilsteuerung, ein Einspritzventil oder eine Zündkerze sein.

Vorteile der Erfindung

[0003] Ein Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine ist gegenüber dem Stand der Technik dadurch weitergebildet, dass die Brennkraftmaschine wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenen Charakter (HMM) betrieben wird, wobei in der Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebsituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird. Die bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die bestimmten Betriebssituationen wenigstens die Umschaltung aus einer beliebigen Betriebsart in die magere Betriebsart mit homogenen Charakter, aus der mageren Betriebsart mit homogenem Charakter in eine andere beliebige Betriebsart oder eine schnelle Momentenanforderung im stationären Betrieb umfassen. Der große Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der bevorzugten Weiterbildung ist es, dass während einer Betriebsartenumschaltung das Drehmoment der Brennkraftmaschine nahezu auf dem gewünschten Sollmoment gehalten werden kann. Die Aufweitung der Lamb-

dagrenzwerte wird zurückgenommen, sobald die bestimmte Betriebssituation nicht mehr vorliegt. Dies ist deshalb sinnvoll, da in dem Zeitraum der Aufweitung der Lambda-Grenzen erhöhte NOx-Emissionen erfolgen.

5 Durch die kurzzeitige Aufweitung der Lambda-Grenzwerte wird ein optimaler Kompromiss zwischen geringen NOx-Emissionen und Fahrbarkeit (mit gewünschtem Sollmoment) geschlossen. Hierzu erfolgt die Festlegung der Lambdagrenzen derart, dass ein näherungsweise konstantes Drehmoment von der Brennkraftmaschine erzeugt wird. Eine Weiterbildung sieht vor, dass die magere Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) eine luftgeführte Betriebsart ist. Im Gegensatz zur kraftstoffgeführten Magerbetriebsart ist es durch die
10 Dimensionierung der mageren Betriebsart mit homogenem Charakter als luftgeführte Betriebsart - dies wird durch eine Einstellung eines konstanten Soll-Lambdas von ungefähr 1,6 erreicht - möglich, dass ein Drehmomentenausgleich über die Festlegung der Lambda-Grenzwerte erfolgt. Somit kann erfindungsgemäß durch die Höhe bzw. der Art und Weise der Aufweitung der Lambda-Grenzwerte auf das Drehmoment der Brennkraftmaschine Einfluss genommen werden.

[0004] Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der obere und der untere Lambda-Grenzwert auf den selben Ziellambda-Grenzwert angenähert werden, wobei der Ziellambda-Grenzwert dem angestrebten konstanten Lambda-Wert entspricht. Durch diese erfindungsgemäße Maßnahme
25 kann in besonders vorteilhafter Weise die Aufweitung der Lambda-Grenzwerte zurückgenommen werden, ohne dass es zu unerlaubten Lambda-Istwerten und somit zu Drehmomentschwankungen kommt.

[0005] Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass ein Lambda-Verlauf beobachtet wird, dass festgestellt wird, ob der Lambda-Verlauf in Richtung fett oder in Richtung mager verläuft, dass dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung fett verläuft, der obere, magere Lambda-Grenzwert nicht aufgeweitet wird und dass dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung mager verläuft, der untere, fette Lambda-Grenzwert nicht aufgeweitet wird. Diese Maßnahme weist den Vorteil auf, dass der Abstand zwischen der oberen und der unteren Lambda-Grenze verringert wird, was eine plötzliche Lambda-Änderung, beispielsweise auf Grund von hochdynamischen Momentenanforderungen, auf einen geringeren Wert begrenzt, als es ohne die erfindungsgemäße Weiterbildung der Fall wäre.

50 **[0006]** Eine alternative Weiterbildungsmöglichkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass ein Lambda-Verlauf beobachtet wird, dass festgestellt wird, ob der Lambda-Verlauf in Richtung fett oder in Richtung mager verläuft, dass dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung fett verläuft, der obere, magere Lambda-Grenzwert dem Lambda-Verlauf nachgeführt wird und dass dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung mager verläuft, der untere, fette Lambda-Grenzwert dem

Lambda-Verlauf nachgeführt wird. Im Gegensatz zur vorhergehenden Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in diesem Fall eine sprunghafte Änderung des Ist-Lambda-Wertes nahezu vollständig unterdrückt. Es wird also eine Ist-Lambda-Abweichung vom Soll-Lambda-Wert nicht toleriert. Der Vorteil liegt darin, dass bei einer hochdynamischen Momenten Anforderung keine instationären Ist-Lambda-Werte die Folge sind, sondern dass sich das tatsächliche Ist-Lambda nicht sehr weit vom Soll-Lambda-Wert entfernt.

[0007] Ein erfindungsgemäßes Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine mit einer Abfolge von Befehlen ist erfindungsgemäß dazu geeignet, das vorstehend beschriebene Verfahren durchzuführen, wenn die Abfolge von Befehlen auf einem Computer, insbesondere einem Steuergerät für eine Brennkraftmaschine ausgeführt werden. Das Computerprogramm kann erfindungsgemäß dadurch weitergebildet werden, dass die Abfolge von Befehlen auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist. In diesem Fall wird also das erfindungsgemäße Verfahren in Form eines Computerprogramms, das für eine Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, vorgesehen ist, ausgeführt. Bei dem computerlesbaren Datenträger kann es sich beispielsweise um eine Diskette, eine Compact-Disk oder einen sogenannten Flash-Memory handeln.

[0008] Das Computerprogramm kann gegebenenfalls zusammen mit anderen Computerprogrammen als Softwareprodukt beispielsweise an einen Hersteller von Steuergeräten für Brennkraftmaschinen vertrieben werden. Die Übermittlung des Softwareprodukts kann dabei durch die Übersendung einer Diskette oder einer CD erfolgen, deren Inhalt der Steuergerätehersteller dann auf das Steuergerät überträgt. Ebenfalls ist es möglich, dass ein Flash-Memory an den Steuergerätehersteller versandt wird, den dieser direkt in das Steuergerät einsetzt. Ebenfalls ist es möglich, dass das Softwareprodukt über ein elektronisches Kommunikationsnetz, insbesondere über das Internet, an den Steuergerätehersteller übermittelt wird. In diesem Fall stellt das Softwareprodukt als solches - unabhängig von einem elektronischen Speichermedium - das Vertriebsprodukt dar. Der Steuergerätehersteller lädt in diesem Fall das Softwareprodukt z. B. aus dem Internet herunter, um es danach beispielsweise auf einem Flash-Memory abzuspeichern und in das Steuergerät einzusetzen.

[0009] Das Computerprogramm kann auch als separates Softwareprodukt vertrieben werden, das ein Hersteller von Steuergeräten zusammen mit anderen Softwareprodukten anderer (Dritter) Hersteller in das Steuergerät überträgt. In diesem Fall stellt das erfindungsgemäße Softwareprodukt ein zu anderen Modulen fremder Hersteller kompatibles Modul dar.

[0010] Ein erfindungsgemäßes Steuergerät zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine ist dadurch weitergebildet, dass die Brennkraftmaschine von dem Steuergerät wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) ange-

steuert wird, wobei in der Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebssituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird.

[0011] Eine erfindungsgemäße direkteinspritzende Brennkraftmaschine ist gegenüber dem Stand der Technik dadurch weitergebildet, dass die Brennkraftmaschine wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) betrieben wird, wobei in dieser Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebssituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird.

[0012] Sowohl das erfindungsgemäße Steuergerät als auch die erfindungsgemäße direkteinspritzende Brennkraftmaschine weisen die zum erfindungsgemäßen Verfahren analogen Vorteile auf.

[0013] Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren dargestellt sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung

[0014]

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen direkteinspritzenden Brennkraftmaschine sowie eines erfindungsgemäßen Steuergeräts,

Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Figur 5 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0015] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen direkteinspritzenden Brennkraftmaschine. Bei der Brennkraftmaschine 1 ist ein Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, an den über Ventile 5 ein Ansaugrohr 6 und ein Abgasrohr 7 angeschlossen sind. Des Weiteren sind mit dem Brennraum 4 ein mit dem Signal TI ansteuerbares Einspritzventil 8 und eine mit einem Signal ZW ansteuerbare Zündkerze 9 verbunden. Die Signale TI und ZW werden hierbei von einem Steuergerät 16 an das Einspritzventil 8 bzw. die Zündkerze 9 übertragen.

[0016] Das Ansaugrohr 6 ist mit einem Luftmassensensor 10 und das Abgasrohr 7 mit einem Lambdasensor 11 versehen. Der Luftmassensensor 10 misst die Luftmasse der dem Ansaugrohr 6 zugeführten Frischluft und erzeugt in Abhängigkeit davon ein Signal LM. Der Lambdasensor 11 misst den Sauerstoffgehalt des Abgases in dem Abgasrohr 7 und erzeugt in Abhängigkeit davon ein Signal Lambda. Die Signale des Luftmassensensors 10 und des Lambda-Sensors 11 werden dem Steuergerät 16 zugeführt.

[0017] In dem Ansaugrohr 6 ist eine Drosselklappe 12 untergebracht, deren Drehstellung mittels eines Signals DK einstellbar ist. Weiterhin kann das Abgasrohr 7 über eine hier nicht dargestellte Abgasrückführungsleitung (AGR) mit dem Ansaugrohr 6 verbunden sein. Die Steuerung der Abgasrückführung kann beispielsweise über ein von dem Steuergerät 16 ansteuerbares, hier ebenfalls nicht dargestelltes Abgasrückführventil erfolgen.

[0018] In einer ersten Betriebsart, dem Homogenbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird die Drosselklappe 12 in Abhängigkeit von der erwünschten, zugeführten Luftmasse teilweise geöffnet bzw. geschlossen. Der Kraftstoff wird von dem Einspritzventil 8 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Ansaugphase in den Brennraum 4 eingespritzt. Durch die gleichzeitig angesaugte Luft wird der eingespritzte Kraftstoff verwirbelt und damit im Brennraum 4 im Wesentlichen gleichmäßig/homogen verteilt. Danach wird das Kraftstoffluftgemisch während der Verdichtungsphase verdichtet, um dann von der Zündkerze 9 entzündet zu werden. Durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs wird der Kolben 2 angetrieben.

[0019] In einer zweiten Betriebsart, dem Schichtbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird die Drosselklappe 12 weit geöffnet ($\text{Lambda} \gg 1$). Der Kraftstoff wird von dem Einspritzventil 8 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Verdichtungsphase in den Brennraum 4 eingespritzt. Dann wird mit Hilfe der Zündkerze 9 der Kraftstoff entzündet, so dass der Kolben 2 in der nunmehr folgenden Arbeitsphase durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs angetrieben wird.

[0020] Eine weitere mögliche Betriebsart ist der Homogene Magerbetrieb HMM, bei dem Kraftstoff, wie beim Homogenbetrieb, während der Ansaugphase in den Brennraum 4 eingespritzt wird. Im Unterschied zum Homogenbetrieb wird ein Luftkraftstoffgemisch von $\text{Lambda} > 1$ eingestellt. Hierbei wird ein Lambda-Wert von ungefähr 1,6 als ideal für einen stationären Homogenen Magerbetrieb HMM mit einer Abgasrückführungsrate (AGR) von 0% betrachtet. Bei höheren AGR-Raten werden kleinere Lambda-Werte von beispielsweise 1,3 angestrebt. Bei der Homogenen Mageren Betriebsart HMM handelt es sich um eine im Prinzip magere Betriebsart mit homogenem Charakter, wobei die Betriebsart als eine luftgesteuerte Betriebsart (wie der Homogenbetrieb) betrachtet werden muss. Luftgeführt bedeutet hierbei, dass die drehmomentbeeinflussende Größe die zuge-

führte Luftmenge ist.

[0021] Die Brennkraftmaschine 1 kann mit Hilfe des Steuergerätes 16 zwischen den verschiedenen Betriebsarten umschalten. In allen Betriebsarten wird durch den angetriebenen Kolben 2 eine Kurbelwelle 14 in eine Drehbewegung versetzt, über die letztendlich die Räder des Kraftfahrzeugs angetrieben werden. Auf der Kurbelwelle 14 ist ein Zahnrad angeordnet, dessen Zähne von einem unmittelbar gegenüber angeordneten Drehzahlsensor 15 abgetastet werden. Der Drehzahlsensor 15 erzeugt ein Signal, aus dem die Drehzahl n der Kurbelwelle 14 ermittelt wird und übermittelt dieses Signal n an das Steuergerät 16. In allen Betriebsarten wird die von dem Einspritzventil 8 in den Brennraum eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Steuergerät 16, insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe Schadstoffentwicklung und/oder ein gewünschtes Sollmoment gesteuert und/oder geregelt. Auch die erfindungsgemäße Aufweitung der Lambda-Grenzwerte erfolgt in dem Steuergerät 16. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 16 mit einem Mikroprozessor versehen, der in einem Speichermedium Programmcode abgespeichert hat, der dazu geeignet ist, die gesamte erfindungsgemäße Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine 1 durchzuführen.

[0022] Das Steuergerät 16 nach Figur 1 ist weiterhin mit einem Fahrpedalsensor 17 verbunden, der ein Signal FP erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals/Gaspedals und damit das von dem Fahrer angeforderte Moment angibt. Entsprechend weiterer Betriebsbedingungen und dem vom Fahrer angeforderten Moment wird vom Steuergerät 16 die aktuell auszuführende Betriebsart ausgewählt und entsprechend angesteuert und/oder geregelt.

[0023] Das in das Steuergerät 16 implementierte erfindungsgemäße Verfahren wird im Rahmen der folgenden Figuren 2 bis 5 eingehender erläutert.

[0024] Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine. Wie auch in den folgenden Figuren 3, 4 und 5 ist in der Figur 2 auf der horizontalen Achse die Zeit aufgetragen. Die senkrechte Achse stellt Lambda-Werte dar. Zusätzlich sind unterhalb des Koordinatensystems drei Signalverläufe aufgetragen. Der Signalverlauf B_hmms stellt das Signal dar, dass die Betriebsart Homogen/Mager (HMM) angefordert wurde. Dies stellt somit praktisch den Sollzustand der Betriebsart dar. Der zweite Signalverlauf B_hmm stellt den Ist-Zustand der Betriebsart Homogen/Mager (HMM) dar. Immer dann, wenn B_hmm high level hat, wird also die Betriebsart Homogen/Mager (HMM) ausgeführt. Der dritte Signalverlauf B_hmmlgs bedeutet, dass immer dann, wenn dieses Signal high level hat, die Betriebsart Homogen/Mager HMM luftgesteuert und mit konstanten Lambdagrenzen ausgeführt wird. Zur besseren Beschreibung der verschiedenen dargestellten Verläufe sind unterhalb der Signale diskrete Zeit-

punkte t1, t2, t3, t31, t32, t4 und t5 aufgetragen. Der Kurvenverlauf 21 stellt eine obere Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM dar und der Kurvenverlauf 22 eine untere Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM. Der Verlauf 23 kennzeichnet ein angestrebtes Ziel-Lambda bzw. ein Soll-Lambda, während der Kurvenverlauf 24 den tatsächlichen Ist-Lambda-Wert beschreibt. Insgesamt stellt der in Figur 2 dargestellte Verlauf einen Übergang von einer beliebigen anderen Betriebsart auf die Betriebsart Homogen/Mager (HMM) und zurück dar. Beispielsweise kann vor dem Zeitpunkt t2 eine homogene Betriebsart vorherrschend gewesen sein. Für den Fall, dass der Fahrer des Kraftfahrzeugs den Momentenwunsch reduziert bzw. vom Gas geht, läuft der Lambda-Wert in Richtung mager, wodurch zum Zeitpunkt t1 das Signal B_hmms auf high gesetzt wird, womit die Betriebsart Homogen/Mager angefordert wird. Zu einem späteren Zeitpunkt sei angenommen, dass der Fahrer des Kraftfahrzeugs seinen Momentenwunsch wiederum erhöht, indem er auf das Gaspedal drückt. Dies führt dazu, dass die Anforderung der Betriebsart Homogen/Mager B_hmms zu einem Zeitpunkt t4 von high auf low zurückgenommen wird, so dass im weiteren Verlauf ab dem Zeitpunkt t5 wiederum auf eine andere Betriebsart übergegangen wird. Vor dem Zeitpunkt t2 und nach dem Zeitpunkt t5 werden die Lambdagrenzen 21 und 22 für die Betriebsart Homogen/Mager HMM als Funktion der Brennbarkeit, d. h. es muss ein brennfähiges Gemisch in Brennform vorliegen oder auch der maximalen NOx-Emission vorgegeben.

[0025] Nach der Anforderung der Betriebsart Homogen/Mager zum Zeitpunkt t1 wird zum Zeitpunkt t2 der Übergang von der Betriebsart Homogen auf die Betriebsart Homogen/Mager begonnen, was durch den high level des Signals B_hmm erkennbar ist. Hierzu werden die Lambda-Grenzen 21 und 22 auf den Ziellambda-Wert 23 gerampt, wodurch der Lambda-Wert gezwungen wird, sich innerhalb des vorgegebenen Korridors zu bewegen. Der sich dabei einstellende tatsächliche Lambda-Verlauf 24 zeigt, dass der Lambda-Wert bis zum Zeitpunkt t3 die untere Lambda-Grenze 22 nicht berührt, so dass in diesem Bereich die Lambda-Grenzen 21 und 22 als eine reine Sicherheitsfunktion zu sehen sind. Zum Zeitpunkt t3 hat der Ist-Lambda-Wert 24 den Soll-Lambda-Wert 23 näherungsweise erreicht und die obere und untere Lambda-Grenze 21 bzw. 22 werden auf den näherungsweise gleichen konstanten Wert festgesetzt. Ab diesem Zeitpunkt t3 wird die Betriebsart Homogen/Mager als luftgeführte Betriebsart mit konstantem Lambda-Wert ausgeführt, was durch das Signal B_hmmlgs und dessen high level ab dem Zeitpunkt t3 vorgegeben wird. Die Zeitspanne zwischen den Zeitpunkten t3 und dem nachfolgenden Zeitpunkt t31 kann in der Praxis beliebig lange sein, solange keine bestimmte Betriebssituation eintritt, in der von der luftgeführten Betriebsweise abgewichen werden muss. Der Vorteil der Rampe der oberen und unteren Lambda-

Grenze zwischen den Zeitpunkten t2 und t3 ist auch daran zu sehen, dass durch ein variables Lambda innerhalb des Bereichs zwischen der oberen und der unteren Grenze 21 und 22 ein stellbarer Drehmomentenbereich während der Umschaltung von den Zeitpunkten t2 auf t3 gegeben ist.

[0026] Innerhalb der Betriebsart Homogen/Mager (HMM) kann es bei stationärem Lambda-Wert (t3 bis t31) aufgrund von hochdynamischen Momentenanforderungen zu einer kurzfristigen Lambda-Grenzenaufweitung kommen. Dies ist zwischen den Zeitpunkten t31 und t32 durch die Spitzen im Verlauf der unteren Lambda-Grenze und des tatsächlichen Ist-Lambda-Wertes 24 gezeigt. In diesem Fall wird also eine Lambda-Abweichung vom Soll-Lambda-Wert toleriert, um der hochdynamischen Momentenanforderung gerecht zu werden. Diese hochdynamische Momentenanforderung kann beispielsweise von einer Anti-Ruckel-Funktion, von Sicherheitseingriffen, Motorschutzfunktionen oder von einer Fahrdynamikregelung (ESP) herrühren. Nachdem die hochdynamische Momentenanforderung beendet ist, wird zum Zeitpunkt t32 wieder auf die luftgeführte Betriebsweise der Betriebsart Homogen/Mager (HMM) mit konstantem Lambdawert übergegangen. Dies zeigt sich auch in dem entsprechenden Ansteuersignal B_hmmlgs, das zwischen den Zeitpunkten t31 und t32 auf low level zurückgenommen wird, während ab dem Zeitpunkt t32 ein high level vorliegt, was eben der Ansteuerung der luftgeführten Betriebsweise entspricht. Zwischen den Zeitpunkten t32 und t4 kann in der Praxis ein beliebig langer Zeitraum liegen. Die Zeitspanne zwischen t32 und t4 stellt ebenso wie die Zeitspanne zwischen t3 und t31 einen stationären Fahrpunkt dar, der beliebig lange beibehalten werden kann. Zum Zeitpunkt t4 wird die Anforderung der Betriebsart Homogen/Mager zurückgenommen (B_hmms geht auf low level) und parallel hierzu werden die Lambda-Grenzen aufgeweitet. Die obere Lambda-Grenze 21 wird zum Zeitpunkt t4 heraufgesetzt und die untere Lambda-Grenze 22 wird zum Zeitpunkt t4 heruntergesetzt. Der Lambda-Wert kann sich innerhalb der vorgegebenen Grenzen 21 und 22 frei einstellen und es ergibt sich der gezeigte Lambda-Istverlauf 24. Die freie Einstellbarkeit des Lambda-Wertes bietet, wie bereits vorstehend dargelegt, den Vorteil, dass ein stellbarer Drehmomentenbereich während der Umschaltung gegeben ist. Im Allgemeinen kann bei der Umschaltung von der Betriebsart Homogen/Mager auf eine beliebige andere Betriebsart die Aufweitung der Lambda-Grenzen auf unbegrenzte Werte initialisiert werden. Unbegrenzt ist hierbei aus technischer Sicht als eine gewisse minimale und maximale Grenze zu sehen. Zum Zeitpunkt t5 geht der Lambda-Wert auf einen niedrigen Wert von Lambda = 1 zurück und die Betriebsart Homogen/Mager ist beendet, was durch das Signal B_hmm gezeigt ist, dass zum Zeitpunkt t5 auf low level übergeht. Ab dem Zeitpunkt t5 wird also, wie bereits vor dem Zeitpunkt t2, eine homogene Betriebsweise durchgeführt, was daran er-

kennbar ist, dass der Lambda-Wert bei 1 liegt.

[0027] Die Darstellung nach Figur 2 zeigt also zum Einen einen Übergang von einer homogenen Betriebsweise auf die Homogen/Mager Betriebsart und zurück auf die homogene Betriebsweise. Würde der Verlauf des Lambda-Istwertes 24 vor dem Zeitpunkt t2 nahe der oberen Lambda-Grenze 21 oder darüber verlaufen, würde dies bedeuten, dass vor dem Zeitpunkt t1 eine magere Schichtbetriebsart vorliegen würde. In diesem Fall wäre das Fahrzenario näherungsweise das folgende: Zu einem Zeitpunkt t1 beginnt der Fahrer des Kraftfahrzeugs, sein Fahrzeug zu beschleunigen, wodurch von einer Schichtbetriebsart, die besonders mager ist, zum Zeitpunkt t2 auf eine Homogen/Mager Betriebsart übergegangen wird, und schließlich ab dem Zeitpunkt t5 auf eine homogene Betriebsart übergegangen wird, da das geforderte Drehmoment in der homogenmagere Betriebsweise nicht mehr zur Verfügung gestellt werden kann.

[0028] Parallel zu den in der Figur 2 gezeigten Lambda-Veränderung muss bei einer drehmomentneutralen Umschaltung aus den Betriebsarten Homogen (mit $\Lambda = 1$) oder Schicht ($\Lambda \gg 1$) in die Betriebsart Homogen/Mager eine entsprechende Füllungszunahme realisiert werden und zusätzlich ein Zündwinkelhub vorgenommen werden. Das Ziel des Homogen-/Magerbetriebs ist ein Zustand mit konstantem Lambda, da in diesem Betriebszustand ein optimaler Kompromiss aus Abgasemissionen (in erster Linie NOx-Emissionen) und Fahrbarkeit des Kraftfahrzeugs gesehen werden kann.

[0029] Figur 3 stellt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Auch hierbei ist ein Übergang von der Betriebsart Homogen mit $\Lambda = 1$ (vor dem Zeitpunkt t2) auf die Betriebsart Homogen-Mager (von t2 bis t5, wobei t1 bis t2 und t4 bis t5 "Übergangszeiträume" sind) und zurück auf die Betriebsart Homogen (nach t5) dargestellt. Der Kurvenverlauf 31 stellt die obere und der Kurvenverlauf 32 die untere Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM dar. Kurvenverlauf 33 zeigt den gewünschten Lambda-Sollwert und Kurvenverlauf 34 zeigt den Lambda-Istwert. Im Gegensatz zu Figur 2 wird in der Darstellung nach Figur 3 kein hochdynamischer Momenteneingriff zwischen den Zeitpunkten t3 und t4 gezeigt. Die sonstigen Kurvenverläufe stimmen hingegen bis zum Zeitpunkt t4 mit den korrespondierenden Kurvenverläufen nach Figur 2 überein.

[0030] Zum Zeitpunkt t4 wird wie bei Figur 2 die Anforderung der Betriebsart Homogen-Mager (HMM) zurückgenommen (B_hmm geht auf low level über). Im Gegensatz zu Figur 2 wird jedoch vom Motorsteuerggerät der Lambda-Verlauf beobachtet und festgestellt, dass der Lambda-Wert in Richtung fett verläuft, also in Richtung zu niedrigeren Lambda-Werten. Da der Lambda-Istwert in Richtung fett verläuft, wird die obere, magere Grenze 31 zunächst nicht aufgeweitet, sondern verläuft zwischen den Zeitpunkten t4 und t5 auf glei-

chem Niveau weiter, wie vor t4. Diese Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens bietet den Vorteil, dass eine zwischen den Zeitpunkten t4 und t5 möglicherweise auftretenden hochdynamische Momentanforderung hinsichtlich der schnellen Lambda-Veränderung auf einen maximalen Lambda-Sprung von der aktuellen Lambda-Istkurve 34 zur oberen Lambda-Grenze 31 beschränkt ist. Da der Lambda-Sprung begrenzt ist und selbstverständlich ein Momentensprung bzw. ein Ruck des Kraftfahrzeugs vermieden werden soll, müssen weitere Maßnahmen den beschränkten Lambda-Sprung kompensieren.

[0031] Zum Zeitpunkt t5 ist die Betriebsart Homogen-Mager beendet, B_hmm geht auf low level über, und es beginnt die Betriebsart Homogen. Gleichzeitig mit dem Beginn der Betriebsart Homogen ab dem Zeitpunkt t5 wird auch die obere Lambda-Grenze freigegeben. Hier gelten die entsprechenden Hinweise von Figur 2.

[0032] In den Figuren nicht dargestellt sind die Signalverläufe der Betriebsarten, die vor und/oder nach der Homogen-Mager-Betriebsart angesteuert werden. In Figur 3 würde sich beispielsweise ab dem Zeitpunkt t4 ein Anforderungssignal für die Homogenbetriebsart ergeben und ab t5 würde die Homogenbetriebsart ablaufen. In der Homogenbetriebsart, wie auch schon in der Übergangszeit von t4 bis t5 kann durch die Variation des Zündwinkels Einfluß auf das von der Brennkraftmaschine erzeugte Drehmoment genommen werden. Diese Möglichkeit bietet sich an, um bei plötzlich auftretenden, hochdynamischen Drehmomentenanforderungen im Zeitbereich zwischen t4 und t5 die Begrenzung des Lambda-Sprungs zu kompensieren.

[0033] Figur 4 zeigt im wesentlichen die Ausführungsform nach Figur 3 auf, nur dass bei der Figur 4 vor dem Zeitpunkt t2 eine Schichtbetriebsart aktiv ist und die Lambda-Istkurve 44 ab dem Zeitpunkt t4 in Richtung mager verläuft. Die Anwesenheit der Schichtbetriebsart vor dem Zeitpunkt t2 läßt sich an dem Verlauf der Lambda-Istkurve 44 erkennen, die von hohen, mageren Lambda-Werten her kommt. Da die Lambda-Istkurve 44 ab dem Zeitpunkt t4 in Richtung mager verläuft, wird in Fall der Figur 4 die untere, fette Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM 42 unverändert gelassen und lediglich die obere Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM 41 aufgeweitet. Ab dem Zeitpunkt t5 ist die Homogen-Mager-Betriebsart beendet und die Lambda-Grenzen 41 und 42 werden wieder vollständig aufgeweitet, bzw. freigegeben. Der Kurvenverlauf 43 stellt den angestrebten Lambda-Sollwert dar. Durch die Beibehaltung der unteren Lambda-Grenze zwischen t4 und t5 ergeben sich die zu Figur 3 analogen Vorteile.

[0034] Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Kurvenverläufe entsprechen im wesentlichen denen nach Figur 3. Die Kurvenverläufe 51 und 52 sind die obere und untere Lambda-Grenze für die Betriebsart Homogen/Mager HMM. Die Kurve 53 ist der Lambda-Sollwert und die Kur-

ve 54 stellt den Lambda-Istwert dar. Die Unterschiede zu Figur 3 kommen ab dem Zeitpunkt t4 zum tragen. Auch bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 5 wird ab dem Zeitpunkt t4 der weitere Lambda-Istverlauf 54 beobachtet. Es wird festgestellt, dass der Lambda-Istverlauf 54 in Richtung fetterer Lambda-Werte verläuft. Die obere, magere Lambda-Grenze 51 wird ab dem Zeitpunkt t4 dem Lambda-Istwert 54 nachgeführt, was die Möglichkeit eines Lambda-Sprunges in Richtung mager bei einer möglichen hochdynamischen Momentenanforderung im Zeitraum zwischen t4 und t5 praktisch verhindert. Würde es zu einem Zeitpunkt zwischen t4 und t5 zu einer plötzlichen Momentenanforderung kommen, die einen Lambda-Istwert-Sprung in Richtung mager zur Folge hätte so würden die Kurvenverläufe 51 und 54 ab diesem Zeitpunkt bis t5 waagrecht verlaufen. Der Lambda-Istwert würde sich nicht erhöhen, sondern wird bis zum Zeitpunkt t5 auf einem konstanten Wert weitergeführt. Ab dem Zeitpunkt t5 ist die Homogenbetriebsart aktiv und die Lambda-Grenzen 51 und 52 werden freigegeben.

[0035] Eine weitere, in den Figuren nicht dargestellte, Möglichkeit besteht in der zu Figur 5 analogen Nachführung der unteren Lambda-Grenze 52, wenn der Lambda-Istwert 54 ab dem Zeitpunkt t4 in Richtung mager verläuft. Auch hier würden ab dem Zeitpunkt t5, zu dem beispielsweise die Schichtbetriebsart aktiv sein könnte, die Lambda-Grenzen 51 und 52 freigegeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, wobei die Brennkraftmaschine wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) betrieben wird, wobei in der Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebssituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bestimmten Betriebssituationen wenigstens

- die Umschaltung aus einer beliebigen Betriebsart in die mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM),
- aus der mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) in eine andere beliebige Betriebsart oder
- eine schnelle Momentenanforderung im stationären Betrieb

umfassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der obere und der untere Lambda-Grenzwert auf den selben Ziel-Lambda-Grenzwert angenähert werden, wobei der Ziel-Lambda-Grenzwert dem angestrebten konstanten Lambda-Wert entspricht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Festlegung der Lambda-Grenzen derart erfolgt, dass ein näherungsweise konstantes Drehmoment von der Brennkraftmaschine erzeugt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) eine luftgeführte Betriebsart ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Drehmomentenausgleich über die Festlegung der Lambda-Grenzwerte erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** ein Lambda-Verlauf beobachtet wird,
- **dass** festgestellt wird, ob der Lambda-Verlauf in Richtung fett oder in Richtung mager verläuft,
- **dass** dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung fett verläuft, der obere, mageren Lambda-Grenzwert nicht aufgeweitet wird und
- **dass** dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung mager verläuft, der untere, fette Lambda-Grenzwert nicht aufgeweitet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** ein Lambda-Verlauf beobachtet wird,
- **dass** festgestellt wird, ob der Lambda-Verlauf in Richtung fett oder in Richtung mager verläuft,
- **dass** dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung fett verläuft, der obere, mageren Lambda-Grenzwert dem Lambda-Verlauf nachgeführt wird und
- **dass** dann, wenn der Lambda-Verlauf in Richtung mager verläuft, der untere, fette Lambda-Grenzwert dem Lambda-Verlauf nachgeführt.

9. Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine, mit einer Abfolge von Befehlen, die dazu geeignet sind, das Verfahren nach einem der Ansprüche von 1 bis 9 durchzuführen, wenn sie auf einem Computer, insbesondere einem Steuergerät für eine Brennkraftmaschine, ausgeführt werden.

10. Computerprogramm nach Anspruch 9, wobei die Abfolge von Befehlen auf einem computerlesbaren

Datenträger gespeichert ist.

11. Steuergerät zum Betreiben einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, wobei die Brennkraftmaschine von dem Steuergerät wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) angesteuert wird, wobei in der Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebssituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird. 5 10
12. Direkteinspritzende Brennkraftmaschine, wobei die Brennkraftmaschine wenigstens in einer mageren Betriebsart mit homogenem Charakter (HMM) betrieben wird, wobei in der Betriebsart ein konstanter Lambda-Wert angestrebt wird, wobei sich die Lambda-Werte zwischen einem unteren und einem oberen Lambda-Grenzwert bewegen und wobei in bestimmten Betriebssituationen eine Aufweitung der Lambda-Grenzwerte vorgenommen wird. 15 20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

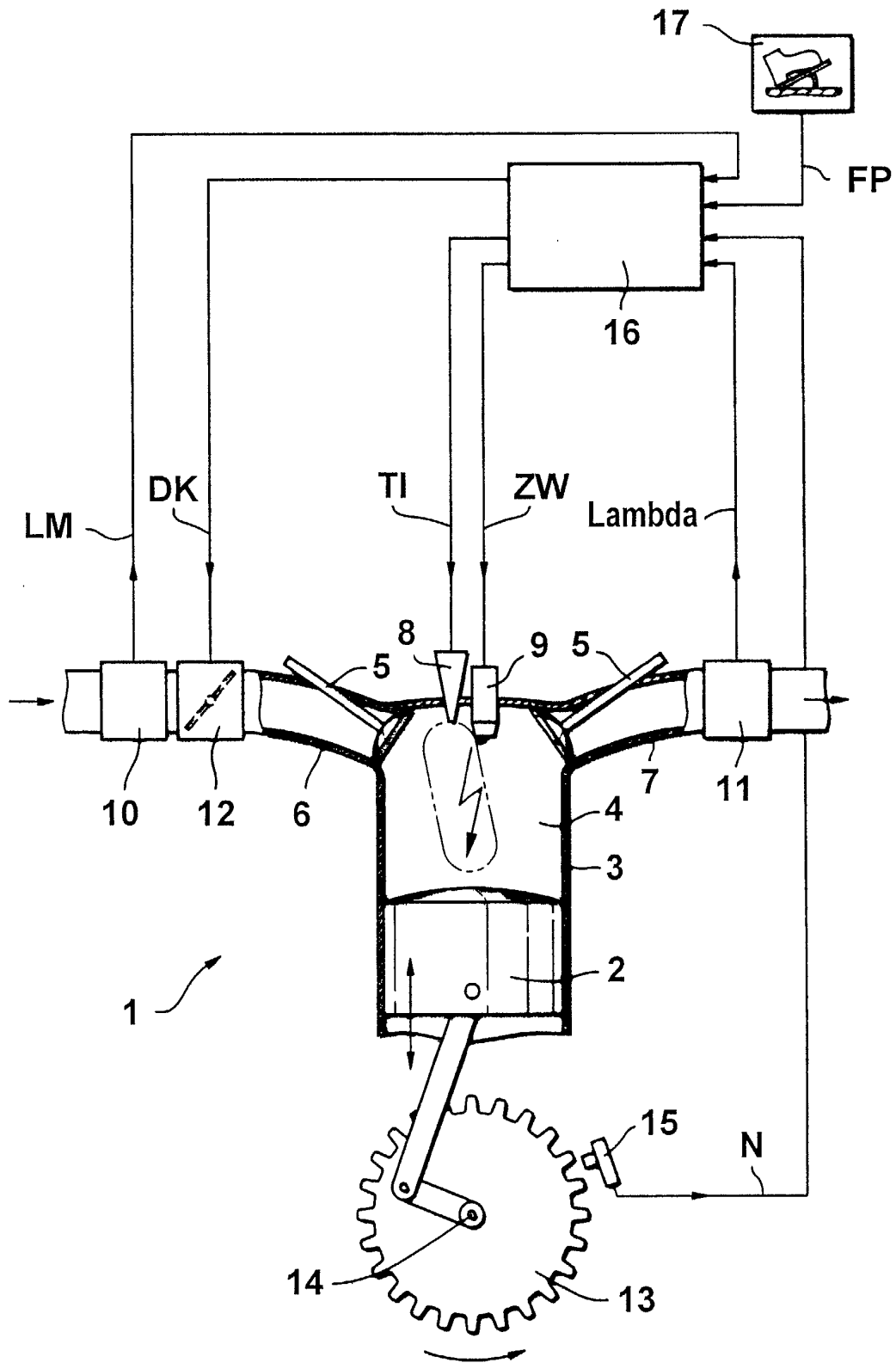


Fig. 2

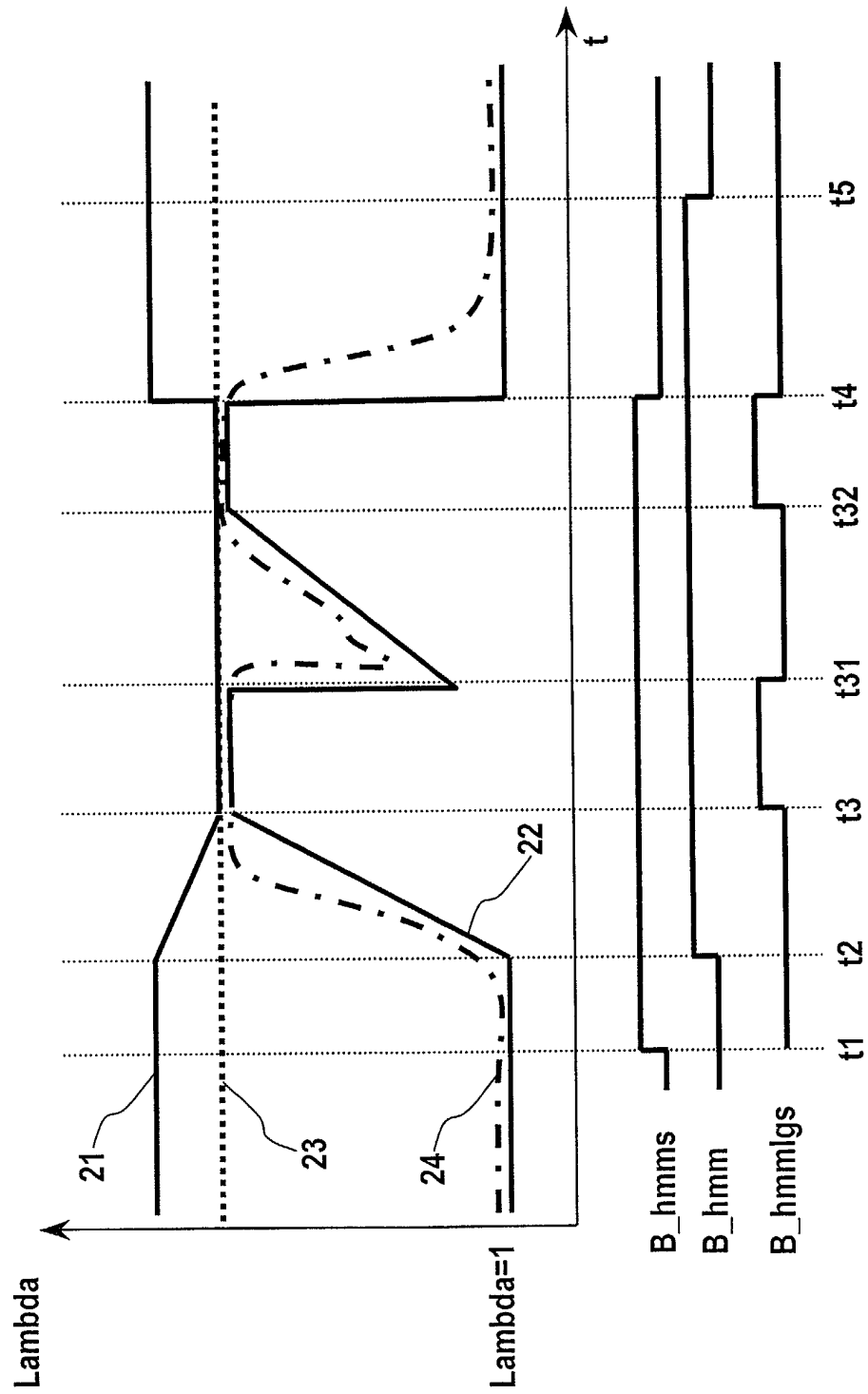


Fig. 3

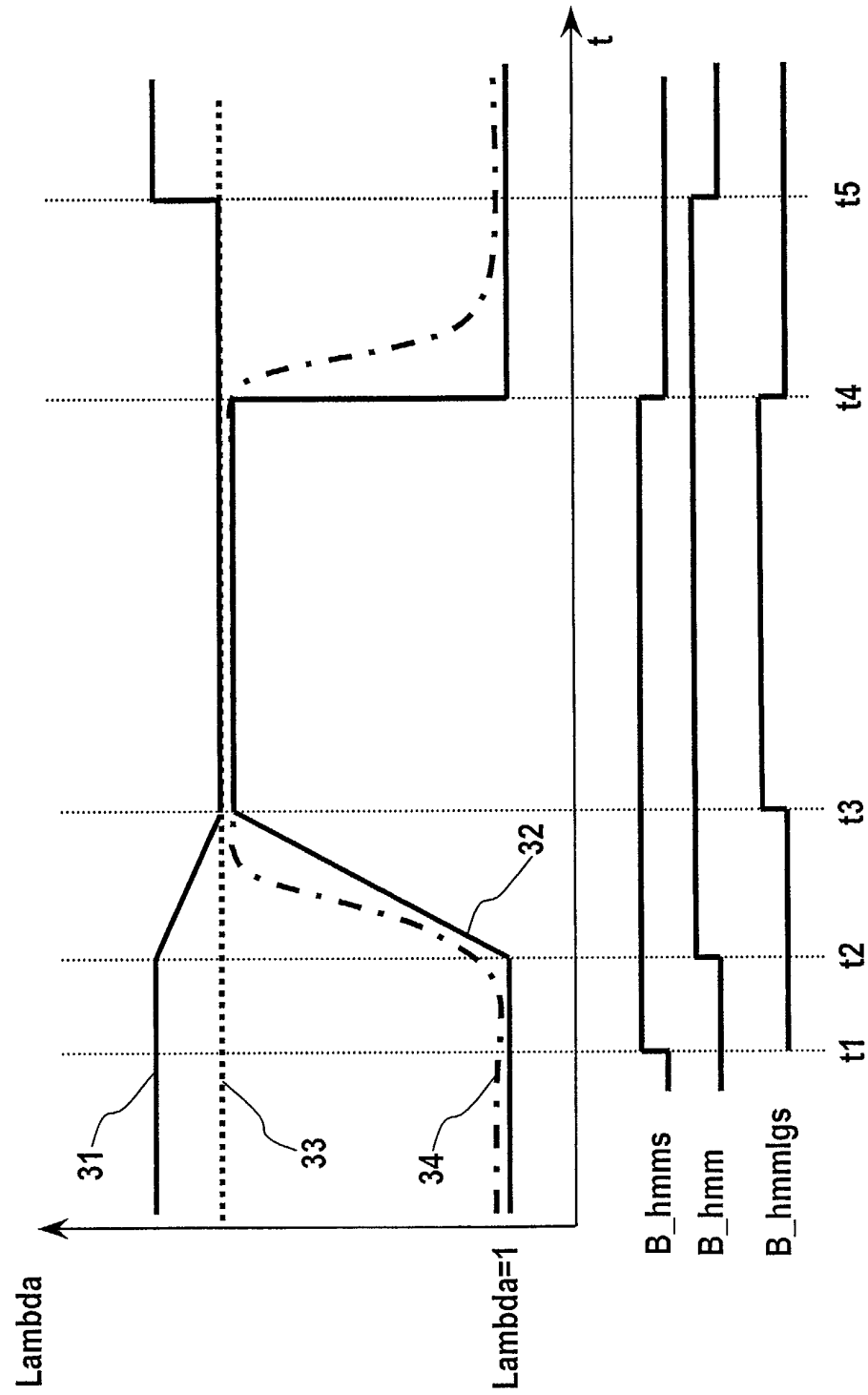


Fig. 4

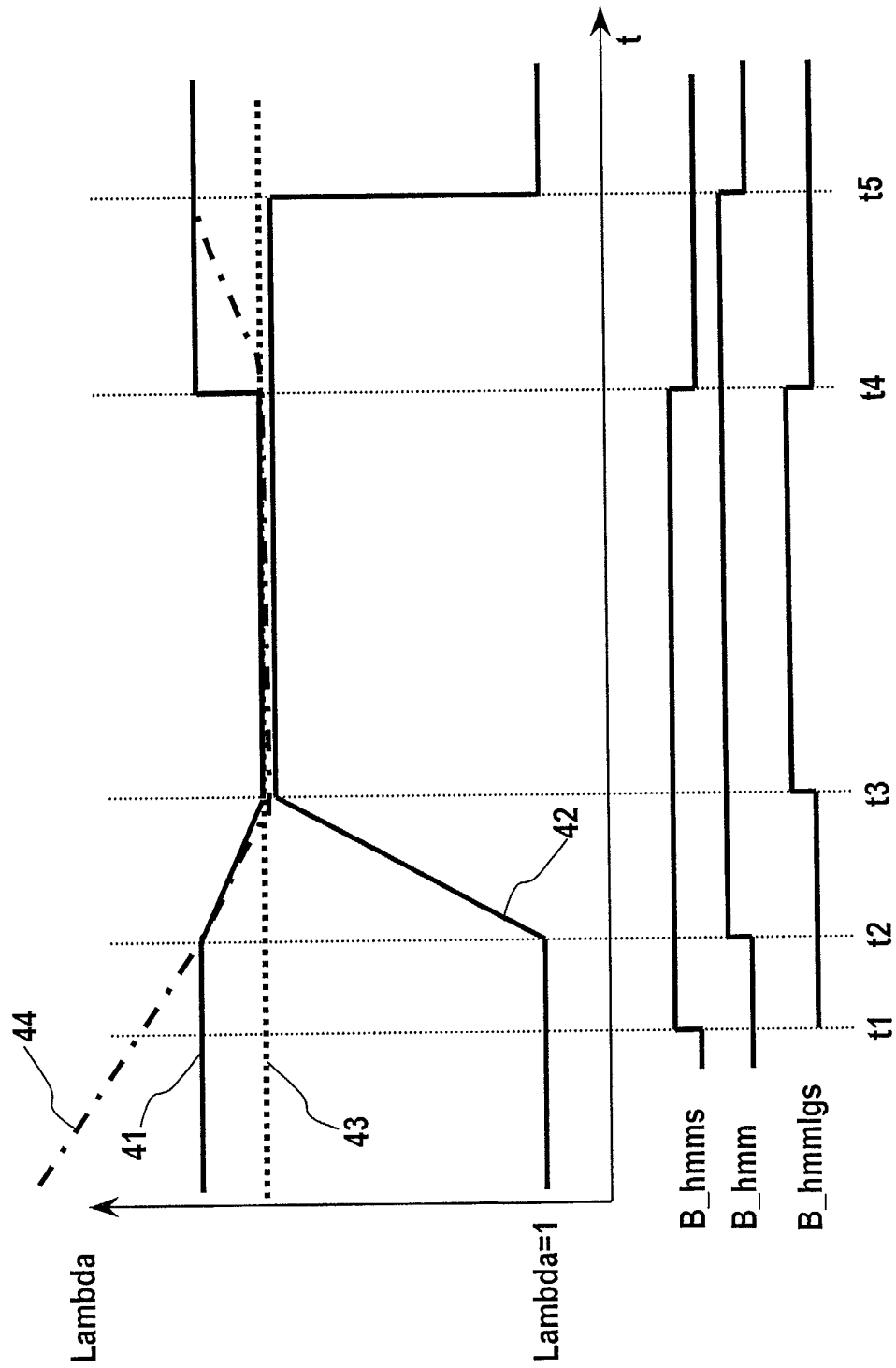


Fig. 5

