



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 03 705 B4 2006.08.31**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 03 705.5**
 (22) Anmeldetag: **30.01.2003**
 (43) Offenlegungstag: **19.08.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **31.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F02D 23/02 (2006.01)**
F02D 13/02 (2006.01)
F02B 37/12 (2006.01)
F02B 3/04 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

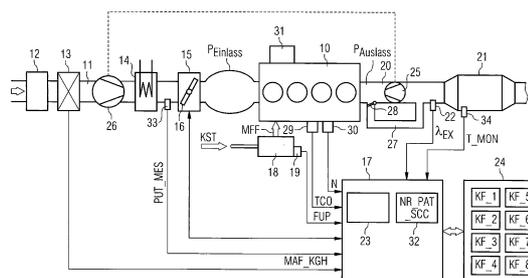
(72) Erfinder:
Beer, Johannes, 93047 Regensburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 199 50 677 A1
WO 99/43 930 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10) wobei

- die den Brennräumen der Brennkraftmaschine (10) zugeführte Luft mittels einer Aufladevorrichtung (25, 26) vorverdichtet wird,
- Kraftstoff direkt in die Brennräume der Brennkraftmaschine (10) eingespritzt wird,
- das Abgas der Brennkraftmaschine (10) mit Hilfe mindestens eines Abgaskatalysators (21) gereinigt wird,
- mittels einer Einrichtung (31) die Ventilüberschneidung (VO) der Gaswechselventile der Brennkraftmaschine (10) variiert werden kann,
- die Ventilüberschneidung (VO) der Gaswechselventile für einen Vollastbetrieb oder zumindest vollastnahen Betrieb der Brennkraftmaschine (10) durch Einstellen der Gaswechselventilsteuerzeiten auf stationäre Sollwerte (CAM_IN_FL_STAT_SP, CAM_EX_FL_STAT_SP) eingestellt wird,
- bei einer erhöhten Lastanforderung in den aufgeladenen Betrieb der Brennkraftmaschine (10) eine dynamische Korrektur der stationären Sollwerte (CAM_IN_FL_STAT_SP, CAM_EX_FL_STAT_SP) erfolgt,
- die dynamischen Korrekturwerte (CAM_IN_SP_DYN_COR, CAM_EX_SP_DYN_COR) abhängig von mindestens einer der Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine Drehzahl (N), Kühlmitteltemperatur (TCO), angesaugte Luftmasse (MAF_KGH) festgelegt sind und mittels eines Faktors (CAM_IN_DYN_COR_FAC, CAM_EX_DYN_COR_FAC) gewichtet werden,...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Aufladevorrichtung versehenen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine, die einen variablen Ventiltrieb aufweist.

Stand der Technik

[0002] Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung (DI, Direct Injection) beinhalten ein großes Potential zur Reduktion des Kraftstoffverbrauches bei relativ geringem Schadstoffausstoß. Im Gegensatz zur Saugrohrein-spritzung wird bei einer Direkteinspritzung Kraftstoff mit hohem Druck direkt in die Verbrennungsräume der Brennkraftmaschine eingespritzt.

[0003] Hierzu sind Einspritzsysteme mit zentralem Druckspeicher (Common-Rail) bekannt. In solchen Common-Rail-Systemen wird mittels einer Hochdruckpumpe ein vom elektronischen Steuergerät der Brennkraftmaschine über Drucksensor und Druckregler geregelter Kraftstoffdruck in der Verteilerleiste (Common-Rail) aufgebaut, der weitgehend unabhängig von Drehzahl und Einspritzmenge zur Verfügung steht. Über einen elektrisch ansteuerbaren Injektor wird der Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt. Dieser erhält seine Signale von dem Steuergerät. Durch die funktionelle Trennung von Druckerzeugung und Einspritzung kann der Einspritzdruck unabhängig vom aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine weitgehend frei gewählt werden.

[0004] Es ist bekannt, zur Leistungs- und Drehmomentsteigerung von Brennkraftmaschinen eine Aufladeeinrichtung vorzusehen, welche die Ladungsmenge durch Vorverdichtung vergrößert. Dabei fördert ein Lader die Frischluft in den Zylinder der Brennkraftmaschine. Bei der mechanischen Aufladung wird der Verdichter direkt von der Brennkraftmaschine angetrieben (z.B. Kompressoraufladung), während bei einer Abgasturboaufladung eine mit dem Abgas der Brennkraftmaschine beaufschlagte Turbine (Abgasturbine) einen im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine liegenden Verdichter antreibt.

[0005] Bei Abgasturboaufladung ist das dynamische Anlaufverhalten teilweise verzögert. Die Verzögerung entsteht insbesondere beim Übergang vom Teillastbetrieb zum Vollastbetrieb und wird gelegentlich auch als „Turboloch“ bezeichnet. Bei diesem Übergang des Betriebspunkts kommt es zu einer ungleichmäßigen Drehmomentabgabe.

[0006] Moderne Brennkraftmaschinen weisen zur Senkung der Ladungswechselverluste variable Ventiltriebe mit ein- und mehrstufiger oder stufenloser Variabilität auf. Die variable Ventilsteuerung der Ein- und Auslassventile bietet die Möglichkeit die Ventilsteuerzeiten innerhalb der physikalischen Grenzen des vorhandenen Aktuatorprinzips (mechanisches System, hydraulisches System, elektrisches System, pneumatisches System oder eine Kombination der genannten Systeme) mehr oder weniger frei einzustellen. Dadurch können Verbrauchseinsparungen, niedrigere Rohemissionen und ein höheres Drehmoment erreicht werden. Eine variable Nockenwellenverstellung ist beispielsweise in der WO 99/43930 beschrieben.

[0007] Aus der DE 199 50 677 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben einer zumindest einen in einem Zylinder geführten Arbeitskolben aufweisenden Brennkraftmaschine beschrieben, bei der zumindest ein Einlassventil mit variablem Schließzeitpunkt eine Einlassöffnung des Zylinders verschließt und freigibt und bei der zumindest ein Auslassventil mit variablem Öffnungszeitpunkt und konstantem Schließzeitpunkt eine Auslassöffnung des Zylinders verschließt und freigibt. Es ist vorgesehen dass die Brennkraftmaschine mit einem geometrischen Verdichtungsverhältnis betrieben wird, das auf das spezifische Teillastverdichtungsverhältnis angeho-ben ist.

Aufgabenstellung

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Betriebsweise einer mit Aufladung betriebenen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden, einen variablen Ventiltrieb aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere deren Ansprechverhalten bei Instationärvorgängen verbessert werden kann, ohne dass dabei eine Schädigung des Abgaskatalysators aufgrund zu hohen Temperaturen auftritt.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, wie es in Anspruch 1 definiert ist.

[0010] Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bilden den Gegenstand der Unteransprüche.

[0011] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die den Brennräumen der Brennkraftmaschine zugeführte Luft mittels einer Aufladevorrichtung vorverdichtet und Kraftstoff direkt in die Brennräume der Brennkraftmaschine eingespritzt. Das Abgas der Brennkraftmaschine wird mittels eines Abgaskatalysators gereinigt und mit Hilfe einer Einrichtung kann Ventilüberschneidung der Gaswechselventile der Brennkraftmaschine variiert werden. Die Ventilüberschneidung der Gaswechselventile für einen Vollastbetrieb oder zumindest vollastnahen Betrieb der Brennkraftmaschine wird durch Einstellen der Gaswechselventilsteuerzeiten auf stationäre Sollwerte eingestellt. Bei einer erhöhten Lastanforderung in den aufgeladenen Betrieb der Brennkraftmaschine erfolgt eine dynamische Korrektur der stationären Sollwerte in Richtung zu höheren Werten. Die dynamischen Korrekturwerte werden mittels eines ersten Faktors gewichtet, welcher in Abhängigkeit der Druckdifferenz zwischen Drucksollwert und tatsächlichem Druck im Ansaugkanal festgelegt ist und mittels eines zweiten Faktors gewichtet, welcher die Temperatur des Abgaskatalysators berücksichtigt. Anschließend werden die derart korrigierten Sollwerte eingestellt.

[0012] Dadurch ergibt sich ein verbessertes Ansprechverhalten des Abgasturboladers und damit ein verbessertes Ansprechverhalten der Brennkraftmaschine. Das bei Abgasturboaufladung verzögerte Anlaufverhalten, insbesondere beim Übergang vom Teillastbetrieb zum Vollastbetrieb, gelegentlich auch als „Turboloch“ bezeichnet, kann damit sicher verhindert werden.

Ausführungsbeispiel

[0013] Weitere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens erschließen sich aus der Beschreibung des Ausführungsbeispiels, das nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert wird. Die einzige Figur zeigt ein stark vereinfachtes Blockschaltbild einer aufgeladenen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine mit einem variablen Ventiltrieb, bei der das erfindungsgemäße Verfahren angewendet wird.

[0014] In der Figur ist in Form eines Blockschaltbildes eine aufgeladene Otto-Brennkraftmaschine **10** mit Kraftstoffdirekteinspritzung und einer ihr zugeordneten Abgasnachbehandlungsanlage gezeigt. Dabei sind nur diejenigen Komponenten dargestellt, die für das Verständnis der Erfindung notwendig sind. Insbesondere ist auf die Darstellung der Zündanlage, des Kraftstoffkreises und des Kühlkreislaufes verzichtet worden.

[0015] Über einen Ansaugkanal **11** erhält die Brennkraftmaschine **10** die zur Verbrennung notwendige Frischluft. Die zugeführte Frischluft strömt durch einen Luftfilter **12**, einen Luftmassenmesser **13** und einen Ladeluftkühler **14** zu einem Drosselklappenblock **15**. Der Drosselklappenblock **15** beinhaltet eine Drosselklappe **16** und einen nicht dargestellten Drosselklappensensor, der ein dem Öffnungswinkel der Drosselklappe **16** entsprechendes Signal abgibt. Bei der Drosselklappe **16** handelt es sich beispielsweise um ein elektromechanisch angesteuertes Drosselorgan (E-Gas), dessen Öffnungsquerschnitt neben der Betätigung durch den Fahrer (Fahrerwunsch) abhängig vom Betriebsbereich der Brennkraftmaschine über entsprechende Signale einer Steuerungseinrichtung **17** einstellbar ist. Der Luftmassenmesser **13** dient bei einer sogenannten luftmassengeführten Steuerung der Brennkraftmaschine als Lastsensor, dessen Ausgangssignal MAF_KGH zur weiteren Verarbeitung der Steuerungseinrichtung **17** zugeführt wird.

[0016] Die Brennkraftmaschine **10** weist eine Kraftstoffzumesseinrichtung **18** auf, der Kraftstoff KST unter hohem Druck zugeführt wird und die eine der Zylinderanzahl der Brennkraftmaschine entsprechende Anzahl von Einspritzventilen beinhaltet, welche über entsprechende Signale von Einspritzendstufen angesteuert werden, die beispielsweise in der elektronischen Steuerungseinrichtung **17** der Brennkraftmaschine integriert sind. Über die Einspritzventile wird Kraftstoff direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine **10** eingespritzt. Die Einspritzventile werden dabei in vorteilhafter Weise aus einem Kraftstoffdruckspeicher (Common Rail) mit Kraftstoff versorgt. Die von einem Einspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge ist mit MFF bezeichnet. Ein Drucksensor **19** an der Kraftstoffzumesseinrichtung **18** erfasst den Kraftstoffdruck FUP, mit dem der Kraftstoff direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine eingespritzt wird.

[0017] Ausgangsseitig ist die Brennkraftmaschine **10** mit einem Abgaskanal **20** verbunden, in dem ein Abgaskatalysator **21** angeordnet ist. Dabei kann ein Dreiwege-Katalysator oder ein NO_x-Speicherkatalysator oder eine Kombination der beiden vorgesehen sein. Die Sensorik für die Abgasnachbehandlung beinhaltet u.a. einen stromaufwärts des Abgaskatalysators **21** angeordneten Abgasmessaufnehmer in Form einer Lambdasonde **22**.

[0018] Die Temperatur des Abgaskatalysators **21**, genauer gesagt die Monolithtemperatur T_MON wird mittels eines Temperatursensors **34** erfasst, der in Strömungsrichtung des Abgases gesehen im vorderen Teil des Abgaskatalysators **21** angeordnet ist. Das Signal T_MON wird der Steuerungseinrichtung **17** zur weiteren Ver-

arbeitung zugeführt. Alternativ hierzu kann die Monolithtemperatur T_MON auch über ein beliebiges, bekanntes Abgastemperaturmodell aus verschiedenen Eingangsgrößen berechnet werden, wie es beispielsweise in der DE 198 36 955 A1 beschrieben ist.

[0019] Mit dem Signal λ_{Ex} der Lambdasonde **22** wird das Gemisch entsprechend der Sollwertvorgaben geregelt. Diese Funktion übernimmt eine an sich bekannte Lambdaregelungseinrichtung **23**, die vorzugsweise in die, den Betrieb der Brennkraftmaschine steuernde bzw. regelnde Steuerungseinrichtung **17** integriert ist. Solche elektronischen Steuerungseinrichtungen **17**, die in der Regel einen oder mehrere Mikroprozessoren beinhalten und die neben der Kraftstoffeinspritzung und der Zündungsregelung noch eine Vielzahl weiterer Steuer- und Regelaufgaben übernehmen, sind an sich bekannt, so dass im folgenden nur auf den im Zusammenhang mit der Erfindung relevanten Aufbau und dessen Funktionsweise eingegangen wird. Insbesondere ist die Steuerungseinrichtung **17** mit einer Speichereinrichtung **24** verbunden, in der u.a. verschiedene Kennfelder und Schwellenwerte gespeichert sind, deren Bedeutung noch erläutert wird.

[0020] Zur Erhöhung der Zylinderfüllung und damit zur Leistungssteigerung der Brennkraftmaschine **10** ist eine Aufladevorrichtung in Form eines an sich bekannten Abgasturboladers vorgesehen, dessen Turbine **25** im Abgaskanal **20** angeordnet ist und die über eine in der Figur strichliniert dargestellte, nicht näher bezeichnete Welle mit einem Verdichter **26** im Ansaugkanal **11** in Wirkverbindung steht. Somit treiben die Abgase die Turbine **25** und diese wiederum den Verdichter **26** an. Der Verdichter **26** übernimmt das Ansaugen und liefert der Brennkraftmaschine **10** eine vorverdichtete Frischladung. Der stromabwärts des Verdichters **26** liegende Ladeluftkühler **14** führt die Verdichtungswärme über den Kühlmittelkreislauf der Brennkraftmaschine **10** ab. Dadurch kann die Zylinderfüllung weiter verbessert werden. Parallel zu der Turbine **25** ist eine Umgehungsleitung (Bypassleitung) **27** vorgesehen, die über ein sogenanntes Wastegate **28** unterschiedlich weit geöffnet werden kann. Hierdurch wird ein unterschiedlich großer Teil des Massenstroms aus der Brennkraftmaschine an der Turbine **25** vorbeigeleitet, so dass der Verdichter **26** des Abgasturboladers unterschiedlich stark angetrieben wird.

[0021] Ein Temperatursensor **29** erfasst ein der Temperatur der Brennkraftmaschine entsprechendes Signal, in der Regel die Kühlmitteltemperatur TCO. Ein Drehzahlsensor **30** erfasst die Drehzahl N der Brennkraftmaschine. Ein Wert PUT_MES für den Druck im Ansaugkanal **11** an einer Stelle stromaufwärts der Drosselklappe **16** und stromabwärts des Ladeluftkühlers **14** wird mittels eines Drucksensors **33** gemessen. All diese Signale werden der Steuerungseinrichtung **17** zur weiteren Verarbeitung zugeführt.

[0022] Zur Abschaltung einzelner Zylinder der Brennkraftmaschine **10** weist die Steuerungseinrichtung **17** eine Einrichtung **32** auf, mit deren Hilfe die Kraftstoffzuführung zu einzelnen Zylindern der Brennkraftmaschine nach einem vorgegebenen Abschaltmuster, den sogenannten Abschaltpattern NR_PAT_SCC abgeschaltet und wieder frei gegeben wird. Eine solche Einrichtung ist beispielsweise in der EP 0 614 003 B1 beschrieben. Durch die Kraftstoffabschaltung für einzelne Zylinder werden die „gefeuerten“ Zylinder, d. h. diejenigen Zylinder, welche weiterhin mit Kraftstoff versorgt werden, höher ausgelastet, wodurch Gütegrad der Verbrennung und Gaswechselwirkungsgrad verbessert werden. Des Weiteren ist die Zylinderabschaltung eine Methode zum schnellen Momentenabbau und/oder zur Momentenbegrenzung.

[0023] Ferner weist die Brennkraftmaschine **10** eine Einrichtung **31** auf, mit deren Hilfe die Ventilüberschneidung der Einlassventile und der Auslassventile eingestellt und geändert werden kann. Solche variable Ventilsteuerungen können mit mechanischen Systemen, hydraulischen Systemen, elektrischen Systemen, pneumatischen Systemen oder durch eine Kombination der genannten Systeme realisiert werden. Dabei kann zwischen sogenannten vollvariablen (stufenlosen) Ventiltrieben und Systemen mit in Stufen einstellbaren Ventiltrieben unterschieden werden.

[0024] Die zur Verbrennung nötige Kraftstoffeinspritzmenge MFF wird in herkömmlicher Weise aus einem Lastparameter, nämlich der angesaugten Luftmasse MAF_KGH und der Drehzahl N berechnet und mehreren Korrekturen (Temperatureinfluss, Lambdaeregler, usw.) unterworfen.

[0025] Ein aufgeladener, homogen betriebener DI-Ottomotor bietet im volllastnahen Betrieb die Möglichkeit Frischluft direkt in den Abgastrakt zu spülen. Voraussetzung dazu sind ein positives Druckgefälle zwischen Ein- und Auslassseite zum Zeitpunkt des Ladungswechsels OT (Oberer Totpunkt) sowie eine ausreichende Ventilüberschneidung VO (Valve Overlap) zwischen Auslass- und Einlassventil. Die Ventilüberschneidung VO, ausgedrückt in °KW (Kurbelwelle) lässt sich bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel über ein IVVT-System (Infinitely Variable Valve Timing) stufenlos einstellen. Zur Kennzeichnung dieses Systems werden im folgenden den verwendeten Parametern der Ausdruck IVVT vorangestellt.

[0026] Durch die Direkteinspritzung von Kraftstoff ist sichergestellt, dass der Beginn der Einspritzung nach dem Schließen des Auslassventils erfolgt. Es wird so nur Frischluft ohne Kraftstoff zur Abgasseite gespült.

[0027] Durch die zusätzliche Spülluft wird der Massenstrom durch die abgasseitig angeordnete Abgasturbine erhöht, wodurch sich die erzielbare Maximalleistung und das dynamische Verhalten eines Abgasturboladers deutlich verbessern. So kann insbesondere für geringe Motordrehzahlen das Ansprechverhalten eines Abgasturboladers verbessert werden.

[0028] Im vollastnahen Betrieb einer aufgeladenen Brennkraftmaschine bewirkt eine positive Druckdifferenz zwischen Einlass- und Auslassseite in Kombination mit einer entsprechenden Ventilüberschneidung VO dass Frischluft zur Abgasseite gespült wird. Die Spülluftmenge erhöht den Durchsatz durch die Brennkraftmaschine ohne an der Verbrennung teilzunehmen. Es treten insbesondere folgende Vorteile für das Betriebsverhalten auf:

- Bei einem Lambdawert $\lambda_{\text{Ex}} = 1$ findet bei Spülluft eine Verbrennung im Zylinder mit einem Lambdawert $\lambda_{\text{Cyl}} < 1$ statt. Durch die Verbrennung im Fetten wird die Klopfneigung reduziert.
- $\lambda_{\text{Cyl}} < 1$ bewirkt einen sehr hohen CO- und HC-Anteil im Abgas. Gleichzeitig sorgt der Spülluftanteil für einen hohen Restsauerstoffgehalt und bewirkt so einen internen Sekundärlufteffekt. Die resultierende Abgaszusammensetzung bewirkt eine hohe Exothermie im Abgaskatalysator und beschleunigt so seine Aufheizung.
- Durch Spülen wird der Restgasanteil im Brennraum und somit die Klopfneigung vermindert. Die Minimierung des Restgasanteils ist bei Betrieb an der Vollast von entscheidender Bedeutung um eine maximale Zylinderfüllung zu erreichen und diese Füllung auch effektiv, d.h. mit günstiger Verbrennungsschwerpunkt-lage, umzusetzen.
- Die zusätzliche Spülluftmenge erhöht den Massenstrom durch die Turbine, wodurch bei niedrigen Motordrehzahlen sowohl das Ansprechverhalten, als auch die erreichbare Maximalleistung gesteigert werden können.

[0029] Das Verhältnis der im Zylinder verbleibenden Luftmasse zur gesamten während eines Arbeitsspieles angesaugten Luftmasse wird als TE (Trapping Efficiency) bezeichnet.

$$TE = \frac{\text{Luftmasse Zylinder}}{\text{Gesamte angesaugte Luftmasse}} = \frac{M_{\text{Cyl}}}{M_{\text{Cyl}} + M_{\text{Scav}}}$$

[0030] Die gesamte angesaugte Luftmasse setzt sich zusammen aus der Luftmasse M_{Cyl} , die im Zylinder verbleibt und der Spülluftmasse M_{Scav} , also derjenigen Luftmasse, die durch den Zylinder gespült wird. Aus dem oben angegebenen Zusammenhang folgt, dass $TE \leq 1$ ist. Je größer die Spülluftmasse M_{Scav} ist, desto kleiner ist der Wert für die Trapping Efficiency TE. D.h. der Luftmassenmesser **13** (Fig. 1) misst die gesamte Luftmasse, die insgesamt angesaugt wird, die sich dann aber aufteilt über die Trapping Efficiency TE in eine Luftmasse, die an der Verbrennung teilnimmt und in eine Luftmasse, die durch die Zylinder der Brennkraftmaschine durchgespült wird.

[0031] Bei einem IVVT-System (Infinitely Variable Valve Timing, stufenlose Verstellung der Nockenwellenposition) lässt sich die Trapping Efficiency TE über die Einlass- und Auslass-Nockenwellenposition stufenlos zwischen einem Minimalwert (maximale Spülluft) und dem Wert 1 (keine Spülluft, $M_{\text{Scav}} = 0$) verstellen.

[0032] Das im Abgas gemessene Lambda λ_{Ex} stimmt, aufgrund der nicht an der Verbrennung teilnehmenden Spülluftmasse M_{Scav} , nicht mit dem Verbrennungslambda λ_{Cyl} überein. Es gilt folgender Zusammenhang: $TE \cdot \lambda_{\text{Ex}} = \lambda_{\text{Zyl}}$

[0033] Die maximal zulässige Monolithtemperatur $T_{\text{MON_MAX}}$ des Abgaskatalysators stellt eine Begrenzung für die maximal zulässige Spülluftmenge dar. Durch den Lambdawert $\lambda_{\text{Ex}} = 1$, der mittels der Lambdaregelungseinrichtung **23** eingestellt wird und einer Trapping Efficiency $TE < 1$ (positives Spülgefälle, Ventilüberschneidung $VO > 0$) ergibt sich ein $\lambda_{\text{Cyl}} < 1$. Dadurch findet keine vollständige Verbrennung des Kraftstoffs im Brennraum statt. Im Abgas tritt so eine hohe CO- und HC-Konzentration auf. Durch den Spülluftanteil im Abgas herrschen ideale Bedingungen für eine Nachreaktion im Abgaskatalysator. Die hohen Konzentrationen der unverbrannten Kraftstoffbestandteile zusammen mit dem hohen Restsauerstoffgehalt führen zu einer starken exothermen Reaktion im Abgaskatalysator. Die Monolithtemperatur T_{MON} des Abgaskatalysators kann dadurch in kritische Bereiche ansteigen.

[0034] Der stationäre IVVT-Sollwert CAM_IN_FL_STAT_SP für den vollastnahen Betrieb für die Verstellung

der Einlassnockenwelle und der stationäre IVVT-Sollwert CAM_EX_FL_STAT_SP für den volllastnahen Betrieb für die Verstellung der Auslassnockenwelle werden jeweils im Hinblick auf die erreichbare Volllast und die maximal zulässige Monolithtemperatur T_MON_MAX abgestimmt. Diese Temperatur T_MON_MAX darf aus Gründen der Dauerhaltbarkeit des Abgaskatalysators nicht auf Dauer überschritten werden. Sie ist insbesondere vom verwendeten Material des Abgaskatalysators abhängig. Sie ist vom Hersteller vorgegeben und beträgt für einen handelsüblichen Abgaskatalysator typischerweise 950°C.

[0035] Die Werte CAM_IN_FL_STAT_SP und CAM_EX_FL_STAT_SP, sowie die daraus resultierende Ventilüberschneidung VO stellen also die Sollwerte für die Einstellung der Gaswechselventile für maximale Leistung der Brennkraftmaschine unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Monolithtemperatur T_MON_MAX des Abgaskatalysators dar, die im stationären Betrieb der Brennkraftmaschine zulässig sind.

[0036] Der Wert T_MON_MAX würde für niedrige Drehzahlen (typischerweise $N \leq 2000$ 1/min) bei minimaler Trapping Efficiency TE (maximale Spülluftmenge) überschritten. Da bei maximaler Spülluftmenge, erreicht durch maximale Ventilüberschneidung VO nach Ladungswechsel – OT (Oberer Totpunkt) auch eine maximale Monolithtemperatur T_MON_MAX überschritten wird, müssen die stationären IVVT-Sollwerte begrenzt werden.

$$\text{CAM_IN_FL_STAT_SP} = \text{CAM_IN_FL_STAT_SP}(N, \text{TCO}, \text{MAF_KGH})$$

$$\text{CAM_EX_FL_STAT_SP} = \text{CAM_EX_FL_STAT_SP}(N, \text{TCO}, \text{MAF_KGH})$$

[0037] Die stationären Sollwerte (Set Point, SP) für Volllast (Full Load, FL) für die Einstellung der Gaswechselventile, angegeben in °KW (Kurbelwelle) sind in Abhängigkeit der Drehzahl N, der Kühlmitteltemperatur TCO und der Luftmasse MAF_KGH festgelegt und sind entweder in je einem dreidimensionalen Kennfeld KF_1 bzw. KF_2 oder in mehreren, verknüpften Kennfeldern in der Speichereinrichtung **24** abgelegt.

[0038] Die Monolithtemperatur T_MON kann in Abhängigkeit von Grundgrößen der Brennkraftmaschine mittels eines beliebigen, bekannten dynamischen Temperaturmodells bestimmt werden. Ein Temperaturmodell für die Monolithtemperatur T_MON eines Abgaskatalysators ist beispielsweise in der DE 199 31 223 C2 beschrieben.

$$T_MON = T_MON(N, \text{MAF_KGH}, \text{IGA}, \lambda_{\text{Ex}}, \text{VS}, \text{TCO}, \text{NR_PAT_SCC}, \text{TE})$$

[0039] Als Eingangsgrößen für das Temperaturmodell können in Abhängigkeit der gewünschten Genauigkeit alle oder eine Auswahl der folgend genannten Parameter herangezogen werden:

- Drehzahl N der Brennkraftmaschine
- Luftmasse MAF_KGH,
- Zündwinkel IGA,
- Lambdawert im Abgas λ_{Ex} ,
- Fahrzeuggeschwindigkeit VS (wegen Fahrtwind-Kühlung),
- Kühlmitteltemperatur TCO,
- Abschaltmuster PAT_SCC, wenn die Brennkraftmaschine mit einer Einrichtung zur Zylinderabschaltung ausgestattet ist,
- Trapping Efficiency TE.

[0040] Alternativ hierzu ist auch eine direkte Messung von T_MON im Monolithen mittels des Temperatursensors **34** möglich.

[0041] Die stationären IVVT-Sollwerte sind durch die maximale Monolithtemperatur T_MON_MAX begrenzt. Bei einem positiven Lastsprung in den aufgeladenen Betrieb (Saugrohrdruck > Umgebungsdruck) können jedoch kurzzeitig IVVT-Sollwerte eingestellt werden, welche aus Gründen der maximalen Monolithtemperatur T_MON_MAX nicht dauerhaft möglich sind.

[0042] Ein Betrieb mit maximal möglicher Ventilüberschneidung VO ist kurzzeitig (typischerweise für einige Sekunden) möglich, da aufgrund der thermischen Trägheit des Abgassystems der Wert für die maximale Monolithtemperatur T_MON_MAX erst nach längerer Zeit erreicht und überschritten wird. Zur Verbesserung des Turbolader- und Motoransprechverhaltens ist aber ein solcher kurzzeitiger Betrieb mit erhöhter Ventilüberschneidung VO ausreichend. Die Ventilüberschneidung VO wird über eine temporäre Korrektur der stationären Volllast IVVT-Sollwerte CAM_EX_FL_START_SP, CAM_IN_FL_STAT_SP eingestellt. Der dynamische Korrekturwert für das Einlassventil wird als CAM_IN_SP_DYN_COR, der dynamische Korrekturwert für das Auslassventil wird als CAM_EX_SP_DYN_COR bezeichnet.

$$\text{CAM_IN_SP_DYN_COR} = \text{CAM_IN_SP_DYN_COR}(N, \text{TCO}, \text{MAF_KGH})$$

CAM_EX_SP_DYN_COR = CAM_EX_SP_DYN_COR (N, TCO, MAF_KGH)

[0043] Diese Korrekturwerte, angegeben in °KW (Kurbelwelle) sind in Abhängigkeit der Drehzahl N, der Kühlmitteltemperatur TCO und der Luftmasse MAF_KGH festgelegt und sind entweder in je einem dreidimensionalen Kennfeld KF_3 bzw. KF_4, oder in mehreren, verknüpften Kennfeldern in der Speichereinrichtung **24** abgelegt.

[0044] Tritt ein positiver Lastsprung in den aufgeladenen Betrieb (Saugrohrdruck > Umgebungsdruck) ein, so wird der beispielsweise von einem Saugrohrmodell vorgegebene Drucksollwert stromaufwärts der Drosselklappe PUT_SP sprunghaft auf den Zielwert, welcher höher als das Umgebungsdruckniveau liegt, ansteigen. Der tatsächliche Druck PUT_MES stromaufwärts der Drosselklappe **16** verharrt jedoch zunächst auf dem Umgebungsdruckniveau und beginnt erst anzusteigen, wenn der Verdichter **26** über die Turbine **25** mit einer höheren Drehzahl angetrieben wird. Erreicht nun der Druck PUT-MES den Wert PUT_SP (PUT_DIF = PUT_SP – PUT_MES den Wert 0), d.h. der Drucksollwert ist erreicht, müssen die dynamischen Korrekturen CAM_EX_SP_DYN_COR, CAM_IN_SP_DYN_COR wieder auf Null gesetzt werden.

[0045] Die Korrektur erfolgt über die Faktoren CAM_EX_DYN_COR_FAC und CAM_IN_DYN_COR_FAC.

[0046] Diese Faktoren sind abhängig von der Druckdifferenz PUT_DIF = PUT_SP – PUT_MES in entsprechenden Kennfeldern KF_5 bzw. KF_6 in der Speichereinrichtung **24** abgelegt.

CAM_EX_DYN_COR_FAC = CAM_EX_DYN_COR_FAC (PUT_DIF)

CAM_IN_DYN_COR_FAC = CAM_IN_DYN_COR_FAC (PUT_DIF),

wobei gilt:

CAM_EX_DYN_COR_FAC ∈ [0, 1]

CAM_IN_DYN_COR_FAC ∈ [0, 1]

[0047] Je kleiner die Druckdifferenz PUT_DIF = PUT_SP – PUT_MES ist, desto näher werden die Faktoren CAM_EX_DYN_COR_FAC und CAM_IN_DYN_COR_FAC an den Wert Null herangeführt.

[0048] Wie bereits erwähnt, ist ein längerer Betrieb mit dynamischen Korrekturen CAM_EX_SP_DYN_COR, CAM_IN_SP_DYN_COR aus Gründen der maximalen Monolithtemperatur T_MON_MAX nicht möglich. Abhängig vom Temperaturniveau im Monolithen zum Zeitpunkt des Lastsprungs, kann es vorkommen, das T_MON_MAX überschritten wird, bevor der Solllastwert erreicht wurde. In diesem Fall müssen die dynamischen Korrekturen CAM_EX_SP_DYN_COR, CAM_IN_SP_DYN_COR frühzeitig auf Null gesetzt werden. Der Solllastwert wird auch in diesem Fall eingestellt, jedoch nicht mit höchstmöglicher Dynamik.

[0049] Die Korrektur erfolgt über die Faktoren CAM_EX_TEMP_COR_FAC und CAM_IN_TEMP_COR_FAC. Diese Faktoren sind abhängig von der Monolithtemperatur T_MON in entsprechenden Kennfeldern KF_7 bzw. KF_8 in der Speichereinrichtung **24** abgelegt.

CAM_EX_TEMP_COR_FAC = CAM_EX_TEMP_COR_FAC (T_MON)

CAM_IN_TEMP_COR_FAC = CAM_IN_TEMP_COR_FAC (T_MON),

wobei gilt:

CAM_EX_TEMP_COR_FAC ∈ [0, 1]

CAM_IN_TEMP_COR_FAC ∈ [0, 1]

[0050] Der korrigierte IVVT-Sollwert für die Auslassnockenwelle CAM_EX_FL_SP ergibt sich somit aus der Summe des stationären Sollwertes für Vollast CAM_EX_FL_STAT_SP und der mit dem von der Druckdifferenz abhängigem Korrekturfaktor CAM_EX_DYN_COR_FAC und dem temperaturabhängigen Korrekturfaktor CAM_EX_TEMP_COR_FAC gewichteten dynamischen Korrektur des Sollwertes CAM_EX_SP_DYN_COR.

$$\text{CAM_EX_FL_SP} = \text{CAM_EX_FL_STAT_SP} + \text{CAM_EX_SP_DYN_COR} \cdot \text{CAM_EX_DYN_COR_FAC} \cdot \text{CAM_EX_TEMP_COR_FAC}$$

[0051] Der korrigierte IVVT-Sollwert für die Einlassnockenwelle CAM_IN_FL_SP ergibt sich somit aus der Summe des stationären Sollwertes für Vollast CAM_IN_FL_STAT_SP und der mit dem von der Druckdifferenz abhängigem Korrekturfaktor CAM_IN_SP_DYN_COR_FAC und dem temperaturabhängigen Korrekturfaktor CAM_IN_TEMP_COR_FAC gewichteten dynamischen Korrektur des Sollwertes CAM_IN_SP_DYN_COR.

$$\text{CAM_IN_FL_SP} = \text{CAM_IN_FL_STAT_SP} + \text{CAM_IN_SP_DYN_COR} \cdot \text{CAM_IN_DYN_COR_FAC} \cdot \text{CAM_IN_TEMP_COR_FAC}$$

[0052] Ist sowohl der von der Druckdifferenz abhängige Korrekturfaktor, als auch der temperaturabhängige Korrekturfaktor gleich Null (Druckdifferenz $P_{DIF} = \text{Null}$ und $T_{MON} = T_{MON_MAX}$), so ist auch die dynamische Korrektur Null und es wird der IVVT Sollwert auf den stationären Sollwert gesetzt, der für Dauerbetrieb möglich ist.

[0053] Ein IVVT-Lageregler der Einrichtung **31** stellt die aktuelle Einlass- und Auslass-Nockenwellenposition auf die vorgegebenen IVVT-Sollwerte ein. Aus den gemessenen tatsächlichen Positionen CAM_EX , CAM_IN resultiert die aktuelle Ventilüberschneidung VO , welche die jeweilige Trapping Efficiency (TE) vergibt.

[0054] Die Erfindung wurde anhand eines Beispiels erläutert, bei dem Ventilüberschneidung VO mittels eines sogenannten IVVT-Systems, d.h. durch stufenlose Verstellung sowohl der Einlass- als auch der Auslassnockenwelle eingestellt wird.

[0055] Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist aber jede Einrichtung geeignet, mit deren Hilfe die Ventilüberschneidung geändert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (**10**) wobei

- die den Brennräumen der Brennkraftmaschine (**10**) zugeführte Luft mittels einer Aufladevorrichtung (**25**, **26**) vorverdichtet wird,
- Kraftstoff direkt in die Brennräume der Brennkraftmaschine (**10**) eingespritzt wird,
- das Abgas der Brennkraftmaschine (**10**) mit Hilfe mindestens eines Abgaskatalysators (**21**) gereinigt wird,
- mittels einer Einrichtung (**31**) die Ventilüberschneidung (VO) der Gaswechselventile der Brennkraftmaschine (**10**) variiert werden kann,
- die Ventilüberschneidung (VO) der Gaswechselventile für einen Vollastbetrieb oder zumindest vollastnahen Betrieb der Brennkraftmaschine (**10**) durch Einstellen der Gaswechselventilsteuerzeiten auf stationäre Sollwerte ($CAM_IN_FL_STAT_SP$, $CAM_EX_FL_STAT_SP$) eingestellt wird,
- bei einer erhöhten Lastanforderung in den aufgeladenen Betrieb der Brennkraftmaschine (**10**) eine dynamische Korrektur der stationären Sollwerte ($CAM_IN_FL_STAT_SP$, $CAM_EX_FL_STAT_SP$) erfolgt,
- die dynamischen Korrekturwerte ($CAM_IN_SP_DYN_COR$, $CAM_EX_SP_DYN_COR$) abhängig von mindestens einer der Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine Drehzahl (N), Kühlmitteltemperatur (TCO), angesaugte Luftmasse (MAF_KGH) festgelegt sind und mittels eines Faktors ($CAM_IN_DYN_COR_FAC$, $CAM_EX_DYN_COR_FAC$) gewichtet werden, welcher in Abhängigkeit der Druckdifferenz zwischen Druck-sollwert (PUT_SP) und tatsächlichem Druck (PUT_MES) im Ansaugkanal (**11**) und mittels eines Faktors ($CAM_IN_TEMP_FAC$, $CAM_EX_TEMP_COR_FAC$) gewichtet werden, welcher die Temperatur (T_{MON}) des Abgaskatalysators (**21**) berücksichtigt,
- die derart korrigierten Sollwerte ($CAM_IN_FL_SP$, $CAM_EX_FL_SP$) eingestellt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die stationären Sollwerte ($CAM_IN_FL_STAT_SP$, $CAM_EX_FL_STAT_SP$) abhängig von mindestens einer der Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine Drehzahl (N), Kühlmitteltemperatur (TCO), angesaugte Luftmasse (MAF_KGH) festgelegt sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wichtungsfaktoren ($CAM_IN_DYN_COR_FAC$, $CAM_EX_DYN_COR_FAC$; $CAM_IN_TEMP_FAC$, $CAM_EX_TEMP_COR_FAC$) Werte zwischen Null und Eins aufweisen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die korrigierten Sollwerte ($CAM_IN_FL_SP$, $CAM_EX_FL_SP$) nach folgender Beziehung berechnet werden:

$$CAM_IN_FL_SP = CAM_IN_FL_STAT_SP + CAM_IN_SP_DYN_COR \cdot CAM_IN_DYN_COR_FAC \cdot CAM_IN_TEMP_COR_FAC$$

$$CAM_EX_FL_SP = CAM_EX_FL_STAT_SP + CAM_EX_SP_DYN_COR \cdot CAM_EX_DYN_COR_FAC \cdot CAM_EX_TEMP_COR_FAC$$

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

