



(11)

EP 2 698 520 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.08.2024 Patentblatt 2024/35

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F02D 41/00 ^(2006.01) **F02D 19/02** ^(2006.01)
F02D 35/02 ^(2006.01) **F02D 41/40** ^(2006.01)
F02D 37/02 ^(2006.01) **F02D 29/06** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13003562.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F02D 41/008; F02D 35/023; F02D 35/025;
F02D 41/0027; F02D 19/024; F02D 29/06;
F02D 37/02; F02D 41/0085; F02D 41/401

(22) Anmeldetag: **16.07.2013**

(54) Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

Method for operating a combustion engine

Procédé destiné au fonctionnement d'un moteur à combustion interne

(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: **17.08.2012 AT 8962012**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.02.2014 Patentblatt 2014/08

(73) Patentinhaber: **Innio Jenbacher GmbH & Co OG**
6200 Jenbach (AT)

(72) Erfinder:
• **Barth, Christian**
29358 Eicklingen (DE)
• **Kopecek, Herbert**
6130 Schwaz (AT)
• **Spyra, Nikolaus**
6020 Innsbruck (AT)
• **Waldhart, Michael**
6410 Telfs (AT)

(74) Vertreter: **Torggler & Hofmann Patentanwälte -**
Innsbruck
Torggler & Hofmann Patentanwälte GmbH & Co
KG
Postfach 85
6020 Innsbruck (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2009/122012 WO-A2-2012/097389
DE-A1- 102010 042 736 DE-A1- 102010 045 689
DE-A1- 19 754 353 DE-B3- 102009 008 247
JP-A- 2010 001 745 US-A1- 2010 089 364
US-B2- 7 467 040

• **GALLAGHER N C JR ET AL: "A Theoretical Analysis of the Properties of Median Filters", IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, IEEE INC. NEW YORK, USA, vol. 29, no. 6, 31 December 1981 (1981-12-31), pages 1136 - 1141, XP002580384, ISSN: 0096-3518**

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 2 698 520 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Gasmotors, mit wenigstens drei Zylindern, wobei von jedem Zylinder ein zylinderindividuelles Signal erfasst wird, wobei aus den Signalen der Zylinder ein Sollwert gebildet wird, wobei in Abhängigkeit von der Abweichung eines Signals vom Sollwert wenigstens ein Verbrennungsparameter des entsprechenden Zylinders eingestellt wird, wobei das Signal dem Sollwert nachgeführt wird.

[0002] Die Zylinder einer Brennkraftmaschine weisen üblicherweise verbrennungstechnische Unterschiede auf, das heißt, dass bei globaler Regelung von Verbrennungsparametern, wie beispielsweise Brennstoffmenge oder Zündzeitpunkt, die individuellen Beiträge der Zylinder zur gesamten verrichteten Arbeit der Brennkraftmaschine unterschiedlich sind. Unter globaler bzw. motorglobaler Regelung von Verbrennungsparametern ist im Rahmen der Erfindung gemeint, dass alle Zylinder einer Brennkraftmaschine mit denselben Werten für die entsprechenden Stellgrößen betrieben werden, also beispielsweise, dass bei einer globalen Regelung bezüglich Brennstoffmenge jeder Zylinder mit derselben Öffnungsdauer des Gaseinblaseventils beaufschlagt wird oder dass bei einer globalen Regelung bezüglich Zündzeitpunkt die Zündeinrichtungen der Zylinder jeweils bei derselben Kolbenstellung des jeweiligen Kolbens im Zylinder - üblicherweise ausgedrückt in Grad Kurbelwinkel vor OT (oberer Totpunkt des Kolbens im Zylinder) - aktiviert werden.

[0003] Die Arbeit eines Zylinders wird bei einer Hubkolbenmaschine über eine mit einem Kolbenpleuel des Zylinders verbundene Kurbelwelle auf eine Arbeitswelle der Brennkraftmaschine übertragen, wobei oftmals ein elektrischer Generator mit der Arbeitswelle verbunden ist, um die mechanische Energie der Arbeitswelle in elektrische Energie zu wandeln. Unter den verschiedenen Möglichkeiten einer Zylindergleichstellung steht jene im Fokus, die Spitzendrücke in den einzelnen Zylindern anzugleichen, um eine möglichst gleichmäßige mechanische Spitzenbelastung der Bauteile zu erreichen. Alternative Gleichstellungsvarianten sehen z.B. die Optimierung des Motorwirkungsgrades oder die Minimierung der Schadstoffemissionen im Vordergrund.

[0004] In Bezug auf eine Zylindergleichstellungsregelung ist in der US 7,957,889 B2 beschrieben, dass die Brennstoffeinbringung für jeden Zylinder einer Brennkraftmaschine so angepasst wird, dass der maximale Zylinderinnendruck bzw. Zylinderspitzendruck jedes Zylinders auf einen gemeinsamen Zielwert mit Toleranzband eingestellt wird. Dieser Zielwert ergibt sich hierbei aus dem arithmetischen Mittelwert aller Zylinderspitzendrücke.

[0005] Durch die Gleichstellung der Zylinderspitzendrücke leistet jeder Zylinder im Wesentlichen denselben Leistungsbeitrag und thermomechanische Überlastungen einzelner Zylinder können vermieden werden. Darüber hinaus kann bei der Brennstoffdosierung auch eine klopfende Verbrennung berücksichtigt werden. So kann z.B. vorgesehen sein, dass Zylinder, die eine gewisse Klopfintensität überschreiten, keine erhöhte Brennstoffzufuhr erhalten, um ein stärkeres Klopfen und evtl. mechanische Schädigungen zu vermeiden.

[0006] Die bisher beschriebenen Systeme verwenden den arithmetischen Mittelwert von zylinderindividuellen Signalen wie z.B. dem Zylinderspitzendruck als Zielgröße für eine Zylindergleichstellungsregelung. Die Verwendung des arithmetischen Mittelwerts hat jedoch den Nachteil, dass starke Ausreißer eine wesentliche Auswirkung auf den arithmetischen Mittelwert haben. Damit haben beispielsweise Zylinder, die eine ungünstige Verbrennung aufweisen, oder deren Zylinderdrucksignal ungenau oder verfälscht sind - beispielsweise aufgrund von defekten Sensoren oder aufgrund von Alterungseffekten von Sensoren oder aufgrund von elektromagnetischen Einstreuungen in der Signalübertragung und/oder Signalverarbeitung - einen deutlichen und vor allem ungewünschten Einfluss auf den Zielwert für alle Zylinderspitzendrücke.

[0007] Weitere aus dem Stand der Technik bekannte Regelverfahren für Brennkraftmaschinen gehen aus der DE 197 54 353 A1, der DE 10 2010 042736 A1, der US 2010 089364 A1, der WO 2009/122012 A1 oder der JP 2010 001745 A hervor.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die vorbeschriebenen Nachteile zu vermeiden und ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine anzugeben. Insbesondere soll der Zielwert bzw. Sollwert für die Zylindergleichstellungsregelung robuster sein als in bisher bekannten Verfahren.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

[0010] Gemäß der Erfindung ist also vorgesehen, dass als Sollwert der Median der Signale gebildet wird.

[0011] Der Median, der häufig auch als Zentralwert oder als 0,5-Quantil bezeichnet wird, ist ein Lageparameter einer Stichprobenverteilung, wobei im Rahmen der Erfindung die Verteilung der erfassten zylinderindividuellen Signale eine Stichprobenverteilung ist. In den bekannten Steuerungs- oder Regelungssystemen, auf denen eine Steuerung bzw. Regelung einer Brennkraftmaschine beruhen kann, ist die Ermittlung bzw. Ausgabe des Medians üblicherweise nicht vorgesehen und wird daher in den bekannten Verfahren nicht durchgeführt.

[0012] Im Unterschied zum arithmetischen Mittelwert, bei dem alle Werte einer Stichprobenverteilung addiert und durch die Anzahl der einzelnen Werte dividiert wird, teilt der Median die Stichprobenverteilung in zwei Hälften gleicher Größe. Der Median kann dadurch bestimmt werden, dass zunächst die Signale entsprechend ihrer Signalwerte aufsteigend geordnet werden. Wenn die Anzahl der Signale ungerade ist - z.B. bei einer ungeraden Anzahl von Zylindern -

dann ist der Signalwert des mittleren Signals der Median. Wenn die Anzahl der Signale gerade ist - z.B. bei einer geraden Anzahl von Zylindern - dann kann der Median ermittelt werden, indem der arithmetische Mittelwert der beiden mittleren Signalwerte der geordneten Stichprobenverteilung gebildet wird.

[0013] Eine wichtige Eigenschaft des Medians ist, dass er im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert, der oft auch einfach nur als Mittelwert oder Durchschnitt bezeichnet wird, wesentlich robuster gegenüber Ausreißern bzw. extrem abweichenden Werten innerhalb der Stichprobenverteilung ist.

[0014] Gemäß der vorgeschlagenen Lösung wird also ausdrücklich nicht der arithmetische Mittelwert der Signalwerte gebildet und als Sollwert verwendet, sondern es wird der Median der Signalwerte gebildet und als Sollwert verwendet.

[0015] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass von jedem Zylinder wenigstens eines der folgenden zylinderindividuellen Signale erfasst wird: Zylinderinnendruck, Zylinderabgastemperatur, Stickoxidemissionen, Verbrennungsluftverhältnis. Eine besondere Ausführungsvariante sieht vor, dass als Signal ein maximaler Zylinderinnendruck eines Verbrennungszyklus erfasst wird.

[0016] Um eine bessere Signalqualität und damit eine höhere Regelgüte zu erhalten, kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass als Signal eines Zylinders das erfasste Signal über 10 bis 1000 Verbrennungszyklen, vorzugsweise 40 bis 100 Verbrennungszyklen, zeitlich gefiltert wird.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Verbrennungsparameter eines Zylinders eingestellt wird, falls die Abweichung des Signals des Zylinders vom Sollwert einen vorgebbaren Toleranzwert überschreitet. Dadurch kann eine ruhigere Regeldynamik erzielt werden.

[0018] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass als Verbrennungsparameter eine Brennstoffmenge für den entsprechenden Zylinder eingestellt wird. Bei einer Vorkammergezündeten Brennkraftmaschine kann es sich dabei um die Brennstoffmenge für den jeweiligen Hauptbrennraum eines Zylinders handeln. Die Brennstoffmenge für einen Zylinder kann erhöht werden, falls das Signal des Zylinders kleiner dem Sollwert ist und die Brennstoffmenge für einen Zylinder kann verringert werden, falls das Signal des Zylinders größer dem Sollwert ist. Vorzugsweise kann dabei für jeden Zylinder ein Brennstoffdosierventil vorgesehen sein, wobei zum Einstellen der Brennstoffmenge für einen Zylinder die Öffnungsdauer des entsprechenden Brennstoffdosierventils eingestellt wird. Bei einem solchen Brennstoffdosierventil kann es sich vorzugsweise um ein Port-Injection-Ventil handeln, das im Bereich des Einlasstraktes eines Zylinders angeordnet ist. Es können dabei auch Port-Injection-Ventile eingesetzt werden, die beispielsweise nur eine vollständig geöffnete oder eine vollständig geschlossene Position ermöglichen. Hierbei kann die Öffnungsdauer als der Zeitraum definiert sein, in dem sich das Ventil in seiner vollständig geöffneten Position befindet. Generell können aber auch hubgesteuerte Ventile zum Einsatz kommen, bei denen zum Einstellen der Brennstoffmenge für einen Zylinder die Öffnungsdauer und/oder der Öffnungshub eines Ventils eingestellt werden.

[0019] Eine Regelung bezüglich des Verbrennungsparameters Brennstoffmenge kann dabei, in Abhängigkeit des verwendeten zylinderindividuellen Signals, gemäß nachfolgender Tabelle 1 erfolgen. Dabei listet Spalte 1 der Tabelle 1 das jeweilige zylinderindividuelle Signal und eine geeignete Möglichkeit zur Erfassung des jeweiligen Signals auf. Gemäß Spalte 2 der Tabelle 1 erfolgt eine Erhöhung der Brennstoffmenge für einen Zylinder, falls das jeweilige Signal des Zylinders kleiner dem Sollwert ist. Gemäß Spalte 3 der Tabelle 1 erfolgt eine Verringerung der Brennstoffmenge für einen Zylinder, falls das jeweilige Signal des Zylinders größer dem Sollwert ist. Der Sollwert ist dabei jeweils der Median des jeweiligen Signals von allen Zylindern der Brennkraftmaschine. Die Brennstoffmenge kann dabei für einen Zylinder erhöht werden, indem beispielsweise die Öffnungsdauer eines dem Zylinder zugeordneten Brennstoffdosierventils erhöht wird. Entsprechend kann die Brennstoffmenge für einen Zylinder verringert werden, indem die Öffnungsdauer des dem Zylinder zugeordneten Brennstoffdosierventils verringert wird.

Tabelle 1: Regeleingriffe bezüglich der Brennstoffmenge

Zylinderindividuelles Signal	Erhöhen der Brennstoffmenge für einen Zylinder, falls	Verringern der Brennstoffmenge für einen Zylinder, falls
Zylinderspitzenndruck, erfasst durch Zylinderdrucksensor im Brennraum	niedriger Zylinderspitzenndruck	hoher Zylinderspitzenndruck
Zylinderabgastemperatur, erfasst durch Thermoelement nach Auslassventil	niedrige Zylinderabgastemperatur	hohe Zylinderabgastemperatur
Stickoxidemissionen, erfasst durch NOx-Sonde	niedrige Stickoxidemissionen	hohe Stickoxidemissionen
Kehrwert des Verbrennungsluftverhältnisses, erfasst durch Breitband-Lambdasonde oder Sauerstoffsensor	niedriger Kehrwert des Verbrennungsluftverhältnisses	hoher Kehrwert des Verbrennungsluftverhältnisses

[0020] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass als Verbrennungsparameter ein Zündzeitpunkt für den entsprechenden Zylinder eingestellt wird. Vorzugsweise kann dabei für jeden Zylinder eine Zündeinrichtung vorgesehen sein, wobei der Zündzeitpunkt der Zündeinrichtung in Grad Kurbelwinkel vor OT (oberer Totpunkt des Kolbens im Zylinder) eingestellt wird.

[0021] Der Zündzeitpunkt wird üblicherweise ausgedrückt in Grad Kurbelwinkel vor OT (oberer Totpunkt des Kolbens im Zylinder) und gibt somit an, wann eine entsprechende Zündeinrichtung zur Entflammung eines Brennstoffs oder Brennstoff-Luft-Gemischs im Zylinder bzw. Brennraum ausgelöst wird. Bei der Zündeinrichtung kann es sich dabei um eine Zündkerze (z.B. Elektrodenzündkerze oder Laserzündkerze) oder um einen Pilot-Injektor zur Durchführung einer Piloteinspritzung von z.B. Dieseldieselkraftstoff handeln. Als Zündeinrichtung kann auch eine Vorkammer zum Einsatz kommen. Üblicherweise wird der Zündzeitpunkt für jeden Zylinder einer Brennkraftmaschine mit demselben, global vorgegebenen Wert (globaler Vorgabewert) - ausgedrückt in Grad Kurbelwinkel vor OT - festgelegt. Beispielsweise beträgt dieser Wert 20 bis 30 Grad Kurbelwinkel vor OT, wobei der Wert abhängig von der Drehzahl der Brennkraftmaschine und/oder abhängig von der eingesetzten Zündeinrichtung festgelegt werden kann. Dieser globale Vorgabewert kann aus einem Zündzeitpunktkennfeld abgeleitet werden, in dem geeignete Werte für den Zündzeitpunkt in Abhängigkeit von der Leistung und/oder des Ladeluftdrucks und/oder der Ladelufttemperatur und/oder der Motordrehzahl der Brennkraftmaschine abgelegt sind.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Zündzeitpunkt für einen Zylinder früher (gegenüber dem globalen Vorgabewert) eingestellt wird, falls das Signal des Zylinders kleiner dem Sollwert ist und dass der Zündzeitpunkt für einen Zylinder später (gegenüber dem globalen Vorgabewert) eingestellt wird, falls das Signal des Zylinders größer dem Sollwert ist.

[0023] Eine Regelung bezüglich des Verbrennungsparameters Zündzeitpunkt kann dabei, in Abhängigkeit des verwendeten zylinderindividuellen Signals, gemäß nachfolgender Tabelle 2 erfolgen. Dabei listet Spalte 1 der Tabelle 2 das jeweilige zylinderindividuelle Signal und eine geeignete Möglichkeit zur Erfassung des jeweiligen Signals auf. Gemäß Spalte 2 der Tabelle 2 wird für einen Zylinder ein früherer Zündzeitpunkt eingestellt, falls das jeweilige Signal des Zylinders kleiner dem Sollwert ist. Gemäß Spalte 3 der Tabelle 2 wird für einen Zylinder ein späterer Zündzeitpunkt eingestellt, falls das jeweilige Signal des Zylinders größer dem Sollwert ist. Der Sollwert ist dabei jeweils der Median des jeweiligen Signals von allen Zylindern der Brennkraftmaschine.

Tabelle 2: Regeleingriffe bezüglich des Zündzeitpunkts

Zylinderindividuelles Signal	Zündzeitpunkt für einen Zylinder früher einstellen, falls	Zündzeitpunkt für einen Zylinder später einstellen, falls
Zylinderspitzendruck, erfasst durch Zylinderdrucksensor im Brennraum	niedriger Zylinderspitzendruck	hoher Zylinderspitzendruck
Stickoxidemissionen, erfasst durch NOx-Sonde	niedrige Stickoxidemissionen	hohe Stickoxidemissionen

[0024] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zum Einstellen des wenigstens einen Verbrennungsparameters ein Parameterwert ermittelt wird, wobei der Parameterwert einen vorgebbaren motorglobalen Zielwert und einen zylinderindividuellen Differenzwert umfasst.

[0025] Der zylinderindividuelle Differenzwert kann in Bezug auf ein Einstellen des Verbrennungsparameters Zündzeitpunkt beispielsweise in einem Bereich von ± 4 Grad Kurbelwinkel vor OT, vorzugsweise in einem Bereich von ± 2 Grad Kurbelwinkel vor OT, liegen.

[0026] Beim vorgebbaren Zielwert kann es sich um einen globalen Wert handeln, der für alle Zylinder der Brennkraftmaschine gilt.

[0027] Beim vorgebbaren Zielwert in Bezug auf das Einstellen des Zündzeitpunkts als Verbrennungsparameter kann es sich um den globalen Vorgabewert für den Zündzeitpunkt in den Zylindern eines stationären Gasmotors handeln. Der vorgebbare Zielwert kann dabei aus einem Zündzeitpunktkennfeld abgeleitet werden. Im Zündzeitpunktkennfeld können geeignete Werte für den Zündzeitpunkt in Abhängigkeit von der Leistung und/oder des Ladeluftdrucks und/oder der Ladelufttemperatur und/oder der Motordrehzahl der Brennkraftmaschine abgelegt sein. Die im Zündzeitpunktkennfeld abgelegten Werte können dabei auf einem Prüfstand ermittelt werden.

[0028] Beim vorgebbaren Zielwert in Bezug auf das Einstellen der Brennstoffmenge als Verbrennungsparameter kann es sich um einen motorglobalen Grundwert für die Öffnungsdauern von Brennstoffdosierventilen bzw. Gaseinblaseventilen für die Zylinder eines stationären Gasmotors handeln.

[0029] Grundsätzlich kann bei in Brennkraftmaschinen eingesetzten Brennverfahren zwischen luftgeführten und brennstoffgeführten Brennverfahren unterschieden werden. Bei einem luftgeführten Brennverfahren wird abhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine und einem vorgebbaren Zielwert für das Brennstoff-Luft-Verhältnis beispielsweise

eine zu dosierende Brennstoffmenge ermittelt, um eine bestimmte Emissionsmenge oder einen bestimmten Ladeluftdruck zu erhalten. Die dabei eingesetzten Motorregelungen umfassen üblicherweise einen Emissionsregler. Bei einem brennstoffgeführten bzw. gasgeführten Brennverfahren wird abhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine und einem vorgebbaren Zielwert für die Leistung und/oder die Drehzahl der Brennkraftmaschine eine zu dosierende Brennstoffmenge ermittelt. Brennstoffgeführte Brennverfahren haben ihre Anwendung insbesondere bei drehzahlvariablem Betrieb einer Brennkraftmaschine, bei einer Brennkraftmaschine im Inselbetrieb, bei Motorstart oder im Leerlauf der Brennkraftmaschine. Die dabei eingesetzten Motorregelungen umfassen üblicherweise einen Leistungsregler und/oder einen Drehzahlregler.

[0030] Für luftgeführte Brennverfahren, bei denen beispielsweise ein Emissionsregler zum Einsatz kommt, kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass der vorgebbare Zielwert aus einem vorgebbaren Brennstoff-Luft-Verhältnis ermittelt wird, wobei vorzugsweise das vorgebbare Brennstoff-Luft-Verhältnis aus einem Leistungsäquivalent der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine, vorzugsweise einer elektrischen Leistung eines mit der Brennkraftmaschine verbundenen Generators, und/oder aus einem Ladeluftdruck und/oder aus einer Motordrehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

[0031] Unter einem Leistungsäquivalent wird im Rahmen dieser Erfindung die tatsächliche mechanische Leistung der Brennkraftmaschine oder eine der mechanischen Leistung entsprechende Ersatzgröße verstanden. Dabei kann es sich beispielsweise um eine elektrische Leistung eines mit der Brennkraftmaschine verbundenen Generators handeln, die aus der Leistungsabgabe des Generators gemessen wird. Es kann sich dabei auch um eine berechnete mechanische Leistung der Brennkraftmaschine handeln, die aus Motordrehzahl und Drehmoment oder aus der elektrischen Leistung des Generators und dem Wirkungsgrad des Generators berechnet wird. Es kann sich dabei auch nur um die Motordrehzahl handeln, falls die Leistungsaufnahme des Verbrauchers über die Drehzahl genau bekannt ist. Weiters kann es sich beim Leistungsäquivalent auch um den indizierten Mitteldruck, der in bekannter Weise aus dem Zylinderinnen-druckverlauf ermittelt werden kann, oder um den effektiven Mitteldruck, der sich in bekannter Weise aus dem abgegebenen Drehmoment oder aus der elektrischen oder mechanischen Leistung errechnen lässt, handeln. Dabei kann aus dem bekannten Zusammenhang zwischen effektivem Mitteldruck, dem Hubraum eines Zylinders und der bei einem Arbeitstakt geleisteten Arbeit in weiterer Folge ein Leistungsäquivalent der Brennkraftmaschine ermittelt werden.

[0032] Das vorgebbare Brennstoff-Luft-Verhältnis kann in an sich bekannter Weise aus dem Ladeluftdruck und der Leistung der Brennkraftmaschine ermittelt werden. So kann das vorgebbare Brennstoff-Luft-Verhältnis für eine als Gasmotor ausgebildete Brennkraftmaschine beispielsweise gemäß EP 0 259 382 B1 ermittelt werden.

[0033] Der vorgebbare Zielwert für die Gaseinblasedauer kann dabei aus dem Durchflussverhalten der Gaseinblaseventile und den an den Gaseinblaseventilen vorherrschenden Randbedingungen (wie z.B. Druck und Temperatur des Brenngases, Saugrohrdruck bzw. Ladeluftdruck) ermittelt werden. Aus den Bedingungen im Saugrohr des Gasmotors, insbesondere aus Ladeluftdruck und Ladelufttemperatur, kann das Luftmasseäquivalent (ein der Luftmasse entsprechender Wert) des Gasmotors ermittelt werden. Mit dem vorgebbaren Brennstoff-Luft-Verhältnis kann daraus der Sollwert für die Brenngasmasse bestimmt werden. Mit dem Durchflussverhalten der Gaseinblaseventile und den Randbedingungen an den Gaseinblaseventilen kann dann die benötigte globale Öffnungsdauer bzw. Gaseinblasedauer für die Gaseinblaseventile ermittelt werden, um die zuvor ermittelte Brenngasmasse in den Gasmotor einzubringen. Diese globale Gaseinblasedauer entspricht in diesem Beispiel dem vorgebbaren Zielwert.

[0034] Für gasgeführte Brennverfahren, bei denen beispielsweise ein Leistungsregler und/oder ein Drehzahlregler zum Einsatz kommt, kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass der vorgebbare Zielwert in Abhängigkeit von der Abweichung eines Leistungsäquivalents der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine von einem vorgebbaren Zielleistungsäquivalent und/oder in Abhängigkeit von der Abweichung einer Motordrehzahl der Brennkraftmaschine von einer vorgebbaren Zieldrehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

[0035] Dabei kann ein Leistungsregler vorgesehen sein, der in Abhängigkeit der Abweichung eines aktuellen Leistungsäquivalents der abgegebenen Leistung (Istleistung) der Brennkraftmaschine (z.B. eine gemessene elektrische Leistung eines mit der Brennkraftmaschine verbundenen Generators) vom vorgebbaren Zielleistungsäquivalent (Sollleistung) der Brennkraftmaschine einen motorglobalen Vorgabewert für den Brennstoffmassenstrom ermittelt. Alternativ oder zusätzlich kann ein Drehzahlregler vorgesehen sein, der in Abhängigkeit der Abweichung einer aktuellen Motordrehzahl (Istdrehzahl) der Brennkraftmaschine von der vorgebbaren Zieldrehzahl (Solldrehzahl) der Brennkraftmaschine einen motorglobalen Vorgabewert für den Brennstoffmassenstrom ermittelt. Aus dem ermittelten Zielwert für den Brennstoffmassenstrom kann in weiterer Folge der vorgebbare Zielwert - z.B. für die motorglobale Öffnungsdauer von Brennstoffdosierventilen oder für den motorglobalen Vorgabewert für den Zündzeitpunkt von Zündeinrichtungen - ermittelt werden.

[0036] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der zylinderindividuelle Differenzwert einen zylinderindividuellen Vorsteuerwert enthält.

[0037] Vorzugsweise wird der zylinderindividuelle Vorsteuerwert aus einem Ladeluftdruck und vorzugsweise zusätzlich aus einer Ladelufttemperatur der Brennkraftmaschine ermittelt. Die zylinderindividuellen Vorsteuerwerte können dabei aus Messungen während der Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine stammen und beispielsweise auch als Rückfall-

werte verwendet werden für den Fall, dass ein Sensor zur Erfassung des zylinderindividuellen Signals ausfällt oder gestört ist.

[0038] Die zylinderindividuellen Vorsteuerwerte können beispielsweise die Gasdynamik im Saugrohr und/oder im Gasrail eines Gasmotors sowie entsprechende Bauteiltoleranzen berücksichtigen, wobei die Gasdynamik durch Simulationen oder Messungen ermittelt werden kann. Die Gasdynamik sowie Auswirkungen von Bauteiltoleranzen sind unter anderem durch den Ladeluftdruck, die Motordrehzahl und die Ladelufttemperatur beeinflusst. Daher ist es günstig, geeignete zylinderindividuelle Vorsteuerwerte aus einem Kennfeld abzuleiten, das entsprechende Werte für unterschiedliche Ladeluftdrücke und Ladelufttemperaturen beinhaltet. So können bei Inbetriebnahme des Gasmotors entsprechende Messdaten erfasst werden oder entsprechende Kennfelder durch Versuche oder Simulationen ermittelt werden. Es ist auch möglich, dass durch Online-Messungen während des Betriebs des Gasmotors ein adaptives Kennfeld generiert wird.

[0039] Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, wenn der zylinderindividuelle Differenzwert mit einem Ausgleichswert beaufschlagt wird, wobei der Ausgleichswert dem arithmetischen Mittelwert der zylinderindividuellen Differenzwerte entspricht. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, um die vorgeschlagene Lösung in Brennkraftmaschinen einzubauen oder nachzurüsten, die bisher ohne Zylindergleichstellung bzw. nur mit einem globalen Regler betrieben wurden. Durch eine derartige Korrektur der zylinderindividuellen Differenzwerte kann insbesondere erreicht werden, dass eine global dosierte Brennstoffmenge nicht durch die vorgeschlagene Lösung beeinflusst wird und eine gegebenenfalls vorhandene globale Emissionsregelung der Brennkraftmaschine nicht angepasst werden muss. Da auch die Werte für die jeweiligen Zündzeitpunkte in eine globale Motorregelung einfließen können, kann durch eine Korrektur der zylinderindividuellen Differenzwerte auch in Bezug auf das Einstellen des Zündzeitpunkts eine unerwünschte Auswirkung auf die globale Motorregelung vermieden werden.

[0040] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass für jeden Zylinder ein Verbrennungszustand überwacht und in Bezug auf einen vorgebbaren Sollzustand als normal oder abnormal bewertet wird, wobei der Verbrennungsparameter eines Zylinders nur eingestellt wird, falls der Verbrennungszustand des Zylinders als normal bewertet wird. Dabei kann als Verbrennungszustand Klopfen und/oder Glühzünden und/oder Aussetzen in der Verbrennung überwacht werden, wobei der Verbrennungszustand eines Zylinders als normal bewertet wird, falls kein Klopfen und/oder kein Glühzünden und/oder kein Aussetzen in der Verbrennung erkannt werden.

[0041] Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Figurenbeschreibung erläutert. Dabei zeigt:

- Fig. 1a Zylinderinnendruckverläufe von mehreren Zylindern einer Brennkraftmaschine über mehrere Verbrennungszyklen und die jeweils daraus ermittelten arithmetischen Mittelwerte und Mediane,
- Fig. 1b eine Darstellung gemäß Fig. 1a mit einem gestörten Zylinderdrucksignal eines Zylinderinnendrucksenors eines Zylinders,
- Fig. 2 eine Brennkraftmaschine mit mehreren Zylindern und einer Regelungsvorrichtung zum Betreiben der Brennkraftmaschine gemäß einer Ausführungsvariante des vorgeschlagenen Verfahrens,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung von 3 Zylindern einer Brennkraftmaschine und eine Regelungsvorrichtung zum Betreiben der Brennkraftmaschine,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung gemäß Fig. 3 mit einer Brennkraftmaschine mit einem brennstoffgeführten Brennverfahren,
- Fig. 5 eine schematische Detaildarstellung einer vorgeschlagenen Regelungsvorrichtung,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung gemäß Fig. 3 und
- Fig. 7 eine schematische Detaildarstellung einer Regelungsvorrichtung einer weiteren Ausführungsvariante des vorgeschlagenen Verfahrens.

[0042] Fig. 1a zeigt beispielhaft den jeweiligen Verlauf des zylinderindividuellen Signals maximaler Zylinderinnendruck bzw. Zylinderspitzenendruck $p_{\max}$ über mehrere Verbrennungszyklen c von mehreren Zylindern 2 einer Brennkraftmaschine 1. Bei bisher bekannten Verfahren zur Zylindergleichstellung wird für jeden Verbrennungszyklus c jeweils der arithmetische Mittelwert p_{mean} der erfassten zylinderindividuellen Signale $p_{\max}$ gebildet und als Führungsgröße für die Regelung herangezogen. Dadurch wirken sich Ausreißer deutlich auf die Führungsgröße und somit auf die gesamte Zylindergleichstellungsregelung aus.

[0043] Beim vorgeschlagenen Verfahren wird hingegen nicht der arithmetische Mittelwert der zylinderindividuellen Signale $p_{\max}$ sondern der Median bzw. Zentralwert als Sollwert p_{median} gebildet. Dieser Sollwert p_{median} bildet dann die Führungsgröße für die Zylindergleichstellungsregelung. Durch die Verwendung des Medians aller zylinderindividuellen Signale $p_{\max}$ ergibt sich ein stabilerer Zielwert für das Einstellen eines Verbrennungsparameters, beispielsweise der Brennstoffmenge bzw. Gasdosierung eines jeden einzelnen Zylinders 2. Der Einfluss einzelner Zylinderspitzenendrucke mit Störgrößen kann dadurch minimiert werden. Somit lässt sich eine stabilere und genauere Zylindergleichstellung erreichen, da der Sollwert p_{median} geringeren Schwankungen unterliegt. Außerdem kann durch Verwendung des Medians

insbesondere im transienten Motorbetrieb (z.B. bei Lastsprüngen) eine bessere Gleichstellung der Zylinder 2 erzielt werden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn als jeweiliges zylinderindividuelles Signal ein über mehrere Verbrennungszyklen c zeitlich gefiltertes Signal des erfassten Signals $p_{\max}$ verwendet wird. Durch die höhere Stabilität des Medians im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert können dadurch auch die Filterungszeiten über mehrere Verbrennungszyklen c verkürzt werden.

[0044] Fig. 1b zeigt eine Darstellung ähnlich der Fig. 1a, wobei das Signal $p_{\max}^*$ eines Zylinders 2 der Brennkraftmaschine 1 infolge eines gestörten Zylinderinnendruckensors 4 verfälschte Werte aufweist. Bei einer Regelung auf den arithmetischen Mittelwert gemäß Stand der Technik wird die dabei herangezogene Führungsgröße p_{mean} durch die Störung einzelner Sensorsignale stark beeinflusst. Bei einer solchen Regelung auf den arithmetischen Mittelwert p_{mean} würde in dem dargestellten Fall - zumindest im verfälschten Verbrennungszyklenbereich c_1 - für jeden Zylinder mit plausiblen Zylinderspitzen druck $p_{\max}$ die Brennstoffdosierung reduziert und für den Zylinder 2 mit gestörtem Signal $p_{\max}^*$ würde die Brennstoffdosierung erhöht. Bei einer Regelung bezüglich des arithmetischen Mittelwerts p_{mean} der Zylinderspitzen drücke $p_{\max}$ bewirken somit einzelne gestörte Signale $p_{\max}^*$ eine deutliche Ungleichstellung aller Zylinder 2.

[0045] Wird jedoch gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren der Median der Zylinderspitzen drücke $p_{\max}$ als Zielgröße bzw. Sollwert p_{median} verwendet, so wird der Sollwert p_{median} durch ein gestörtes Signal $p_{\max}^*$ nur geringfügig bis gar nicht beeinflusst. Nur bei dem Zylinder 2 mit dem gestörten Signal $p_{\max}^*$ könnten sich Regelungsabweichungen ergeben. Die Gleichstellung aller anderen Zylinder 2 könnte jedoch gewahrt werden.

[0046] Insgesamt kann mit einer vorgeschlagenen medianbasierten Zylinder gleichstellung eine robustere Motorregelung mit höherer Genauigkeit bei gleichzeitigem verbessertem Verhalten im transienten Motorbetrieb erreicht werden.

[0047] Fig. 2 zeigt eine Brennkraftmaschine 1 mit drei Zylindern 2. An jedem Zylinder 2 ist ein Zylinder druck sensor 4 angeordnet, um ein zylinderindividuelles Signal zu erfassen. Bei dem zylinderindividuellen Signal kann es sich um den zeitlichen Verlauf des Zylinderinnendrucks p_{cyl} oder dem maximalen Zylinderinnendruck $p_{\max}$ über einen Verbrennungszyklus c handeln. Es kann sich beim zylinderindividuellen Signal auch um ein zeitlich gefiltertes Signal des maximalen Zylinderinnendrucks $p_{\max}$ über mehrere Verbrennungszyklen c handeln, beispielsweise über 10 bis 1000 Verbrennungszyklen c , vorzugsweise 40 bis 100 Verbrennungszyklen c . Das erfasste zylinderindividuelle Signal eines Zylinders 2 wird über eine Signalleitung 14 einer Regelungsvorrichtung 7 zugeführt, wobei das Ermitteln des maximalen Zylinderinnendrucks $p_{\max}$ über einen Verbrennungszyklus c oder das zeitliche Filtern des maximalen Zylinderinnendrucks $p_{\max}$ über mehrere Verbrennungszyklen c auch durch die Regelungsvorrichtung 7 erfolgen kann. Wie nachfolgend beschrieben, wird durch die Regelungsvorrichtung 7 gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren jeweils eine zylinderindividuelle zu dosierende Brennstoffmenge Q als Verbrennungsparameter für die Zylinder 2 ermittelt und mittels Steuerleitungen 15 an entsprechende Brennstoffdosierventile 3 gemeldet. Durch die Brennstoffdosierventile 3 werden die entsprechenden zylinderindividuellen Brennstoffmengen Q in die Zylinder 2 dosiert und damit die zylinderindividuellen Signale gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren dem durch die Regelungsvorrichtung 7 gebildeten Sollwert - dem Median der zylinderindividuellen Signale - nachgeführt.

[0048] Fig. 3 zeigt eine nicht beanspruchte Variante wobei ein schematisches Blockschaltbild von drei Zylindern 2 einer Brennkraftmaschine 1 mit einem luftgeführten Brennverfahren dargestellt ist. Jedem Zylinder 2 ist ein Brennstoffdosierventil 3 zugeordnet, wobei durch das jeweilige Brennstoffdosierventil 3 die dem entsprechenden Zylinder 2 zugeführte Brennstoffmenge Q eingestellt werden kann. Eine Regelungsvorrichtung 7 steuert dabei die Brennstoffdosierventile 3 an, indem die Regelungsvorrichtung 7 eine jeweilige zylinderindividuelle Öffnungsdauer des Brennstoffdosierventils 3 in Form eines zylinderindividuellen Parameterwertes t_{cyl} ausgibt.

[0049] Die Brennstoffdosierventile 3 sind in diesem Beispiel als Port-Injection-Ventile ausgeführt, welche nur eine vollständig geöffnete und eine vollständig geschlossene Stellung kennen. Bei vollständig geöffneter Stellung eines Brennstoffdosierventils 3 wird in den Einlasstrakt des dem Brennstoffdosierventil 3 zugeordneten Zylinders 2 ein Brennstoff in Form eines Treibgases eingedüst. Durch die Öffnungsdauer des Brennstoffdosierventils 3 kann somit die Brennstoffmenge Q für den jeweiligen Zylinder 2 festgelegt werden.

[0050] Von jedem Zylinder 2 wird ein zylinderindividuelles Signal $p_{\max}$ erfasst und der Regelungsvorrichtung 7 zugeführt. Ein zylinderindividuelles Signal $p_{\max}$ entspricht dabei dem maximalen Zylinderinnendruck des entsprechenden Zylinders 2 während eines Verbrennungszyklus c . Im gezeigten Beispiel werden die zylinderindividuellen Signale $p_{\max}$ einer Differenzwertberechnung 8 der Regelungsvorrichtung 7 zugeführt. Die Differenzwertberechnung 8 ermittelt für jeden Zylinder 2 bzw. für jedes Brennstoffdosierventil 3 einen Differenzwert Δt_{cyl} , der jeweils zu einem vorgebbaren Zielwert t_g addiert wird, wodurch sich für jedes Brennstoffdosierventil 3 als Parameterwert t_{cyl} eine zylinderindividuelle Öffnungsdauer ergibt.

[0051] Der vorgebbare motorglobale Zielwert t_g wird im gezeigten Beispiel aus einem vorgebbaren Brennstoff-Luft-Verhältnis λ ermittelt, wobei das vorgebbare Brennstoff-Luft-Verhältnis λ durch einen Emissionsregler 5a aus einem Leistungsäquivalent P der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine 1 (z.B. eine gemessene elektrische Leistung eines mit der Brennkraftmaschine 1 verbundenen Generators) und/oder aus einem Ladeluftdruck p_A und/oder aus einer Motordrehzahl n der Brennkraftmaschine 1 ermittelt wird. Neben dem Brennstoff-Luft-Verhältnis λ können in eine Ziel-

wertberechnung 6 zusätzlich der Druck p_A und die Temperatur T_A der Ladeluft, der Druck p_G und die Temperatur T_G der Brennstoffzuführung sowie die Motordrehzahl n der Brennkraftmaschine 1 einfließen. Darüber hinaus können noch ein Durchflusskennwert der Brennstoffdosierventile 3 (z.B. effektiver Strömungsdurchmesser gemäß der polytropen Ausflussgleichung oder ein Kv-Wert) sowie Kenngrößen des Brennstoffs bzw. Brenngases (z.B. die Gasdichte, der Polytropenexponent oder der Heizwert) in die Zielwertberechnung 6 einfließen. Daraus ermittelt die Zielwertberechnung 6 den vorgebbaren Zielwert t_g , der einem motorglobalen Öffnungsdauer-Grundwert für die Öffnungsdauern aller Brennstoffdosierventile 3 entspricht.

[0052] Durch die Differenzwertberechnung 8 wird für jedes einzelne Brennstoffdosierventil 3 ein zylinderindividueller Öffnungsdauer-Offset bzw. Differenzwert Δt_{cyl} ermittelt. Diese zylinderindividuellen Differenzwerte Δt_{cyl} sind abhängig von der Abweichung des Zylinderspitzen drucks p_{max} des jeweiligen Zylinders 2 vom Median p_{median} der Zylinderspitzen drücke p_{max} aller Zylinder 2. Die jeweilige Summe aus motorglobalem Öffnungsdauer-Grundwert t_g und zylinderindividuellem Öffnungsdauer-Offset Δt_{cyl} ergibt die an die Treiberelektronik des jeweiligen Brennstoffdosierventils 3 kommandierte Zielöffnungsdauer t_{cyl} .

[0053] Alternativ oder zusätzlich zur Verwendung des maximalen Zylinderinnendrucks p_{max} als zylinderindividuelles Signal ist auch die Verwendung der jeweiligen zylinderindividuellen Zylinderabgastemperatur T_E strichliert angedeutet. Dabei können wiederum aus den Abweichungen der zylinderindividuellen Zylinderabgastemperaturen T_E zum Median der Zylinderabgastemperaturen T_E über alle Zylinder 2 entsprechende zylinderindividuelle Öffnungsdauer-Offsets Δt_{cyl} errechnet werden. Die zylinderindividuellen Zylinderabgastemperaturen T_E können beispielsweise als Alternative verwendet werden, wenn keine Zylinderinnendrucksensoren 4 verbaut sind oder auch als Rückfalllösung, wenn Zylinderdrucksignale ausfallen, um die Verfügbarkeit der Brennkraftmaschine 1 im Falle eines Zylinderdrucksensorausfalles zu erhöhen.

[0054] Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild gemäß Fig. 3 (ebenfalls ein nicht beanspruchtes Beispiel), wobei in diesem Fall die Brennkraftmaschine 1 mit einem gasgeführten Brennverfahren betrieben wird. Der vorgebbare motorglobale Zielwert t_g wird im gezeigten Beispiel durch einen Regler 5b ermittelt, der einen Leistungsregler und/oder einen Drehzahlregler umfassen kann. Für den Leistungsregler können dabei neben einem Leistungsäquivalent P der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine 1 (Istleistung) ein vorgebbares Zielleistungsäquivalent P_s (Sollleistung) der Brennkraftmaschine 1 als Eingangsgrößen dienen und für den Drehzahlregler kann neben einer jeweils aktuellen Motordrehzahl n (Istdrehzahl) der Brennkraftmaschine 1 eine vorgebbare Zieldrehzahl n_s (Soll Drehzahl) der Brennkraftmaschine 1 als Eingangsgröße dienen. Im Regler 5b wird ein motorglobaler Vorgabewert für den Brennstoffmassenstrom m ermittelt, aus dem in weiterer Folge in einer Zielwertberechnung 6 der vorgebbare motorglobale Zielwert t_g - z.B. für die motorglobale Öffnungsdauer von Brennstoffdosierventilen oder für den motorglobalen Vorgabewert für den Zündzeitpunkt von Zündeinrichtungen - ermittelt wird.

[0055] Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild gemäß Fig. 3, wobei die Regelungsvorrichtung 7 sowie die Differenzwertberechnung 8 detaillierter dargestellt sind. Diese Darstellung zeigt den Regelungsablauf für nur einen Zylinder 2 der Brennkraftmaschine 1 detailliert. Weitere Zylinder 2 der Brennkraftmaschine 1 sind dabei strichliert angedeutet.

[0056] In jedem Zylinder 2 ist ein Zylinderinnendrucksensor 4 angeordnet. Ein Zylinderinnendrucksensor 4 kann dabei den Verlauf des Zylinderinnendrucks p_{cyl} über einen Verbrennungszyklus c erfassen. Eine Maximalwerterfassung 9 kann dabei den maximalen Zylinderinnendruck p_{max} bzw. Spitzendruck des jeweiligen Zylinders 2 im vorangegangenen Verbrennungszyklus c ermitteln.

[0057] Die Spitzendrücke aller Zylinder 2 werden als zylinderindividuelle Signale p_{max} einer Sollwertberechnung 10 zugeführt. Diese Sollwertberechnung 10 bildet aus den zylinderindividuellen Signalen p_{max} den Median und gibt diesen als Sollwert p_{median} aus. In einem Sollwertregler 11 wird die Abweichung des Signals p_{max} eines Zylinders 2 vom Sollwert p_{median} ermittelt und in weiterer Folge ein Differenzwert Δt_{cyl} für das Brennstoffdosierventil 3, das dem Zylinder 2 zugeordnet ist, ermittelt. Der jeweilige Differenzwert Δt_{cyl} wird dabei zu einem motorglobalen, vorgebbaren Zielwert t_g addiert, wodurch sich eine Öffnungsdauer für das Brennstoffdosierventil 3 als Parameterwert t_{cyl} ergibt. Der vorgebbare Zielwert t_g wird dabei, wie in Fig. 3 beschrieben, aus einem Emissionsregler der Brennkraftmaschine 1 ermittelt. Er kann grundsätzlich auch aus einem Leistungsregler und/oder aus einem Drehzahlregler (wie in Fig. 4 beschrieben) der Brennkraftmaschine 1 ermittelt werden.

[0058] Im gezeigten Beispiel umfasst der jeweilige Differenzwert Δt_{cyl} einen zylinderindividuellen Vorsteuerwert t_p , der durch eine Vorsteuerwertberechnung 12 aus dem Ladeluftdruck p_A und/oder der Ladelufttemperatur T_A und/oder der Motordrehzahl n der Brennkraftmaschine 1 ermittelt wird. Dieser jeweilige Vorsteuerwert t_p kann dabei beispielsweise durch Messungen bei Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine 1 ermittelt und in einem Kennfeld abgelegt werden.

[0059] Generell kann der Sollwertregler 11 beispielsweise als P-, PI- oder PID-Regler ausgeführt werden. Es sind aber auch andere Reglerkonzepte und Reglertypen einsetzbar, wie beispielsweise LQ-Regler, robuste Regler oder Fuzzy-Regler.

[0060] Um unerwünschte Auswirkungen auf die globale Motorregelung und insbesondere auf den Emissionsregler 5a zu vermeiden, werden die Differenzwerte Δt_{cyl} jeweils zusätzlich noch mit einem Ausgleichswert t_0 aus einer Ausgleichswertberechnung 13 beaufschlagt. Dieser für alle Differenzwerte Δt_{cyl} gleiche Ausgleichswert t_0 entspricht dem

arithmetischen Mittelwert der Differenzwerte Δt_{cyl} aller Zylinder 2 und kann positiv oder negativ sein. Insgesamt ist es damit möglich, das vorgeschlagene Verfahren auch bei Brennkraftmaschinen 1 nachzurüsten, die bisher ohne Zylindervergleichstellung bzw. nur mit einem globalen Regler betrieben wurden, ohne dass diese zusätzliche Regelung eine Auswirkung auf die globale Motorregelung hat.

[0061] Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockschaltbild ähnlich der Fig. 3 (ebenfalls ein nicht beanspruchtes Beispiel), wobei mit der gezeigten Ausführungsform der Erfindung jedoch nicht die Brennstoffmengen Q für die Zylinder 2 sondern die Zündzeitpunkte Z von an bzw. in den Zylindern 2 angeordneten Zündeinrichtungen 18 eingestellt werden. Der global vorgebbare Zielwert t_g (globaler Vorgabewert) für den Zündzeitpunkt Z wird dabei aus einem Zündzeitpunktkennfeld 16 ermittelt, wobei im Zündzeitpunktkennfeld 16 geeignete Werte für den globalen Vorgabewert t_g abhängig von der Leistung bzw. dem Leistungsäquivalent P und/oder dem Ladeluftdruck p_A und/oder der Ladelufttemperatur T_A und/oder der Motordrehzahl n der Brennkraftmaschine 1 abgelegt sind. Der jeweilige durch die Regelungsvorrichtung 7 ermittelte Parameterwert t_{cyl} - ausgedrückt als Grad Kurbelwinkel vor OT - wird einer Zündungssteuerung 17 gemeldet. Die Zündungssteuerung 17 aktiviert zum jeweils angegebenen Zündzeitpunkt Z die jeweilige Zündeinrichtung 18. Dabei wird in diesem Beispiel der Zündzeitpunkt Z eines Zylinders 2 früher gegenüber dem globalen Vorgabewert t_g eingestellt, falls der Zylinderspitzendruck p_{max} des Zylinders 2 kleiner dem Sollwert p_{median} ist und der Zündzeitpunkt Z eines Zylinders 2 später gegenüber dem globalen Vorgabewert t_g eingestellt, falls der Zylinderspitzendruck p_{max} des Zylinders 2 größer dem Sollwert p_{median} ist.

[0062] Fig. 7 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ähnlich der Fig. 5, wobei jedoch nicht die Brennstoffmengen Q für die Zylinder 2 sondern die Zündzeitpunkte Z von an bzw. in den Zylindern 2 angeordneten Zündeinrichtungen 18 eingestellt werden. In diesem Beispiel werden jeweils die Stickoxidemissionen E_{cyl} eines Zylinders 2 über einen Verbrennungszyklus c von einer NOx-Sonde 19 erfasst und einer Auswerteeinheit 20 zugeführt. Die Auswerteeinheit 20 ermittelt aus dem zeitlichen Verlauf der Stickoxidemissionen E_{cyl} über einen Verbrennungszyklus c einen gefilterten Emissionswert, der als zylinderindividuelles Signal E der Sollwertberechnung 10 zugeführt wird. Aus den zylinderindividuellen Signalen E aller Zylinder 2 bildet die Sollwertberechnung 10 den Median und gibt diesen als Sollwert E_{median} an den Sollwertregler 11 aus. Im Sollwertregler 11 wird die Abweichung des zylinderindividuellen Signals E vom Sollwert E_{median} ermittelt und abhängig davon ein Differenzwert Δt_{cyl} für den Zündzeitpunkt Z einer dem entsprechenden Zylinder 2 zugeordneten Zündeinrichtung 18 ermittelt. Der jeweilige Differenzwert Δt_{cyl} wird dabei zu einem motorglobalen, vorgebbaren Zielwert t_g addiert, wodurch sich ein Zündzeitpunkt Z in Grad Kurbelwinkel vor OT als Parameterwert t_{cyl} ergibt, der an eine Zündungssteuerung 17 gemeldet wird, wobei die Zündungssteuerung 17 zum angegebenen Zündzeitpunkt Z die Zündeinrichtung 18 (z.B. eine Zündkerze) aktiviert. Der vorgebbare Zielwert t_g wird dabei, wie in Fig. 6 beschrieben, aus einem Zündzeitpunktkennfeld 16 ermittelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), insbesondere eines Gasmotors, mit wenigstens drei Zylindern (2), wobei von jedem Zylinder (2) ein zylinderindividuelles Signal (p_{max} , E) erfasst wird, wobei aus den Signalen (p_{max} , E) der Zylinder (2) ein Sollwert (p_{median} , E_{median}) gebildet wird, wobei in Abhängigkeit von der Abweichung eines Signals (p_{max} , E) vom Sollwert (p_{median} , E_{median}) wenigstens ein Verbrennungsparameter (Q , Z) des entsprechenden Zylinders (2) eingestellt wird, wobei das Signal (p_{max} , E) dem Sollwert (p_{median} , E_{median}) nachgeführt wird, wobei als Sollwert (p_{median} , E_{median}) der Median der Signale (p_{max} , E) gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Einstellen des wenigstens einen Verbrennungsparameters (Q , Z) ein Parameterwert (t_{cyl}) ermittelt wird, wobei der Parameterwert (t_{cyl}) einen vorgebbaren motorglobalen Zielwert (t_g) und einen zylinderindividuellen Differenzwert (Δt_{cyl}) umfasst, wobei der zylinderindividuelle Differenzwert (Δt_{cyl}) einen zylinderindividuellen Vorsteuerwert (t_p) enthält.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** von jedem Zylinder (2) wenigstens eines der folgenden zylinderindividuellen Signale erfasst wird: Zylinderinnendruck (p_{cyl}), Zylinderabgastemperatur (T_E), Stickoxidemissionen (E), Verbrennungsluftverhältnis, wobei vorzugsweise als Signal ein maximaler Zylinderinnendruck (p_{max}) eines Verbrennungszyklus (c) erfasst wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Signal eines Zylinders das erfasste Signal (p_{max} , E) über 10 bis 1000 Verbrennungszyklen (c), vorzugsweise 40 bis 100 Verbrennungszyklen (c), zeitlich gefiltert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verbrennungsparameter (Q , Z) eines Zylinders (2) eingestellt wird, falls die Abweichung des Signals (p_{max} , E) des Zylinders (2) vom Sollwert (p_{median} , E_{median}) einen vorgebbaren Toleranzwert überschreitet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Verbrennungsparameter eine Brennstoffmenge (Q) für den entsprechenden Zylinder (2) eingestellt wird, wobei vorzugsweise die Brennstoffmenge (Q) für einen Zylinder (2) erhöht wird, falls das Signal ($p_{\max}$, E) des Zylinders (2) kleiner dem Sollwert (p_{median} , E_{median}) ist und/oder die Brennstoffmenge (Q) für einen Zylinder (2) verringert wird, falls das Signal ($p_{\max}$, E) des Zylinders (2) größer dem Sollwert (p_{median} , E_{median}) ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Zylinder (2) ein Brennstoffdosierventil (3) vorgesehen ist, wobei zum Einstellen der Brennstoffmenge (Q) für einen Zylinder (2) die Öffnungsdauer (t_{cyl}) des entsprechenden Brennstoffdosierventils (3) eingestellt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Verbrennungsparameter ein Zündzeitpunkt (Z) für den entsprechenden Zylinder (2) eingestellt wird, wobei vorzugsweise der Zündzeitpunkt (Z) für einen Zylinder (2) früher eingestellt wird, falls das Signal ($p_{\max}$, E) des Zylinders (2) kleiner dem Sollwert (p_{median} , E_{median}) ist und/oder der Zündzeitpunkt (Z) für einen Zylinder (2) später eingestellt wird, falls das Signal ($p_{\max}$, E) des Zylinders (2) größer dem Sollwert (p_{median} , E_{median}) ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Zylinder (2) eine Zündeinrichtung (18) vorgesehen ist, wobei der Zündzeitpunkt (Z) der Zündeinrichtung (18) in Grad Kurbelwinkel vor OT (t_{cyl}) eingestellt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorgebbare Zielwert (t_g) aus einem vorgebbaren Brennstoff-Luft-Verhältnis (λ) ermittelt wird, wobei vorzugsweise das vorgebbare Brennstoff-Luft-Verhältnis (λ) aus einem Leistungsäquivalent (P) der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine (1), vorzugsweise einer elektrischen Leistung eines mit der Brennkraftmaschine (1) verbundenen Generators, und/oder aus einem Ladeluftdruck (p_A) und/oder aus einer Motordrehzahl (n) der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorgebbare Zielwert (t_g) in Abhängigkeit von der Abweichung eines Leistungsäquivalents (P) der abgegebenen Leistung der Brennkraftmaschine (1) von einem vorgebbaren Zieleleistungsäquivalent (P_S) und/oder in Abhängigkeit von der Abweichung einer Motordrehzahl (n) der Brennkraftmaschine (1) von einer vorgebbaren Zieldrehzahl (n_S) der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zylinderindividuelle Vorsteuerwert (t_p) aus einem Ladeluftdruck (p_A) und vorzugsweise zusätzlich aus einer Ladelufttemperatur (T_A) der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zylinderindividuelle Differenzwert (Δt_{cyl}) mit einem Ausgleichswert (t_o) beaufschlagt wird, wobei der Ausgleichswert (t_o) dem arithmetischen Mittelwert der zylinderindividuellen Differenzwerte (Δt_{cyl}) entspricht.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Zylinder (2) ein Verbrennungszustand überwacht und in Bezug auf einen vorgebbaren Sollzustand als normal oder abnormal bewertet wird, wobei der Verbrennungsparameter (Q, Z) eines Zylinders (2) nur eingestellt wird, falls der Verbrennungszustand des Zylinders (2) als normal bewertet wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Verbrennungszustand Klopfen und/oder Glühzünden und/oder Aussetzen in der Verbrennung überwacht wird, wobei der Verbrennungszustand eines Zylinders (2) als normal bewertet wird, falls kein Klopfen und/oder kein Glühzünden und/oder kein Aussetzen in der Verbrennung erkannt werden.

Claims

1. A method for operating an internal combustion engine (1), in particular a gas engine, having at least three cylinders (2), wherein a cylinder-specific signal ($p_{\max}$, E) is acquired from each cylinder (2), wherein a reference value (p_{median} , E_{median}) is generated from the signals ($p_{\max}$, E) from the cylinders (2), wherein at least one combustion parameter (Q, Z) of the corresponding cylinder (2) is controlled as a function of the deviation of a signal ($p_{\max}$, E) from the reference value (p_{median} , E_{median}), whereupon the signal ($p_{\max}$, E) tracks the reference value (p_{median} , E_{median}).

wherein the median of the signals ($p_{\max}$, E) is generated as the reference value (p_{median} , E_{median}), **characterized in that** in order to set the at least one combustion parameter (Q, Z), a parameter (t_{cyl}) is determined, wherein the parameter (t_{cyl}) is a specifiable overall engine target value (t_g) and a cylinder-specific difference value (Δt_{cyl}), wherein the cylinder-specific difference value (Δt_{cyl}) contains a cylinder-specific pilot value (t_p).

2. The method according to claim 1, **characterized in that** at least one of the following cylinder-specific signals is acquired from each cylinder (2): internal cylinder pressure (p_{cyl}), cylinder exhaust temperature (T_E), oxides of nitrogen emissions (E) and combustion air ratio, wherein preferably a maximum internal cylinder pressure ($p_{\max}$) of a combustion cycle (c) is acquired as the signal.
3. The method according to claim 1 or 2, **characterized in that** the signal from a cylinder is the temporally filtered signal ($p_{\max}$, E) acquired over 10 to 1000 combustion cycles (c), preferably 40 to 100 combustion cycles (c).
4. The method according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** the combustion parameter (Q, Z) of a cylinder (2) is adjusted if the deviation of the signal ($p_{\max}$, E) of the cylinder (2) exceeds the reference value (p_{median} , E_{median}) by a specifiable tolerance value.
5. The method according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** a fuel quantity (Q) for the corresponding cylinder (2) is used as the combustion parameter, wherein preferably the fuel quantity (Q) for a cylinder (2) is increased if the signal ($p_{\max}$, E) from the cylinder (2) is smaller than the reference value (p_{median} , E_{median}) and/or the fuel quantity (Q) for a cylinder (2) is decreased if the signal ($p_{\max}$, E) from the cylinder (2) is larger than the reference value (p_{median} , E_{median}).
6. The method according to claim 5, **characterized in that** a fuel metering valve (3) is provided for each cylinder (2), wherein in order to adjust the fuel quantity (Q) for a cylinder (2), the open period (t_{cyl}) for the corresponding fuel metering valve (3) is adjusted.
7. The method according to one of claims 1 to 6, **characterized in that** an ignition point (Z) for the corresponding cylinder (2) is adjusted as the combustion parameter, wherein preferably the ignition point (Z) for a cylinder (2) is set earlier if the signal ($p_{\max}$, E) from the cylinder (2) is smaller than the reference value (p_{median} , E_{median}) and/or the ignition point (Z) for a cylinder (2) is set later if the signal ($p_{\max}$, E) from the cylinder (2) is larger than the reference value (p_{median} , E_{median}).
8. The method according to claim 7, **characterized in that** an ignition device (18) is provided for each cylinder (2), wherein the ignition point (Z) for the ignition device (18) is set in degrees of crank angle before TDC (t_{cyl}).
9. The method according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** the specifiable target value (t_g) is determined from a specifiable fuel-air ratio (λ), wherein preferably the specifiable fuel-air ratio (λ) is determined from a power equivalent (2) of the output power of the internal combustion engine (1), preferably electrical power from a generator connected to the internal combustion engine (1), and/or from a charge air pressure (p_A) and/or from an engine speed (n) of the internal combustion engine (1).
10. The method according to one of claims 1 to 9, **characterized in that** the specifiable target value (t_g) is determined as a function of the deviation of a power equivalent (2) of the output power of the internal combustion engine (1) from a specifiable target power equivalent (P_S) and/or as a function of the deviation of an engine speed (n) of the internal combustion engine (1) from a specifiable target speed (n_S) of the internal combustion engine (1).
11. The method according to one of claims 1 to 10, **characterized in that** the cylinder-specific pilot value (t_p) is determined from a charge air pressure (p_A) and preferably additionally from a charge air temperature (T_A) of the internal combustion engine (1).
12. The method according to one of claims 1 to 11, **characterized in that** the cylinder-specific difference value (Δt_{cyl}) is provided with an equalization value (t_o), wherein the equalization value (t_o) corresponds to the arithmetic mean of the cylinder-specific difference value (Δt_{cyl}).
13. The method according to one of claims 1 to 12, **characterized in that** a combustion condition is monitored for each cylinder (2) and is evaluated as being normal or abnormal with respect to a specifiable reference state, wherein the combustion parameter (Q, Z) of a cylinder (2) is only adjusted if the combustion condition of the cylinder (2) is

evaluated as being normal.

14. The method according to claim 13, **characterized in that** knocking and/or auto-ignition and/or interruptions in combustion are monitored as the combustion condition, wherein the combustion condition of a cylinder (2) is evaluated as being normal if no knocking and/or auto-ignition and/or interruptions are discerned in the combustion.

Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un moteur à combustion interne (1), en particulier d'un moteur à gaz, avec au moins trois cylindres (2), dans lequel un signal ($p_{\max}$, E) spécifique au cylindre est détecté par chaque cylindre (2), une valeur de consigne (p_{median} , E_{median}) est formée à partir des signaux ($p_{\max}$, E) des cylindres (2), dans lequel au moins un paramètre de combustion (Q, Z) du cylindre (2) correspondant est réglé en fonction de l'écart d'un signal ($p_{\max}$, E) par rapport à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}), dans lequel le signal ($p_{\max}$, E) est ajusté à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}), dans lequel la médiane des signaux ($p_{\max}$, E) est formée comme valeur de consigne (p_{median} , E_{median}), **caractérisé en ce qu'**une valeur de paramètre (t_{cyl}) est calculée pour le réglage de l'au moins un paramètre de combustion (Q, Z), dans lequel la valeur de paramètre (t_{cyl}) comprend une valeur cible (t_g) globale de moteur prescriptible et une valeur différentielle (Δt_{cyl}) spécifique au cylindre, dans lequel la valeur différentielle (Δt_{cyl}) spécifique au cylindre contient une valeur de précommande (t_p) spécifique au cylindre.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins un des signaux suivants spécifiques au cylindre est détecté par chaque cylindre (2) : la pression interne de cylindre (p_{cyl}), la température de gaz d'échappement de cylindre (T_E), les émissions d'oxyde d'azote (E), le rapport d'air de combustion, dans lequel une pression interne de cylindre ($p_{\max}$) maximale d'un cycle de combustion (c) est de préférence détectée comme signal.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le signal détecté ($p_{\max}$, E) est filtré temporellement comme signal d'un cylindre sur 10 à 1000 cycles de combustion (c), de préférence 40 à 100 cycles de combustion (c).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le paramètre de combustion (Q, Z) d'un cylindre (2) est réglé si l'écart du signal ($p_{\max}$, E) du cylindre (2) par rapport à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}) dépasse une valeur de tolérance prescriptible.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**une quantité de combustible (Q) pour le cylindre (2) correspondant est réglée comme paramètre de combustion, dans lequel la quantité de combustible (Q) pour un cylindre (2) est de préférence augmentée, si le signal ($p_{\max}$, E) du cylindre (2) est inférieur à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}) et/ou la quantité de combustible (Q) pour un cylindre (2) est réduite si le signal ($p_{\max}$, E) du cylindre (2) est supérieur à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}).
6. Procédé la revendication 5, **caractérisé en ce qu'**une soupape de dosage de combustible (3) est prévue pour chaque cylindre (2), dans lequel la durée d'ouverture (t_{cyl}) de la soupape de dosage de combustible (3) correspondante est réglée pour le réglage de la quantité de combustible (Q) pour un cylindre (2).
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'**un moment d'allumage (Z) pour le cylindre (2) correspondant est réglé comme paramètre de combustion, dans lequel le moment d'allumage (Z) pour un cylindre (2) est de préférence réglé plus tôt si le signal ($p_{\max}$, E) du cylindre (2) est inférieur à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}) et/ou le moment d'allumage (Z) pour un cylindre (2) est réglé plus tard si le signal ($p_{\max}$, E) du cylindre (2) est supérieur à la valeur de consigne (p_{median} , E_{median}).
8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**un dispositif d'allumage (18) est prévu pour chaque cylindre (2), dans lequel le moment d'allumage (Z) du dispositif d'allumage (18) est réglé en degré d'angle de vilebrequin avant le point mort haut (t_{cyl}).
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** la valeur cible (t_g) prescriptible est calculée à partir d'un rapport combustible-air prescriptible (λ), dans lequel le rapport combustible-air prescriptible (X) est de préférence calculé à partir d'un équivalent de puissance (P) de la puissance fournie du moteur à combustion interne (1), de préférence d'une puissance électrique d'un générateur relié au moteur à combustion interne (1), et/ou à partir d'une pression d'air de suralimentation (p_A) et/ou à partir d'une vitesse de rotation de moteur (n) du moteur à combustion interne (1).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la valeur cible prescriptible (t_g) est calculée en fonction de l'écart d'un équivalent de puissance (P) de la puissance fournie du moteur à combustion interne (1) par rapport à un équivalent de puissance cible (P_s) prescriptible et/ou en fonction de l'écart d'une vitesse de rotation de moteur (n) du moteur à combustion interne (1) par rapport à une vitesse de rotation cible prescriptible (n_s) du moteur à combustion interne (1).
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** la valeur de précommande (t_p) spécifique au cylindre est calculée à partir d'une pression d'air de suralimentation (p_A) et de préférence en outre à partir d'une température d'air de suralimentation (T_A) du moteur à combustion interne (1).
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce qu'**une valeur de compensation (t_o) est appliquée à la valeur différentielle (Δt_{cyl}) spécifique au cylindre, dans lequel la valeur de compensation (t_o) correspond à la valeur médiane arithmétique des valeurs de différence (Δt_{cyl}) spécifiques au cylindre.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce qu'**un état de combustion est surveillé pour chaque cylindre (2) et est évalué en ce qui concerne un état de consigne prescriptible comme étant normal ou anormal, dans lequel le paramètre de combustion (Q, Z) d'un cylindre (2) n'est réglé que si l'état de combustion du cylindre (2) est évalué comme étant normal.
14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le cognement et/ou l'allumage par incandescence et/ou l'extinction dans la combustion est surveillé(e) comme état de combustion, dans lequel l'état de combustion d'un cylindre (2) est évalué comme étant normal si aucun cognement et/ou aucun allumage par incandescence et/ou aucune extinction n'est reconnu(e) dans la combustion.

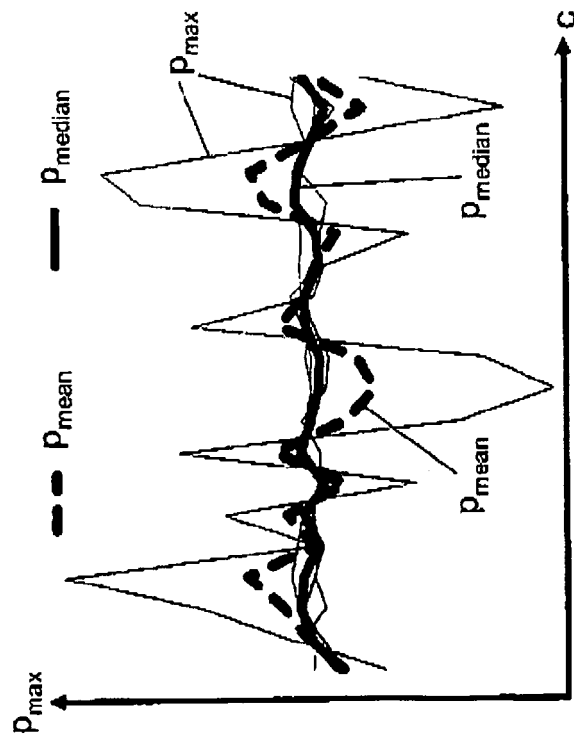
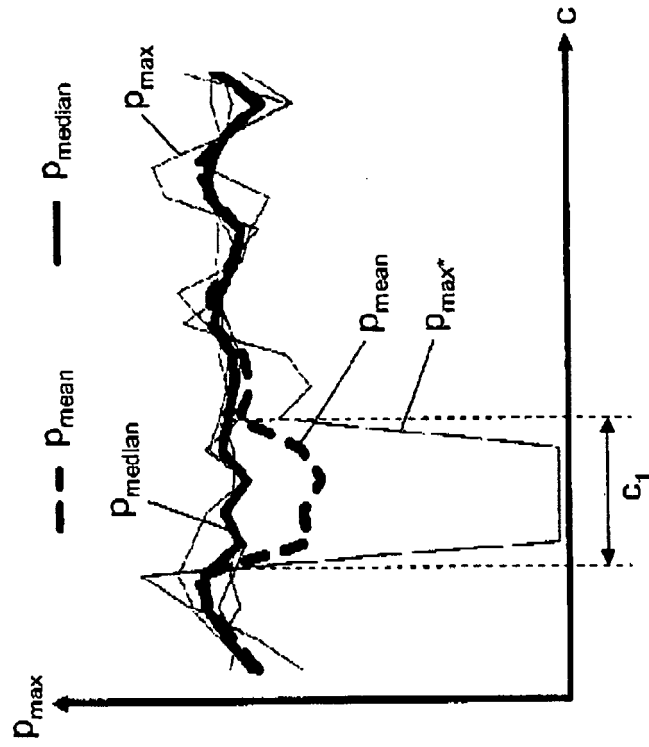


Fig. 2

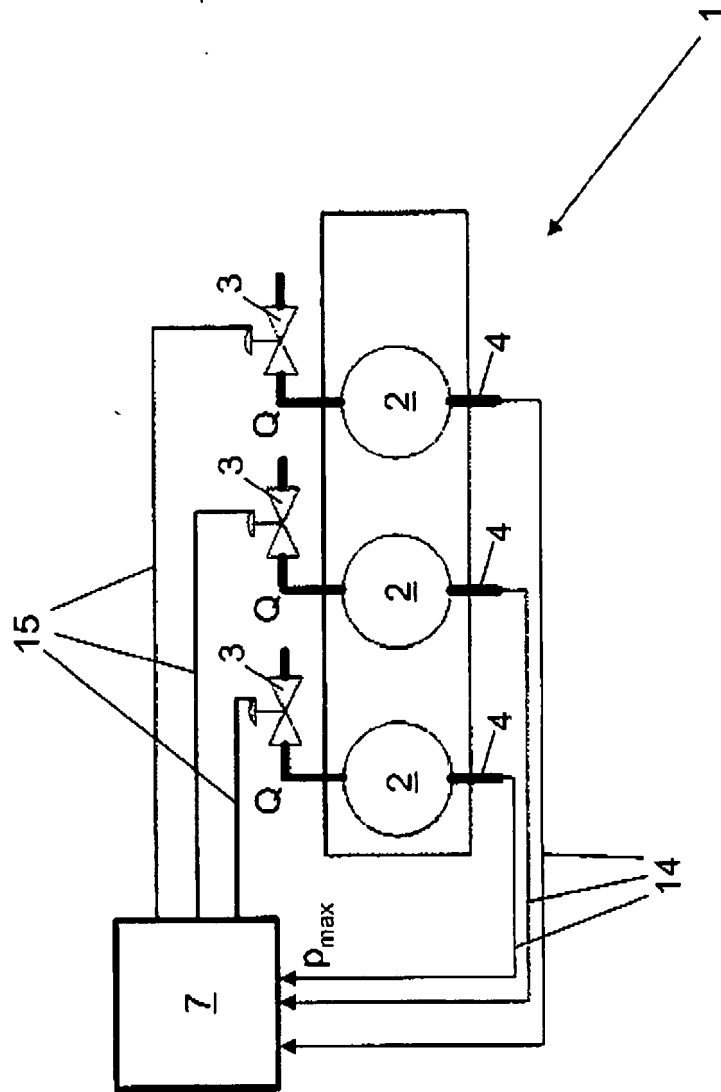
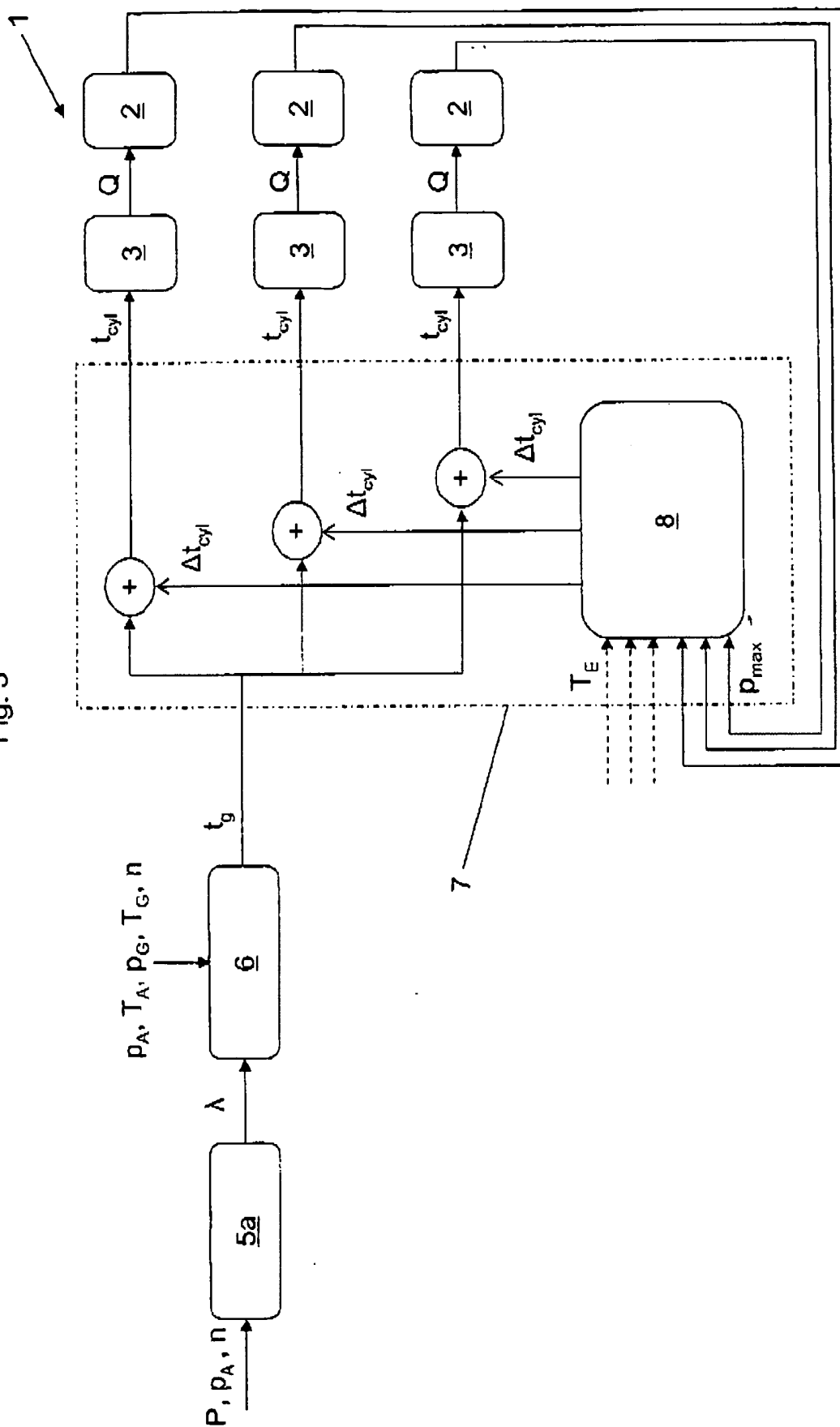


Fig. 3



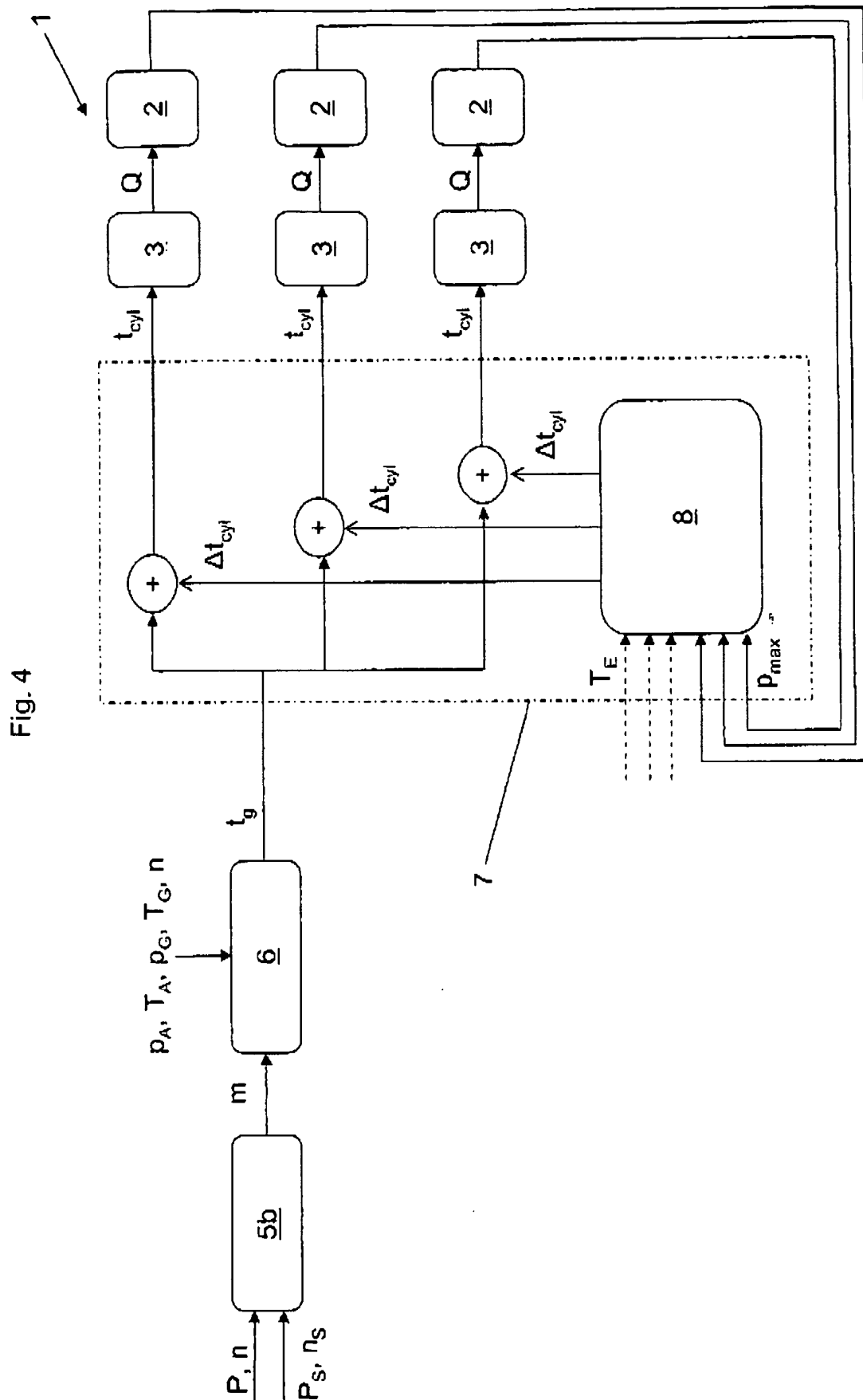


Fig. 5

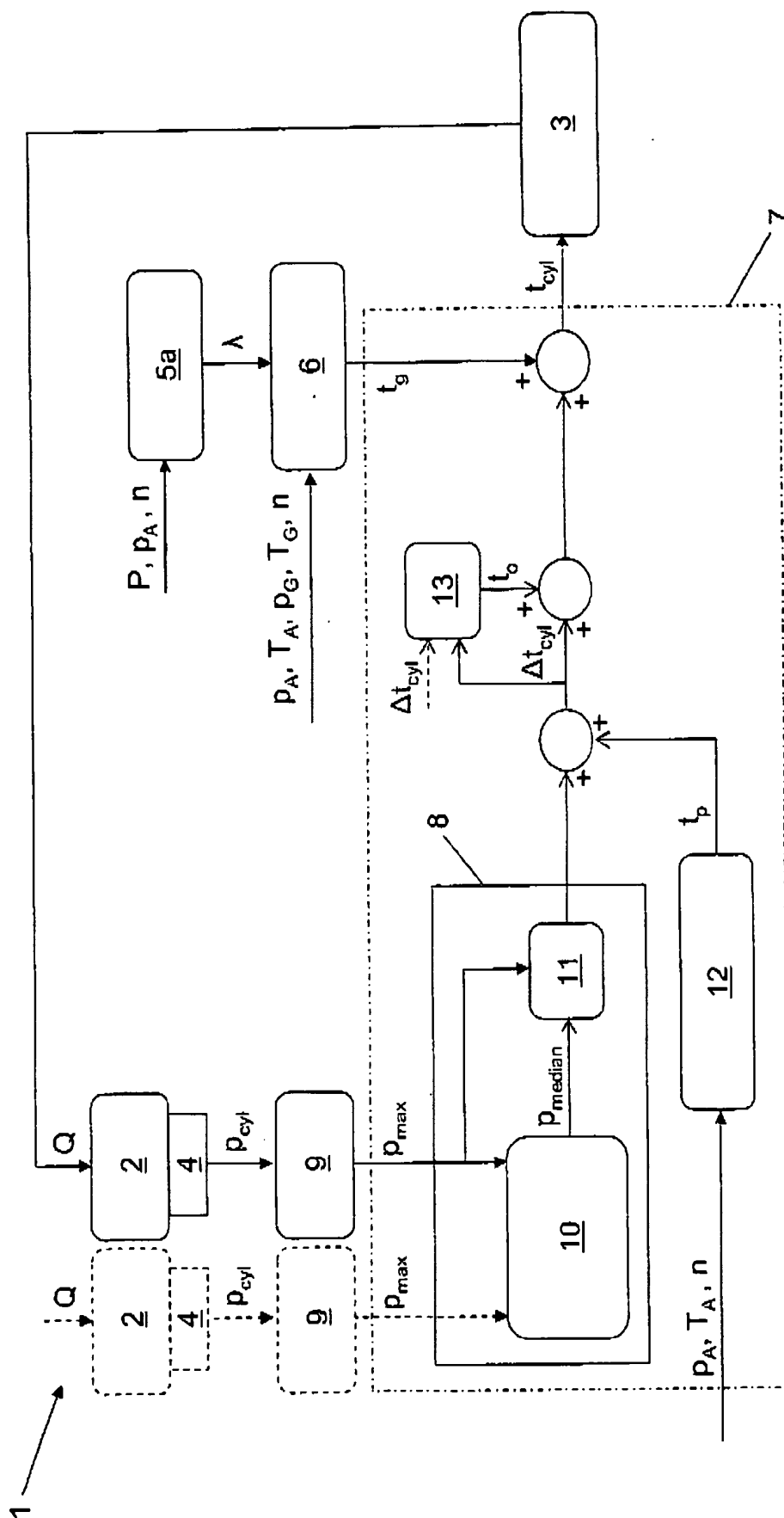


Fig. 6

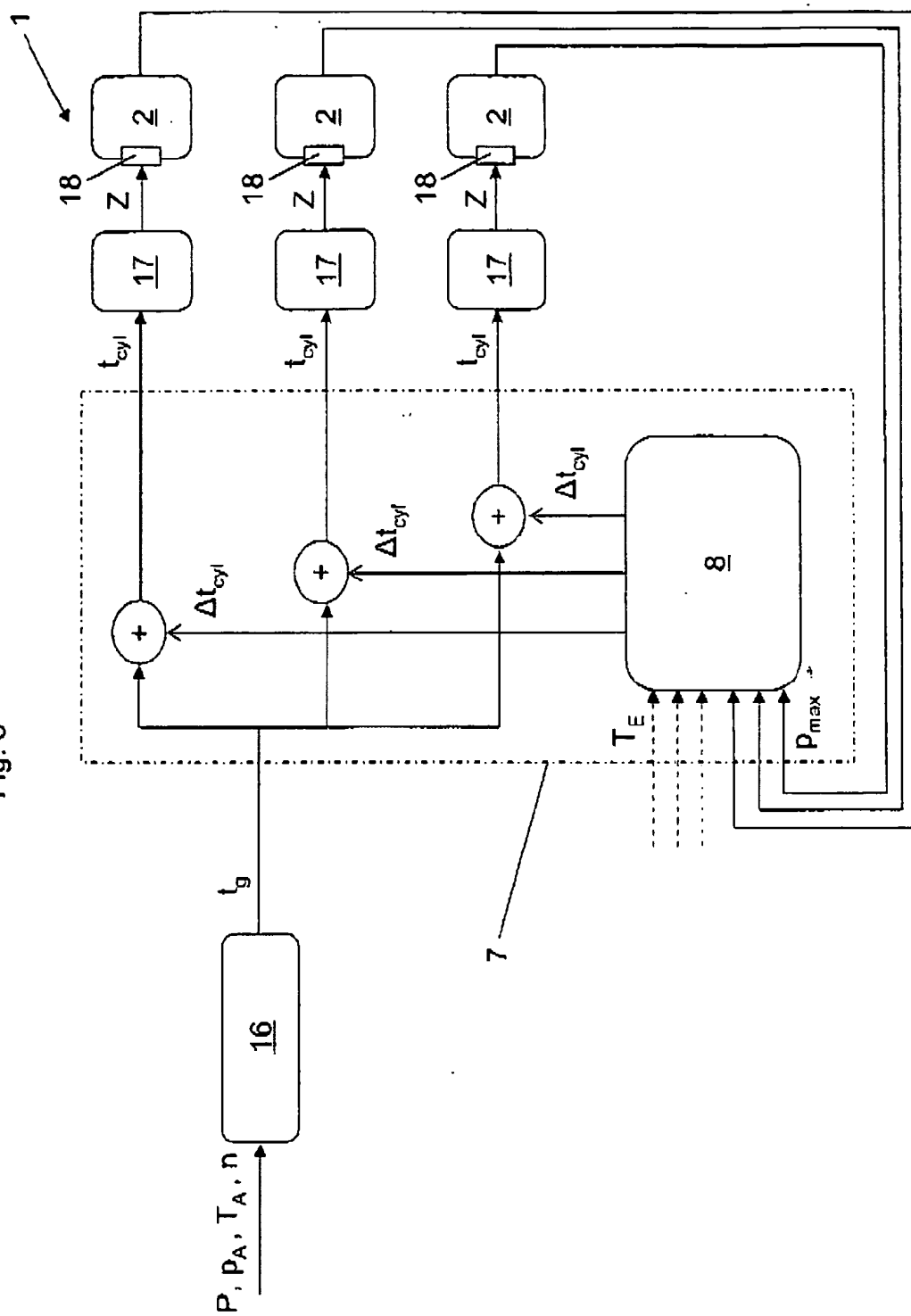
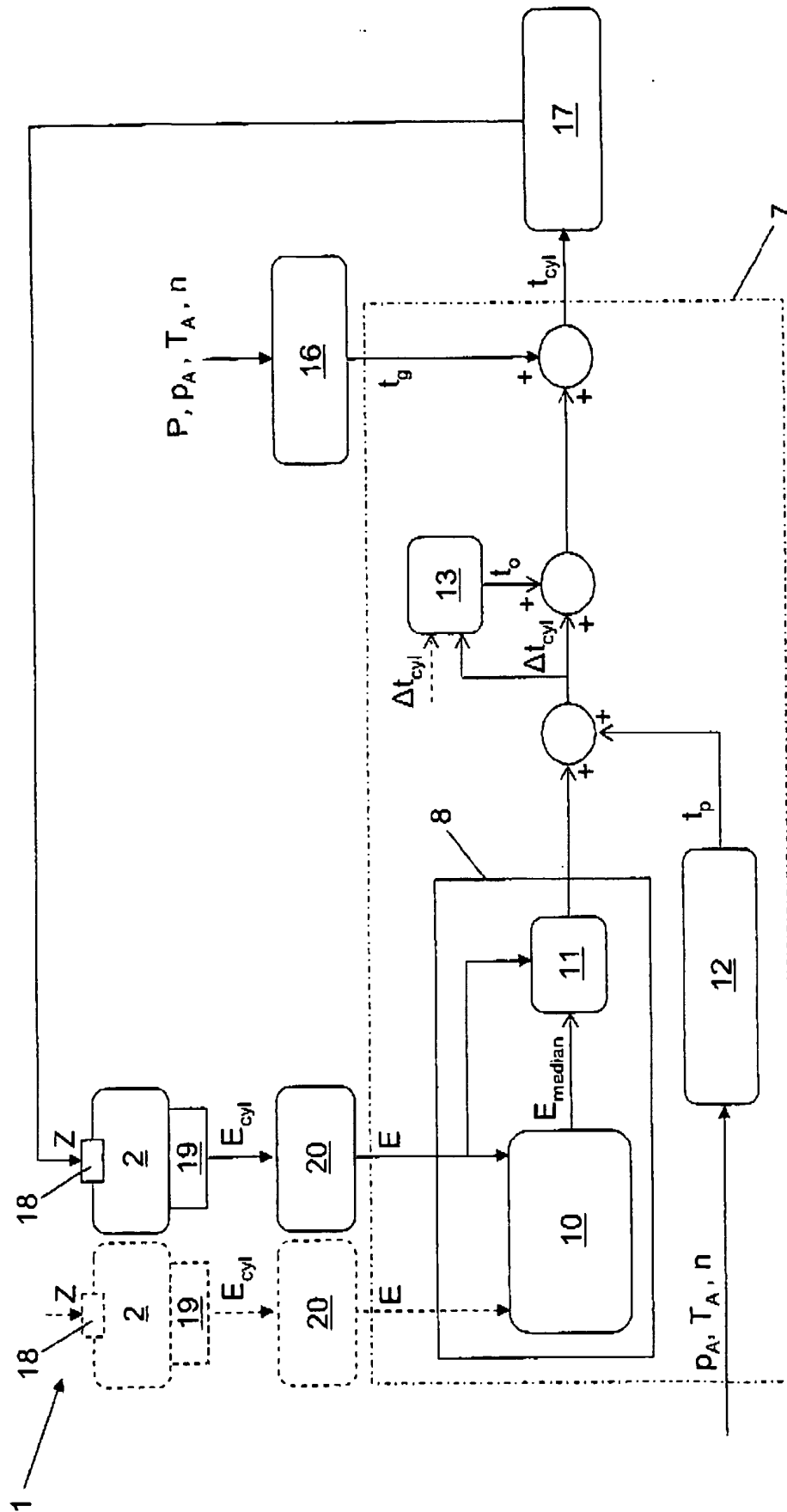


Fig. 7



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

- US 7957889 B2 [0004]
- DE 19754353 A1 [0007]
- DE 102010042736 A1 [0007]
- US 2010089364 A1 [0007]
- WO 2009122012 A1 [0007]
- JP 2010001745 A [0007]
- EP 0259382 B1 [0032]