

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 575/2014
(22) Anmeldetag: 22.07.2014
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2016

(51) Int. Cl.: **F02D 19/02** (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)
F02B 63/04 (2006.01)

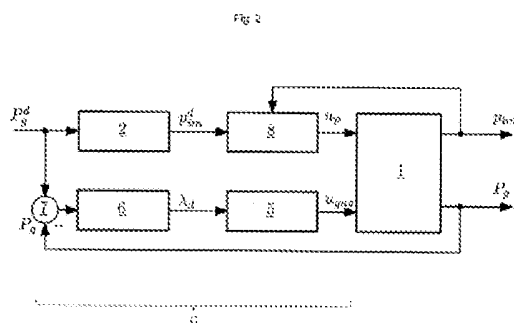
(71) Patentanmelder:
GE Jenbacher GmbH & Co OG
6200 Jenbach (AT)

(74) Vertreter:
Torggler Paul Mag. Dr., Hofinger Stephan
Dipl.Ing. Dr., Gangl Markus Mag. Dr., Maschler
Christoph MMag. Dr.
Innsbruck

(54) **Brennkraftmaschine mit einer Regeleinrichtung**

(57) Brennkraftmaschine (1) mit einer Regeleinrichtung (C), wobei in der Brennkraftmaschine (1) ein Luft-Brennstoff-Gemisch mit einem durch die Regeleinrichtung einstellbaren Verbrennungsluftverhältnis (λ) verbrannt wird, wobei die Regeleinrichtung (C) aufweist:

- einen Leistungsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, eine Ist-Leistung (P_g) der Brennkraftmaschine (1) an eine Soll-Leistung (P^d_g) der Brennkraftmaschine (1) über eine Einstellung des Lambda-Werts (λ) anzugleichen,
- einen NOx-Emissionsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, über einen funktionalen Zusammenhang (2) den Ladedruck als Ersatzgröße für die NOx-Emission durch den Ladedruck beeinflussende Aktuatoren so anzusteuern, dass für jede Soll-Leistung (P^d_g) der Brennkraftmaschine ein Ladedrucksollwert (P^d_{im}) einstellbar ist.

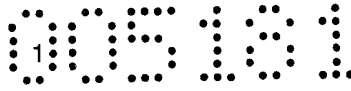


Zusammenfassung:

Brennkraftmaschine (1) mit einer Regeleinrichtung (C), wobei in der Brennkraftmaschine (1) ein Luft-Brennstoff-Gemisch mit einem durch die Regeleinrichtung einstellbaren Verbrennungsluftverhältnis (λ) verbrannt wird, wobei die Regeleinrichtung (C) aufweist:

- einen Leistungsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, eine Ist-Leistung (P_g) der Brennkraftmaschine (1) an eine Soll-Leistung (P_g^d) der Brennkraftmaschine (1) über eine Einstellung des Lambda-Werts (λ) anzugleichen,
- einen NOx-Emissionsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, über einen funktionalen Zusammenhang (2) den Ladedruck als Ersatzgröße für die NOx-Emission durch den Ladedruck beeinflussende Aktuatoren so anzusteuern, dass für jede Soll-Leistung (P_g^d) der Brennkraftmaschine ein Ladedrucksollwert (p_{im}^d) einstellbar ist.

(Fig. 2)



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einer Regeleinrichtung.

Bei der aus der EP 0 259 382 B1 bekannten Regelstrategie wird in Abhängigkeit einer gemessenen Ist-Leistung der Brennkraftmaschine ein Ladedrucksollwert erzeugt und durch einen ersten Regelkreis (Ladedruckregler) über einen Soll-Ist-Wert-Vergleich der Lambda-Wert (Verhältnis von Luft zu Treibstoff) so eingestellt, dass der Istladedruck dem Ladedrucksollwert entspricht und bei diesem Ladedrucksollwert ein bestimmter Zielwert der NO_x-Emission vorliegt. Da die NO_x-Emission nicht direkt bekannt ist, wird der Ladedruck als Hilfsregelgröße verwendet. Der funktionale Zusammenhang liegt in Form einer Kurvenschar vor, wobei jede Kurve für einen bestimmten NO_x-Wert den Zusammenhang zwischen Ist-Leistung und Ladedrucksollwert angibt. Insofern ist also der Ladedruckregler eigentlich ein Emissionsregelkreis in Bezug auf die NO_x-Emission (NO_x-Emissionsregelkreis).

Die Einstellung des Lambda-Wertes erfolgt über Beeinflussung einer Gasdosiereinrichtung. Die Veränderung des Lambda-Wertes würde an sich eine Veränderung der Leistung der Brennkraftmaschine bewirken, was durch einen zweiten Regelkreis (Leistungsregelkreis) ausgeglichen werden muss. Dieser Ausgleich im Leistungsregelkreis erfolgt über jene Aktuatoren, die den Ladedruck unmittelbar beeinflussen (Drosselklappe und Verdichterumblasung). Der Ladedruck wird also indirekt über den Lambda-Wert geregelt. Diese Regelstrategie ist als LEANOX[®]-Verfahren bekannt.

Es wird demgemäß also der funktionale Zusammenhang zwischen dem vor den Einlaßventilen des Motors herrschenden, relativ leicht messbaren Ladedruck und der Leistung ausgenutzt.

Dazu ist der Ausgang der Ladedruckmessung mit einem Istwert-Eingang des ersten Regelkreises verbunden. Im ersten Regelkreis der EP 0 259 382 B1 (Ladedruckregler) ist eine programmierbare Einrichtung zur Ermittlung eines

leistungsabhängigen Sollwertes für den Ladedruck aus dem von der Leistungsmesseinrichtung zugeführten Leistungsmesssignal angeordnet.

Dabei erfolgt die Regelung des Ladedrucks indirekt über die Regelung des Verbrennungs-Luftverhältnisses (λ) im Luft-Gas-Mischer, wobei beispielsweise ein Abmagern des Gemisches (Erhöhen von λ) eine Erhöhung des Ladedrucks vor den Einlaßventilen bewirkt (bei der Forderung einer konstanten Motorleistung).

Allerdings ergeben sich durch die Kopplung einer Leistungsregelung mit einer Regelung des Ladedrucks (ersatzweise für eine unmittelbare NO_x-Emissionsregelung) unter Einhaltung eines Zielwertes der NO_x-Emission verschiedene Nachteile, wie zum Beispiel Stabilitätsprobleme, und ein ungünstiges transientes Verhalten (langames Anfahren erforderlich).

Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung einer Brennkraftmaschine mit einer Regeleinrichtung, die bei Beibehaltung der Einhaltung eines Zielwertes der NO_x-Emission die oben beschriebenen Nachteile vermeidet und insbesondere ein günstiges transientes Verhalten aufweist.

Diese Aufgabe wird durch eine Brennkraftmaschine mit einer Regeleinrichtung nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Auch bei der Erfindung erfolgt die NO_x-Emissionsregelung mittels der Hilfsgröße Ladedruck, jedoch erfolgt die Leistungsregelung über den λ -Wert.

Dazu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Leistungsregelkreis dazu ausgebildet ist, eine Ist-Leistung der Brennkraftmaschine an eine Soll-Leistung der Brennkraftmaschine über eine Einstellung des λ -Werts anzugleichen und der NO_x-Emissionsregelkreis dazu ausgebildet ist, über einen – an sich bekannten - funktionalen Zusammenhang zwischen Soll-Leistung und Ladedruck den Ladedruck als Ersatzgröße für die NO_x-Emission den

Ladedruck beeinflussende Aktuatoren so anzusteuern, dass für jede Soll-Leistung der Brennkraftmaschine ein Zielladedruck einstellbar ist.

Im Unterschied zum Stand der Technik wird bei der Erfindung also der Ladedruck über einen Ladedruckregler eingestellt, der direkt, d. h. ohne Einbeziehung der Leistungsregelung, auf die entsprechenden Aktuatoren zur Beeinflussung des Ladedrucks wirkt. Der NO_x-Emissionsregelkreis steuert die den Ladedruck beeinflussenden Aktuatoren so an, dass für jede Soll-Leistung der Brennkraftmaschine ein Zielladedruck eingestellt wird. Beispiele für solche den Ladedruck beeinflussende Aktuatoren sind etwa ein Verdichterumblaseventil, eine Drosselklappe, eine variable Kompressor-geometrie, ein Wastegate und eine variable Turbinengeometrie. Die Ansteuerung der den Ladedruck beeinflussenden Aktuatoren erfolgt also nicht im Leistungsregelkreis sondern unmittelbar im NO_x-Emissionsregelkreis und nur in Abhängigkeit der Soll-Leistung, nicht der Ist-Leistung. Es erfolgt also hinsichtlich der Regelkreise keine Kopplung von NO_x-Emissionsregelung und Leistungsregelung, sondern es besteht eine Kopplung nur über die unvermeidbaren physikalischen Zusammenhänge innerhalb der Brennkraftmaschine.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass der NO_x-Emissionsregelkreis einen Ladedruckregler aufweist, durch welchen ein Istladedruck an einen Ladedrucksollwert angleichbar ist, wobei Ladedruckregler entweder in Form eines ersten Komparators und eines ersten PID-Reglers oder als modellbasierter Regler ausgeführt ist.

Es kann vorgesehen sein, dass der Leistungsregelkreis einen ersten Regler aufweist, durch welchen Aktuatoren – vorzugsweise Port-Injection-Ventile oder eine Gasdosiereinrichtung eines Gasmischers - welche den Brenngasmassenstrom u_{gas} beeinflussen, ansteuerbar sind, wobei der Regler entweder einen zweiten Komparator und einen zweiten PID-Regler aufweist oder als modellbasierter Regler ausgebildet ist.

Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass im Leistungsregelkreis zusätzlich ein Skip-Fire-Regelmodul vorgesehen ist, welchem als Input die Soll-Leistung zuführbar ist und welches dazu ausgebildet ist, den ersten Regler für den Brenngasmassenstrom so anzusteuern, dass in ausgewählten Zylindern der Brennkraftmaschine mangels Brenngas keine Verbrennung erfolgt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, der erste Regler innerhalb des Leistungsregelkreises derart ausgebildet ist, dass dem Regler weitere Ist-Größen als Input des Reglers zuführbar sind, wobei der Regler unter Berücksichtigung der weiteren Ist-Größen die Stellgröße des Lambda-Werts dahingehend limitiert, dass bei Erreichen von Grenzwerten der Ist-Größen keine weitere Änderung der Stellgröße des Lambda-Werts in eine die Ist-Größe(n) weiter abträglich beeinflussende Richtung erfolgt. Eine abträgliche Beeinflussung wäre beispielsweise eine weitere Anfettung (niedrigerer Lambda-Wert) bei bereits hoher Abgastemperatur austrittseitig der Brennkraftmaschine oder eine Abmagerung (höherer Lambda-Wert) bei Vorliegen von Aussetzersignalen von Zylindern der Brennkraftmaschine.

Es kann vorgesehen sein, dass dem Leistungsregelkreis und dem NOx-Emissionsregelkreis ein Trajektoriengenerator vorgelagert ist, welcher dazu ausgebildet ist, eine nicht-stetige, sprungförmige Vorgabe der Soll-Leistung durch einen Benutzer, in eine stetige Trajektorie für die Soll-Leistung umzuwandeln.

Es kann bevorzugt vorgesehen sein, dass der Trajektoriengenerator dazu ausgebildet ist, als Input zusätzlich die Ist-Leistung zu erhalten und eine Abweichung zwischen dem momentanen Wert der Soll-Leistung gemäß der stetigen Funktion und der Ist-Leistung dahingehend zu überwachen, dass bei zu großer Abweichung die stetige Funktion der Soll-Leistung auf einen bestimmten Wert über der Ist-Leistung limitiert wird.

Es kann eine Totzeitkompensationseinrichtung vorgesehen sein, welche dazu ausgebildet ist, die Soll-Leistung, die Ist-Leistung und den Istladedruck zu einer Zeit zu erhalten und in um eine Totzeit D in die Zukunft prädizierter Form als

Output wieder auszugeben. Die Totzeit D wird entweder ständig während des Betriebes mittels geeigneter Modelle geschätzt, oder aus Versuchen vorab bestimmt.

Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass ein weiterer Regler vorgesehen ist, welcher dazu ausgebildet ist, den Output der Totzeitkompensationseinrichtung als Input zu erhalten und in Abhängigkeit des Inputs einen Sollwert für den Lambda-Wert auszugeben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden für verschiedene Ausführungsbeispiele anhand der Figuren 2 bis 7 diskutiert.

Figur 1 zeigt den Stand der Technik nach der EP 0 259 382 B1.

Die genannten logischen Baugruppen müssen nicht als physische Bauteile vorliegen, sondern können als Schaltkreise in der Regeleinrichtung der Brennkraftmaschine realisiert sein.

Figur 1 zeigt den Stand der Technik nach der EP 0 259 382 B1. Gezeigt ist schematisch eine Brennkraftmaschine 1, der ein Brenngasmassenstrom u_{gas} zugeführt wird. Der Brenngasmassenstrom u_{gas} kann über einen Regler 5, der geeignete Aktuatoren (zum Beispiel Port-Injection-Ventile oder Gasdosiereinrichtung eines Gasmischers) ansteuert, beeinflusst werden.

Der in Figur 1 oben dargestellte Regelkreis ist der NOx-Emissionsregelkreis. Der NOx-Emissionsregelkreis umfasst in diesem Fall die Baugruppen bzw. logische Zusammenhänge mit den Bezugszeichen 2, 3, 4, 5 sowie den jeweiligen Input- und Output-Größen. Er beinhaltet in geeigneter Form (zum Beispiel in Form einer Look-Up-Table oder einer Funktion) den funktionalen Zusammenhang 2 zwischen Ladedrucksollwert p_{im}^{d} (als Output des funktionalen Zusammenhangs 2) und Ist-Leistung P_{g} (als Input des funktionalen Zusammenhangs 2) für einen bestimmten NOx-Wert in Form einer Kurve. Im Komparator 3 erfolgt ein Soll-Ist-Vergleich zwischen Ladedrucksollwert p_{im}^{d} und Istladedruck p_{im} . Die Abweichung $p_{\text{im}}^{\text{d}} - p_{\text{im}}$ wird einem PID-Regler 4 zugeführt. Dieser gibt einen Sollwert λ^{d} für den Lambda-Wert aus, welcher als Input für den die den Brenngasmassenstrom u_{gas} beeinflussenden Aktuatoren

ansteuernden Regler 5 dient. Der Regler 5 kann auch als Steuerung, also ohne Rückführung der Zielgröße λ^d ausgeführt sein.

Der in Figur 1 unten dargestellte Regelkreis ist der Leistungsregelkreis. Er beinhaltet einen weiteren PID-Regler 6, dem als Input die in einem weiteren Komparator 7 bestimmte Abweichung $P_g^d - P_g$ zwischen Soll-Leistung P_g^d und Ist-Leistung P_g zugeführt wird. Der PID-Regler 6 gibt als Output geeignete, den Istladedruck p_{im} beeinflussende Steuersignale u_p an jene Aktuatoren (zum Beispiel Kompressor-Bypass-Ventil oder Drosselklappenventil) aus, welche einerseits den Istladedruck p_{im} und andererseits die Ist-Leistung P_g beeinflussen, wodurch sich die oben beschriebene starke Kopplung zwischen NOx-Emissionsregelkreis und Leistungsregelkreis ergibt.

Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei dieselben Bezugszeichen dieselben Bauteile bzw. logische Abläufe bezeichnen wie in Figur 1.

Im Vergleich zur Figur 1 ist als erster Unterschied erkennbar, dass im NOx-Emissionsregelkreis anstelle der Ist-Leistung P_g der Brennkraftmaschine 1 die Soll-Leistung P_g^d der Brennkraftmaschine 1 als Input des funktionalen Zusammenhangs 2 eingeht. Dieser gibt daher im vorliegenden Fall den Zusammenhang zwischen Ladedrucksollwert p_{im}^d (Output des funktionalen Zusammenhangs 2) und Soll-Leistung P_g^d (Input des funktionalen Zusammenhangs 2) für einen bestimmten NOx-Wert in Form einer Kurve an.

Im NOx-Emissionsregelkreis wird der Ladedrucksollwert p_{im}^d einem Ladedruckregler 8 als Input zugeführt. Dieser Ladedruckregler 8 könnte durchaus wie in Figur 1 gezeigt in Form eines Komparators 3 und eines PID-Reglers 4 ausgeführt sein. Bevorzugt ist allerdings eine Ausführung als modellbasierter Regler, der zusätzlich zum aktuellen Ist-Ladedruck p_{im} auch den Ladedrucksollwert p_{im}^d als Eingang benötigt. Im Unterschied zur Figur 1 erfolgt der Output des Ladedruckreglers 8 in Form von Steuersignalen u_p , an jene Aktuatoren (zum Beispiel Kompressor-Bypass-Ventil oder Drosselklappenventil) die den Istladedruck p_{im} beeinflussen. Diese Steuersignale u_p waren in Figur 1

der Output des PID-Reglers 6 und damit des Leistungsregelkreises. Weil in Figur 2 diese Steuersignale u_p Teil des NOx-Emissionsregelkreises sind, ergibt sich die starke Kopplung der Figur 1 zwischen NOx-Emissionsregelkreis und Leistungsregelkreis bei der Erfindung nicht.

Der Leistungsregelkreis der Figur 2 unterscheidet sich von jenem der Figur 1 nur dadurch, dass der Regler 5, welche die Aktuatoren (zum Beispiel Port-Injection-Ventile oder Gasdosiereinrichtung eines Gasmischers), welche den Brenngasmassenstrom u_{gas} beeinflussen, ansteuert, im Leistungsregelkreis angeordnet ist. Anstelle der Anordnung Komparator 7 und PID-Regler 6 könnte auch ein modellbasierter Regler vorgesehen sein.

Im einfachsten Fall ergibt sich der funktionale Zusammenhang 2 in der oben beschriebenen Form als einfache Kurve. Wie bereits aus den auf der EP 0 259 382 B1 aufbauenden Schriften bekannt ist, kann der funktionale Zusammenhang 2 durch Aufnahme von Korrekturen hinsichtlich des Zündzeitpunkts, der Einlasstemperatur etc. korrigiert werden.

In Summe sind mit der Erfindung verschiedene Vorteile verbunden:

- es ist ein schnelleres Ausregeln von Lastwechseln (schnellere Anpassung der Ist-Leistung P_g der Brennkraftmaschine 1 an eine Änderung der Soll-Leistung P_g^d) möglich
- die Zielemissionswerte für NOx können bei Lastwechseln wesentlich früher erreicht werden
- die Emissionswerte für NOx bleiben bereits während eines Lastwechsels näher am erwünschten Wert, weil dem funktionalen Zusammenhang 2 leichter gefolgt werden kann

Die Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung. Im Vergleich zur Figur 2 ist im Leistungsregelkreis zusätzlich ein Skip-Fire-Regelmodul 9 vorgesehen, welchem als Input die Soll-Leistung P_g^d zugeführt wird. Der Output des Skip-Fire-Regelmoduls 9 erfolgt an den Regler 5, welcher den Brenngasmassenstrom u_{gas} so ansteuert, dass in ausgewählten Zylindern der

Brennkraftmaschine 1 mangels Brenngas keine Verbrennung erfolgt. Dies gestattet eine rasche Anpassung an Lastwechseln. Dies ist für Port-Injection-Brennkraftmaschinen vorteilhaft.

Die Figur 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung. Im Vergleich zur Figur 2 ist zusätzlich die Rückführung weiterer Ist-Größen y (hier: Abgastemperatur austrittseitig der Brennkraftmaschine 1 oder eintrittseitig einer allfälligen nicht dargestellten Abgasnachbehandlungseinheit und/oder Klopf- oder Aussetzersignale von Zylindern der Brennkraftmaschine 1 und/oder Öltemperatur und/oder Kühlwassertemperatur und/oder Ladelufttemperatur vor den Zylindern als Input des PID-Reglers 6 innerhalb des Leistungsregelkreises. Diese limitieren die Stellgröße λ_d dahingehend, dass bei Erreichen von Grenzwerten der Istgrößen keine weitere Änderung von λ_d in eine die Ist-Größen weiter abträglich beeinflussende Richtung erfolgt. Eine abträgliche Beeinflussung wäre beispielsweise eine weitere Anfettung (niedrigerer Lambda-Wert) bei bereits hoher Abgastemperatur austrittseitig der Brennkraftmaschine 1 oder eine Abmagerung (höherer Lambda-Wert) bei Vorliegen von Aussetzersignalen von Zylindern der Brennkraftmaschine 1. Die Rückführung weiterer Ist-Größen y stellt also eine Sicherheitsschleife dar, durch welche die Beeinflussung der Stellgröße λ_d nur in für die Brennkraftmaschine 1 verträglichen Grenzen geschieht.

Die Figur 5 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei im Vergleich zur Figur 2 dem funktionalen Zusammenhang 2 ein Trajektoriengenerator 10 vorgelagert ist. Dieser wandelt eine nicht-stetige, sprungförmige Vorgabe der Soll-Leistung $P_g^{d, \text{step}}$ durch einen Benutzer in eine stetige Trajektorie für die Soll-Leistung P_g^d um. Ausgehend von einem vorliegenden aktuellen Wert der Soll-Leistung P_g^d und einem erwünschten Endwert der Soll-Leistung P_g^d wird eine diese Werte verbindende, stetige Funktion gewählt, zum Beispiel in Form einer (vorzugsweise linearen) Rampe oder in Form eines Polynoms oder dgl. Dem Trajektoriengenerator 10 kann als Input zusätzlich die Ist-Leistung P_g zugeführt werden. Dadurch kann die Abweichung zwischen dem momentanen Wert der Soll-Leistung P_g^d gemäß der stetigen Funktion und der Ist-Leistung P_g dahingehend überwacht werden, dass

bei zu großer Abweichung die stetige Funktion der Soll-Leistung P_g^d auf einen bestimmten Wert über der Ist-Leistung P_g limitiert wird. Dieser Fall kann zum Beispiel bei einer kalten Brennkraftmaschine 1 relevant werden.

Figur 6 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welchem im Vergleich zur Figur 2 eine Totzeitkompensationseinrichtung 11 vorgesehen ist. Diese ist besonders für gemischtaufgeladene Brennkraftmaschinen 1 vorteilhaft. Input der Totzeitkompensationseinrichtung 11 sind die Soll-Leistung P_g^d , die Ist-Leistung P_g und der Istladedruck p_{im} . Die Eingangssignale $P_g^d(t)$, $P_g(t)$, $p_{im}(t)$ zu einer Zeit t werden in einer um eine Totzeit D (Zeit, die zwischen einer Änderung des Brenngasmassenstromes und der entsprechenden Reaktion der Brennkraftmaschine 1 in der Ist-Leistung P_g liegt) in die Zukunft $t+D$ prädizierter Form $P_g^d(t+D)$, $P_g(t+D)$, $p_{im}(t+D)$ als Output wieder ausgegeben. Dieser Output dient als Input für einen Regler 12, welcher in Abhängigkeit des Inputs einen Sollwert für den Lambda-Wert λ_d ausgibt. Die Prädiktion erfolgt in an sich bekannter Weise modellbasiert durch Integration jener Differentialgleichungen, welche das dynamische Verhalten dieser Größen beschreiben. Diese Differentialgleichungen sind dem Fachmann wohl bekannt.

Die Figur 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welchem alle Maßnahmen der vorbesprochenen Ausführungsbeispiele gemeinsam vorgesehen sind. Natürlich könnten hier auch einzelne Maßnahmen weggelassen werden. In der Regeleinrichtung C werden für alle Ausführungsbeispiele die zur Steuerung / Regelung erforderlichen Baugruppen und logischen Zusammenhänge zusammengefasst. Unter „Regler“ ist im Zusammenhang der vorliegenden Anmeldung nicht zwingend ein physisches Bauteil gemeint, sondern eine bestimmte Funktion, die etwa durch einen Schaltkreis, Speicher etc. abgebildet sein kann.

Liste der verwendeten Bezugszeichen:

1	Brennkraftmaschine
2	Funktionaler Zusammenhang
3	Erster Komparator
4	Erster PID-Regler
5	Erster Regler
6	Zweiter PID-Regler
7	Zweiter Komparator
8	Ladedruckregler
9	Skip-Fire-Regelmodul
10	Trajektoriengenerator
11	Totzeitkompensationseinrichtung
12	Weiterer Regler
λ_d	Soll-Lambda-Wert (Sollwert für Verbrennungsluftverhältnis)
λ	Lambda-Wert (Verbrennungsluftverhältnis)
P_g^d	Soll-Leistung
P_g	Ist-Leistung
$P_g^{d, \text{step}}$	sprungförmige Vorgabe der Soll-Leistung
p_{im}	Istladedruck
p_{im}^d	Ladedrucksollwert
t	Zeit
C	Regeleinrichtung
D	Totzeit
u_{gas}	Brenngasmassenstrom
u_p	den Istladedruck p_{im} beeinflussende Steuersignale
y	Istgrößen der Brennkraftmaschine 1 und / oder nachgeschalteter Einheiten

Innsbruck, am 21. Juli 2014

Patentansprüche:

1. Brennkraftmaschine (1) mit einer Regeleinrichtung (C), wobei in der Brennkraftmaschine (1) ein Luft-Brennstoff-Gemisch mit einem durch die Regeleinrichtung einstellbaren Verbrennungsluftverhältnis (λ) verbrannt wird, wobei die Regeleinrichtung (C) aufweist:
 - einen Leistungsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, eine Ist-Leistung (P_g) der Brennkraftmaschine (1) an eine Soll-Leistung (P_g^d) der Brennkraftmaschine (1) über eine Einstellung des Lambda-Werts (λ) anzugleichen,
 - einen NOx-Emissionsregelkreis, der dazu ausgebildet ist, über einen funktionalen Zusammenhang (2) den Ladedruck als Ersatzgröße für die NOx-Emission durch den Ladedruck beeinflussende Aktuatoren so anzusteuern, dass für jede Soll-Leistung (P_g^d) der Brennkraftmaschine ein Ladedrucksollwert (p_{im}^d) einstellbar ist.
2. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, wobei der NOx-Emissionsregelkreis einen Ladedruckregler (8) aufweist, durch welchen ein Istladedruck (p_{im}) an einen Ladedrucksollwert (p_{im}^d) angleichbar ist, wobei der Ladedruckregler (8) entweder in Form eines Komparators (3) und eines PID-Reglers (4) oder als modellbasierter Regler ausgeführt ist.
3. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Leistungsregelkreis einen Regler (5) aufweist, durch welchen Aktuatoren – vorzugsweise Port- Injection-Ventile oder eine Gasdosiereinrichtung eines Gasmischers - welche den Brenngasmassenstrom (u_{gas}) beeinflussen, ansteuerbar sind, wobei der Regler (5) entweder einen Komparator (7) und einen PID-Regler (6) aufweist oder als modellbasierter Regler ausgebildet ist.
4. Brennkraftmaschine (1) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei im Leistungsregelkreis zusätzlich ein Skip-Fire-Regelmodul (9) vorgesehen ist, welchem als Input die Soll-Leistung (P_g^d) zuführbar ist und welches dazu ausgebildet ist, den Regler (5) für den Brenngasmassenstrom (u_{gas}) so anzusteuern, dass in ausgewählten Zylindern der Brennkraftmaschine (1) mangels Brenngas keine Verbrennung erfolgt.

5. Brennkraftmaschine (1) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Regler (5) innerhalb des Leistungsregelkreises derart ausgebildet ist, dass dem Regler (5) weitere Ist-Größen (y) als Input des Reglers (5) zuführbar sind, wobei der Regler (5) unter Berücksichtigung der weiteren Ist-Größen (y) die Stellgröße Soll-Lambda-Wert (λ_d) dahingehend limitiert, dass bei Erreichen von Grenzwerten der Ist-Größen keine weitere Änderung des Soll-Lambda-Werts (λ_d) in eine die Ist-Größen (y) weiter abträglich beeinflussende Richtung erfolgt.
6. Brennkraftmaschine (1) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei dem Leistungsregelkreis und dem NOx-Emissionsregelkreis ein Trajektoriengenerator (10) vorgelagert ist, welcher dazu ausgebildet ist, eine nicht-stetige, sprungförmige Vorgabe der Soll-Leistung ($P_g^{d, \text{step}}$) durch einen Benutzer in eine stetige Trajektorie für die Soll-Leistung (P_g^d) umzuwandeln.
7. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6, wobei der Trajektoriengenerator (10) dazu ausgebildet ist, als Input zusätzlich die Ist-Leistung (P_g) zu erhalten und eine Abweichung zwischen dem momentanen Wert der Soll-Leistung (P_g^d) gemäß der stetigen Funktion und der Ist-Leistung (P_g) dahingehend zu überwachen, dass bei zu großer Abweichung die stetige Trajektorie der Soll-Leistung (P_g^d) auf einen bestimmten Wert über der Ist-Leistung (P_g) limitiert wird.
8. Brennkraftmaschine (1) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine Totzeitkompensationseinrichtung (11) vorgesehen ist, welcher eine vorgebbare Totzeit (D) zuführbar ist und welche dazu ausgebildet ist, die Soll-Leistung ($P_g^d(t)$), die Ist-Leistung ($P_g(t)$) und den Istladedruck ($p_{im}(t)$) zu einer Zeit (t) zu erhalten und in die Zukunft $t+D$ prädizierter Form $P_g^d(t+D)$, $P_g(t+D)$, $p_{im}(t+D)$ als Output wieder auszugeben.
9. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 8, wobei ein weiterer Regler (12) vorgesehen ist, welcher dazu ausgebildet ist, den Output der Totzeitkompensationseinrichtung (11) als Input zu erhalten und in Abhängigkeit des Inputs einen Soll-Lambda-Wert (λ_d) auszugeben.

Fig. 1

Stand der Technik

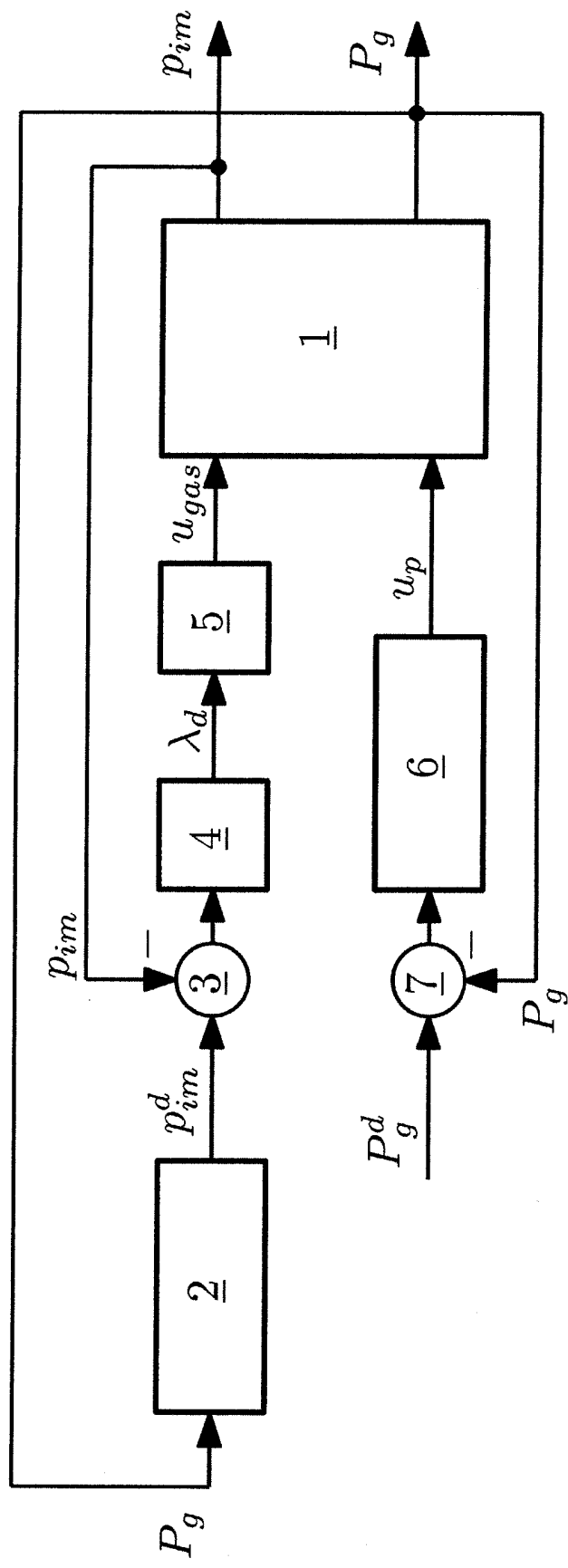


Fig. 2

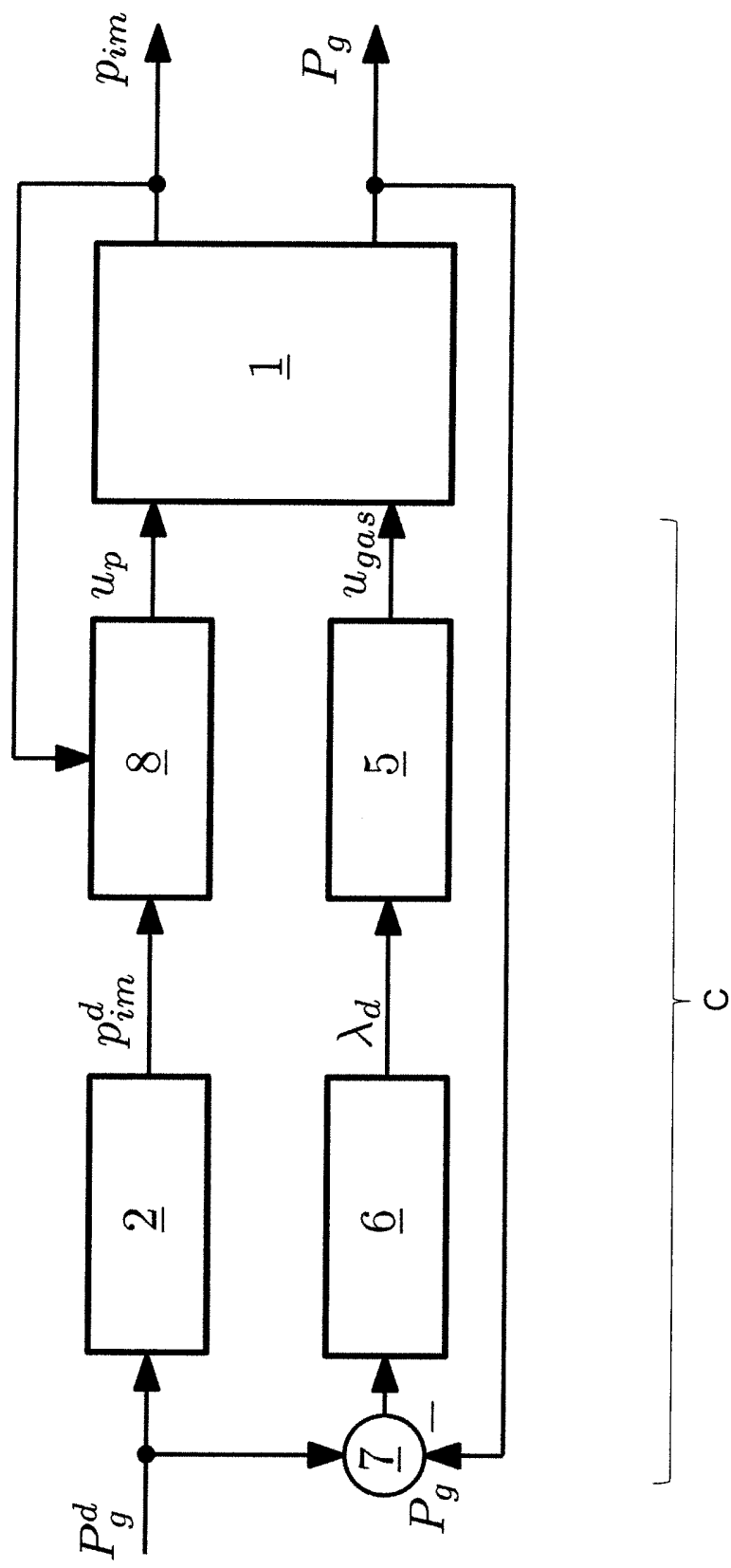


Fig. 3

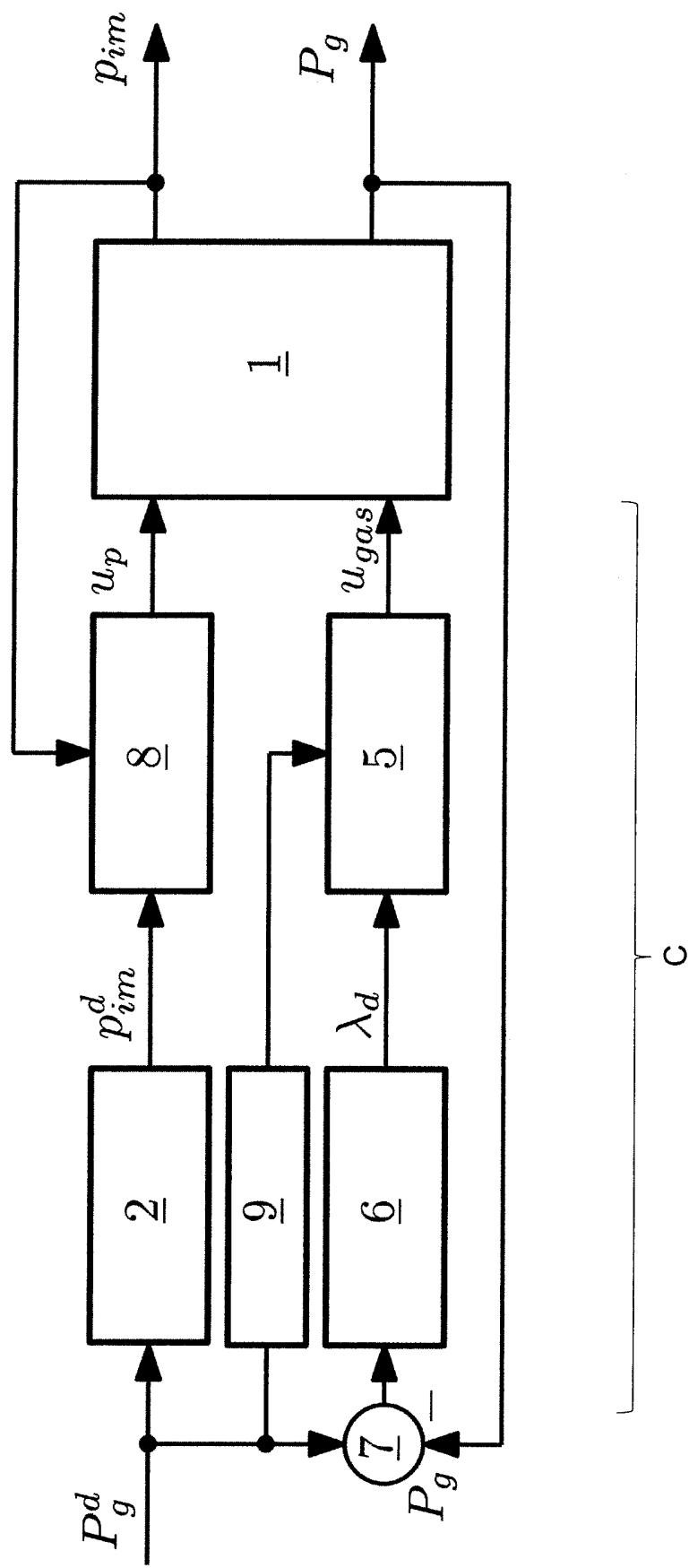


Fig. 4

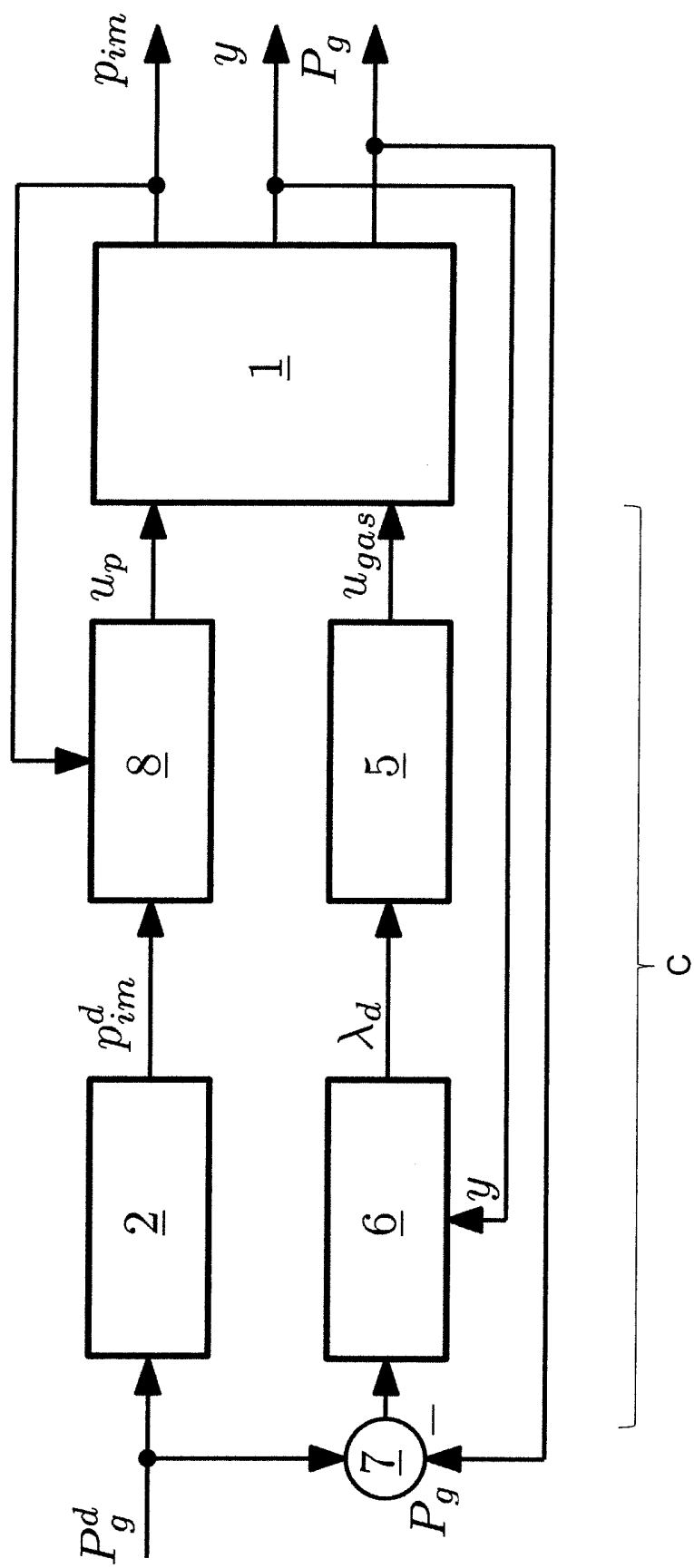


Fig. 5

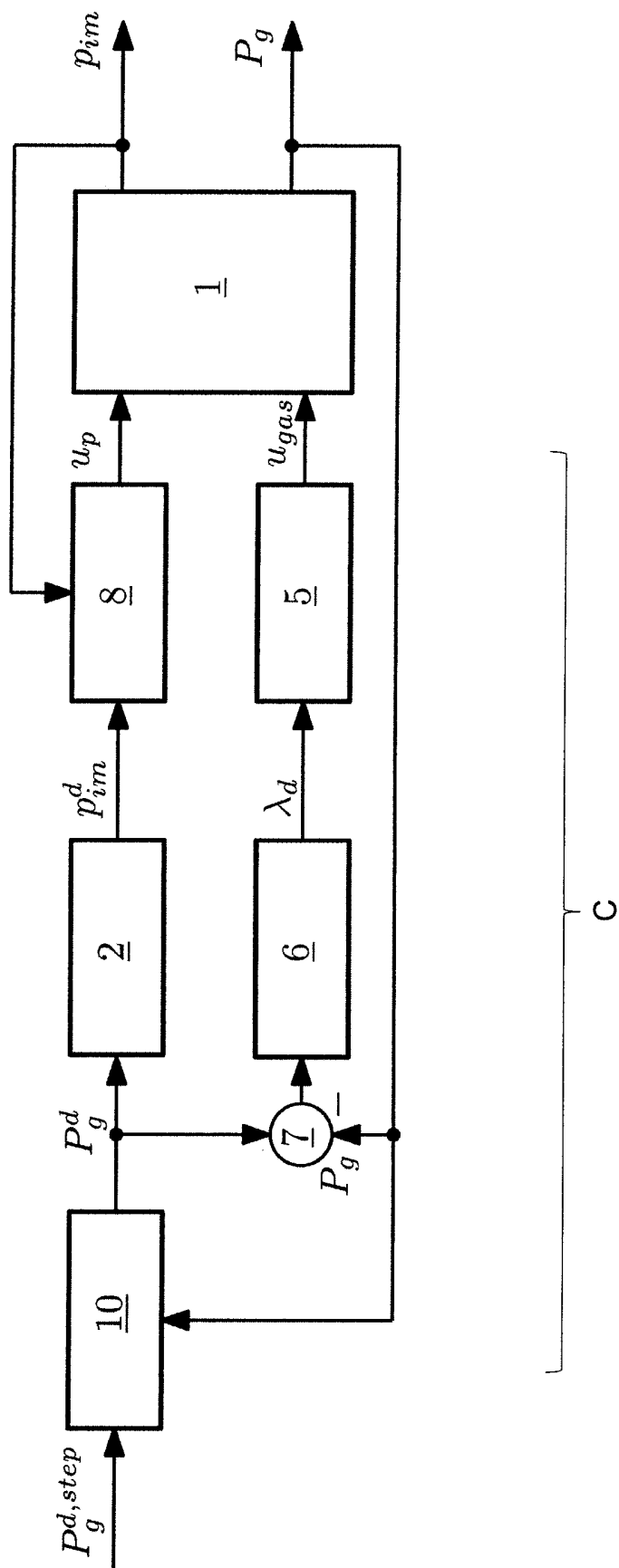


Fig. 6

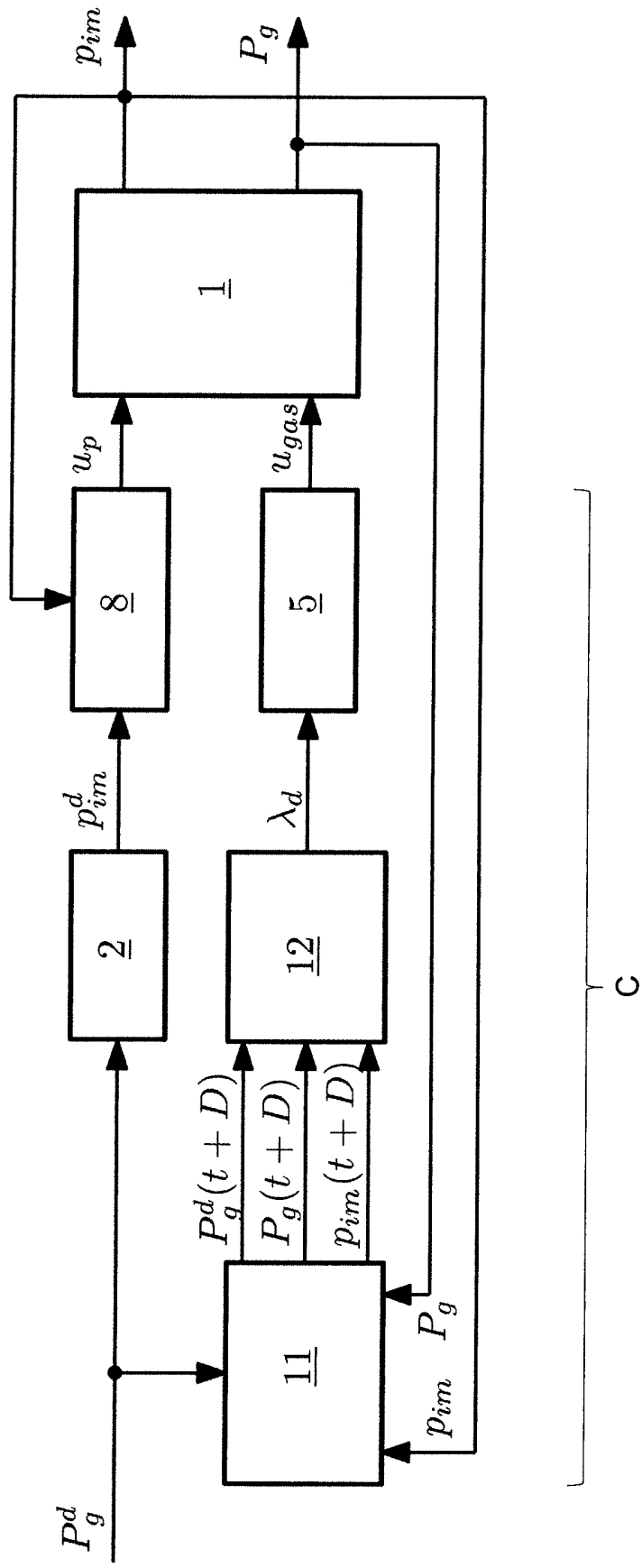


Fig. 7

