

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1143/2012
(22) Anmeldetag: 24.10.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2014

(51) Int. Cl.: **F02M 27/02** (2006.01)
F02B 43/10 (2006.01)
F02M 25/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2009107454 A1
JP 2009097422 A
US 6508209 B1
US 2004050345 A1

(71) Patentanmelder:
GE JENBACHER GMBH & CO OG
6200 JENBACH (AT)

(72) Erfinder:
Gruber Friedrich
6283 Hippach 44 (AT)

Wall Günther
6323 Bad Häring (AT)

Url Michael
85375 Neufahrn (DE)

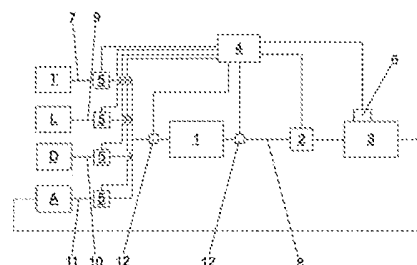
Vogl Lukas
6020 Innsbruck (AT)

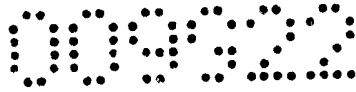
(74) Vertreter:
Torggler Paul Mag. Dr., Hofinger Stephan
Dipl.Ing. Dr., Gangl Markus Mag. Dr., Maschler
Christoph MMag. Dr.
Innsbruck

(54) **Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage**

(57) Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage, verfügend über einen Verbrennungsmotor (3) und einen Reformer (1), wobei wenigstens ein Parameter (p_2 , P) des Verbrennungsmotors vorgegeben wird, eine Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) für den Reformer aufgrund des wenigstens einen Parameters berechnet wird, dem Reformer (1) die Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) zugeführt wird, im Reformer (1) Treibstoff zu einem Synthesegas reformiert wird und das Synthesegas dem Verbrennungsmotor (3) zugeführt wird, wobei ein Synthesegasdruck (p_{act}) des Synthesegases nach dem Reformer (1) gemessen wird und wobei bei der Berechnung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) der Synthesegasdruck (p_{act}) berücksichtigt wird.

Fig. 1

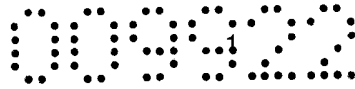




Zusammenfassung

Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage, verfügend über einen Verbrennungsmotor (3) und einen Reformer (1), wobei wenigstens ein Parameter ($p'_{2, P}$) des Verbrennungsmotors vorgegeben wird, eine Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) für den Reformer aufgrund des wenigstens einen Parameters berechnet wird, dem Reformer (1) die Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) zugeführt wird, im Reformer (1) Treibstoff zu einem Synthesegas reformiert wird und das Synthesegas dem Verbrennungsmotor (3) zugeführt wird, wobei ein Synthesegasdruck (p_{act}) des Synthesegases nach dem Reformer (1) gemessen wird und wobei bei der Berechnung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) der Synthesegasdruck (p_{act}) berücksichtigt wird.

(Fig. 1)



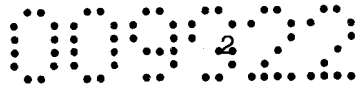
Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 sowie eine derartige Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 8.

Beim Betrieb eines Verbrennungsmotors – insbesondere eines Gasmotors – kann es von Vorteil sein, zumindest einen Teil des Treibstoffs vor der Verbrennung in ein Synthesegas zu reformieren. Dies bedeutet, dass in einem sogenannten Reformer endotherme und exotherme Reaktionen stattfinden, bei der aus dem Treibstoff ein wasserstoffhaltiges Synthesegas gewonnen wird. Durch die Beimischung dieses wasserstoffhaltigen Gases zum Brenngemisch können zum Beispiel das Zündverhalten verbessert werden oder der Ausstoß unerwünschter Emissionen verringert werden.

Anlagen, in denen sowohl ein Verbrennungsmotor als auch ein Reformer integriert sind, sind im Stand der Technik bekannt, wobei beispielsweise die US 6,508,209 B1 zu nennen wäre.

Zwar ist die Regelung eines Reformers aufgrund eines vorgegebenen Verhältnisses von Wasserdampf zu Kohlenstoff bzw. von Sauerstoff zu Kohlenstoff bekannt. Allerdings sind diese Regelungskonzepte auf eine möglichst konstante Produktion von Synthesegas ausgelegt. Den variierenden Bedürfnissen an Synthesegas eines Verbrennungsmotors können sie nicht genügen. Eine einfache Lösung dieses Problems wäre ein Puffervolumen an Synthesegas zu unterhalten oder Synthesegas in relativ hohem Ausmaß zu produzieren und den Überschuss abzufackeln. Diese Lösungen sind jedoch energetisch nicht sinnvoll und verringern den Anlagenwirkungsgrad erheblich.

Ein Konzept zur Regelung einer Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage wurde in der US 2004/0050345 A1 offengelegt. Dabei wird auf Basis der Einspritzmenge des Verbrennungsmotors die Solltreibstoffmenge, welche dem Reformer zugeführt wird, bestimmt.



Nachteilig ist hierbei, dass bei einer Änderung des Betriebspunktes des Verbrennungsmotors nicht die Menge an Synthesegas bereitgestellt wird, die momentan benötigt wird, sondern diejenige, die dem Betriebspunkt vor der Änderung entspricht. Bei in der Praxis häufig auftretenden Laständerungen führt dies dazu, dass signifikant zuviel oder zuwenig Synthesegas an den Verbrennungsmotor geliefert wird.

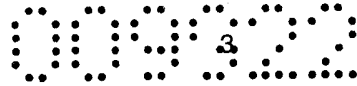
Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Steuerungs- oder Regelungsverfahren für eine Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage bereitzustellen, das es ermöglicht, durch den Reformer genau die Menge an Synthesegas bereitzustellen, die vom Verbrennungsmotor momentan benötigt wird. Des Weiteren soll eine Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage bereitgestellt werden, die die Durchführung eines solchen Verfahrens erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. durch eine Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst.

Dies geschieht, indem in der Synthesegasleitung, welche das Synthesegas vom Reformer zum Verbrennungsmotor liefert, der Druck des Synthesegases gemessen wird und dieser Synthesegasdruck dann für die Bestimmung der Solltreibstoffmenge, welche dem Reformer zugeführt wird, verwendet wird. Mit anderen Worten ausgedrückt, besteht die Erfindung darin, den Druck in der Synthesegasleitung ständig auf einem für den Verbrennungsmotor akzeptablen Niveau zu halten.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Zur Berechnung der Solltreibstoffmenge können außerdem verschiedene Parameter des Verbrennungsmotors verwendet werden. Hierfür sind besonders ein Ladedruck oder eine Leistung des Verbrennungsmotors geeignet, da sie im Zuge der Steuerung des Verbrennungsmotors oft ohnehin schon gemessen werden.

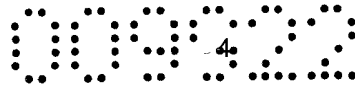


Für eine besonders genaue Regelung oder Steuerung kann zur Bestimmung der Solltreibstoffmenge eine Reformertransferfunktion verwendet werden. Mithilfe einer solchen Reformertransferfunktion ist es möglich, sowohl die Zusammensetzung als auch die Menge des Synthesegases, das vom Reformer produziert wird, zu berechnen. Die Reformertransferfunktion kann von den Volumenströmen sowie den chemischen Zusammensetzungen der in den Reformer weisenden Stoffströme abhängen. Am einfachsten kann eine solche Reformertransferfunktion über eine direkte Messung der Menge und Zusammensetzung des vom Reformer produzierten Synthesegases bei verschiedenen Eintrittsvolumenströmen und ggf. verschiedenen Temperaturen generiert werden.

Um die chemischen Bedingungen im Reformer so optimal wie möglich zu halten, können Sollverhältnisse von Dampf zu Kohlenstoff sowie von Sauerstoff zu Kohlenstoff für den Reformer vorgegeben werden, aufgrund der Sollverhältnisse eine Sollluftmenge und/oder eine Sollabgasmenge und/oder eine Solldampfmenge bestimmt werden und dem Reformer die Sollluftmenge an Luft und/oder die Sollabgasmenge an Abgas des Verbrennungsmotors und/oder die Solldampfmenge an Wasserdampf zugeführt werden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel kann das zur Bestimmung der Sollluftmenge und/oder der Sollabgasmenge und/oder der Solldampfmenge eine Reformertransferfunktion verwendet werden, wodurch die Verhältnisse im Reformer besonders genau kontrolliert werden können.

Um außerdem die Stoffzusammensetzung des Synthesegases nach dem Reformer mit hoher Genauigkeit berechnen zu können, kann eine Eintrittstemperatur eines in den Reformer weisenden Stoffstroms und/oder eine Austrittstemperatur eines aus dem Reformer weisenden Stoffstroms gemessen werden, und die Eintrittstemperatur und/oder die Austrittstemperatur bei der Bestimmung der Solltreibstoffmenge und/oder der Sollluftmenge und/oder der Sollabgasmenge und/oder der Solldampfmenge verwendet werden. Insbesondere kann die Reformertransferfunktion von den gemessenen Temperaturen abhängen.



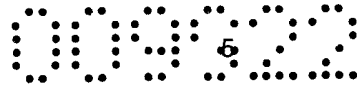
Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich anhand der Figuren sowie der dazugehörigen Figurenbeschreibung. Dabei zeigen

- Fig. 1 die Verschaltung einer erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage und
- Fig. 2 verschiedene Ausführungen für Regelungskonzepte zur Bestimmung der Solltreibstoffmenge.

In Figur 1 ist zunächst der Reformer 1, der Verbrennungsmotor 3 sowie die Synthesegasleitung 8 zu erkennen. Der Reformer wird über eine Treibstoffleitung 7 mit Treibstoff aus einem Treibstoffreservoir T, über eine Luftzuleitung 9 mit Luft L und über eine Damp fzuleitung 10 mit Dampf D versorgt. Des Weiteren wird Abgas A des Verbrennungsmotors 3 über die Abgasleitung 11 in den Reformer 1 rückgeführt. Die Stellventile 5, welche die Zuführung von Treibstoff, Luft, Dampf und Abgas in geregelten oder gesteuerten Mengen erlauben, sind in den jeweiligen Leitungen angeordnet und jeweils mit der Steuer- oder Regeleinrichtung 4 verbunden. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind diese Stellventile 5 als Volumenstromregelventile ausgebildet. Das heißt, sie beinhalten auch ein Volumenstrommessgerät sowie einen Regelkreis zur Regelung der Volumenströme auf die von der Regeleinrichtung 4 vorgegebenen Sollwerte. Siehe hierzu Figur 2.

In der Synthesegasleitung 8 ist das Druckmessgerät 2 angeordnet, welches mit der Regeleinrichtung 4 verbunden ist. Mit Hilfe des vom Druckmessgerät 2 gemessenen Synthesegasdrucks p_{act} kann von der Regeleinrichtung 4 die Solltreibstoffmenge Q_{ref} , sowie die Sollluftmenge, die Sollabgasmenge und die Solldampfmenge berechnet werden.

In diesem Ausführungsbeispiel werden die verschiedenen Stoffströme vor der Zuführung zum Reformer 1 zusammengeführt. Dadurch ist es möglich, durch ein Temperaturmessgerät 12 die Temperatur des in den Reformer 1 weisenden Stoffstromes zu messen. Desgleichen ist ein Temperaturmessgerät 12 zur Messung der Synthesegastemperatur in der Synthesegasleitung 8 angeordnet.



Am Motor 3 ist ein Messgerät 6 angeordnet, womit der Ladedruck p'_2 und/oder die Leistung P des Motors 3 gemessen werden können.

Die Berechnung der Solltreibstoffmenge Q_{ref} kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden.

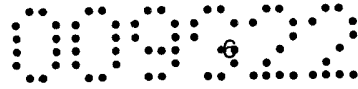
In Figur 2a ist das Stellventil 5, über das dem Reformer 1 Treibstoff zugeführt wird, sowie der Verbrennungsmotor 3 zu erkennen. Am Verbrennungsmotor 3 erfolgt die Messung des Ladedrucks p'_2 sowie weiterer Parameter des Verbrennungsmotors. Im Regelkreis R_1 wird die vom Verbrennungsmotor benötigte Treibstoffmenge Q_{calc} berechnet. Diese Berechnungen sind im Stand der Technik an sich bekannt. Als Beispiel geben wir folgende Formel an.

$$Q_{calc} = \frac{V_{cyl}}{1 + \lambda \cdot l_{min}} \cdot N_{cyl} \cdot \eta_{vol} \cdot \frac{p'_2}{T'_2} \cdot \frac{T_n}{p_n} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60}$$

Dabei bezeichnet V_{cyl} das Volumen pro Zylinder des Verbrennungsmotors, N_{cyl} die Zylinderanzahl, l_{min} das Mindestluftvolumen, η_{vol} die volumetrische Effizienz, n die momentanen Umdrehungen pro Minute des Verbrennungsmotors, T'_2 bzw. p'_2 die Temperatur bzw. den Druck des Verbrenngemisches und λ das Verhältnis von Luft zu Treibstoff relativ zum stöchiometrischen Verhältnis. Des Weiteren bezeichnet T_n und P_n die Standardtemperatur bzw. den Standarddruck (also $T_n = 273,15$ K und $P_n = 1,01325$ bar). Ähnliche Gleichung auf Basis der Leistung P des Verbrennungsmotors oder auf Basis des Ladedrucks p'_2 und der Leistung P des Verbrennungsmotors sind dem Fachmann an sich bekannt.

Der von dem Druckmessgerät 2 gemessene Druck p_{act} wird mit einem Referenzdruck p_{ref} verglichen. Auf Basis des Ergebnisses dieses Vergleichs sowie der im Regelkreis R_1 berechneten Stoffmenge Q_{calc} wird im Regelkreis R_2 die Solltreibstoffmenge Q_{ref} berechnet. Dabei kann zum Beispiel folgende Gleichung verwendet werden.

$$Q_{ref} = (p_{ref} - p_{act}) \cdot \gamma \cdot Q_{calc}$$



Sowohl der Referenzdruck p_{ref} als auch der Proportionalitätsfaktor γ sind im Zuge der Kalibrierung der Anlage empirisch zu bestimmen. Auch komplexere Abhängigkeiten sind vorstellbar, so könnte etwa der Proportionalitätsfaktor γ eine Zeitabhängigkeit oder dergleichen enthalten.

Schließlich wird im Regelkreis R_3 der aktuelle Treibstoffvolumenstrom, welcher in den Reformer weist, gemessen, mit der Solltreibstoffmenge Q_{ref} verglichen und der Treibstoffvolumenstrom über das Stellventil 5 geregelt.

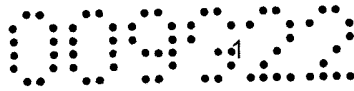
Dieses Regelungskonzept kann erweitert werden, indem beispielsweise eine Reformertransferfunktion verwendet wird. Beispiele hierfür sind in den Figuren 2b und 2c dargestellt. Dort sind zusätzliche Regelkreise R_2' vorgesehen, welche sich eben diese Reformertransferfunktion zunutze machen. In diesem Ausführungsbeispiel kommt folgendes Regelgesetz zum Einsatz.

$$Q_{ref} = (x_{ref} - x_{act}) \cdot \gamma' \cdot Q'_{calc}$$

Hierbei bezeichnet γ' einen weiteren Proportionalitätsfaktor, Q'_{calc} das Ergebnis des Regelkreises R_2 , x_{ref} einen Sollwert eines Parameters für die Zusammensetzung des Synthesegases sowie x_{act} das Auswerteergebnis der Reformertransferfunktion. Die Reformertransferfunktion hängt in diesem Fall von den momentanen in den Reformer weisenden Stoffströmen, den Ein- und Ausgangstemperaturen des Reformers sowie den Sollverhältnissen S/C und O/C (Wasserdampf/Kohlenstoff und Sauerstoff/Kohlenstoff) ab.

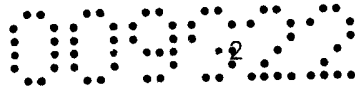
In diesem Ausführungsbeispiel wird die Reformertransferfunktion über eine direkte Messung der Menge und Zusammensetzung des vom Reformer produzierten Synthesegases bei verschiedenen Eintrittsvolumenströmen und verschiedenen Temperaturen generiert. Es ist aber auch möglich die Reformertransferfunktion mit Hilfe einer Simulation zu ermitteln.

Innsbruck, am 23.10.2012



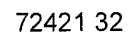
Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage, verfügend über einen Verbrennungsmotor (3) und einen Reformer (1), wobei
 - wenigstens ein Parameter (p'_2 , P) des Verbrennungsmotors vorgegeben wird,
 - eine Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) für den Reformer aufgrund des wenigstens einen Parameters berechnet wird,
 - dem Reformer (1) die Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) zugeführt wird,
 - im Reformer (1) Treibstoff zu einem Synthesegas reformiert wird und
 - das Synthesegas dem Verbrennungsmotor (3) zugeführt wird,dadurch gekennzeichnet, dass ein Synthesegasdruck (p_{act}) des Synthesegases nach dem Reformer (1) gemessen wird und dass bei der Berechnung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) der Synthesegasdruck (p_{act}) berücksichtigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladedruck (p'_2) als ein Parameter verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Motorleistung (P) als ein Parameter verwendet wird.
4. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reformertransferfunktion zur Bestimmung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) verwendet wird.
5. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Sollverhältnisse von Dampf zu Kohlenstoff sowie Sauerstoff zu Kohlenstoff für den Reformer (1) vorgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der Sollverhältnisse eine Sollluftmenge und/oder eine Sollabgasmenge und/oder eine Solldampfmenge bestimmt werden und dem Reformer (1) die Sollluftmenge an Luft und/oder die Sollabgasmenge an Abgas des Verbrennungsmotors (3) und/oder die Solldampfmenge an Wasserdampf zugeführt wird.



6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Sollluftmenge und/oder der Sollabgasmenge und/oder der Solldampfmenge eine Reformertransferfunktion verwendet wird.
7. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Eintrittstemperatur eines in den Reformer (1) weisenden Stoffstroms und/oder eine Austrittstemperatur eines aus dem Reformer weisenden Stoffstroms gemessen werden, und dass die Eintrittstemperatur und/oder die Austrittstemperatur bei der Bestimmung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) und/oder der Sollluftmenge und/oder der Sollabgasmenge und/oder der Solldampfmenge verwendet wird.
8. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage mit
 - einem Verbrennungsmotor (3),
 - einem Reformer (1) zum Reformieren eines Treibstoffstroms zu einem Synthesegas,
 - einer Treibstoffzuleitung (7), welche mit dem Reformer (1) verbunden ist, zur Bereitstellung des Treibstoffstroms,
 - einer Synthesegasleitung (8), welche mit dem Reformer (1) und dem Verbrennungsmotor (3) verbunden ist, zur Versorgung des Verbrennungsmotors (3) mit Synthesegas,
 - einer Steuer- oder Regeleinrichtung (4) zur Berechnung einer Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) unter Berücksichtigung wenigstens eines Parameters (p'_2 , P),
 - einem Messgerät (6) zur Messung des wenigstens einen Parameters (p'_2 , P), wobei das Messgerät (6) mit der Steuer- oder Regeleinrichtung (4) verbunden ist, und
 - einem Stellventil (5) zur Steuerung oder Regelung des Treibstoffstroms in der Treibstoffzuleitung (7), welches mit der Steuer- oder Regeleinrichtung (4) verbunden ist,dadurch gekennzeichnet, dass in der Synthesegasleitung (8) ein Druckmessgerät (2) zur Messung eines Synthesegasdrucks (P_{act}) zur Berücksichtigung in der Berechnung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) vorgesehen ist, welches mit der Steuer- oder Regeleinrichtung (4) verbunden ist.

9. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Parameter (p'_2 , P) einen Ladedruck (p'_2) beinhaltet.
10. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Parameter (p'_2 , P) eine Motorleistung (P) beinhaltet.
11. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reformertransferfunktion zur Bestimmung der Solltreibstoffmenge (Q_{ref}) verwendbar ist.
12. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei Sollverhältnisse von Dampf zu Kohlenstoff sowie Sauerstoff zu Kohlenstoff für den Reformer vorgebar sind, dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der Sollverhältnisse eine Sollluftmenge und/oder eine Sollabgasmenge und/oder eine Solldampfmenge bestimmbar sind und dem Reformer (1) die Sollluftmenge an Luft und/oder die Sollabgasmenge an Abgas des Verbrennungsmotors (3) und/oder die Solldampfmenge an Wasserdampf zuführbar sind.
13. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Sollluftmenge und/oder der Sollabgasmenge und/oder der Solldampfmenge eine Reformertransferfunktion verwendbar ist.
14. Verbrennungsmotor-Reformer-Anlage nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Temperaturmessgerät (7) zur Messung einer Eintrittstemperatur eines in den Reformer (1) weisenden Stoffstroms und/oder ein Temperaturmessgerät (3) zur Messung einer Austrittstemperatur eines aus dem Reformer (1) weisenden Stoffstroms vorgesehen sind, welche mit der Steuer- oder Regeleinrichtung (4) verbunden sind, und dass die Eintrittstemperatur und/oder die Austrittstemperatur bei der



Innsbruck, am 23.10.2012

00000

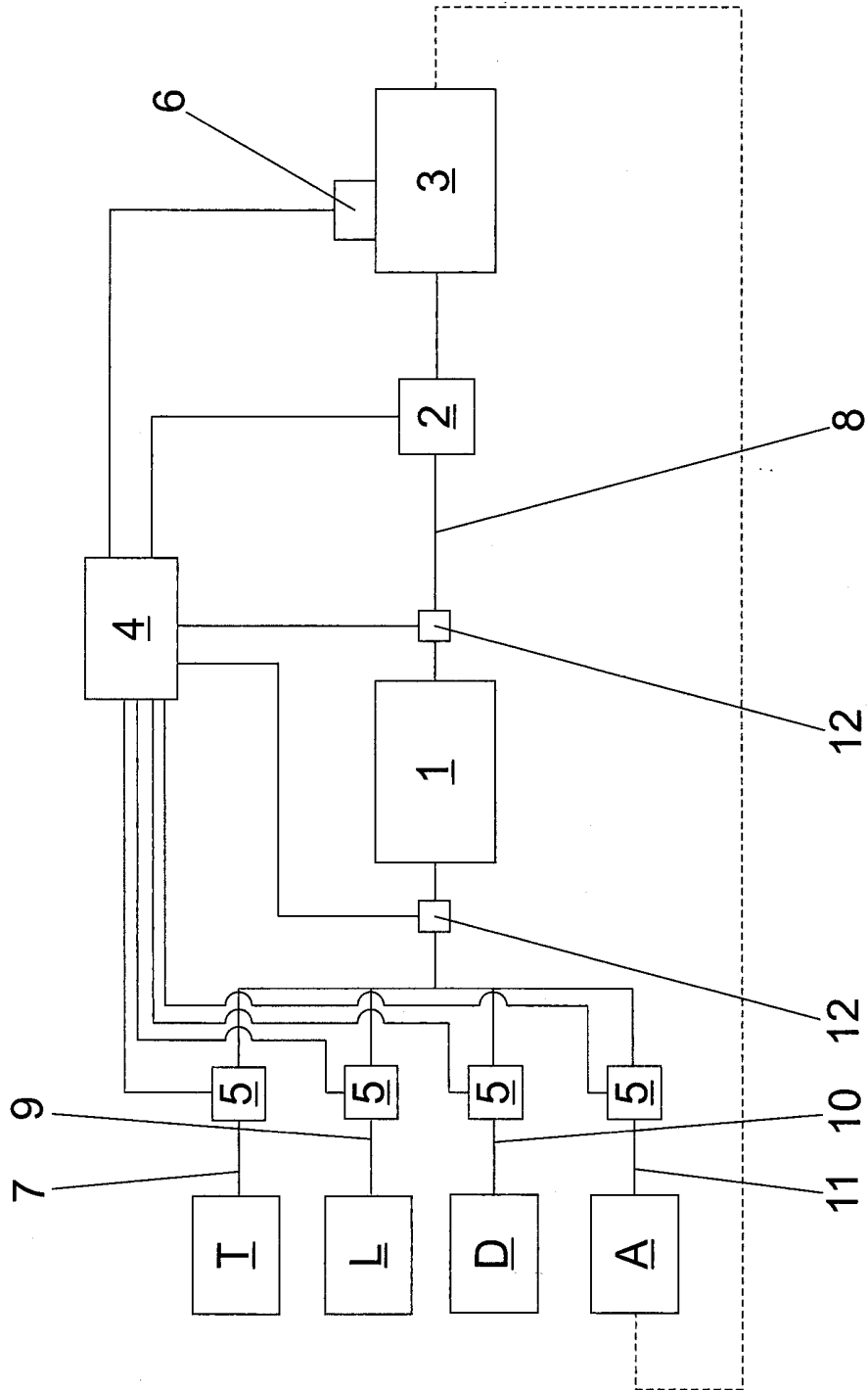


Fig. 1



Fig. 2a

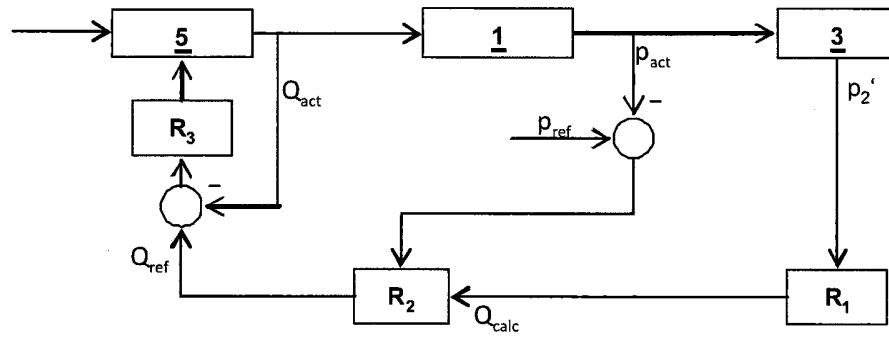


Fig. 2b

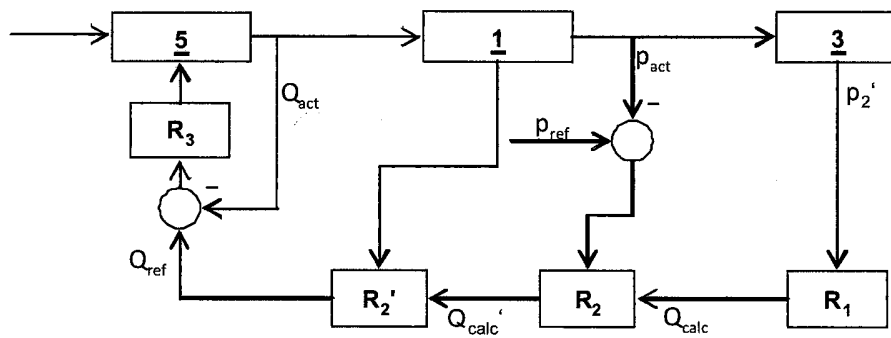


Fig. 2c

