(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 794 497 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.11.2010 Patentblatt 2010/44

(21) Anmeldenummer: **05797010.5**

(22) Anmeldetag: **22.09.2005**

(51) Int Cl.:
F23C 99/00 *(2006.01)* ***F23C 15/00*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2005/054738

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/034983 (06.04.2006 Gazette 2006/14)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEEINFLUSSUNG VON VERBRENNUNGSVORG[NGEN, INSBESONDERE BEIM BETRIEB EINER GASTURBINE**

METHOD AND DEVICE FOR INFLUENCING COMBUSTION PROCESSES, IN PARTICULAR DURING THE OPERATION OF A GAS TURBINE

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR INFLUENCER DES PROCESSUS DE COMBUSTION, NOTAMMENT POUR FAIRE FONCTIONNER UNE TURBINE A GAZ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE GB IT LI

(30) Priorität: **27.09.2004 DE 102004046814**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.06.2007 Patentblatt 2007/24

(73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **HARTMANN, Werner**
  91085 Weisendorf (DE)
- **KIESER, Jörg**
  91301 Forchheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 775 870
EP-A- 1 225 392
WO-A-2004/059209
CH-A- 619 866
FR-A- 1 340 937
FR-A- 2 594 491
GB-A- 1 140 862

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 1 794 497 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Beeinflussung von Verbrennungsvorgängen, insbesondere beim Betrieb einer Gasturbine, wobei zur Aufrechterhaltung der Verbrennung über einen großen Parameterbereich Pilotflammen verwendet werden, deren Flammensteuerung über elektromagnetische Felder erfolgt.

[0002] Die bei Gasturbinen zur Aufrechterhaltung der Verbrennung über einen großen Parameterbereich notwendigen Pilotflammen erzeugen einen nicht unwesentlichen Anteil der Schadstoffe, insbesondere der Stickoxide (NOx). Die Pilotflammen einer Gasturbine haben einen engen Arbeitsbereich und sind - u.a. wegen der großen Trägheit einer gasflussbezogenen Regelung - nur bedingt zur Steuerung des Verbrennungsablaufs in der Brennkammer geeignet.

[0003] Eine Erweiterung des Arbeitsbereichs der Pilotflammen bei gleichzeitiger Verringerung der Schadstofferzeugung sowie eine sehr schnelle Beeinflussbarkeit des Verbrennungsvorgangs können sich sehr vorteilhaft auf Wirkungsgrad und Schadstoffausstoß auswirken.

[0004] Neben der nur eingeschränkt möglichen und vergleichsweise trägen Regelung von Gasfluss und Brenngaszusammensetzung werden seit einiger Zeit Methoden untersucht, eine Flammensteuerung über elektrische Felder zu erzielen. Diese Methode führt zu einer Erweiterung des Arbeitsbereichs der Pilotflamme in Bezug auf die Luftzahl sowie eine Verringerung des NOx-Gehaltes im Abgas der Flamme. Weiterhin ist eine schnelle Beeinflussung der Flamme möglich. Aus der DE 199 47 258 A1 ist das Grundprinzip einer induktiven Einkopplung von elektrischer Energie in einen Gasstrom bekannt. Weiterhin offenbart die EP 1 215 392 eine Vorrichtung zur Energieeinkopplung in einen mit einem Luft-Kraftstoff-gefüllten Brennraum eines Verbrennungsmotors, um das Luft-Kraftstoff-Gemisch zu entzünden.

[0005] Aus der EP 12 25 392 A2 ist eine Mischeranordnung zur Verwendung in einem Brenner einer Gasturbine bekannt, bei der ein Plasmagenerator zur Erzeugung von wenigstens dissoziiertem und ionisiertem Brennstoff vorhanden ist. Dafür werden 'in situ' elektrische Mittel eingesetzt. Weiterhin ist aus der FR 1 340 937 A ein Verfahren zum Vergrößern der Enthalpie bei der Verbrennung bekannt, bei dem ein elektrisches Feld zur Steuerung der Flamme eingesetzt wird. Aus der GB 1 140 862 A ist ebenfalls ein Brenner vorbekannt, dem Mittel zur elektrischen Felderzeugung zugeordnet sind. Schließlich ist aus der CH 619 866 A die Überlagerung von elektrostatischen Feldern für einen Verbrennungsvorgang bekannt.

[0006] Von letzterem Stand der Technik ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Steuerung des Verbrennungsvorganges anzugeben und eine Vorrichtung zu schaffen, mit der mit einfachen Mitteln der Verbrennungsvorgang gesteuert werden kann.

[0007] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen der Vorrichtung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Gemäß der Erfindung erfolgt eine induktive, gepulste Energieeinkopplung über eine die Flamme umgebende Induktionsspule mit der Flamme als Sekundärwindung eines Impulstransformators, wobei wenigstens ein steuerbarer Schalter eingesetzt wird. Solche Anordnungen sind zur Erzeugung von z.B. Pinchvorgängen bekannt. Die Wirkung setzt dabei wegen der abschirmenden Wirkung des leitfähigen Flammenplasmas bevorzugt im Außenbereich der Flamme ein, so dass diese kalten Flammenbereiche bevorzugt eine zusätzliche Heizung durch die induktiv erfolgte gepulste Energiezufuhr erhalten. Dadurch kann der Temperaturverlauf in der Flamme kurzzeitig über den Querschnitt vergleichmäßigt werden.

[0009] Da über die Zufuhr von impulsförmig zugeführter elektrischer Energie eine sehr schnelle Regelung der Verbrennungsprozesse erfolgt, können auch akustische Eigenschwingungen im Brennkammerbereich durch entsprechende rückgekoppelte Regelalgorithmen kompensiert werden.

[0010] Für die Zuführung von elektrischer Energie in Form induktiv übertragener Leistung stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung :

- Energiezufuhr in einer Serie von Einzelimpulsen mit kurzer Dauer von Mikrosekunden (μs) bis Millisekunden (ms).
- kontinuierliche (oder quasi-kontinuierliche) Zuführung induktiv eingekoppelter Hochfrequenzleistung über wenigstens einen HF-Leistungsgenerator.

[0011] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird eine schnell regelbare Energieeinkopplung in Flammen erreicht, mit deren Hilfe eine nahezu trägheitslose Steuerung des Verbrennungsablaufs in der Pilotflamme ermöglicht wird bis hin zu hohen thermischen Leistungen im MW-Bereich und darüber.

[0012] Die Vorteile der Erfindung liegen im Wesentlichen in der sehr schnellen Regelbarkeit der elektrischen Leistung im sub-Millisekunden-Bereich bei Verwendung entsprechend kurzer Leistungsimpulse, sowie der Skalierbarkeit zu hohen Gasdrücken und der Einkopplung hoher elektrischer Leistungen. Mit geeigneten Schaltern können auch sehr schnelle Regelvorgänge z.B. zur Unterdrückung akustischer Eigenmoden in der Brennkammer realisiert werden.

[0013] Die Vergleichmäßigung der Flammentemperatur führt zu einer Verringerung der Schadstofferzeugung wie z.B. von Stickoxiden.

[0014] Weiterhin ist es mit der Erfindung möglich, den Verbrennungsvorgang auch in der Brennkammer selbst berührungslos zu steuern; dies kann über ein einzelnes großes, oder über mehrere getrennte, räumlich verteilte

kleinere Induktionssysteme erfolgen, so dass sogar eine gezielte räumlich aufgelöste Beeinflussung des Verbrennungsvorgangs ermöglicht wird. Damit lassen sich gezielt Temperaturspitzen abbauen und somit der NOx-Ausstoß verringern, der Verbrennungsvorgang (Wirkungsgrad) optimieren sowie akustische Resonanzen verhindern. Flachspulen sind hier eine besonders günstige Lösung.

[0015] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den weiteren Patentansprüchen. Es zeigen jeweils in schematischer Darstellung

Figur 1 die Steuerung einer Turbinenpilotflamme mit Hilfe ei- ner die Flamme umgebenden Impuls-Induktionsspule zur Einkopplung von Impulsenergie,

Figur 2 die Steuerung der Hauptflamme in der Brennkammer ei- ner Gasturbine mit Hilfe verteilter Induktionsspulen zur räumlich steuerbaren Einkopplung von Hochfre- quenzenergie,

Figur 3 einen Aufbau entsprechend Figur 1 mit einem HF-Gene- rator, ein derartiger Aufbau ist nicht Teil der Erfindung und

Figur 4 einen Aufbau entsprechend Figur 2 mit zwei HF-Gene- ratoren, ein derartiger Aufbau ist nicht Teil der Erfindung.

[0016] Während im KW-Bereich die Einkopplung einer zur Flammensteuerung ausreichenden Leistung über viele Schwingungsperioden gemittelt erfolgt, muss bei Impulsbetrieb die im Einzelimpuls eingekoppelte Energie dafür ausreichend sein. Dies ist i.a. nur sehr bedingt gegeben, da die Leitfähigkeit und damit die elektrische Impedanz des Plasmas einer Flamme vergleichsweise gering ist im Vergleich zur Impedanz der notwendigen Leistungsimpulselektronik.

[0017] Daher ist es notwendig, eine Impedanzanpassung der Leistungselektronik an die Impedanz des Flammenplasmas vorzunehmen. Dies erfolgt erfindungsgemäß dadurch, dass ein elektrischer Strom i durch eine die Flamme umgebende, vorwiegend zylindrische Spule durch einen schließenden Schalter über ein längeres Zeitintervall aufgebaut wird (Bild 1). Im Bereich des Strommaximums wird der Schalter (oder ein mit ihm in Serie geschaltetes zweites Schaltelement) mit einer im Vergleich zur Stromaufbauzeit kurzen Zeitkonstante geöffnet. Dadurch wird die induktiv in der Spuleninduktivität L gespeicherte magnetische Energie

$$E_{ind} = 0,5*L*I^2 \qquad (Gl.1)$$

in Form eines sehr hochfrequenten Hochspannungsimpulses in die Streukapazität CS des Systems umgeladen; das elektrische System besteht aus Spuleninduktivität L als Primärseite eines Lufttransformators und der zugehörigen geringen Streukapazität CS, sowie dem Plasma als (einwindige) Sekundärseite des Transformators stellt nun eine hochimpedante Anordnung dar. Durch diese Maßnahme wird eine erheblich verbesserte Impedanzanpassung der Last an die Energiequelle und damit eine bessere Leistungseinkopplung in das Flammenplasma erreicht als über eine direkte induktive Ankopplung des Einzelimpulses.

[0018] Die Wechselwirkung des induzierten elektrischen Feldes mit den Ladungsträgern im Flammenplasma wird durch diese Maßnahme enorm vergrößert. Eine gezielte Ladungsträgervermehrung über Stoßionisation wird durch extern einstellbare Zeitkonstanten des Schalters möglich, wobei es nach dem Stand der Technik (vgl. gepulster elektrostatischer Staubfilter) durchaus möglich ist, einen direkten Gasdurchschlag zu vermeiden.

[0019] Impulsfolgefrequenz und Impulsamplitude werden über ein Regelungssystem gesteuert, das über entsprechende Sensorik (Temperatur; akustische Schwingungen; Abgaszusammensetzung; etc.) den momentanen Betriebszustand der Gasturbine charakterisiert und über eine gezielte zusätzliche Energiezufuhr zur Pilot- oder auch Hauptflamme kontrolliert.

[0020] Es wird vorgeschlagen, diese Art der gepulsten Energieeinkopplung zur Steuerung der Pilotflammen und der Vormischflamme von Gasturbinen einzusetzen. Varianten des Aufbaus, die ein höherpoliges Feld erzeugen, sind einfach zu realisieren und gestatten über entsprechende Wahl der Phasenlage z.B. die Induktion einer Rotationsbewegung des Plasmas. Je nach Art der Anwendung können dabei Flachspulen zur lokalen Flammenbeeinflussung vorteilhaft sein.

[0021] In der Figur 1 ist mit 1 eine Vorrichtung zur Flammensteuerung bezeichnet. Im Einzelnen bedeuten 10 ein Keramikrohr, auf der eine Induktionsspule 11 mit Induktivität L angeordnet ist. Mit 12 ist ein Brenner und mit 13 die zugehörige Pilotflamme bezeichnet.

[0022] Zur Steuerung der Induktionsspule sind geeignete Mittel vorhanden: Dabei stellen 14 und 15 jeweils Kondensatoren dar, wobei der Kondensator 14 eine Streukapazität CS realisiert und der Kondensator 15 eine Impulskapazität C_P realisiert. Die Kondensatoren sind an eine Hochspannungsquelle U_H angeschlossen und auf der anderen Seite gegen Masse geschaltet. Es ist ein Schalter 16 vorhanden, der als öffnender oder als schließender Schalter realisiert sein kann. Der Schalter 16 wird von einer Steuer-Regel-Einheit 30 angesteuert. Als Eingänge für die Steuer-Regel-Einheit dienen Sensoren 31, 32.

[0023] Mit der Anordnung gemäß Figur 1 kann Impulsenergie zur Steuerung der Turbinenpilotflamme eingekoppelt werden.

[0024] Letzteres Prinzip ist auf die Anordnung gemäß Figur 2 übertragen. Es bedeuten in diesem Fall 20 eine keramische Brennkammerwand und 23 die Hauptflamme in der Turbine. Mit 21 und 21' sind Induktionsspulen bezeichnet, die in Figur 2 als Flachspulen ausgebildet

sind.

[0025] Es kann eine Vielzahl von Flachspulen vorhanden sein. Jede der Flachspulen hat eine Steuereinrichtung, die im Prinzip der Steuereinrichtung entsprechend Figur 1 entspricht. Dies heißt im Einzelnen, dass wiederum Kondensatoren 14, 15 vorhanden sind, die eine Streukapazität CS und eine Impulskapazität C_P realisieren. Die Schaltung ist an eine Hochspannungsquelle U_H angeschlossen und es sind Schalter 16, 16' vorhanden, die von einer Steuer/Regeleinheit 30 mit entsprechenden Sensoren 31, 32 angeschlossen sind. Die einzelnen Steuereinrichtungen können miteinander gekoppelt sein.

[0026] Mit den verteilten Induktionsspulen entsprechend Figur 2 ist eine räumlich steuerbare Einkopplung von Hochfrequenzenergie direkt in das Plasma der Hauptflamme möglich. Die einzelnen Induktionsspulen 21, 22 sind vorteilhafterweise als Flachspulen ausgeführt. In Figur 2 sind sie außerhalb der keramischen Brennkammerwand angeordnet. Bei elektrisch leitfähiger Brennkammerwand können sie auch innerhalb der Brennkammer angeordnet sein.

[0027] In beiden Fällen der Figur 1 und Figur 2 ergibt sich insbesondere die schnelle Steuerbarkeit, womit eine Vergleichmäßigung der Flammentemperatur erreicht werden kann. Dies bewirkt eine Verringerung der Schadstofferzeugung. Die beschriebenen Vorrichtungen ermöglichen die Skalierbarkeit zu hohen Gasdrücken und zur Einkopplung hoher elektrischer Leistungen. Insbesondere können somit auch akustische Eigenmoden in der Brennkammer unterdrückt werden.

[0028] Figuren 3 und 4 zeigen Ausführungen, die nicht Teil der Erfindung sind.

[0029] In Abwandlung zu Fig. 1/2 ist in den Figuren 3 und 4 der steuerbare Schalter 16 bzw. 16' durch ein bzw. zwei Leistungs-HF-Generatoren 26 bzw. 26' ersetzt. Mit den HF-Generatoren können insbesondere die Frequenz der eingekoppelten Leistung vorgegeben werden. Ansonsten ist die Anordnung der Induktionsspulen und die Steuer/Regeleinheit mit den zugehörigen Sensoren entsprechend den Figuren 1 und 2 aufgebaut.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Beeinflussung von Verbrennungsvorgängen, insbesondere zum Betrieb einer Gasturbine, wobei die Vorrichtung zur Aufrechterhaltung der Verbrennung über einen großen Parameterbereich Pilotflammen verwendet werden, deren Flammensteuerung über elektromagnetische Felder und die Verwendung von wenigstens einer, die Flamme (13) zumindest teilweise umgebenden Induktionsspule (11, 21) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet dass** der wenigstens einen Induktionsspule (11, 21) wenigstens ein steuerbarer Schalter (16, 16') zugeordnet ist, so dass die Flammensteuerung über eine wiederholte induktive, gepulste Energieeinkopplung erfolgt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Induktionsspule eine zylindrische Spule (11) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Induktionsspule Flachspulen (21, 21') sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schalter (16, 16') ein schließender Schalter ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schalter (16, 16') ein öffnender Schalter in Verbindung mit einem Energiespeicher in Form eines Kondensators ist.

6. Vorrichtung nach den Ansprüchen 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei in Serie geschaltete Schaltelemente, von denen jeweils mindestens eines ein schließender und eines ein öffnender Schalter ist, als Schalteinrichtung vorhanden sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Schalteinrichtung Pulsdauern von Mikrosekunden bis Millisekunden realisiert werden.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Induktionsspule wenigstens ein HF-Generator (26, 26') zugeschaltet ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Steuer-/Regeleinheit (30, 30') vorhanden ist, die von Sensoren (31, 32) angesteuert wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinheit (30, 30') eine Rückkopplungsschleife beinhaltet, mit der akustischen Schwingungen gegengesteuert wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinheit (30, 30') eine Rückkopplungsschleife beinhaltet, mit der die Schadstoffkonzentrationen im Abgas minimiert werden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinheit (30, 30') eine Rückkopplungsschleife beinhaltet, mit der der thermodynamische Wirkungsgrad des Verbrennungsvorgangs in der Flamme optimiert wird.

Claims

1. Device for influencing combustion processes, especially for operation of a gas turbine, wherein the device is used for maintaining combustion over a wide parameter range of pilot flames, the flame control of which is carried out via electromagnetic fields and the use of at least one induction coil (11, 21) which at least partially encompasses the flame (13), **characterized in that** at least one controllable switch (16, 16') is associated with the least one induction coil (11, 21), so that the flame control is carried out via a repeated, inductive, pulsed energy coupling.

2. Device according to Claim 1, **characterized in that** the at least one induction coil is a cylindrical coil (11).

3. Device according to Claim 1, **characterized in that** the at least one induction coil are cylindrical coils (21, 21').

4. Device according to Claim 1, **characterized in that** the switch (16, 16') is a normally-open switch.

5. Device according to Claim 1, **characterized in that** the switch (16, 16') is a normally-closed switch in communication with an energy accumulator in the form of a condenser.

6. Device according to Claims 4 and 5, **characterized in that** as a switching unit there are two switch elements which are connected in series, of which at least one is a normally-open switch and one is a normally-closed switch in each case.

7. Device according to Claim 6, **characterized in that** pulse durations from microseconds to milliseconds are realized in the switching unit.

8. Device according to Claim 1, **characterized in that** at least one HF generator (26, 26') is connected to the induction coil.

9. Device according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** there is at least one control/regulating unit (30, 30') which is controlled by sensors (31, 32).

10. Device according to Claim 9, **characterized in that** the control/regulating unit (30, 30') includes a feedback loop by which acoustic oscillations are counter-controlled.

11. Device according to Claim 9, **characterized in that** the control/regulating unit (30, 30') includes a feedback loop by which the concentrations of pollutants in the exhaust gas are minimized.

12. Device according to Claim 9, **characterized in that** the control/regulating unit (30, 30') includes a feedback loop by which the thermodynamic efficiency of the combustion process in the flame is optimized.

Revendications

1. Dispositif pour influencer des processus de combustion, notamment pour le fonctionnement d'une turbine à gaz, le dispositif étant utilisé pour maintenir la combustion sur une grande plage de paramètre de flammes pilotes, dont la commande de flamme s'effectue par des champs électromagnétiques et par l'utilisation d'au moins une bobine (11) d'induction entourant au moins en partie la flamme (13), **caractérisé en ce qu'**au moins un commutateur (16, 16') pouvant être commandé est associé à la au moins une bobine (11, 21) d'induction de manière à effectuer la commande de flamme par une injection d'énergie inductive pulsée répétée.

2. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la au moins une bobine d'induction est une bobine (11) cylindrique.

3. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la au moins une bobine d'induction est une bobine (21, 21') plate.

4. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le commutateur (16, 16') est un commutateur qui se ferme.

5. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le commutateur (16, 16') est un commutateur qui s'ouvre en liaison avec un accumulateur d'énergie sous la forme d'un condensateur.

6. Dispositif suivant les revendications 4 et 5, **caractérisé en ce qu'**il y a deux éléments de commutation montés en série, dont respectivement l'un est un commutateur qui se ferme et l'autre un commutateur qui s'ouvre, comme dispositif de commutation.

7. Dispositif suivant la revendication 6, **caractérisé en ce que**, dans le dispositif de commutation, des durées d'impulsion de microsecondes à millisecondes sont réalisées.

8. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** au moins un générateur HF (26, 26') est ajouté à la bobine d'induction.

9. Dispositif suivant l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**il y a au moins une unité (30, 30') de commande/régulation, qui est commandée par des capteurs (31, 32).

10. Dispositif suivant la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'unité (30, 30') de commande/régulation comporte une boucle de réaction, par laquelle on s'oppose à des oscillations acoustiques.

11. Dispositif suivant la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'unité (30, 30') de commande/régulation comporte une boucle de réaction, par laquelle on minimise des concentrations nocives dans le gaz d'échappement.

12. Dispositif suivant la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'unité (30, 30') de commande/régulation comporte une boucle de réaction, par laquelle on optimise le rendement thermodynamique du processus de combustion dans la flamme.

FIG 1

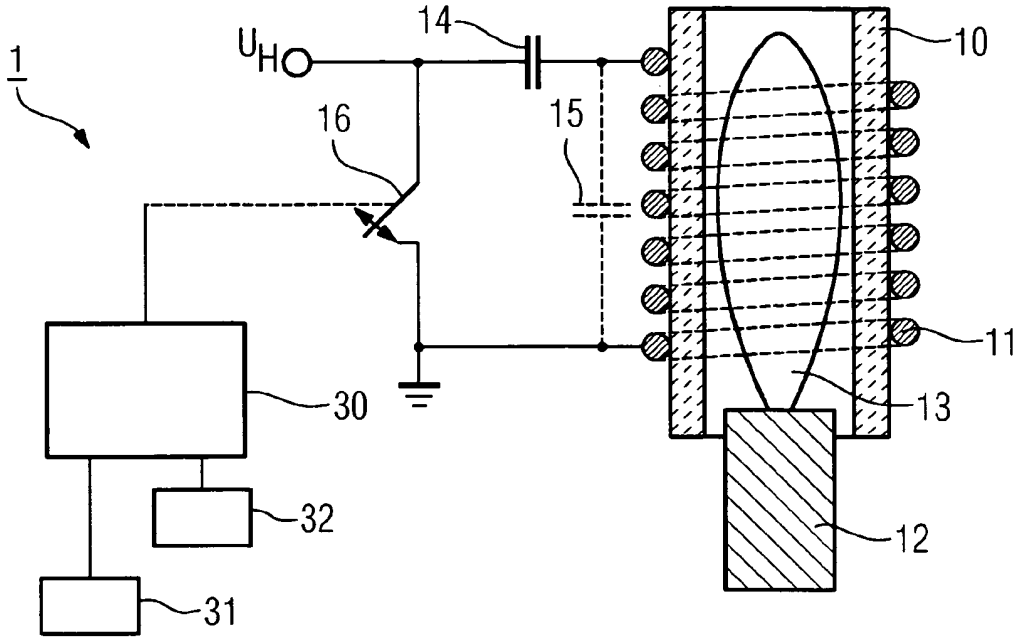

1
U_H
14
16
15
10
11
13
12
30
32
31

FIG 2

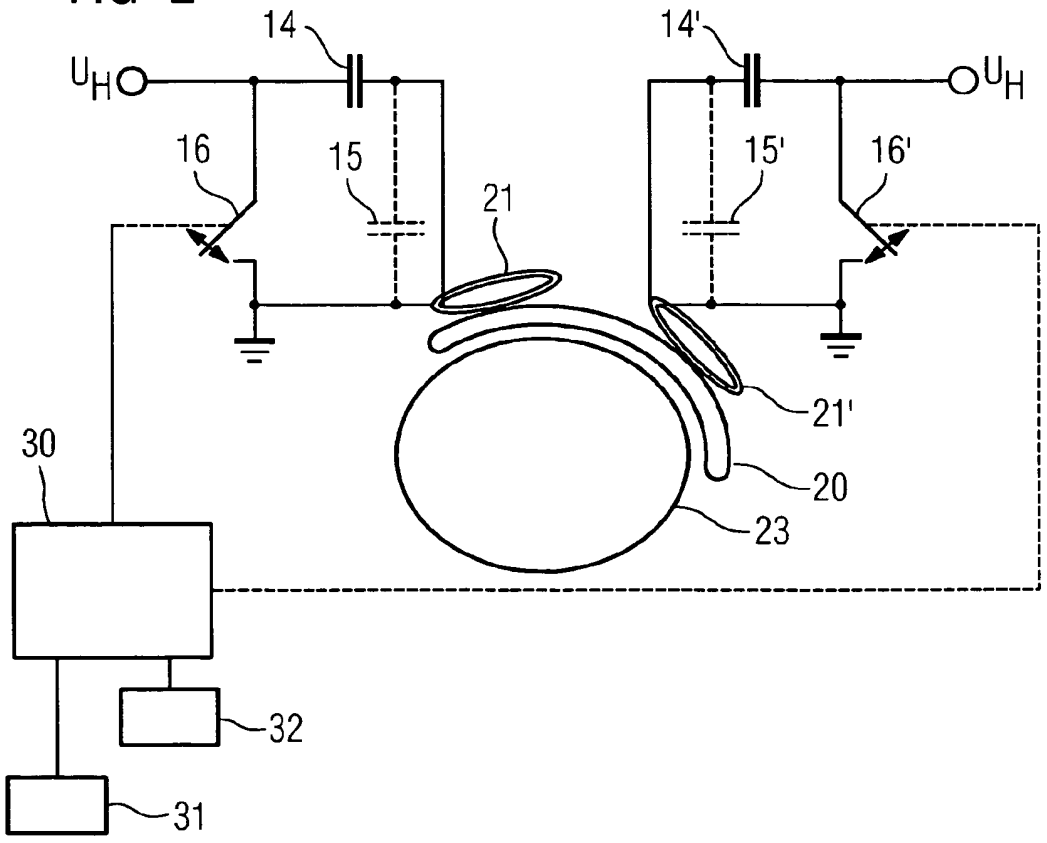

U_H
14
14'
U_H
16
15
21
15'
16'
21'
20
23
30
32
31

FIG 3

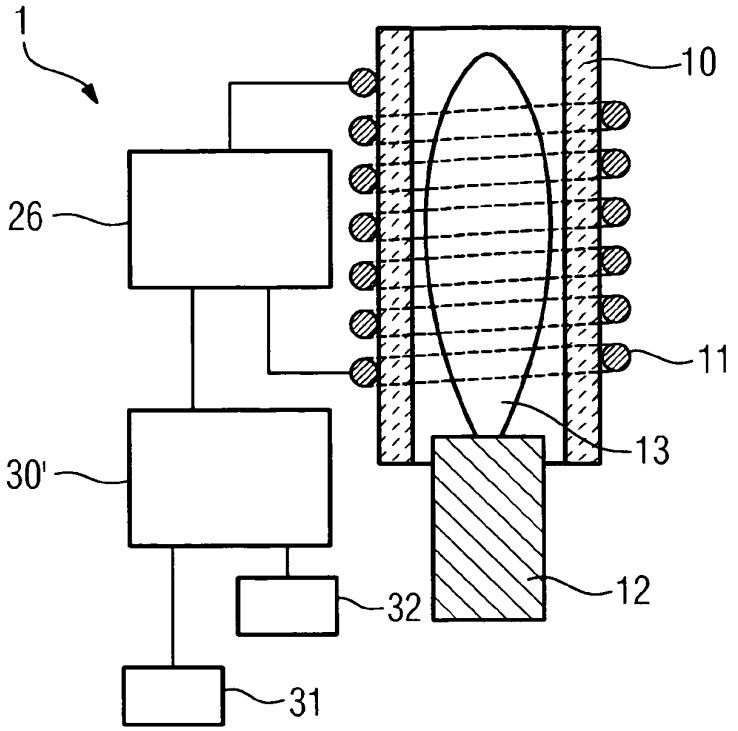
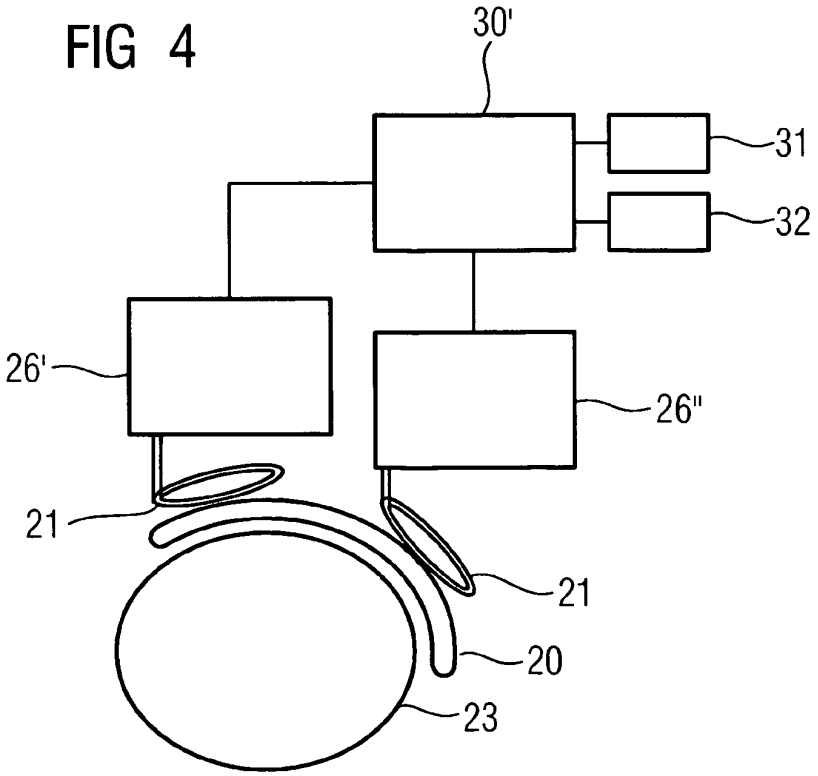


FIG 4



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

- DE 19947258 A1 **[0004]**
- EP 1215392 A **[0004]**
- EP 1225392 A2 **[0005]**
- FR 1340937 A **[0005]**
- GB 1140862 A **[0005]**
- CH 619866 A **[0005]**