



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 33 612 A1** 2004.02.19

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 33 612.1**

(22) Anmeldetag: **24.07.2002**

(43) Offenlegungstag: **19.02.2004**

(51) Int Cl.7: **F02D 43/04**

(71) Anmelder:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

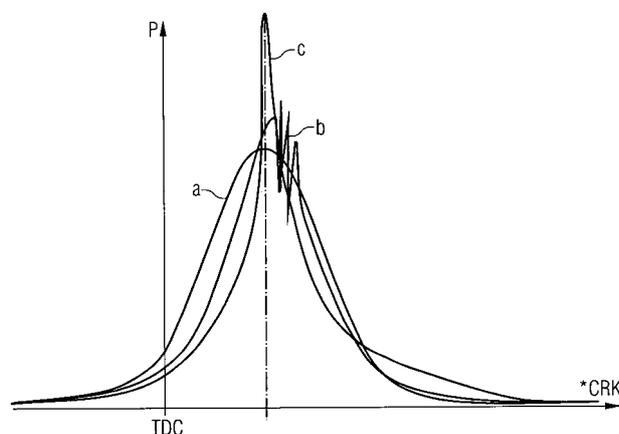
(72) Erfinder:  
**Galtier, Frederic, Dr., 93053 Regensburg, DE;  
Zhang, Hong, Dr., 93105 Tegernheim, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Steuern des Verbrennungsvorganges einer HCCI-Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: In einer Brennkraftmaschine mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) werden die Verbrennungsdruckspitzen mittels Klopfensoren erfasst. In Abhängigkeit von den Signalen der Klopfensoren werden den Verbrennungsvorgang beeinflussende Parameter so optimiert, dass die Selbstzündung des Gemischs jeweils zum optimalen Zeitpunkt erfolgt.



**Beschreibung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern des Verbrennungsvorganges einer Brennkraftmaschine, die zumindest zeitweise mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) betrieben wird.

**Stand der Technik**

[0002] Derartige Brennkraftmaschinen mit kontrollierter Selbstzündung, die üblicherweise mit der Abkürzung HCCI (= Homogeneous Charge Compression Ignition) bezeichnet wird, sind bekannt, verwiesen sei beispielsweise auf die US 6 260 520, US 6 390 054, DE 199 27 479, und WO 98/10179. Manchmal wird die HCCI-Verbrennung auch als CAI (Controlled Auto Ignition) oder als ATAC (Active Thermo-Atmosphere Combustion) oder TS (Toyota Soken) bezeichnet, wobei gelegentlich der Begriff CAI für mit Benzin betriebene Brennkraftmaschinen und der Begriff HCCI für mit Dieselkraftstoff betriebene Brennkraftmaschinen verwendet wird. Für die Zwecke der vorliegenden Anmeldung soll der Begriff HCCI jedoch alle diese Verbrennungsarten umfassen, unabhängig davon, ob es sich um Otto- oder Dieselmotoren handelt.

[0003] Die HCCI-Verbrennung hat gegenüber der herkömmlichen fremdgezündeten Verbrennung den Vorteil eines reduzierten Kraftstoffverbrauchs und geringerer Schadstoffemissionen. Allerdings ist die Steuerung der Selbstzündung des Gemischs nicht einfach. So bedarf es einer entsprechenden Steuerung von den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parametern wie beispielsweise einer Steuerung der Einlass- und Auslassventile, der – internen oder externen – Abgasrückführung, der Kraftstoffeinspritzung und/oder des Verdichtungsverhältnisses der Brennkraftmaschine. Derartige Parameter (Stellgrößen) werden üblicherweise dazu verwendet, ein homogenes und/oder nicht homogenes Gemisch im Brennraum zu erzeugen, um damit die Selbstzündung des Gemisches zu steuern.

[0004] Um einen optimalen Verbrennungsvorgang mit bestmöglicher Nutzung der zur Verfügung stehenden Kraftstoffenergie zu erzielen, ist allgemein anerkannt, dass die Verbrennungsdruckspitze ungefähr 15 bis 20° Kurbelwellenwinkel nach dem oberen Totpunkt auftreten soll. Um dieses Hauptziel zu erreichen, muss die Zündverzögerung und die Brenngeschwindigkeit berücksichtigt werden, um die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter korrekt einzustellen.

[0005] Bei einer herkömmlichen fremdgezündeten Brennkraftmaschine (Ottomotor) wird dies durch eine entsprechende Einstellung des Zündwinkels (ungefähr 20 bis 25° Kurbelwellenwinkel vor dem oberen Totpunkt) erreicht, was zu einer optimalen Lage der Verbrennungsdruckspitze führt. Bei einer HCCI-Brennkraftmaschine kann dies jedoch lediglich

durch eine Steuerung der oben erwähnten, den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter erreicht werden. Dies erfolgt heutzutage weitgehend durch eine einfache Steuerung dieser Parameter anhand von in Kennfeldern abgelegten Werten ohne Feedback der Brennkraftmaschine.

**Aufgabenstellung**

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern des Verbrennungsvorganges einer HCCI-Brennkraftmaschine anzugeben, die eine Optimierung von den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parametern unter Berücksichtigung des in der Brennkraftmaschine tatsächlich ablaufenden Verbrennungsvorganges erlauben.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen 1 und 6 definierte Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0008] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass im HCCI-Betrieb Verbrennungsdruckspitzen auftreten, die denen bei einer klopfenden Verbrennung einer herkömmlichen fremdgezündeten Brennkraftmaschine ähnlich sind. Da die Selbstzündung des Gemischs beim HCCI-Betrieb zu einer spontanen Explosion des Gemischs im Brennraum führt, ist der Druckanstieg schneller und stärker als bei einer herkömmlichen fremdgezündeten Brennkraftmaschine, was schärfere und dünnere Druckspitzen zur Folge hat.

[0009] Diese Druckspitzen werden erfindungsgemäß durch einen Klopfsensor erfasst, wie er bei modernen Brennkraftmaschinen zur Kopffregelung meistens ohnehin vorhanden ist. Hierbei kommen Klopfensoren beliebiger Bauart wie beispielsweise Schwingungs- und Beschleunigungssensoren in Form von Piezo-, Zylinderdruck-, Ionenstrom-Sensoren u.a. in Frage. Derartige Klopfensoren sind in großer Vielfalt bekannt.

[0010] Die im Signal des Klopfensors enthaltenen Informationen erlauben es, den Winkel der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine zu bestimmen, bei dem eine Verbrennungsdruckspitze aufgetreten ist. Diese Feedback-Information erlaubt es dann, die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter der Brennkraftmaschine zu optimieren. Zur Bestimmung des „Selbstzündungswinkels“ ausgedrückt in Grad Kurbelwellenwinkel der Brennkraftmaschine mit Hilfe des Signals des Klopfensors können Signalverarbeitungsverfahren verwendet werden, wie sie in Zusammenhang mit der Kopffregelung herkömmlicher fremdgezündeter Brennkraftmaschinen bekannt sind, verwiesen sei beispielsweise auf die EP 0 187 081, EP 0 458 993 und US 4 884 206.

[0011] Zweckmäßigerweise wird die mittels des Signals des Klopfensors detektierte aktuelle Winkelposition mit einer in einem Kennfeld abgelegten Soll-Winkelposition verglichen. Bei einer Abweichung

der aktuellen Winkelposition von der Soll-Winkelposition werden dann die den Verbrennungsvorgang steuernden Parameter so geändert, dass die aktuelle Winkelposition zu der Soll-Winkelposition hin verschoben wird.

[0012] Hierbei wird zweckmäßigerweise so vorgegangen, dass die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter mittels im elektronischen Betriebssteuergerät abgelegten Kennfeldern voreingestellt und in Abhängigkeit von dem Signal des Klopfensors korrigiert werden. Die Korrektur kann mittels einer einfachen Korrekturfunktion (Addition, Multiplikation, etc.) erfolgen. Vorzugsweise erfolgt die Korrektur jedoch in einem geschlossenen Regelkreis, beispielsweise in Form einer PID-Regelung. Es kann natürlich auch eine komplexe Lern- und Adaptionsfunktion verwendet werden.

[0013] Die vorliegende Erfindung erlaubt es, den HCCI-Verbrennungsvorgang unabhängig von alterungsbedingten Änderungen der Brennkraftmaschine und/oder herstellungsbedingten Fertigungsunterschieden zwischen verschiedenen Brennkraftmaschinen ständig zu optimieren, um Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen zu minimieren. Außerdem erlaubt die Erfindung eine Vereinfachung der Kalibrierung der Brennkraftmaschine, da das erfindungsgemäße Verfahren eine Art Selbstkalibrierung während des Betriebs bewirkt.

[0014] Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass zu ihrer Implementierung lediglich bereits ohnehin vorhandene Hardware wie ein elektronisches Betriebssteuergerät und ein Klopfsensor erforderlich sind, wobei überdies auf aus der Klopfregelung bekannte Signalverarbeitungsverfahren zurückgegriffen werden kann.

#### Ausführungsbeispiel

[0015] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden anhand der Zeichnungen erläutert, in denen

[0016] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem elektronischen Betriebssteuergerät ist;

[0017] **Fig. 2** ein Diagramm ist, in dem der Druck für verschiedene Verbrennungsarten über dem Winkel der Kurbelwelle aufgetragen ist;

[0018] **Fig. 3** ein Flussdiagramm zum Veranschaulichen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist.

[0019] **Fig. 1** zeigt in schematischer Weise eine Brennkraftmaschine **1** mit einer Kurbelwelle **2**, einem Zylinder **3**, einem Brennraum **4**, einem Ansaugtrakt **5**, einem Abgastrakt **6**, einem Einlassventil **7**, einem Auslassventil **8**, einem Kraftstoffeinspritzventil **9**, einer Zündeinrichtung **10** und einer Abgasrückführung **11** mit einem Abgasrückführventil **12**. Der Brennkraftmaschine **1** ist ein elektronisches Betriebssteuergerät **13** zugeordnet, das zur Steuerung des Betriebs der Brennkraftmaschine Stellsignale – unter anderem – an Aktoren der Ventile **7** bis **9** und **12** sowie der

Zündeinrichtung **10** abgibt.

[0020] Die Brennkraftmaschine **1** ist als HC-CI-Brennkraftmaschine ausgebildet, die zumindest während bestimmter Betriebsphasen mit kontrollierter Selbstzündung des Luft/Kraftstoffgemischs (also ohne Fremdzündung durch die Zündeinrichtung **10**) betrieben werden kann. Wie bereits eingangs erläutert, läuft im HCCI-Betrieb der Verbrennungsvorgang so ab, dass als Folge der Selbstzündung des Gemischs ausgeprägte, d.h. scharfe und dünne, Verbrennungsdruckspitzen im Brennraum **4** auftreten.

[0021] Zur Erläuterung sei auf **Fig. 2** verwiesen, in der der Verbrennungsdruck  $P$  über dem Kurbelwellenwinkel  $^{\circ}\text{CRK}$  aufgetragen ist. Die Kurve *a* zeigt den Verlauf des Verbrennungsdrucks bei normalem Betrieb mit Fremdzündung, die Kurve *b* bei klopfender Verbrennung und die Kurve *c* bei HCCI-Betrieb der Brennkraftmaschine. Die Druckspitzen haben jeweils einen vorgegebenen Winkelabstand zum oberen Totpunkt TDC des zugehörigen Kolbens. Wie eingangs erläutert, können Verbrennungsdruckspitzen gemäß der Kurve *c* mittels eines herkömmlichen Klopfensors detektiert werden, wie er bei modernen Brennkraftmaschinen zur Klopfregelung verwendet wird.

[0022] In **Fig. 1** ist dem Zylinder **3** bzw. dem Brennraum **4** ein entsprechender Klopfsensor **14** zugeordnet, dessen Signale dem Betriebssteuergerät **13** zugeführt werden. Das Betriebssteuergerät **13** enthält eine Signalverarbeitungseinrichtung, wie sie bei Klopfregelungen für herkömmliche fremdgezündete Brennkraftmaschinen verwendet wird. Diese Signalverarbeitungseinrichtung ermöglicht eine Bestimmung des aktuellen Winkels der Kurbelwelle **2**, bei dem die Verbrennungsdruckspitzen (Kurve *c*) auftreten. Der betreffende aktuelle Kurbelwellenwinkel wird dann mit dem für eine optimale Verbrennung erforderlichen Soll-Kurbelwellenwinkel verglichen und bei Abweichungen so korrigiert, dass der aktuelle Zündzeitpunkt zu dem optimalen Zündzeitpunkt hin verschoben wird. Dies erfolgt durch eine Korrektur von den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parametern, vorzugsweise in einem geschlossenen Regelkreis.

[0023] Zur Erläuterung eines derartigen Regelkreises sei auf **Fig. 3** Bezug genommen. Der mit „Ist“ bezeichnete Block **15** enthält den aktuellen Kurbelwellenwinkel, bei dem die Verbrennungsdruckspitze (Kurve *c*) aufgetreten ist. Der aktuelle Kurbelwellenwinkel wurde, wie bereits erwähnt, von dem Betriebssteuergerät **13** aus dem Signal des Klopfensors **14** gewonnen. Der mit „Soll“ bezeichnete Block **16** stellt ein im Betriebssteuergerät **13** abgelegtes Kennfeld dar, in dem der optimale Kurbelwellenwinkel, bei dem die Verbrennungsdruckspitze auftreten soll, d.h. der optimale Zeitpunkt der Selbstzündung, in Abhängigkeit von beispielsweise der Drehzahl und Last der Brennkraftmaschine aufgetragen ist. Der aktuelle Winkel und der Sollwinkel werden dann in einer Stufe **18** miteinander verglichen. In Abhängigkeit von einer

etwaigen Differenz zwischen diesen beiden Winkeln erzeugt ein PID-Regler (Block **17**) ein Stellsignal (Stufe **19**), mit dem ein oder mehrere den Verbrennungsvorgang beeinflussende Parameter so geändert werden, dass die Differenz in der Stufe **18** verschwindet, d.h., dass der aktuelle Zündzeitpunkt zu dem Soll-Zündzeitpunkt hin verschoben wird.

[0024] Bei dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die Korrektur des Zeitpunkts der Selbstzündung mittels eines PID-Reglers. Wie bereits eingangs erwähnt, kann jedoch auch eine andere Korrekturfunktion einschließlich einer Lern- und Adaptionsfunktion verwendet werden.

[0025] Als den Verbrennungsvorgang beeinflussende Parameter kommen eine Zeitsteuerung (VVT = Variable Valve Time) und/oder eine Ventilhubverstellung (VVL = Variable Valve Lift) des Einlass- und Auslassventils **8** und/oder des Abgasrückführventils **12** und/oder eine Steuerung des Einspritzventils **9** (Einfach- oder Mehrfacheinspritzung) und/oder eine Änderung des Verdichtungsverhältnisses der Brennkraftmaschine u.a. in Frage. Da die Steuerung des Verbrennungsvorganges durch derartige Parameter grundsätzlich bekannt ist, sind hierzu keine weitere Erläuterungen erforderlich.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Verbrennungsvorganges einer Brennkraftmaschine (**1**), die zumindest zeitweise mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) betrieben werden kann, bei welchem Verfahren während eines Betriebs mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) die Verbrennungsdruckspitzen in zumindest einem Brennraum (**4**) der Brennkraftmaschine (**1**) mittels eines Klopfensors (**14**) detektiert werden und den Verbrennungsvorgang beeinflussende Parameter in Abhängigkeit von dem Signal des Klopfensors (**14**) optimiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Abhängigkeit von dem Signal des Klopfensors (**14**) die aktuelle Winkelposition der Kurbelwelle (**2**) der Brennkraftmaschine (**1**), bei der jeweils eine Verbrennungsdruckspitze auftritt, bestimmt wird und bei einer Abweichung der aktuellen Winkelposition von einer Soll-Winkelposition die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter so geändert werden, dass die aktuelle Winkelposition zu der Soll-Winkelposition hin verschoben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter mittels in einem elektronischen Betriebssteuergerät (**13**) abgelegten Kennfeldern (Block **16**) voreingestellt und in Abhängigkeit von dem Signal des Klopfensors (**14**) korrigiert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur der voreingestellten Parameter in einem geschlossenen Regelkreis (**Fig. 3**) erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter Stellgrößen für Aktoren eines Einlass-/Auslassventiles (**7, 8**) und/oder Abgasrückführventiles (**12**) und/oder Kraftstoffeinspritzventiles (**9**) und/oder zum Ändern des Verdichtungsverhältnisses der Brennkraftmaschine (**1**) sind.

6. Vorrichtung zum Steuern des Verbrennungsvorganges einer Brennkraftmaschine (**1**), die zumindest zeitweise mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) betrieben werden kann, mit einem Betriebssteuergerät (**13**) zum Steuern des Betriebs der Brennkraftmaschine (**1**) und einem Klopfensor (**14**), der während eines Betriebs mit kontrollierter Selbstzündung (HCCI) die Verbrennungsdruckspitzen in einem zugehörigen Brennraum (**4**) detektiert und dessen resultierendes Signal dem elektronischen Betriebssteuergerät (**13**) zugeführt wird, das in Abhängigkeit von diesem Signal die den Verbrennungsvorgang beeinflussenden Parameter der Brennkraftmaschine (**1**) optimiert.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

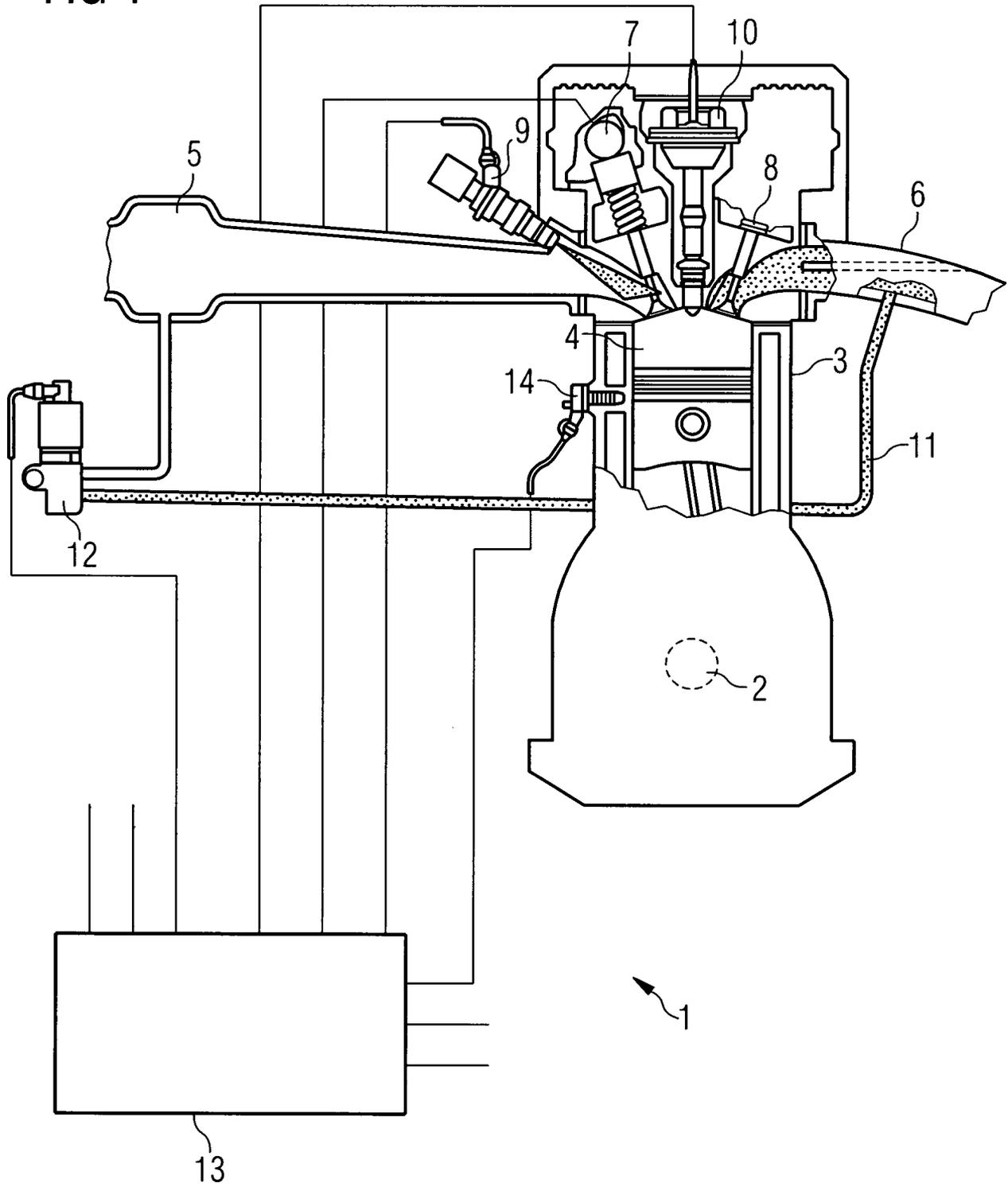


FIG 2

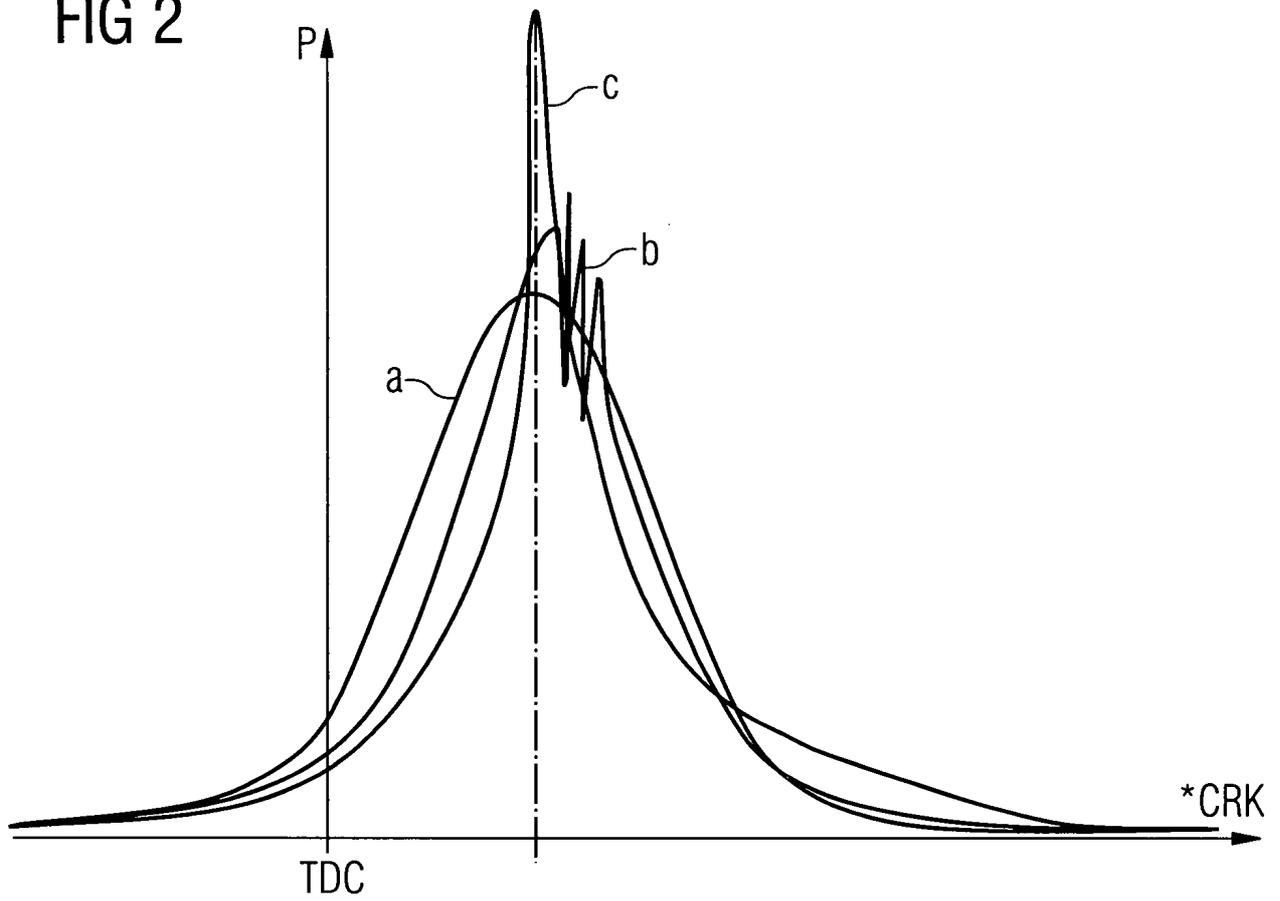


FIG 3

