

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Dezember 2014 (31.12.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/206541 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F02P 5/15 (2006.01) *F02P 17/12* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/001662
- (22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juni 2014 (18.06.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2013 010 685.0 26. Juni 2013 (26.06.2013) DE
- (71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH** [DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).
- (72) Erfinder: **BRENDLER, Stephan**; Hansjakobstraße 18, 88048 Friedrichshafen (DE). **RAINDL, Markus**; Bachstraße 17/1, 88214 Ravensburg (DE).
- (74) Anwalt: **WINTER, Josef**; ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS AG, Intellectual Property/CLP, Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KE, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD FOR REGULATING IGNITION ENERGY

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR REGELUNG DER ZÜNDENERGIE

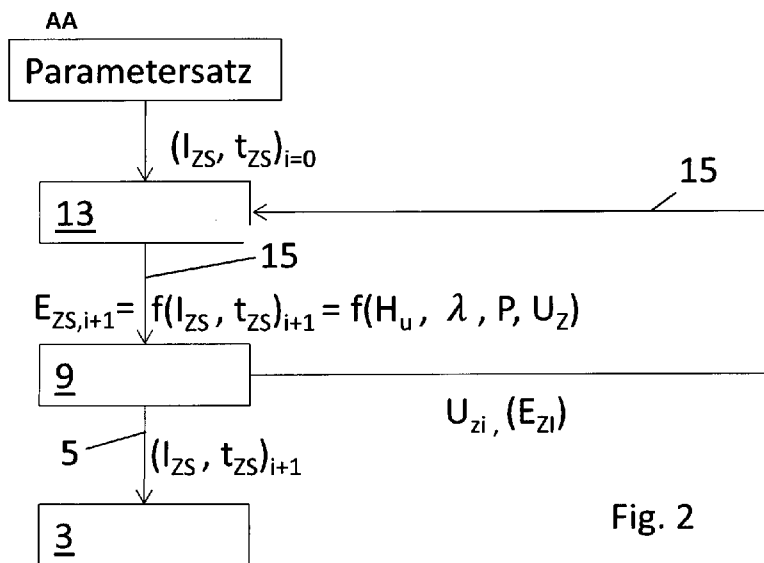


Fig. 2

AA Parameter set

Sekundärkreis (7) sowie eine im Sekundärkreis (7) an einem Brennraum der Brennkraftmaschine angeordnete Zündkerze (11) aufweist,

(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating ignition energy. The method is intended to be performed with an ignition system (1) of an internal combustion engine having spark ignition. Said ignition system (1) comprises an ignition coil (3), which has a primary circuit (5) and a secondary circuit (7), and a spark plug (11) arranged in the secondary circuit (7) on a combustion chamber of the internal combustion engine. For a current operating cycle (i+1) of the internal combustion engine, a setting ($E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) is determined as a function of a determined breakdown voltage ($U_{Z,i}$) of the preceding operating cycle (i) and is provided for regulating the ignition energy (E_Z) in the current operating cycle.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Regelung der Zündenergie, wobei das Verfahren zur Ausführung mit einem Zündsystem (1) einer Brennkraftmaschine mit Fremdzündung vorgesehen ist, welches Zündsystem (1) eine Zündspule (3) mit einem Primärkreis (5) und einem

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/206541 A1



wobei für ein aktuelles Arbeitsspiel (i+1) der Brennkraftmaschine eine Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(l_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) in Abhängigkeit einer ermittelten Durchbruchspannung ($U_{Z,i}$) je des vorhergehenden Arbeitsspiels (i) ermittelt und für die Regelung der Zündenergie (E_Z) im aktuellen Arbeitsspiel bereitgestellt wird.

Verfahren zur Regelung der Zündenergie

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Zündenergie gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Im Stand der Technik sind aus der Druckschrift DE 10 2010 015 998 A1 ein gattungsgemäßes elektronisches Zündverfahren sowie ein Zündsystem für eine fremdgezündete Brennkraftmaschine bekannt, welche im Fehlerfall die Zündenergie gegenregeln, d.h. auf einen Wert, bei dem Fehler, wie z.B. Zündaussetzer, wirksam vermieden sind.

Ausgehend hiervon liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein insbesondere mit einer Vorkammerzündkerze ausführbares Verfahren bereitzustellen, welches eine verbessert energieoptimierte und damit verschleißoptimierte Regelung von Zündvorgängen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausführungsformen der Erfindung sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

Vorgeschlagen wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Regelung der Zündenergie, wobei das Verfahren zur Ausführung mit einem Zündsystem einer Brennkraftmaschine mit Fremdzündung vorgesehen ist. Bevorzugt ist die fremdgezündete Brennkraftmaschine z.B. ein Gasmotor. Das mit dem Verfahren verwendbare Zündsystem weist eine Zündspule mit einem Primär(strom)kreis und einem Sekundär(strom)kreis sowie eine im Sekundärkreis an einem Brennraum (Zylinder) der Brennkraftmaschine angeordnete Zündkerze auf, insbesondere bevorzugt eine Vorkammerzündkerze.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass für ein aktuelles Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine eine Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) in Abhängigkeit einer ermittelten Durchbruchspannung, insbe-

sondere auch einer Ist-Zündenergie, je des vorhergehenden Arbeitsspiels ermittelt wird und für die Regelung der Zündenergie (im aktuellen Arbeitsspiel) bereitgestellt wird. Bevorzugt ist die Stellvorgabe zur Einstellung einer Mindestzündenergie im aktuellen Arbeitsspiel bereitgestellt.

Insbesondere durch die erfindungsgemäße Arbeitsspielauflösung kann über den Betrieb der Brennkraftmaschine vorteilhaft eine stets optimierte, insbesondere minimale Zündenergie bereitgestellt werden, so dass der Verschleiß der Zündkerze deutlich vermindert und somit die Standzeit erhöht ist, woneben Durchbruchspannung und Ist-Zündenergie auf vorteilhaft einfache Weise ermittelbar sind, zum Beispiel von handelsüblichen Zündsteuergeräten an einem Ausgang als abgreifbare Information bereits bereitgestellt werden.

Im Rahmen des vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahrens wird weiterhin bevorzugt, die aufzuwendende Zündenergie bzw. die Stellvorgabe für das aktuelle Arbeitsspiel weiterhin in Abhängigkeit einer Molekülkonzentration bzw. Dichte (des Gemisches) im Brennraum und dem Elektrodenabstand der Zündkerze und/oder wenigstens einer Motorbetriebsgröße aus Last, Heizwert, Brenngeschwindigkeit und Verbrennungsluftverhältnis, insbesondere je des vorhergehenden Arbeitsspiels, zu ermitteln.

O.a. angegebene (Motorbetriebs-)Größen (Dichte, Elektrodenabstand, Last, Heizwert, Brenngeschwindigkeit und Verbrennungsluftverhältnis), welche zum Beispiel Messgrößen sind oder berechnet werden, können für die Bereitstellung der Stellvorgabe in einer jeweiligen Regelschleife zum Beispiel mit einem Kennfeld korreliert werden (welches z.B. am Prüfstand generiert wurde).

Erfindungsgemäß wurde im Zusammenhang hiermit erkannt, dass gerade die Brenngeschwindigkeit (Funktion von Druck, Temperatur, Brennstoffkonzentration) und der Elektrodenabstand für die Ermittlung der jeweiligen Stellvorgabe(n) maßgebliche Größen darstellen und bevorzugt berücksichtigt werden. Insbesondere die Berücksichtigung des tatsächlichen Elektrodenabstands ermöglicht, auf die Mindestenergie im jeweiligen Arbeitsspiel hin regeln zu können. Es wurde festgestellt, dass je höher die Durchbruchsspannung liegt,

desto geringer wird der Funkendauerbedarf, d.h. der Zeitbedarf für die Glimmphase (die durch einen Vorgabewert für $t_{ZS,j}$ bzw. die Funkendauer wesentlich bestimmt wird).

Auf vorteilhaft besonders einfache Weise kann die Durchbruchspannung berechnet werden, zum Beispiel aus dem Verlauf des Primärstromes oder der Primärspannung (je im Primärkreis). Der Primärstrom kann hierzu zum Beispiel gemessen werden.

Im Rahmen des vorgeschlagenen Verfahrens ist vorgesehen, dass über die Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) für das aktuelle Arbeitsspiel eine Funkendauer und/oder ein Strom (im Sekundärkreis) im aktuellen Arbeitsspiel eingestellt werden, das heißt die Stellvorgabe je einen Vorgabewert für die Funkendauer und/oder den (im Sekundärkreis einzustellenden) Strom umfasst. Mittels des Vorgabewerts für den Strom kann bevorzugt die mittlere Sekundärstromhöhe vorgegeben werden. Eine Stellvorgabe bzw. Vorgabewerte für Strom oder Funkendauer kann bzw. können hierbei kennfeldbasiert ermittelt werden.

Allgemein ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Verfahren iterativ durchgeführt wird. Für den Anlauf des Verfahrens kann ein Startparametersatz bereitgestellt werden, welcher zum Beispiel durch den Motorparametersatz vorgegeben ist. Ein Parametersatz, welcher eine Startvorgabe enthält, kann zum Beispiel am (Motor)Prüfstand ermittelt werden.

Vorgeschlagen wird erfindungsgemäß auch ein Zündsystem zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Bevorzugt weist das Zündsystem einen Zündenergieregler auf, welcher weiterhin bevorzugt in Form des Motorreglers (ECU) bereitgestellt sein kann. Daneben kann ein Zündsteuerggerät vorgesehen sein, welches mit dem Zündenergieregler zusammenwirkt. Alternativ kann der Zündenergieregler auch die erfindungsgemäße Funktionalität des Steuergeräts aufweisen.

Zum Beispiel kann das Steuergerät dem Zündenergieregler die Information über die Sekundärspannung bzw. die Durchbruchspannung für die Regelung bereitstellen, insbesondere auch für die aufgewendete Zündenergie. Der Zündenergieregler wiederum kann die darauf basierend ermittelte Stellgröße für das aktuelle Arbeitsspiel an das Zündsteuergerät für die Bereitstellung der Zündenergie durch dasselbe übermitteln.

Das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren kann insbesondere mit einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine derart durchgeführt werden, dass die Zündenergie zylinderindividuell geregelt wird. Hierzu kann für jeden Zylinder für ein jeweiliges Arbeitsspiel eine Stellvorgabe ermittelt werden. Eine solche Stellvorgabe umfasst insbesondere eine zylinderindividuelle Vorgabe für die Funkendauer, insbesondere auch den Strom, zum Beispiel - wie vorstehend beschrieben - für die mittlere Sekundärstromhöhe.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnungen, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 exemplarisch und schematisch ein Zündsystem einer Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens gemäß einer möglichen Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 exemplarisch und schematisch ein Diagramm zur Veranschaulichung des Verfahrensablaufs gemäß einer möglichen Ausführungsform der Erfindung.

In der nachfolgenden Beschreibung und den Zeichnungen entsprechen Elemente gleicher oder vergleichbarer Funktion gleichen Bezugszeichen.

Fig. 1 veranschaulicht exemplarisch und stark vereinfacht ein Zündsystem 1 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Zündsystem 1, welches für eine Brennkraftmaschine (nicht dargestellt) bereitgestellt ist, weist eine Zündspule 3 mit einem Primär(strom)kreis 5 und einem Sekundär(strom)kreis 7 auf, wobei die Zündspule 3 als Energiespeicher und Transformator wirkt.

Die Primärseite 5 der Zündspule 3 ist über ein Zündsteuergerät 9 mit einem Strom bzw. Primärstrom versorgbar, welcher Primärstrom zur Erzeugung einer Hochspannung auf der Sekundärseite 7 geeignet unterbrechbar ist, zum Beispiel via einen Schalter der Primärseite 5 (nicht dargestellt). Der Schalter ist zum Beispiel ein IGBT oder allgemein ein transistorisierter Schalter, welcher insbesondere Bestandteil des Steuergeräts 9 sein kann.

Die induktionsbasiert erzeugte Hochspannung auf der Sekundärseite 7 ist dazu vorgesehen, an einer im Sekundärkreis 7 an einem Brennraum bzw. Zylinder der Brennkraftmaschine (nicht dargestellt) angeordneten Zündkerze 11, insbesondere in Form einer Vorkammerzündkerze, einen Zündfunken zu generieren, i.e. zwischen deren Elektroden 11a, 11b. Zu einer erfolgreichen Energieübertragung vom Zündfunken auf das zu zündende Brennstoff-Luft-Gemisch ist eine Mindestzündenergie erforderlich.

Mit dem Zündsteuergerät 9, welches eine Einstellmöglichkeit für die Funkendauer und bevorzugt auch des Stromangebots bereitstellt, zum Beispiel in Form einer PWM-Ausgabemöglichkeit (PWM Pulsweitenmodulation), wirkt weiterhin ein Zündenergieregler 13 zusammen, welcher bevorzugt durch einen Motorregler (ECU) der Brennkraftmaschine gebildet ist. Der Zündenergieregler 13 ist z.B. mit einem oder mehreren Sensoren verbunden (nicht dargestellt), welche für das Verfahren vorgesehene Motorbetriebsinformationen an den Regler 13 zur Verfügung stellen.

Fig. 2 veranschaulicht beispielhaft das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung der Zündenergie, welches mit vorstehend beschriebenem Zündsystem 1 einer Brennkraftmaschine ausführbar ist.

Bei dem Verfahren wird für ein aktuelles Arbeitsspiel $i+1$ der Brennkraftmaschine eine Stellvorgabe $E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1}) = f(U_{Z,i}, H_{U,i}, \lambda_i, P_i, v_{B,i})$ in Abhängigkeit einer ermittelten Durchbruchspannung U_Z , insbesondere auch einer Ist-Zündenergie E_{Zi} , je des vorhergehenden Arbeitsspiels i ermittelt und für die Regelung der Zündenergie E_Z im aktuellen Arbeitsspiel bereitgestellt, i.e. an das Steuergerät 9 übergeben. Das Steuergerät 9 stellt demgemäß Strom $I_{ZS,i+1}$ und Funkendauer $t_{ZS,i+1}$ an der Zündkerze 11 via Zündspule 3 gemäß $I_{ZS,i+1}$ und $t_{ZS,i+1}$ ein (angemerkt sei hierbei, dass die Indizierung I einen Istwert, die Indizierung S einen Sollwert bzw. eine Vorgabe, und Z einen Zündvorgang bezeichnen soll).

Anhand der Höhe der (zylinderindividuellen) Durchbruchspannung U_Z kann im Rahmen des vorgeschlagenen Verfahrens die neue Funkendauer $t_{ZS,i+1}$ festgelegt werden, wobei gilt, dass die neue bzw. aktuelle Funkendauer $t_{ZS,i+1}$ umso geringer eingestellt wird, je höher die Durchbruchspannung U_Z im vorangegangenen Arbeitsspiel ist. Des Weiteren wird die Höhe des (Speise)Stromes I_{ZS} mit dem Zündzeitpunkt (ZZP) und der aus Heizwert, Lambda, Druck und Temperatur im Brennraum abschätzbaren Brenngeschwindigkeit korreliert. Hierbei gilt, dass der (Speise)Strom I_Z mit steigender Brenngeschwindigkeit und späterem ZZP reduziert werden kann bzw. wird. Die Verstellgrenzen für die Parameter Funkendauer t_Z und Speisestrom I_Z werden nach oben durch das Leistungsvermögen des Zündsteuergerätes 9 und nach unten zum Beispiel aus dem Anspruch an die Motorlaufruhe vorgegeben.

Die Durchbruchspannung U_Z als auch die Ist-Zündenergie E_{Zi} , i.e. die des jeweiligen Arbeitsspiels, wird bevorzugt von dem Zündsteuergerät 9 an den Regler 13 gemeldet, s. Rückkopplungspfad bzw. Schnittstelle 15 in Figs. 1 und 2. Bevorzugt wird die Durchbruchspannung U_Z des jeweiligen Arbeitsspiels abgeschätzt, insbesondere aus einem Primärstromverlauf des Arbeitsspiels vorteilhaft unaufwändig berechnet. Das Steuergerät 9 kann hierzu geeignet ausgebildet sein. Alternativ kann die Durchbruchspannung U_Z zum Beispiel gemessen werden.

Für das erste Arbeitsspiel, indiziert $i=0$ in Fig. 2, wird ein am Motorprüfstand ermittelter Parametersatz mit Startvorgaben für die anfängliche Funkendauer $t_{zS,i=0}$ und den einzustellenden Strom im Sekundärkreis $I_{zS,i=0}$ als Stellvorgabe für E_z verwendet, s. Fig. 2. Die Startwerte können im Regler 13 hinterlegt sein.

Im Rahmen des Regelverfahrens wird die aufzuwendende Zündenergie E_z für das aktuelle Arbeitsspiel ($i+1$) weiterhin bevorzugt in Abhängigkeit einer Dichte im Brennraum und dem Elektrodenabstand der Zündkerze 11 und/oder wenigstens einer Motorbetriebsgröße aus Last P , Heizwert H_U und Verbrennungsluftverhältnis λ je des vorhergehenden Arbeitsspiels ermittelt, s. z.B. Fig. 2, wonach die Stellvorgabe(n) $E_{zS,i+1}$ bzw. $(I_{zS}, t_{zS})_{i+1}$ als Funktion von H_U , λ , P und U_z ermittelt wird bzw. werden.

Darauf wird nachfolgend, insbesondere in Zusammenschau mit Fig. 2 noch näher eingegangen.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass aus einer Vielzahl chemischer und physikalischer Einflussfaktoren, welche im Rahmen der Zündenergieaufbringung zu berücksichtigen sein könnten, der Elektrodenabstand EA an der Zündkerze 11, insbesondere auch der Heizwert H_U , das Verbrennungsluftverhältnis λ und die momentane Leistungsabgabe P (alles Einflussgrößen der Verbrennungsgeschwindigkeit), als wesentlich zu berücksichtigen sind. Deren Einfluss kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens für eine optimierte Zündenergiebereitstellung ausgeregelt werden bzw. wird ausgeregelt.

Allgemein gilt für die aufzubringende Mindestenergie eines jeweiligen Zündvorgangs (Verbrennungsgeschwindigkeit $v_B = f(P, \lambda, H_U)$):

$$E_{z,Min} = f(P, \lambda, H_U, EA) \quad (1)$$

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass für die Zündenergie gilt:

$$E_z = \int U(t)I_z(t)dt \quad (2)$$

Auf den Gesetzmäßigkeiten (1) und (2) basierend kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens je Arbeitsspiel eine Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1}$ in Fig. 2) für die aufzuwendende Energie E_Z , insbesondere für eine korrespondierende Einstellung des Stromes I_Z und/oder der Funkendauer t_Z ermittelt werden. In Abhängigkeit der jeweiligen Motorbetriebssituation sind die Störgrößen P , λ , H_U , EA im Hinblick auf ihre Wirkung als solche jedoch differenziert zu betrachten.

Hierbei wurden folgende Zusammenhänge als wesentlich identifiziert und der Regelung für die Ermittlung der Stellvorgabe E_{ZS} eines jeweiligen Arbeitsspiels zu Grunde gelegt:

$$P \uparrow \text{ dann } U_Z \uparrow \uparrow, I_Z \downarrow \downarrow \text{ und } t_Z \downarrow \downarrow = f(U_Z)$$

$$\lambda \uparrow \text{ dann } U_Z \uparrow, I_Z \uparrow \text{ und } t_Z \uparrow = f(v_B)$$

$$H_U \uparrow \text{ dann } U_Z \downarrow, I_Z \downarrow \text{ und } t_Z \downarrow = f(v_B)$$

$$EA \uparrow \text{ dann } U_Z \uparrow \uparrow, I_Z \downarrow \downarrow \text{ und } t_Z \downarrow \downarrow = f(U_Z)$$

Ersichtlich sind die Brenngeschwindigkeit v_B des verdichteten Gemischs und die Durchbruchsspannung U_Z signifikant. Im Rahmen von Versuchsreihen wurde erkannt, dass der Einfluss des Heizwerts H_U bei einem Gasmotor und der Verwendung von Brennstoff in Form von Erdgas relativ gering ist. Ebenso wurde herausgefunden, dass das Luftverhältnis λ bei Erdgasanwendungen nicht signifikant ist, jedoch bei Sondergasanwendungen, wie zum Beispiel bei Biogas oder Wasserstoff, relevant sein könnte.

Weiterhin wird für die Ermittlung einer jeweiligen Stellvorgabe E_{ZS} im Rahmen des Verfahrens berücksichtigt, dass gelten darf

$$U_Z = c * \rho_Z(ZZP) * EA \quad (3)$$

mit

U_Z Durchbruchsspannung [V]

c Proportionalitätskonstante [Vm^2/kg]

$\rho_Z(ZZP)$ Dichte des Gemisches im

Zylinder zum Zündzeitpunkt [kg/m^3]
 EA Elektrodenabstand der Zündkerze [m]

wobei die Dichte $\rho_z(\text{ZZP})$ zum Beispiel anhand des Motorbetriebspunkts ermittelbar ist.

Unter Kenntnis von U_z und $\rho_z(\text{ZZP})$ kann erfindungsgemäß somit sowohl der Elektrodenabstand EA als auch die für die aufzuwendende Zündenergie E_{zS} bzw. einzustellende Funkendauer t_{zS} und der mittlere Sekundärstrom I_{zS} abgeschätzt werden. Im Rahmen des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Regelverfahrens wird zur Einstellung der Funkendauer t_z und des Stroms I_z (Primär- oder Sekundärstrom) bzw. der aufzuwendenden Zündenergie E_z bevorzugt auch die Brenngeschwindigkeit in Abhängigkeit von Druck, Temperatur, Heizwert und Lambda des Gemisches im Brennraum berücksichtigt, insoweit als bei einem bestimmten

$$U_z/EA \quad (4)$$

ein bestimmter mittlerer Sekundärstrom I_z bzw. eine bestimmte Funkendauer t_z (I_z und $t_z = f(E_{z,\min})$) für eine erfolgreiche Zündung benötigt wird. Über eine versuchstechnische Untersuchung lässt sich letzterer Zusammenhang empirisch ermitteln, kann aber auch aufgrund einer Schätzung von Brenngeschwindigkeit und Funkenvolumen korreliert werden.

Bei der verfahrensgemäßen Regelung der Zündenergie E_z wird (a) die Sekundärspannung bzw. Durchbruchspannung $U_{z,i}$ über die Schnittstelle 15 vom Zündsteuergerät 9 an den Zündenergieregler 13 zurückgemeldet. Zusammen mit weiteren Größen wie P_i , $H_{u,i}$ und λ_i wird (b) die übermittelte Durchbruchspannung $U_{z,i}$ zur Neuberechnung von $E_{zS,i+1}$ in den Regler 13 eingesetzt. Nach (c) Berechnung von $E_{zS,i+1}$ wird diese ermittelte Stellvorgabe über die Kommunikationsschnittstelle 15 (d) an das Zündsteuergerät 9 zurückgemeldet.

In der Folge wird (e) $E_{zS,i+1} = f(I_{zS,i+1}, t_{zS,i+1})$ im Steuergerät 9 umgesetzt und ab sofort (f) in den Primärkreis 5 bzw. über die Zündspule 3 in den Sekun-

därkreis 7 gespeist, womit die Zündkerze 11 einen geänderten Sekundärstrom I_z sowie eine geänderte Zündfunkendauer t_z erhält. Nachfolgend werden die Schritte (a) bis (f) im Rahmen der iterativen Verfahrensausführung wiederholt.

Mittels des Verfahrens wird der Zündkerze 11 bedarfsgerecht Energie in Abhängigkeit von Leistung, Heizwert, Emission des Motors und dem Verschleißzustand der Zündkerze 11 zugeführt. Gegenüber einer z.B. konstanten Zündparametereinstellung wird dadurch der Kerzenverschleiß signifikant reduziert und somit für den Motorbetreiber eine deutliche Betriebskostenreduktion erreicht.

Des Weiteren können mit diesem Verfahren sehr kleine Zündkerzen-Elektrodenabstände betrieben werden, ohne die dafür notwendig überproportional hohen Zündenergien über die ganze Standzeit einer Zündkerze 11 fahren zu müssen, da über die Sekundärspannung jederzeit der Verschleißzustand der Kerze 11 abgeschätzt werden kann. Weiterhin kann eine Service- bzw. Austauschempfehlung an den Motorbetreiber über den Motorregler 13 und eine angebundene Alarmkommunikationsschnittstelle ausgegeben werden, wodurch der Verschleiß ebenfalls anwendungsbezogen optimiert werden kann – dies gilt individuell für jeden Zylinder, jede Betriebslast des Motors und jede chemische Beanspruchung aus dem Hauptbrennraum, die alle den Verschleiß der Zündkerze 11 mitbestimmen.

Bezugszeichen

1	Zündsystem
3	Zündspule
5	Primärkreis
7	Sekundärkreis
9	Zündsteuergerät
11	Zündkerze
11a, b	Elektrode
13	Zündenergieregler
15	Schnittstelle

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Zündenergie, wobei das Verfahren zur Ausführung mit einem Zündsystem (1) einer Brennkraftmaschine mit Fremdzündung vorgesehen ist, welches Zündsystem (1) eine Zündspule (3) mit einem Primärkreis (5) und einem Sekundärkreis (7) sowie eine im Sekundärkreis (7) an einem Brennraum der Brennkraftmaschine angeordnete Zündkerze (11) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass für ein aktuelles Arbeitsspiel (i+1) der Brennkraftmaschine eine Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) in Abhängigkeit einer ermittelten Durchbruchspannung ($U_{Z,i}$) je des vorhergehenden Arbeitsspiels (i) ermittelt und für die Regelung der Zündenergie (E_Z) im aktuellen Arbeitsspiel bereitgestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1}$) für das aktuelle Arbeitsspiel (i+1) weiterhin in Abhängigkeit einer Dichte ($\rho_Z(ZZP)$) im Brennraum und dem Elektrodenabstand (EA) der Zündkerze (11) und/oder wenigstens einer Motorbetriebsgröße aus Last (P), Heizwert (H_u), Brenngeschwindigkeit (v_B) und Verbrennungsluftverhältnis (λ) je des vorhergehenden Arbeitsspiels (i) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchbruchspannung (U_Z) berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchbruchspannung (U_Z) aus dem Verlauf des Primärstromes (I_Z) und oder der Primärspannung berechnet wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass über die Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(I_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) ein Strom (I_{ZS}) und/oder eine Funkendauer (t_{ZS}) im aktuellen Arbeitsspiel (i+1) eingestellt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(l_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) kennfeldbasiert ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren iterativ durchgeführt wird.
8. Zündsystem (1) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
9. Zündsystem (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Zündsystem (1) einen Zündenergieregler (13) sowie ein Zündsteuergerät (9) aufweist, wobei die Stellvorgabe ($E_{ZS,i+1} = f(l_{ZS,i+1}, t_{ZS,i+1})$) von dem Zündenergieregler (13) an das Zündsteuergerät (9) bereitgestellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder Zündsystem (1) nach einem der Ansprüche 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündkerze eine Vorkammerzündkerze und/oder die Brennkraftmaschine ein Gasmotor ist.

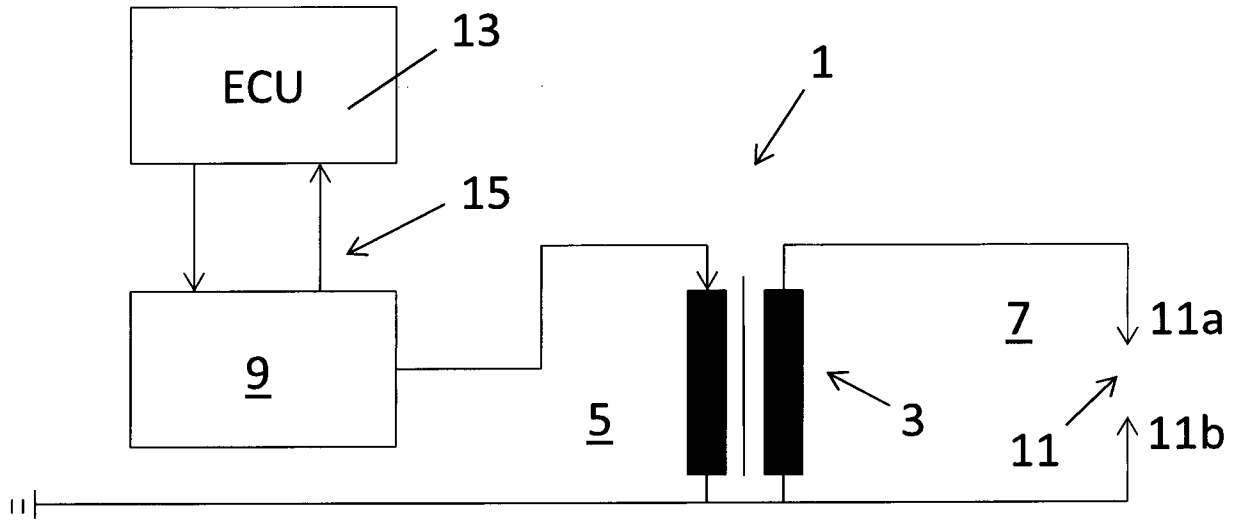


Fig. 1

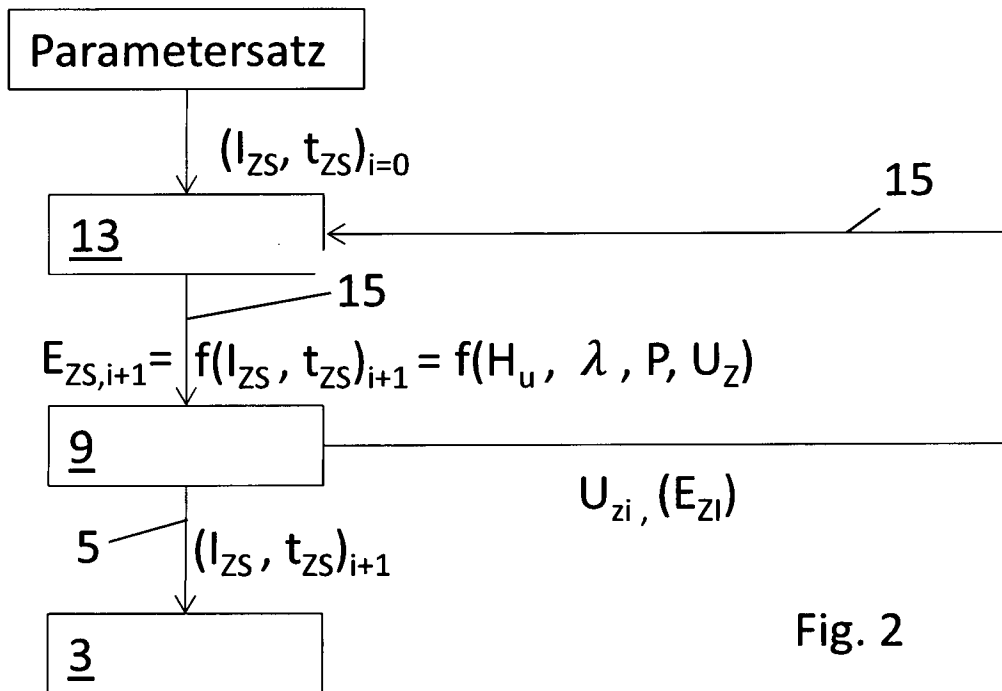


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/001662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F02P5/15 F02P17/12
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F02P
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 408 242 B1 (TOZZI LUIGI P [US]) 18 June 2002 (2002-06-18)	1,2,5-10
Y	abstract; claims 7-14; figures 1,2a,3a,6a,6b column 3, line 13 - column 3, line 32 column 4, line 38 - column 4, line 44 column 9, line 16 - column 14, line 43 column 17, line 65 - column 18, line 53 column 20, line 33 - column 20, line 48 -----	3,4
X	US 5 513 620 A (PYKO JAN S [US] ET AL) 7 May 1996 (1996-05-07) abstract; claims 1,2; figures 3,4 column 1, line 47 - column 2, line 11 column 3, line 7 - column 4, line 67 ----- -/--	1,5,7-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Date of the actual completion of the international search 16 September 2014	Date of mailing of the international search report 25/09/2014
------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Van der Staay, Frank
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/001662

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 196 08 526 A1 (BREMICKER AUTO ELEKTRIK [DE] BREMI AUTO ELEK K BREMICKER GM [DE]) 11 September 1997 (1997-09-11) abstract; claims 1,12 column 2, line 48 - column 3, line 3 column 4, line 16 - column 4, line 28 -----	3,4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/001662

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6408242	B1	18-06-2002	NONE

US 5513620	A	07-05-1996	NONE

DE 19608526	A1	11-09-1997	DE 19608526 A1 11-09-1997
			FR 2745856 A1 12-09-1997
			IT MI970479 A1 04-09-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/001662

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02P5/15 F02P17/12 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTER GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02P		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 408 242 B1 (TOZZI LUIGI P [US]) 18. Juni 2002 (2002-06-18)	1,2,5-10
Y	Zusammenfassung; Ansprüche 7-14; Abbildungen 1,2a,3a,6a,6b Spalte 3, Zeile 13 - Spalte 3, Zeile 32 Spalte 4, Zeile 38 - Spalte 4, Zeile 44 Spalte 9, Zeile 16 - Spalte 14, Zeile 43 Spalte 17, Zeile 65 - Spalte 18, Zeile 53 Spalte 20, Zeile 33 - Spalte 20, Zeile 48 -----	3,4
X	US 5 513 620 A (PYKO JAN S [US] ET AL) 7. Mai 1996 (1996-05-07) Zusammenfassung; Ansprüche 1,2; Abbildungen 3,4 Spalte 1, Zeile 47 - Spalte 2, Zeile 11 Spalte 3, Zeile 7 - Spalte 4, Zeile 67 ----- -/--	1,5,7-9
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 16. September 2014		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 25/09/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Van der Staay, Frank

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 196 08 526 A1 (BREMICKER AUTO ELEKTRIK [DE] BREMI AUTO ELEK K BREMICKER GM [DE]) 11. September 1997 (1997-09-11) Zusammenfassung; Ansprüche 1,12 Spalte 2, Zeile 48 - Spalte 3, Zeile 3 Spalte 4, Zeile 16 - Spalte 4, Zeile 28 -----	3,4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/001662

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6408242	B1	18-06-2002	KEINE

US 5513620	A	07-05-1996	KEINE

DE 19608526	A1	11-09-1997	DE 19608526 A1 11-09-1997
			FR 2745856 A1 12-09-1997
			IT MI970479 A1 04-09-1998
