



(10) **DE 10 2014 116 128 A1** 2016.05.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 116 128.9**

(22) Anmeldetag: **05.11.2014**

(43) Offenlegungstag: **12.05.2016**

(51) Int Cl.: **F02P 17/00 (2006.01)**

F02D 41/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
**VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT, 38440
Wolfsburg, DE**

(74) Vertreter:
**MFG Patentanwälte Meyer-Wildhagen Meggle-
Freund Gerhard PartG mbB, 80799 München, DE**

(72) Erfinder:
**Jeschke, Jens, 38106 Braunschweig, DE; Piewek,
Jan, 39128 Magdeburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

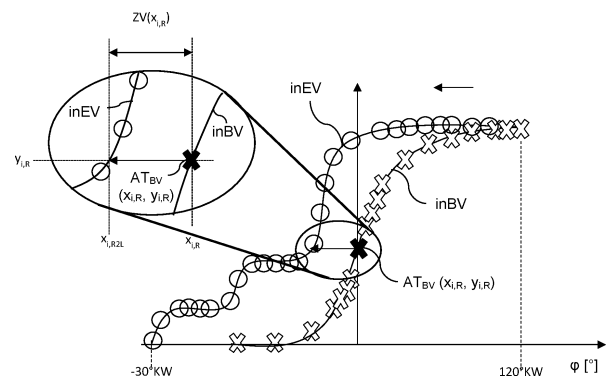
DE 10 2008 042 925	B3
DE 10 2012 018 617	B3
DE 10 2007 012 604	A1
DE 10 2007 013 119	A1
US 2005 / 0 183 697	A1
WO 2009/ 143 858	A1
JP H05- 172 699	A

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Steuervorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs (ZVV) einer Verbrennungskraftmaschine, der einen zeitlichen Verzug zwischen einem Energieeinbringungsverlauf und einem Energieumsetzungsverlauf der Verbrennungskraftmaschine repräsentiert. Das Verfahren umfasst das Erhalten (20) eines Energieumsetzungsverlaufs (BV) der Verbrennungskraftmaschine, das Erhalten (21) eines Energieeinbringungsverlaufs (EV) der Verbrennungskraftmaschine und das Ermitteln (22) des Zündverzugsverlaufs (ZVV) auf Grundlage des Energieeinbringungsverlaufs (EV) und auf Grundlage des Energieumsetzungsverlaufs (BV).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Steuervorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere ein Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine, ein Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität, ein Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsvlaufsmusters einer Verbrennungskraftmaschine und eine Steuervorrichtung einer Verbrennungskraftmaschine zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs.

[0002] Steigende Anforderungen an Verbrennungskraftmaschinen hinsichtlich Verbrauch, Emissionen und Leistung führen bisher zu komplexen Komponenten und zu komplizierten und rechenaufwändigen Ansteuerungsverfahren. Beim Ansteuern der Verbrennungskraftmaschine werden unterschiedliche Parameter, beispielsweise die Einspritzung betreffende Parameter oder weitere Verstellparameter der Verbrennungskraftmaschine wie die Zylinderfüllung und/oder die Abgasrückführrate, so verstellt, dass ein tatsächlicher Brennverlauf (Ist-Brennverlauf) annähernd einem gewünschten Brennverlauf (Sollbrennverlauf) entspricht.

[0003] Um Parameter, die die Einspritzung betreffen, vorab zu bestimmen, kann zum Beispiel eine Zündverzugszeit als Einzelwert pro Verbrennungszyklus oder als Einzelwert pro Einspritzereignis berücksichtigt werden. Beispielsweise beschreibt die DE 10 2012 018 617 B3 ein Verfahren zum Beeinflussen eines Betriebszustands einer Verbrennungskraftmaschine mit Hilfe eines Brennverlaufsmodells und einer Zündverzugszeit, wobei das Brennverlaufsmodell auf Grundlage von wenigen Stützpunkten bereitgestellt ist. Auf Grundlage dieses Brennverlaufsmodells lässt sich die Verbrennungskraftmaschine jedoch nicht ausreichend genau ansteuern.

[0004] Außerdem ist es bekannt, Einspritzparameter auf Basis einer iterativ lernenden Regelung unter Berücksichtigung eines Brennverlaufs zu bestimmen, wie in der DE 10 2007 012 604 A1 und der DE 10 2007 013 119 A1 beschrieben wird. Ein Zuordnungsproblem kann über eine empirische Verschiebefunktion gelöst werden, die von Randbedingungen der Verbrennung abhängt und an Betriebsbedingungen angepasst werden muss. Aufgrund von stark variierenden Betriebsbedingungen ist das Bereitstellen der empirischen Verschiebefunktion jedoch aufwendig und die bereitgestellte empirische Verschiebefunktion ist wenig robust.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine, ein Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraft-

stoffqualität, ein Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsvlaufsmusters und eine Steuervorrichtung zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs bereitzustellen, die die oben genannten Nachteile wenigstens teilweise überwinden.

[0006] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1, und das Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität nach Anspruch 8, das Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsvlaufsmusters nach Anspruch 9 und die Steuervorrichtung zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs nach Anspruch 10 gelöst.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine, der einen zeitlichen Verzug zwischen einem Energieeinbringungsverlauf und einem Energieumsetzungsverlauf der Verbrennungskraftmaschine repräsentiert, umfassend: Erhalten eines Energieeinbringungsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine; Erhalten eines Energieumsetzungsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine; und Ermitteln des Zündverzugsverlaufs auf Grundlage des Energieeinbringungsverlaufs und auf Grundlage des Energieumsetzungsverlaufs.

[0008] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität umfassend: Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine für einen ersten Arbeitszyklus der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere gemäß einem Verfahren nach dem ersten Aspekt; Ermitteln einer Abweichung des bestimmten Zündverzugsverlaufs von einem hinterlegten Zündverzugsverlauf; und Erkennen der Änderung der Kraftstoffqualität auf Grundlage der ermittelten Abweichung.

[0009] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsvlaufsmusters einer Verbrennungskraftmaschine, umfassend: Bestimmen eines Referenzpunktes in einem Energieumsetzungsverlaufsintegral eines vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufs; Ermitteln eines dem Referenzpunkt zugeordneten Zündverzugs auf Grundlage eines Zündverzugsverlaufs, insbesondere eines gemäß einem Verfahren nach dem ersten Aspekt bestimmten Zündverzugsverlaufs; und Bestimmen der absoluten Lage eines Energieeinbringungsverlaufsmusters auf Grundlage des Referenz-

punkts, des ermittelten Zündverzugs und eines Verbrennungsschwerpunktsollwerts.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine Steuervorrichtung einer Verbrennungskraftmaschine zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine, wobei die Steuervorrichtung dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der vorherigen Aspekte durchzuführen.

[0011] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

[0012] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine, beispielsweise einer Dieselmotorkraftmaschine, die zum Beispiel ein Direkteinspritzsystem oder ein Speichereinspritzsystem (Common-Rail-Einspritzsystem) aufweist, oder eines Ottomotors. Der Zündverzugsverlauf repräsentiert einen zeitlichen Verzug zwischen einem Energieeinbringungsverlauf und einem Energieumsetzungsverlauf der Verbrennungskraftmaschine. Der Energieeinbringungsverlauf kann ein Einspritzverlauf der Verbrennungskraftmaschine sein, der Energieumsetzungsverlauf kann ein Brennverlauf oder ein Heizverlauf sein. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst das Erhalten eines Energieumsetzungsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine und das Erhalten eines Energieeinbringungsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine. Das Erhalten des Energieumsetzungsverlaufs und das Erhalten des Energieeinbringungsverlaufs können gleichzeitig oder in beliebiger Reihenfolge erfolgen. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst außerdem das Ermitteln des Zündverzugsverlaufs auf Grundlage des Energieeinbringungsverlaufs und auf Grundlage des Energieumsetzungsverlaufs. Der Zündverzugsverlauf kann in Abhängigkeit der Zeit oder eines Kurbelwellenwinkels einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine ermittelt werden.

[0013] Der ermittelte Zündverzugsverlauf, der einen zeitlichen Verzug zwischen Energieeinbringung, beispielsweise Einspritzung, und Energieumsetzung, beispielsweise Verbrennung, beschreibt, ermöglicht es, einen oder mehrere die Verbrennung der Verbrennungskraftmaschine beeinflussende Parameter in Abhängigkeit vom Zündverzugsverlauf einzustellen, so dass sich beim Betrieb der Verbrennungskraftmaschine ein Energieumsetzungsverlauf ergibt, der einem Sollenergieumsetzungsverlauf ähnelt, beispielsweise ein Brennverlauf, der einem Sollbrennverlauf ähnelt.

[0014] Der Energieumsetzungsverlauf, zum Beispiel der Brennverlauf, liegt beispielsweise als Wärmemenge bzw. umgesetzte Energie im Zylinder der

Verbrennungskraftmaschine in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkels einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine oder in Abhängigkeit einer Zeit vor. Der Energieumsetzungsverlauf kann auf Grundlage mehrerer Abtastpunkte gebildet sein und die Abtastpunkte und/oder eine Interpolationskurve, die näherungsweise die Abtastpunkte abbildet, beispielsweise durch diese verläuft, enthalten. Beispielsweise ist der Energieumsetzungsverlauf aus einem zeitlich hochaufgelösten Signal erzeugt. Die Abtastpunkte können auf Grundlage eines Messsignals einer Zylinderdruckmessung ermittelt sein. Der Energieumsetzungsverlauf kann auch eine Simulationskurve sein oder enthalten, die aus einer Simulation, beispielsweise einer Simulation einer Zylinderdruckveränderung, ermittelt ist. Der Energieumsetzungsverlauf kann mehrere Orientierungspunkte, die beispielsweise in konstanten Abständen oder beliebig über den Energieumsetzungsverlauf verteilt sind, oder auf einer Messung basierende Abtastpunkte enthalten.

[0015] Der Energieeinbringungsverlauf, zum Beispiel der Einspritzverlauf, liegt beispielsweise als eingespritzte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkels einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine oder in Abhängigkeit einer Zeit vor. Der Energieeinbringungsverlauf kann eine oder mehrere Voreinspritzungen, eine oder mehrere Haupteinspritzungen und eine oder mehrere Nacheinspritzungen enthalten. Die einzelnen Einspritzungen können komplexe Formen aufweisen und zum Beispiel als Boot-Einspritzung (schuhförmiger Energieeinbringungsverlauf), Ramp-Einspritzung (dreieckiger Energieeinbringungsverlauf) oder Square-Einspritzung (rechteckiger Energieeinbringungsverlauf) geformt sein. Der Energieeinbringungsverlauf kann auf Grundlage eines Modells, das beispielsweise den Einspritzbeginn, die Einspritzmenge und die Einspritzdauer jeder Teileinspritzung berücksichtigt, gebildet sein. In das Modell können zusätzliche, die Einspritzung beeinflussende Parameter, wie ein Einspritzdruck und/oder ein globales Injektorkennfeld, einfließen. Alternativ kann der Energieeinbringungsverlauf gemessen sein. Der Energieeinbringungsverlauf kann mehrerer Orientierungspunkte, die beispielsweise in konstanten Abständen oder beliebig über den Energieeinbringungsverlauf verteilt sind, oder auf einer Messung basierende Abtastpunkte enthalten.

[0016] Der Brennverlauf kann während einer vorgegebenen Zeitspanne, beispielsweise während eines Einspritz- und Verbrennungszyklus oder während eines Arbeitszyklus der Verbrennungskraftmaschine, erhalten werden. Die Zeitspanne kann als weiteres Beispiel aber auch mehrere Arbeitszyklen der Verbrennungskraftmaschine andauern. Unter Einspritz- und Verbrennungszyklus kann eine Zeitspanne von einem Beginn eines Einspritzvorgangs, der eine Vor-

einspritzung, eine Haupteinspritzung und/oder eine Nacheinspritzung enthalten kann, bis zu einem Ende einer durch diesen Einspritzvorgang bewirkten Verbrennung zu verstehen sein. Unter Arbeitszyklus der Verbrennungskraftmaschine ist eine Zeitspanne zu verstehen, die die Phasen Ansaugen, Verdichten, Expandieren und Ausschleiben der Verbrennungskraftmaschine enthält und einen vollständigen Einspritz- und Verbrennungszyklus enthält.

[0017] Zum Erhalten des Energieumsetzungsverlaufs kann beispielsweise von einem Sensor, zum Beispiel von einem Drucksensor im Zylinder der Verbrennungskraftmaschine, oder von einer Speichervorrichtung ein Signal, das mehrere Abtastwerte enthält, empfangen werden und eine Interpolationskurve der Abtastpunkte gebildet werden. Das Bilden der Interpolationskurve kann mittels eines Interpolationsverfahrens, beispielsweise einer linearen Interpolation oder einer Spline-Interpolation, erfolgen. Das Erhalten des Energieumsetzungsverlaufs kann zusätzlich das Aufnehmen eines Messsignals, beispielsweise das Messen des Zylinderdrucks, und/oder das Umwandeln des Messsignals in eine Energieumsetzungsverlaufgröße, beispielsweise das Umwandeln der gemessenen Zylinderdruckwerte in Wärmemengenwerte, enthalten. Alternativ oder zusätzlich kann zum Erhalten des Energieumsetzungsverlaufs beispielsweise von einer Simulationseinrichtung oder einer Speichervorrichtung ein Signal empfangen werden, das eine Simulationsfunktion oder eine Interpolationsfunktion enthält, die den Energieumsetzungsverlauf repräsentieren.

[0018] Das Erhalten des Energieeinbringungsverlaufs enthält beispielsweise das Erhalten eines Modells eines Energieeinbringungsverlaufs, das auf Grundlage von Energieeinbringungsparametern (zum Beispiel Einspritzparametern), die einem der Energieumsetzung (zum Beispiel der Verbrennung) zugeordneten, beispielsweise vorangehenden und/oder gleichzeitigen, Energieeinbringungsverlauf (zum Beispiel Einspritzvorgang) zugrunde liegen, erzeugt ist. Das Modell kann beispielsweise von einer Simulationseinrichtung oder einer Speichervorrichtung empfangen werden, oder direkt auf Grundlage der Einspritzparameter, insbesondere eines Einspritzbeginns, einer Einspritzdauer und einer Einspritzmenge jeder Teileinspritzung, erzeugt werden.

[0019] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren kann das Ermitteln des Zündverzugsverlaufs das Bilden eines Energieeinbringungsverlaufsintegrals des Energieeinbringungsverlaufs, das Bilden eines Energieumsetzungsverlaufsintegrals des Energieumsetzungsverlaufs und das Anpassen des Energieeinbringungsverlaufsintegrals und des Energieumsetzungsverlaufsintegrals aneinander umfassen. Das Bilden des Energieeinbringungsverlaufsintegrals und

des Energieumsetzungsverlaufsintegrals kann das Berechnen eines Flächeninhalts unter dem Energieeinbringungsverlauf bzw. unter dem Energieumsetzungsverlauf, zum Beispiel unter einer Simulationskurve des Energieeinbringungsverlaufs bzw. einer Interpolationskurve des Energieumsetzungsverlaufs, umfassen. Das Anpassen des Energieeinbringungsverlaufsintegrals und des Energieumsetzungsverlaufsintegrals kann das Normieren des Energieeinbringungsverlaufsintegrals und des Energieumsetzungsverlaufsintegrals enthalten. Alternativ kann das Energieeinbringungsverlaufsintegral durch Multiplikation mit einem geeigneten Faktor an das Energieumsetzungsverlaufsintegral oder das Energieumsetzungsverlaufsintegral durch Multiplikation mit einem geeigneten Faktor an das Energieeinbringungsverlaufsintegral angepasst werden.

[0020] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren kann das Ermitteln des Zündverzugsverlaufs weiter das Bestimmen eines ersten Zündverzugswertes von einem vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkt des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals zu einem Punkt des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert des Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkts und einem Faktor a entspricht, für mehrere vorgegebene Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkte und das Erzeugen eines ersten Zündverzugsverlaufs auf Grundlage der bestimmten ersten Zündverzugswerte umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann das Ermitteln des Zündverzugsverlaufs weiter das Bestimmen eines zweiten Zündverzugswertes von einem vorgegebenen Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkt des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals zu einem Punkt des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert des Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkts und dem Faktor a entspricht, für mehrere vorgegebene Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkte und das Erzeugen eines zweiten Zündverzugsverlaufs auf Grundlage der bestimmten zweiten Zündverzugswerte umfassen. Der Zündverzugsverlauf kann die Vereinigungsmenge des ersten Zündverzugsverlaufs und des zweiten Zündverzugsverlaufs sein oder dem ersten Zündverzugsverlauf oder dem zweiten Zündverzugsverlauf entsprechen.

[0021] Die vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkte können den Orientierungspunkten oder den Abtastpunkten des Energieumsetzungsverlaufs entsprechen. Die Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkte können auch beliebig gewählt sein oder durch Interpolation eines gewünschten Höhenwertes des Energieumsetzungsverlaufsintegrals, z.B. 10%, 20%, ..., 100% der Gesamthöhe des Energieumsetzungsverlaufsintegrals, bestimmt sein. Die vorgegebenen Energieeinbringungsverlaufsintegral-

punkte können den Orientierungspunkten oder den Abtastpunkten des Energieeinbringungsverlaufs entsprechen. Die Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkte können auch beliebig gewählt sein, beispielsweise durch Interpolation eines gewünschten Höhenwertes des Energieeinbringungsverlaufsintegrals, z.B. 10%, 20%, ..., 100% der Gesamthöhe des Energieeinbringungsverlaufsintegrals, bestimmt sein.

[0022] Der erste Zündverzugszeitwert und/oder der zweite Zündverzugszeitwert bzw. der erste Zündverzugszeitverlauf und/oder der zweite Zündverzugszeitverlauf sind vorzugsweise auf das angepasste Energieeinbringungsverlaufsintegral oder das angepasste Energieumsetzungsverlaufsintegral bezogen. Beispielsweise kann jeder erste Zündverzugszeitwert auf einen Kurbelwellenwinkel oder einen Zeitpunkt des entsprechenden vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufsintegralpunktes bezogen sein und jeder zweite Zündverzugszeitwert auf einen Kurbelwellenwinkel oder einen Zeitpunkt des Punktes des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert des Energieeinbringungsverlaufsintegralpunktes und einem Faktor a entspricht, bezogen sein. Alternativ kann jeder erste Zündverzugszeitwert auf einen Kurbelwellenwinkel oder einen Zeitpunkt des Punktes des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert des Energieumsetzungsverlaufsintegralpunktes und einem Faktor a entspricht, bezogen sein und jeder zweite Zündverzugszeitwert auf einen Kurbelwellenwinkel oder einen Zeitpunkt des entsprechenden vorgegebenen Energieeinbringungsverlaufsintegralpunktes bezogen sein. Wird nur der erste oder der zweite Zündverzugszeitwert bestimmt, kann dieser entweder auf das angepasste Energieeinbringungsverlaufsintegral oder das angepasste Energieumsetzungsverlaufsintegral bezogen sein.

[0023] Für den Faktor a kann gelten: $a = 1$. In diesem Fall ist der erste Zündverzugszeitwert der Abstand von einem vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkt zu einem Punkt des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Funktionswert des Energieumsetzungsverlaufsintegralpunktes entspricht, und/oder der zweite Zündverzugszeitwert der Abstand von einem vorgegebenen Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkt zu einem Punkt des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals, dessen Funktionswert dem Funktionswert des Energieeinbringungsverlaufsintegralpunktes entspricht. Aus dem bzw. den ersten und/oder dem bzw. den zweiten Zündverzugszeitwerten kann dann ein Zündverzugszeitverlauf erzeugt werden.

[0024] In manchen Ausführungsbeispielen kann es wünschenswert sein, nicht nur einen eindeutig definierten Zündverzugszeitverlauf, sondern einen Zündver-

zugsverlaufsbereich zu Verfügung zu stellen, der eine gewisse Flexibilität beispielsweise bei der Bestimmung von Einspritzparametern zulässt. Dazu kann ein erster Zündverzugszeitverlauf ermittelt werden. Bei Energieeinbringungsverlaufsintegralen und Energieumsetzungsverlaufsintegralen, die auf einen Absolutwert 1 normiert sind, kann für den Faktor a zum Bestimmen des bzw. der ersten und/oder des bzw. der zweiten Zündverzugszeitwertes des ersten Zündverzugszeitverlaufs zum Beispiel gelten: $a < 1$, beispielsweise $a = 0,9$. Zudem kann ein zweiter Zündverzugszeitverlauf ermittelt werden, wobei sich der der Ermittlung des zweiten Zündverzugszeitverlaufs zugrunde gelegte Faktor a_1 von dem der Ermittlung des ersten Zündverzugszeitverlaufs zugrunde gelegten Faktor a unterscheidet. Bei Energieeinbringungsverlaufsintegralen und Energieumsetzungsverlaufsintegralen, die auf einen Absolutwert 1 normiert sind, kann für den Faktor a_1 zum Bestimmen des bzw. der ersten und/oder des bzw. der zweiten Zündverzugszeitwertes des zweiten Zündverzugszeitverlaufs zum Beispiel gelten: $a_1 > 1$, beispielsweise $a_1 = 1,1$. Auf Grundlage des ersten Zündverzugszeitverlaufs und des zweiten Zündverzugszeitverlaufs kann der Zündverzugszeitverlaufsbereich bestimmt werden. Der Zündverzugszeitverlaufsbereich stellt einen wahrscheinlichen Bereich des Zündverzugszeitverlaufs dar. So kann beispielsweise je nach Temperatur der Verbrennungskraftmaschine im unteren, mittleren oder oberen Bereich des Zündverzugszeitverlaufsbereichs ein geeigneter Zündverzugszeitverlauf gewählt werden.

[0025] Der Faktor a und/oder der Faktor a_1 können alternativ in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkels einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine, einer Zeit oder mindestens einer einen Zustand eines Arbeitsgases in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine beschreibenden Größe, wie zum Beispiel der Zylindergastemperatur, variieren. Beispielsweise können die Faktoren a und/oder a_1 innerhalb eines Arbeitsspiels zum Beispiel abhängig von einem Kurbelwellenwinkel, einer Zeit, einer Temperatur oder dergleichen variieren. Der Zündverzugszeitverlaufsbereich kann sich somit verschieben und/oder seine Breite ändern. Beispielsweise kann bei niedrigen Temperaturen des Arbeitsgases im Zylinder ein Zündverzugszeitverlaufsbereich bei höheren Werten liegen als bei hohen Temperaturen des Arbeitsgases, beispielsweise während einer Verbrennung.

[0026] Aus Zündverzugszeitverläufen, die auf Grundlage verschiedener Energieeinbringungs- und/oder Energieumsetzungsverläufe ermittelt wurden, kann ein Zündverzugszeitverlaufmodell gebildet werden. Das Zündverzugszeitverlaufmodell kann in Abhängigkeit des Betriebszustands der Verbrennungskraftmaschine, z.B. charakterisiert durch eine oder mehrere sensorisch erfasste Messgrößen und/oder eine oder mehrere modellierte Größen, beschrieben sein. Beispielsweise kann das Zündverzugszeitverlaufmodell in Form von

zwei Kennlinien abgespeichert werden, wobei die eine Kennlinie die Koordinaten von lokalen Minima unterschiedlicher Zündverzugsverläufe enthält und die andere Kennlinie Steigungen von ausgehend von den lokalen Minima ansteigenden Flanken der Zündverzugsverläufe in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels enthält.

[0027] Die in dem Zündverzugsmodell enthaltenen Zündverzugsverläufe können mit Hilfe eines Motorprüfstands einer Verbrennungskraftmaschine bestimmt sein. Dazu wird an dem Motorprüfstand der Energieumsetzungsverlauf und der Energieeinbringungsverlauf für unterschiedliche Arbeitsbedingungen gemessen und daraus der jeweilige Zündverzugsverlauf bestimmt. Alternativ können die Zündverzugsverläufe im Betrieb der Verbrennungskraftmaschine für unterschiedliche angeforderte Betriebsbedingungen bestimmt sein.

[0028] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität des Kraftstoffs, der in einen Brennraum einer Verbrennungskraftmaschine, beispielsweise einer Dieselmotorkraftmaschine oder eines Ottomotors, eingespritzt wird. Das Verfahren umfasst das Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine, das Ermitteln einer Abweichung des bestimmten Zündverzugsverlaufs von einem hinterlegten Zündverzugsverlauf und das Erkennen der Änderung der Kraftstoffqualität auf Grundlage der ermittelten Abweichung.

[0029] Auf Grundlage der Änderung der Kraftstoffqualität können die Verbrennung der Verbrennungskraftmaschine beeinflussende Parameter an die geänderte Kraftstoffqualität angepasst werden, um einen tatsächlichen Energieumsetzungsverlauf zu erreichen, der näherungsweise mit einem gewünschten Energieumsetzungsverlauf übereinstimmt. Beispielsweise kann bei einer Verschlechterung der Kraftstoffqualität ein Einspritzdruck reduziert werden und/oder eine Voreinspritzmenge erhöht werden, um durch die Kraftstoffverschlechterung bedingte Effekte zu kompensieren und beispielsweise Verbrennungsgeräusche zu verringern.

[0030] Das Bestimmen des Zündverzugsverlaufs erfolgt beispielsweise gemäß dem oben beschriebenen Verfahren zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs.

[0031] Der hinterlegte Zündverzugsverlauf, der beim Ermitteln der Abweichung herangezogen wird, ist ein Zündverzugsverlauf, der bei konstanten Bedingungen in einem Betriebsbereich zu erwarten ist. Der hinterlegte Zündverzugsverlauf kann ein während eines vorangehenden Arbeitszyklus der Verbrennungskraftmaschine bestimmter Zündverzugsverlauf, der beispielsweise wie oben beschrieben bestimmt wurde, oder ein einem bestimmten Energie-

einbringungsverlauf zugeordneter Zündverzugsverlauf sein.

[0032] Das Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität des Kraftstoffs kann beispielsweise über eine Erkennung eines Tankereignisses aktiviert werden. Sobald die Verbrennungskraftmaschine in einem gewünschten Betriebsbereich, beispielsweise betriebswarm ist, betrieben wird, kann ein aktueller Zündverzugsverlauf bestimmt werden und ein für den Betriebsbereich gültiger Zündverzugsverlauf für einen Referenzkraftstoff, der in einem Datenspeicher hinterlegt ist, ausgelesen werden. Anschließend wird die Differenz aus dem aktuellen Zündverzugsverlauf und dem Zündverzugsverlauf für den Referenzkraftstoff gebildet und die Differenz über eine Gütebewertung klassifiziert. Auf Grundlage der Gütebewertung können dann Kraftstoffqualitätskriterien gebildet werden, um Verstellparameter der Verbrennungskraftmaschine, zum Beispiel die Einspritzparameter, anzupassen.

[0033] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsverlaufsintegralmusters einer Verbrennungskraftmaschine, beispielsweise einer Dieselmotorkraftmaschine oder eines Ottomotors. Die absolute Lage des Energieeinbringungsverlaufsintegralmusters kann eine absolute Winkel- lage oder eine absolute zeitliche Lage des Energieeinbringungsverlaufsintegralmusters sein. Das Verfahren umfasst das Bestimmen eines Referenzpunktes in einem Energieumsetzungsverlaufsintegral eines vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufs (Sollenergieumsetzungsverlauf), das Ermitteln eines dem Referenzpunkt zugeordneten Zündverzugs auf Grundlage eines Zündverzugsverlaufs und das Bestimmen der absoluten Lage des Energieeinbringungsverlaufsintegralmusters auf Grundlage des Referenzpunktes, des ermittelten Zündverzugs und eines Verbrennungsschwerpunktsollwerts. Beispielsweise kann der Referenzpunkt durch einen Referenzkurbelwellenwinkel und einen Funktionswert definiert sein. Der Funktionswert kann dem Funktionswert eines Beginns einer Haupteinspritzung in dem Energieeinbringungsverlaufsintegralmuster entsprechen.

[0034] Damit wird eine modellbasierte Vorsteuerung der Verbrennungsschwerpunktlage zur Verfügung gestellt, wobei anhand eines Sollwerts der Verbrennungsschwerpunktlage und mit Hilfe des Zündverzugsverlaufsmodells beispielsweise ein Vorsteuerwert eines Ansteuerbeginns einer Haupteinspritzung bestimmt wird. Der gesuchte Ansteuerbeginn der Haupteinspritzung kann ermittelt werden, indem ausgehend von dem Verbrennungsschwerpunktsollwert der vorläufige Energieeinbringungsverlauf (Energieeinbringungsverlaufsintegralmuster) so zeitlich verschoben wird, dass ein Abstand zwischen dem Verbrennungsschwerpunktsollwert und einem

Einspritzpunkt, dessen Funktionswert dem Funktionswert des Verbrennungsschwerpunktsollwerts entspricht, einem bestimmten Zündverzugsverlauf bzw. einem Zündverzugsverlaufmodell folgt.

[0035] Das Ermitteln eines Zündverzugs kann auf Grundlage eines Zündverzugsverlaufs erfolgen, der gemäß dem oben beschriebenen Verfahren zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs bestimmt wurde.

[0036] Das Erhalten des Zündverzugsmodells kann die Nutzung eines gespeicherten Zündverzugsverlaufmodells enthalten, wie es oben beispielsweise beschrieben ist. Ist das Zündverzugsmodell in Form von zwei Kennlinien hinterlegt, kann aus den Kennlinien ein Kurbelwellenwinkel (Winkellage) des Referenzpunktes und ein Winkelabstand zwischen Verbrennungsschwerpunktsollwert und Referenzpunkt bestimmt werden und der Zündverzug bezogen auf den Referenzpunkt abgelesen werden. Aus diesen Informationen kann dann die absolute Lage des Energieeinbringungsverlaufsmusters berechnet werden.

[0037] Das oben beschriebene Verfahren zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs kann in diversen weiteren Anwendungen zum Einsatz kommen und ist insbesondere zum Einstellen von die Verbrennung beeinflussenden Parametern geeignet.

[0038] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Steuervorrichtung einer Verbrennungskraftmaschine. Die Steuervorrichtung ist dazu ausgebildet, das beschriebene Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs durchzuführen. Zudem kann die Steuervorrichtung zum Erkennen von Änderungen der Kraftstoffqualität und/oder zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsverlaufsmusters ausgebildet sein.

[0039] Die Steuervorrichtung enthält beispielsweise einen Prozessor, vorzugsweise einen Mikroprozessor, und eine Speichereinrichtung. Die Verbrennungskraftmaschine kann außerdem Mittel zum Bestimmen des Energieeinbringungsverlaufs, insbesondere einen Sensor, der die Einspritzmenge überwacht, und/oder Mittel zum Bestimmen des Energieumsetzungsverlaufs, insbesondere einen Zylinderdrucksensor enthalten, um das Erhalten des Energieeinbringungsverlaufs bzw. des Energieumsetzungsverlaufs zu ermöglichen. Die Mittel zum Bestimmen des Energieeinbringungsverlaufs und/oder die Mittel zum Bestimmen des Energieumsetzungsverlaufs sind vorzugsweise mit der Steuervorrichtung verbunden, beispielsweise über einen Datenbus. Die Steuervorrichtung kann teilweise oder vollständig in eine Motorsteuerung integriert sein.

[0040] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Kraftfahrzeug, ein Schiff und/oder einen Generator mit einer Verbrennungskraftmaschine und ei-

ner Steuervorrichtung, wie sie oben beschrieben wurde. Die Verbrennungskraftmaschine kann eine Dieselmotorkraftmaschine, beispielsweise eine Dieselmotorkraftmaschine mit Direkteinspritzung und/oder Common-Rail-Einspritzsystem, oder ein Ottomotor sein.

[0041] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Darin zeigen:

[0042] Fig. 1 schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Steuervorrichtung;

[0043] Fig. 2 schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs;

[0044] Fig. 3 ein Beispiel eines Einspritzverlaufs und eines zugehörigen Brennverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine;

[0045] Fig. 4 ein Beispiel eines Einspritzverlaufintegrals und eines zugehörigen Brennverlaufintegrals;

[0046] Fig. 5 das Ermitteln eines Zündverzugs für unterschiedliche Brennverlaufspunkte des Brennverlaufintegrals;

[0047] Fig. 6 das Ermitteln eines Zündverzugs für unterschiedliche Einspritzverlaufspunkte des Einspritzverlaufintegrals;

[0048] Fig. 7A, Fig. 7B Beispiele eines Zündverzugssteilverlaufs;

[0049] Fig. 8 ein Beispiel eines Zündverzugsverlaufs;

[0050] Fig. 9A–Fig. 9C schematisch ein Zündverzugsverlaufmodell, das in zwei Kennlinien abgelegt ist;

[0051] Fig. 10 schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität;

[0052] Fig. 11 schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Vorsteuern eines Ansteuerbeginns einer Haupteinspritzung;

[0053] Fig. 12 eine schematische Darstellung eines Sollbrennverlaufintegrals und eines Einspritzverlaufintegralmusters; und

[0054] Fig. 13A–Fig. 13C schematisch eine Methode zum Bestimmen des Ansteuerbeginns der Haupteinspritzung auf Grundlage eines Zündverzugsmodells.

[0055] Ein Ausführungsbeispiel einer Steuervorrichtung **1** zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine ist in **Fig. 1** gezeigt. Die Steuervorrichtung **1** enthält einen Prozessor **10**, eine Speichereinrichtung **11**, die mit dem Prozessor **10** verbunden ist, und zwei Signaleingänge **12**, **13**, die mit dem Prozessor **10** verbunden sind. Der erste Signaleingang **12** ist zum Empfangen eines Brennverlaufs BV und der zweite Signaleingang **13** ist zum Empfangen eines Einspritzverlaufs EV ausgebildet. Ein Beispiel für einen Brennverlauf BV und einen Einspritzverlauf EV zeigt beispielsweise **Fig. 3**.

[0056] Der Prozessor **10** ist dazu ausgebildet mit Hilfe eines Programms, das in der Speichereinrichtung **11** hinterlegt ist, ein Verfahren **2** zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine, der einen zeitlichen Verzug zwischen einer Einspritzung und einer Verbrennung der Verbrennungskraftmaschine repräsentiert, auszuführen. Das Verfahren **2** zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs der Verbrennungskraftmaschine ist in **Fig. 2** dargestellt. Bei **20** wird ein Brennverlauf BV der Verbrennungskraftmaschine empfangen, der auf Grundlage eines gemessenen Zylinderdruckverlaufs erzeugt wurde. Bei **21** wird ein Einspritzverlauf EV der Verbrennungskraftmaschine empfangen, der dem Brennverlauf BV zugeordnet ist und auf Grundlage von Einspritzparametern, die während der Verbrennung eingestellt sind, simuliert ist. Bei **22** wird auf Grundlage des empfangenen Brennverlaufs BV und des empfangenen Einspritzverlaufs EV ein Zündverzugsverlauf ZVV der Verbrennungskraftmaschine ermittelt.

[0057] Die **Fig. 3** zeigt zwei Kurven in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkels einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine. Die linke Kurve gibt einen Einspritzverlauf EV wider und die rechte Kurve, die einer Glockenkurve ähnelt, gibt ein Beispiel für den empfangenen Brennverlauf BV wider. Bei einem Kurbelwellenwinkel φ_{EVB} ist ein Beginn der Einspritzung gekennzeichnet und bei einem Kurbelwellenwinkel φ_{BVB} ist ein Beginn der Verbrennung gekennzeichnet. In **Fig. 3** ist zudem ein Winkelabstand D zwischen dem Beginn der Einspritzung und dem Beginn der Verbrennung gekennzeichnet, der einen einzelnen Zündverzug zwischen Einspritzung von Kraftstoff und Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs bestimmt.

[0058] Ausgehend von dem empfangenen Brennverlauf BV und dem empfangenen Einspritzverlauf EV wird dann der Zündverzugsverlauf ZVV, wie nachfolgend beschrieben, ermittelt. Zunächst wird ein Integral des empfangenen Einspritzverlaufs EV (integrierter Einspritzverlauf) und ein Integral des empfangenen Brennverlaufs (BV) (integrierter Brennverlauf) gebildet. Das Integral des empfangenen Einspritzverlaufs und das Integral des empfangenen Brenn-

verlaufs werden dann auf 1 normiert. Der integrierte und normierte Einspritzverlauf (Einspritzverlaufsintegral inEV) und der integrierte und normierte Brennverlauf (Brennverlaufsintegral inBV) sind in dem in **Fig. 4** gezeigten Diagramm dargestellt. Die linke Kurve, die das Einspritzverlaufsintegral inEV repräsentiert, weist einen stufenartigen Anstieg mit zwei Plateaus auf und die rechte Kurve, die das Brennverlaufsintegral inBV repräsentiert, weist einen ähnlichen Verlauf wie ein Integral einer Normalverteilung auf, wobei im unteren Bereich des Anstiegs der Kurve ein Buckel auftaucht.

[0059] Auf Grundlage des Einspritzverlaufsintegrals inEV und des Brennverlaufsintegrals inBV wird dann ein Höhenschnittverfahren ausgeführt. Das Höhenschnittverfahren wird nun mit Bezug auf **Fig. 5** und **Fig. 6** erklärt, wobei **Fig. 5** und **Fig. 6** jeweils das Einspritzverlaufsintegral inEV und das Brennverlaufsintegral inBV sowie Orientierungspunkte AT_{EV} , die vorgegebene Punkte auf dem Einspritzverlauf kennzeichnen, und Abtastpunkte AT_{BV} , die auf gemessenen Werten des Zylinderdrucks basieren, zeigen.

[0060] In einem ersten Schritt wird für jeden Abtastpunkt AT_{BV} des Brennverlaufsintegrals inBV mit den Koordinaten $(x_{i,R}, y_{i,R})$ der zu dem jeweiligen Abtastpunkt AT_{BV} zugehörige Kurbelwinkel $x_{i,R2L}$ im Einspritzverlaufsintegral inEV ermittelt, an dem der Wert $y_{i,R}$ erreicht wird, wie in **Fig. 5** gezeigt. Auf Grundlage des Kurbelwellenwinkels $x_{i,R}$ und des Kurbelwellenwinkels $x_{i,R2L}$ wird der Zündverzug bezüglich des Abtastpunktes AT_{BV} als Differenz $ZV(x_{i,R}) = x_{i,R} - x_{i,R2L}$ bestimmt und bezogen auf den Kurbelwellenwinkel $x_{i,R}$ gespeichert. Dadurch wird ein erster Zündverzugsteilverlauf ZVVA1 des Zündverzugsverlaufs ZVV erhalten, der in **Fig. 7A** gezeigt ist.

[0061] In einem weiteren Schritt wird für jeden Orientierungspunkt AT_{EV} des Einspritzverlaufsintegrals inEV mit den Koordinaten $(x_{i,L}, y_{i,L})$ der zu dem jeweiligen Orientierungspunkt AT_{EV} zugehörige Kurbelwinkel $x_{i,L2R}$ im Brennverlaufsintegral inEV ermittelt, an dem der Wert $y_{i,L}$ erreicht wird, wie in **Fig. 6** gezeigt. Auf Grundlage des Kurbelwellenwinkels $x_{i,L}$ und des Kurbelwellenwinkels $x_{i,L2R}$ wird der Zündverzug bezüglich des Orientierungspunktes AT_{EV} als Differenz $ZV(x_{i,L2R}) = x_{i,L2R} - x_{i,L}$ bestimmt und bezogen auf den Kurbelwellenwinkel $x_{i,L2R}$ gespeichert. Die Wertepaare dieses Schritts haben also sowohl identifizierte Verzugszeiten als auch neue zugeordnete Kurbelwinkel, die nicht mehr der originalen Abtastachse entsprechen. Der Verzug wird also auf die Kurve des Brennverlaufsintegrals umgerechnet. Dadurch wird ein zweiter Zündverzugsteilverlauf ZVVA2 des Zündverzugsverlaufs ZVV erhalten, der in **Fig. 7B** gezeigt ist.

[0062] Der gesamte Zündverzugsverlauf ZVV ist in **Fig. 8** gezeigt. Er ergibt sich als Vereinigungsmenge

des ersten Zündverzugsteilverlaufs ZVVA1 und des zweiten Zündverzugsteilverlaufs ZVVA2 und enthält ansteigende Flanken **4a**, **4b**, **4c** und senkrechte Kurvenabschnitte **5a**, **5b**. Über eine Interpolation kann der Zündverzugsverlauf ZVV in beliebiger Auflösung ermittelt werden.

[0063] In dem vorgestellten Verfahren wird ein Zündverzugsverlauf bestimmt, basierend auf der Annahme, dass jeder Kraftstoffteil nacheinander verbrennt, d.h. der integrierte und normierte Einspritzverlauf stellt den zeitlichen Ablauf der Kraftstoffeinbringung dar, und der Brennverlauf den zeitlichen Verlauf der Energieumsetzung. Bei direkteinspritzenden Motoren beeinflussen jedoch vielfältige Parameter, wie zum Beispiel die Geometrie des Motors, eine Turbulenz und andere Parameter, die Ausbreitung des Kraftstoffs, sodass durchaus einige in den Brennraum eingebrachte Kraftstoffpakete nicht mit ihren ‚zeitlichen‘ Nachbarn zusammen verbrennen, sondern z.B. erst viel später gegen Ende der gesamten Verbrennung von den hohen Prozesstemperaturen erfasst werden und verbrennen. Um solchen (statistischen) Effekten Rechnung tragen zu können, wird das oben beschriebene Verfahren in einem weiteren Ausführungsbeispiel wie folgt erweitert.

[0064] Im ersten Schritt wird für jeden Abtastpunkt AT_{BV} des Brennverlaufsintegrals inBV mit den Koordinaten $(x_{i,R}, y_{i,R})$ der Kurbelwinkel $x_{i,R2L}$ im Einspritzverlaufsintegral inEV ermittelt, an dem der Wert $a \cdot y_{i,R}$ erreicht wird, wobei a ein Faktor ist, der im vorliegenden Beispiel 0,9 beträgt. Der Zündverzug $ZV_a(x_{i,R}) = x_{i,R} - x_{i,R2L}$ wird bestimmt und für den Kurbelwellenwinkel $x_{i,R}$ gespeichert, so dass ein erster Teilverlauf des Zündverzugsverlaufs ZVV_a bestimmt ist. Weiterhin wird für jeden Abtastpunkt AT_{BV} des Brennverlaufsintegrals inBV mit den Koordinaten $(x_{i,R}, y_{i,R})$ der Kurbelwinkel $x_{i,R2L}$ im Einspritzverlaufsintegral inEV ermittelt, an dem der Wert $a_1 \cdot y_{i,R}$ erreicht wird, wobei a_1 ein Faktor ist, der im vorliegenden Beispiel 1,1 beträgt. Der Zündverzug $ZV_{a1}(x_{i,R}) = x_{i,R} - x_{i,R2L}$ wird für den Kurbelwellenwinkel $x_{i,R}$ gespeichert, so dass ein erster Teilverlauf des Zündverzugsverlaufs ZVV_{a1} bestimmt ist. Alternativ können die a und a_1 zeitlich variieren.

[0065] In einem weiteren Schritt wird für jeden Orientierungspunkt AT_{EV} des Einspritzverlaufsintegrals inEV mit den Koordinaten $(x_{i,L}, y_{i,L})$ der Kurbelwinkel $x_{i,L2R}$ im Brennverlaufsintegral inEV ermittelt, an dem der Wert $a \cdot y_{i,L}$ erreicht wird. Der Zündverzug $ZV_a(x_{i,L2R}) = x_{i,L2R} - x_{i,L}$ wird bestimmt und für den Kurbelwellenwinkel $x_{i,L2R}$ gespeichert, so dass ein zweiter Teilverlauf des Zündverzugsverlaufs ZVV_a bestimmt ist. Weiterhin wird für jeden Orientierungspunkt AT_{EV} des Einspritzverlaufsintegrals inEV mit den Koordinaten $(x_{i,L}, y_{i,L})$ der Kurbelwinkel $x_{i,L2R}$ im Einspritzverlauf inEV ermittelt, an dem der Wert $a_1 \cdot y_{i,L}$ erreicht wird. Der Zündverzug $ZV_{a1}(x_{i,L2R}) = x_{i,L2R} - x_{i,L}$

wird für den Kurbelwellenwinkel $x_{i,L2R}$ gespeichert, so dass ein zweiter Teilverlauf des Zündverzugsverlaufs ZVV_{a1} bestimmt ist.

[0066] Durch eine Kombination des ersten Teilbereichs des Zündverzugsverlaufs ZVV_a mit dem zweiten Teilbereich des Zündverzugsverlaufs ZVV_a kann der Zündverzugsverlauf ZVV_a ermittelt werden und durch eine Kombination des ersten Teilbereichs des Zündverzugsverlaufs ZVV_{a1} mit dem zweiten Teilbereich des Zündverzugsverlaufs ZVV_{a1} kann der Zündverzugsverlauf ZVV_{a1} ermittelt werden. Zwischen den beiden Zündverzugsverläufen ZVV_a und ZVV_{a1} ist ein Band gebildet, das einen wahrscheinlichen Bereich des Zündverzugsverlaufs repräsentiert. Für jeden Kurbelwinkel ergibt sich ein ‚wahrscheinlicher‘ Zündverzugsbereich für die Annahme, dass die an dem Kurbelwinkel eingebrachten Kraftstofftropfen zu einem Anteil von $\pm 10\%$ ihre benachbarten Tropfen in der zeitlichen Verbrennungsreaktion überholen bzw. von diesen überholt werden.

[0067] Die beschriebenen Verfahren zum Bestimmen des Zündverzugsverlaufs können für unterschiedliche Einspritzverläufe und zu den Einspritzverläufen zugehörigen Brennverläufen durchgeführt werden, um die jeweils zugehörigen Zündverzugsverläufe zu bestimmen. Die Zündverzugsverläufe werden gesammelt und gespeichert.

[0068] Aus den Zündverzugsverläufen wird ein allgemeines Zündverzugsverlaufsmodell gebildet. Dieses Zündverzugsverlaufsmodell kann beispielsweise in Form von zwei Kennlinien m , AB abgespeichert werden, wie nachfolgend mit Bezug auf **Fig. 9A** bis **Fig. 9C** beschrieben wird. In **Fig. 9A** ist schematisch ein Zündverzugsverlauf ZVV gezeigt, der drei lokale Minima B_1 , B_2 , B_3 aufweist, die einen Beginn einer Einspritzung repräsentieren. Anknüpfend an die Minima B_1 , B_2 , B_3 weist der Zündverzugsverlauf ZVV ansteigende Flanken **4a**, **4b**, **4c** und senkrechte Abschnitte **5a**, **5b** auf.

[0069] Zum Erzeugen einer ersten Kennlinie AB , wie sie in **Fig. 9B** gezeigt ist, werden die Koordinaten der lokalen Minima B_1 , B_2 , B_3 im Zündverzugsverlauf ZVV bestimmt und in ein Diagramm eingetragen. Dieser Vorgang wird für mehrere Zündverzugsverläufe durchgeführt. Anschließend wird eine Interpolation der Koordinaten der Minima durchgeführt und die Interpolationskurve stellt eine Kennlinie AB dar.

[0070] Zum Erzeugen der zweiten Kennlinie m , wie sie in **Fig. 9C** gezeigt ist, werden die Steigungen m_1 , m_2 , m_3 der ansteigenden Flanken **4a**, **4b**, **4c** des Zündverzugsverlaufs in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels bestimmt. Die Werte der Steigungen m_1 , m_2 , m_3 werden in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels φ aufgetragen. Dieser Vorgang wird für mehrere Zündverzugsverläufe durchgeführt. Anschließend

wird eine Interpolation der Werte der Steigungen durchgeführt und die Interpolationskurve stellt eine Kennlinie m dar. Mit Hilfe der in **Fig. 9B** und **Fig. 9C** dargestellten Kennlinien können beliebige Zündverzugsverläufe hergeleitet werden.

[0071] **Fig. 10** zeigt ein Verfahren **6** zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität. Bei **60** wird ein Zündverzugsverlauf einer Verbrennungskraftmaschine, wie mit Bezug auf die **Fig. 1** bis **Fig. 7** beschrieben, bestimmt. Bei **61** wird eine Abweichung des bestimmten Zündverzugsverlaufs (Ist-Zündverzugsverlauf) von einem hinterlegten Zündverzugsverlauf (Sollzündverzugsverlauf) bestimmt, wobei der hinterlegte Zündverzugsverlauf einem Einspritzverlauf, der bei unverändertem Betrieb der Verbrennungskraftmaschine näherungsweise zu einem gewünschten Brennverlauf führt, zugeordnet ist. Bei **62** wird die Änderung der Kraftstoffqualität auf Grundlage der ermittelten Abweichung zwischen Soll- und Ist-Zündverzugsverlauf erkannt.

[0072] Bei **63** werden der Einspritzdruck, die Abgasrückführrate oder die Zylinderfüllung und/oder die Form des relativen Einspritzverlaufsmusters an die geänderte Kraftstoffqualität angepasst.

[0073] **Fig. 11** zeigt ein Verfahren **7** zum Vorsteuern eines Ansteuerbeginns einer Haupteinspritzung BHE einer Verbrennungskraftmaschine auf Grundlage eines Einspritzverlaufsmusters **82**, wobei ein Zündverzugsmodell, wie es in den **Fig. 9B** und **Fig. 9C** beschrieben ist, zum Einsatz kommt. Bei der Beschreibung des Verfahrens wird auf **Fig. 12** Bezug genommen, die ein gewünschtes Brennverlaufintegral **80** mit einem dazugehörigen, gewünschten Verbrennungsschwerpunkt VSP sowie ein geplantes Einspritzverlaufsmuster **82** zeigt. Das Einspritzmuster definiert zunächst, wieviele Teileinspritzungen **81a**, **81b**, **81c** erfolgen sollen, welchen Abstand die Teileinspritzungen **81a**, **81b**, **81c** zueinander haben sollen und wieviel Einspritzmenge jede Teileinspritzung **81a**, **81b**, **81c** haben soll. Daraus kann ein vorläufiger integraler und normierter Einspritzverlauf (Einspritzverlaufsmuster **82**) gebildet werden, dessen absolute Winkellage noch nicht bekannt ist bzw. der zeitlich nicht mit dem gewünschten Brennverlauf **80** korreliert ist. Außerdem wird auf **Fig. 13A** bis **Fig. 13C** Bezug genommen. **Fig. 13A** zeigt dabei das Brennverlaufintegral **80** und ein Einspritzverlaufsmuster **83**, das gegenüber dem in **Fig. 12** gezeigten Einspritzverlaufsmuster **82** verschoben ist, so dass eine zeitliche Korrelation zwischen dem Brennverlauf **80** und dem Einspritzverlaufsmuster **83** gegeben ist. **Fig. 13B** zeigt die beiden Kennlinien AB, m , die dem Brennverlauf **80** zugeordnet sind, und **Fig. 13C** zeigt die Rekonstruktion des erwarteten Zündverzugsverlaufs.

[0074] Bei **70** wird gemäß dem Verfahren **7** ein Referenzpunkt RP in dem Brennverlaufintegral **80** bestimmt, dessen Funktionswert dem Funktionswert eines Beginns einer Haupteinspritzung BHE in dem Einspritzverlaufsmuster **83** entspricht. Dazu wird für einen gewünschten Verbrennungsschwerpunkt VSP eine Steigung m_{VSP} aus der Kennlinie m in **Fig. 13B** abgelesen. Die Steigung m_{VSP} ist, wie in **Fig. 13C** angedeutet, definiert als

$$m_{VSP} = (\Delta\varphi_{VSP} - \Delta\varphi_{EV})/\Delta\varphi_{VSP},$$

da gilt:

$$(ZV_{VSP} + \Delta\varphi_{EV}) = (ZV_{BHE} + \Delta\varphi_{VSP}),$$

wobei $\Delta\varphi_{VSP}$ ein Abstand zwischen einer Winkellage (bzw. eines Kurbelwellenwinkels) des Verbrennungsschwerpunkts VSP und einer Winkellage des Referenzpunkts RP ist, $\Delta\varphi_{EV}$ ein Abstand zwischen einer Winkellage des Beginns der Haupteinspritzung BHE und einer Winkellage eines Einspritzpunkts EP des Einspritzverlaufsmusters ist, dessen Funktionswert dem Funktionswert eines Verbrennungsschwerpunkts VSP in dem Brennverlaufintegral **80** entspricht, ZV_{VSP} ein Zündverzug zwischen dem Verbrennungsschwerpunkt VSP und dem Einspritzpunkt EP ist und ZV_{BHE} ein Zündverzug zwischen dem Beginn der Haupteinspritzung BHE und dem Referenzpunkt RP ist.

[0075] Auf Grundlage der Steigung m_{VSP} kann ein Kurbelwellenwinkel φ_{RP} des Referenzpunktes RP bestimmt werden, wobei gilt:

$$\varphi_{RP} = \varphi_{VSP} - \Delta\varphi_{VSP} = \varphi_{VSP} - \Delta\varphi_{EV}/(1 - m_{VSP}),$$

wobei φ_{VSP} der Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsschwerpunktes VSP ist.

[0076] Bei **71** wird ein dem Referenzpunkt zugeordneter Zündverzug ZV_{BHE} ermittelt, indem der Wert B_{RP} auf der Kennlinie AB und der Wert m_{RP} auf der Kennlinie m abgelesen wird.

[0077] Bei **72** wird der Ansteuerbeginn der Haupteinspritzung ermittelt, indem der Zündverzug ZV_{BHE} von der Winkellage φ_{RP} des Referenzpunktes RP subtrahiert wird bzw. indem die Summe aus dem Zündverzug ZV_{BHE} und $\Delta\varphi_{VSP}$ von der Winkellage φ_{VSP} des Verbrennungsschwerpunktes VSP subtrahiert wird.

Bezugszeichenliste

1	Steuervorrichtung
10	Prozessor
11	Speichereinrichtung
12	Signaleingang für Brennverlauf

13	Signaleingang für Einspritzverlauf	D	Winkelabstand zwischen Beginn der Einspritzung und Beginn der Verbrennung
2	Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs	EP	Einspritzpunkt
20	Erhalten eines Brennverlaufs	EV	Einspritzverlauf während eines Arbeitszyklus
21	Erhalten eines Einspritzverlaufs	inBV	normiertes Brennverlaufsintegral
22	Ermitteln des Zündverzugsverlaufs	inEV	normiertes Einspritzverlaufsintegral
4a–4c	Flanke des Zündverzugsverlaufs	m	Kennlinie, die Steigung im Zündverzugsverlauf angibt
5a, 5b	Kurvenabschnitt des Zündverzugsverlaufs	m_1 – m_3	Steigung der Flanken des Zündverzugsverlaufs
6	Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität	m_B	Steigung der Flanken des Zündverzugsverlaufs
60	Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs	m_{RP}	Steigung am Kurbelwellenwinkel des Referenzpunkts
61	Ermitteln einer Abweichung	m_{VSP}	Steigung am Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsschwerpunkts
62	Erkennen der Änderung der Kraftstoffqualität	RP	Referenzpunkt
63	Korrektur der Verbrennungsparameter	VSP	Verbrennungsschwerpunkt
7	Verfahren zum Vorsteuern eines Ansteuerbeginns einer Haupteinspritzung	$x_{i,R}, y_{i,R}$	Koordinaten der Abtastpunkte
70	Bestimmen eines Referenzpunktes	$x_{i,R2L}, y_{i,R}$	Koordinaten von den Abtastpunkten zugeordneten Punkten auf dem Einspritzverlauf
71	Ermitteln eines dem Referenzpunkt zugeordneten Zündverzugs	$x_{i,L}, y_{i,L}$	Koordinaten der Orientierungspunkte
72	Bestimmen des Ansteuerbeginns der Haupteinspritzung	$x_{i,L2R}, y_{i,L}$	Koordinaten von den Orientierungspunkten zugeordneten Punkten auf dem Brennverlauf
80	gewünschtes Brennverlaufsintegral	ZV	Zündverzug
81a, b, c	Teileinspritzung	ZV _B	Zündverzug an lokalen Minima des Zündverzugsverlaufs
82	Einspritzverlaufsintegralmuster	ZV _{BHE}	Zündverzug zwischen dem Beginn der Haupteinspritzung und dem Referenzpunkt
83	Einspritzverlaufsintegral	ZV _{VSP}	Zündverzug zwischen Verbrennungsschwerpunkt und Einspritzpunkt
AB	Kennlinie, die lokale Minima im Zündverzugsverlauf repräsentiert	ZV _(xi,R)	Zündverzug zwischen Abtastpunkten im Brennverlaufsintegral und den Abtastpunkten zugeordneten Punkten auf dem Einspritzverlaufsintegral
AT _{BV}	Abtastpunkt im normierten Brennverlaufsintegral		
AT _{EV}	Orientierungspunkt im normierten Einspritzverlaufsintegral		
B ₁ –B ₃	lokale Minima des Zündverzugsverlaufs		
B _{RP}	Steigungsminimum des Referenzpunktes	ZV _(xi,L2R)	Zündverzug zwischen Orientierungspunkten im Einspritzverlaufsintegral und den Orientierungspunkten zugeordneten
BHE	Beginn Haupteinspritzung		
BV	Brennverlauf während eines Arbeitszyklus		

	Punkten auf dem Brenn- verlaufsintegral
ZVV	Zündverzugsverlauf
ZVVA1	erster Zündverzugsteil- verlauf
ZVVA2	zweiter Zündverzugsteil- verlauf
φ	Kurbelwellenwinkel
φ_{EVB}	Kurbelwellenwinkel bei Beginn der Einspritzung
φ_{BVB}	Kurbelwellenwinkel bei Beginn der Verbrennung
φ_{VSP}	Kurbelwellenwinkel bei Verbrennungsschwer- punkt
φ_{BHE}	Kurbelwellenwinkel bei Beginn der Hauptein- spritzung
φ_{RP}	Kurbelwellenwinkel bei Referenzpunkt
φ_{EP}	Kurbelwellenwinkel bei Einspritzpunkt
$\Delta\varphi_{EV}$	Winkelabstand zwischen Beginn der Hauptein- spritzung und dem Ein- spritzpunkt
$\Delta\varphi_{VSP}$	Winkelabstand zwischen Verbrennungsschwer- punkt und Referenzpunkt

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012018617 B3 [0003]
- DE 102007012604 A1 [0004]
- DE 102007013119 A1 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs (ZVV) einer Verbrennungskraftmaschine, der einen zeitlichen Verzug zwischen einem Energieeinbringungsverlauf und einem Energieumsetzungsverlauf der Verbrennungskraftmaschine repräsentiert, umfassend:

Erhalten **(20)** eines Energieumsetzungsverlaufs (BV) der Verbrennungskraftmaschine;
 Erhalten **(21)** eines Energieeinbringungsverlaufs (EV) der Verbrennungskraftmaschine; und
 Ermitteln **(22)** des Zündverzugsverlaufs (ZVV) auf Grundlage des Energieeinbringungsverlaufs (EV) und auf Grundlage des Energieumsetzungsverlaufs (BV).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Energieumsetzungsverlauf (BV) und/oder der Energieeinbringungsverlauf (EV) auf Grundlage mehrerer Abtastpunkte gebildet sind und die Abtastpunkte und/oder eine Interpolationskurve, die die Abtastpunkte abbildet, enthalten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Ermitteln **(22)** des Zündverzugsverlaufs (ZVV) umfasst:

Bilden eines Energieeinbringungsverlaufsintegrals des Energieeinbringungsverlaufs (EV) und eines Energieumsetzungsverlaufsintegrals des Energieumsetzungsverlaufs (BV); und
 Anpassen des Energieeinbringungsverlaufsintegrals und des Energieumsetzungsverlaufsintegrals aneinander.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Ermitteln **(22)** des Zündverzugsverlaufs (ZVV) weiter umfasst: Bestimmen, für mehrere vorgegebene, insbesondere den Abtastpunkten des Energieumsetzungsverlaufs (BV) entsprechende,

Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkte (AT_{BV}), eines ersten Zündverzugswertes ($ZV(x_{i,R})$) von einem vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkt (AT_{BV}) des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals (inBV) zu einem Punkt des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals (inEV), dessen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert ($y_{i,R}$) des Energieumsetzungsverlaufsintegralpunkts (AT_{BV}) und einem Faktor a entspricht, und

Erzeugen eines ersten Zündverzugsverlaufs (ZVVA1) auf Grundlage der bestimmten ersten Zündverzugswerte und/oder

Bestimmen, für mehrere vorgegebene Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkte (AT_{EV}), eines zweiten Zündverzugswertes ($ZV(x_{i,L2R})$) von einem vorgegebenen Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkt (AT_{EV}) des angepassten Energieeinbringungsverlaufsintegrals (inEV) zu einem Punkt des angepassten Energieumsetzungsverlaufsintegrals (inBV), des-

sen Funktionswert dem Produkt aus dem Funktionswert ($y_{i,L}$) des Energieeinbringungsverlaufsintegralpunkts (AT_{EV}) und dem Faktor a entspricht; und Erzeugen eines zweiten Zündverzugsverlaufs (ZVVA2) auf Grundlage der bestimmten zweiten Zündverzugswerte.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 4, wobei der bestimmte erste Zündverzugsverlauf und/oder der bestimmte zweite Zündverzugsverlauf auf das angepasste Energieeinbringungsverlaufsintegral (inEV) oder das angepasste Energieumsetzungsverlaufsintegral (inBV) bezogen sind.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei für den Faktor a gilt: $a = 1$.

7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei das Verfahren weiter umfasst:

Ermitteln eines weiteren Zündverzugsverlaufs, wobei der der Ermittlung des weiteren Zündverzugsverlaufs zugrunde gelegte Faktor a_1 sich von dem Faktor a unterscheidet; und
 Bestimmen eines Zündverzugsverlaufsbereich auf Grundlage der beiden ermittelten Zündverzugsverläufe, insbesondere wobei der Faktor a und/oder der Faktor a_1 variieren.

8. Verfahren zum Erkennen einer Änderung einer Kraftstoffqualität umfassend:

Bestimmen **(60)** eines Zündverzugsverlaufs (ZVV) einer Verbrennungskraftmaschine, insbesondere gemäß einem Verfahren **(2)** nach einem der Ansprüche 1 bis 7;

Ermitteln **(61)** einer Abweichung des bestimmten Zündverzugsverlaufs (ZVV) von einem hinterlegten Zündverzugsverlauf; und

Erkennen **(62)** der Änderung der Kraftstoffqualität auf Grundlage der ermittelten Abweichung.

9. Verfahren zum Vorsteuern einer absoluten Lage eines Energieeinbringungsverlaufsmusters **(82)** einer Verbrennungskraftmaschine, umfassend:

Bestimmen **(70)** eines Referenzpunktes (RP) in einem Energieumsetzungsverlaufsintegral **(80)** eines vorgegebenen Energieumsetzungsverlaufs (BV);

Ermitteln **(71)** eines dem Referenzpunkt zugeordneten Zündverzugs (ZV_{BHE}) auf Grundlage eines Zündverzugsverlaufs (ZVV), insbesondere eines gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 bestimmten Zündverzugsverlaufs; und

Bestimmen **(72)** der absoluten Lage des Energieeinbringungsverlaufsmusters **(82)** auf Grundlage des Referenzpunktes (RP), des ermittelten Zündverzugs (ZV_{BHE}) und eines Verbrennungsschwerpunktsollwertes (VSP).

10. Steuervorrichtung einer Verbrennungskraftmaschine zum Bestimmen eines Zündverzugsverlaufs (ZVV) der Verbrennungskraftmaschine, wobei

die Steuervorrichtung (1) dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchzuführen.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

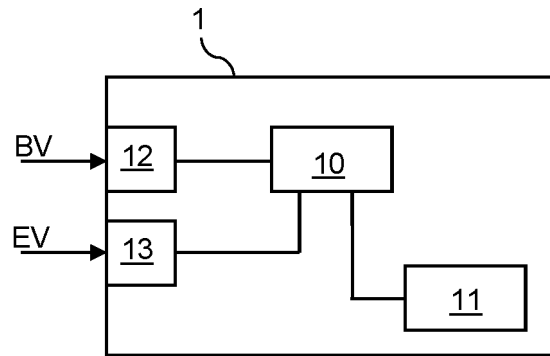


Fig. 1

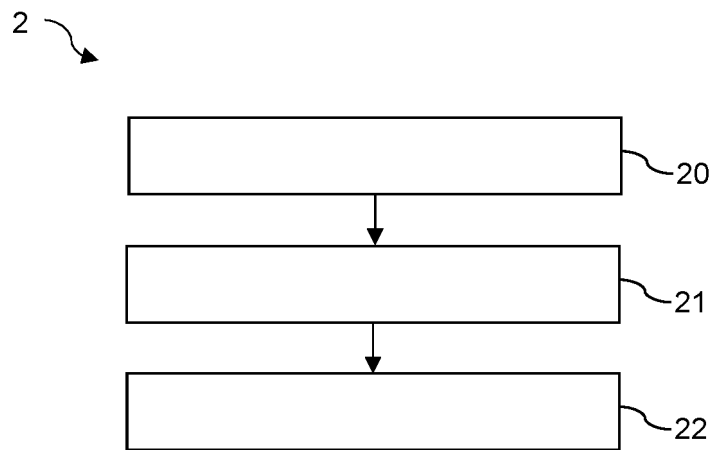


Fig. 2

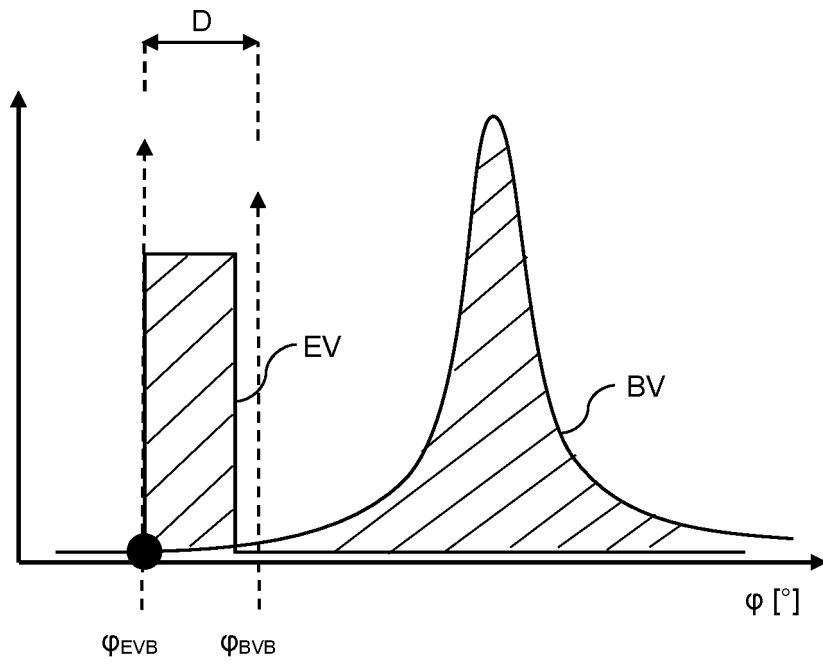


Fig. 3

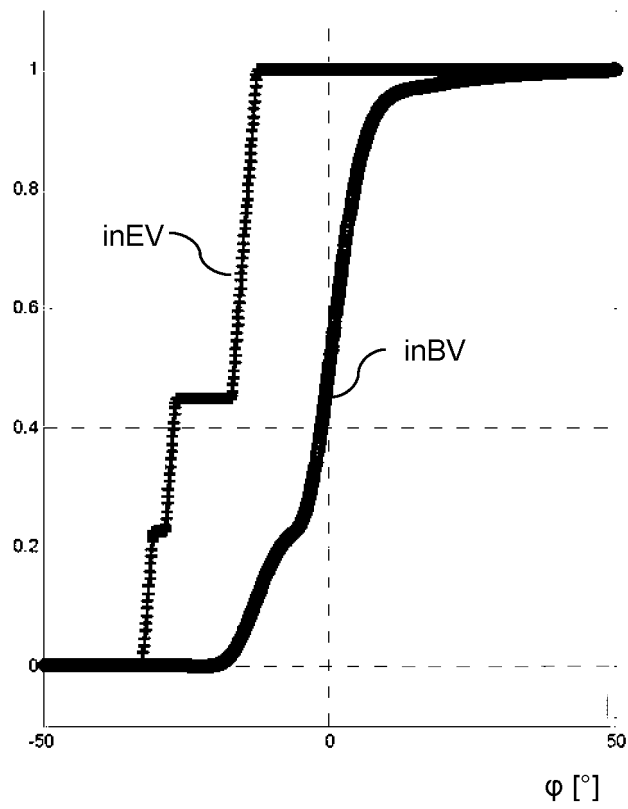


Fig. 4

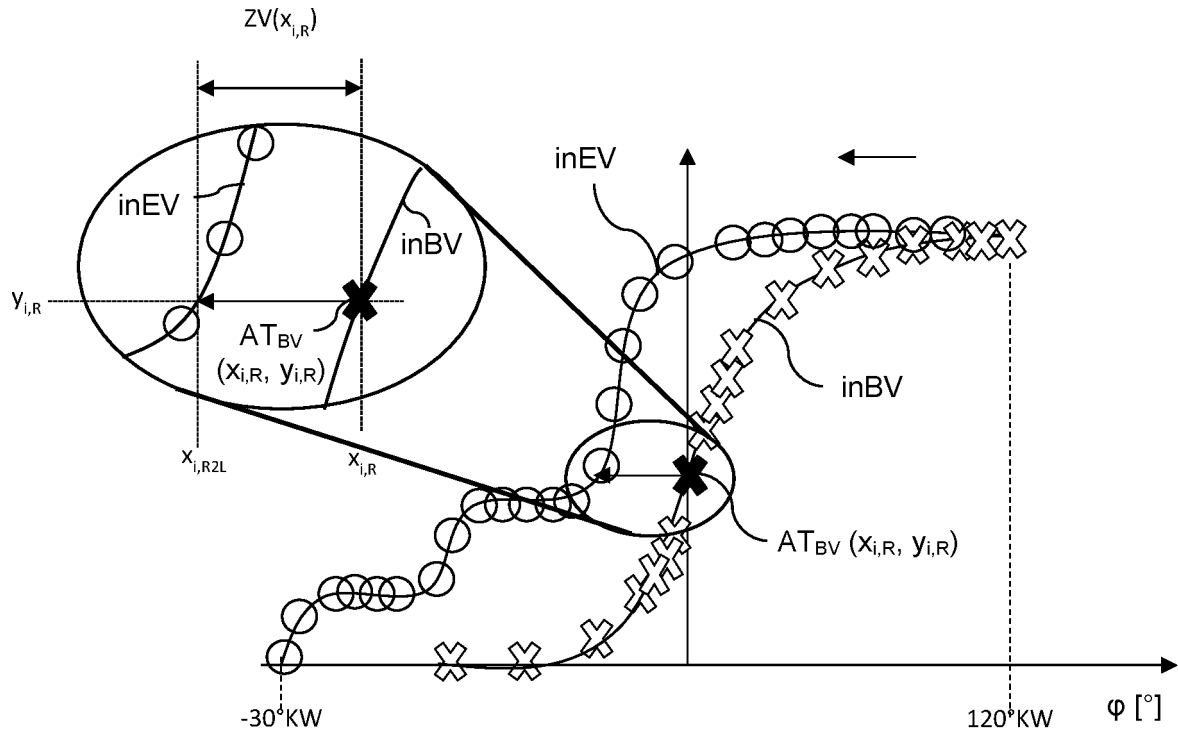


Fig. 5

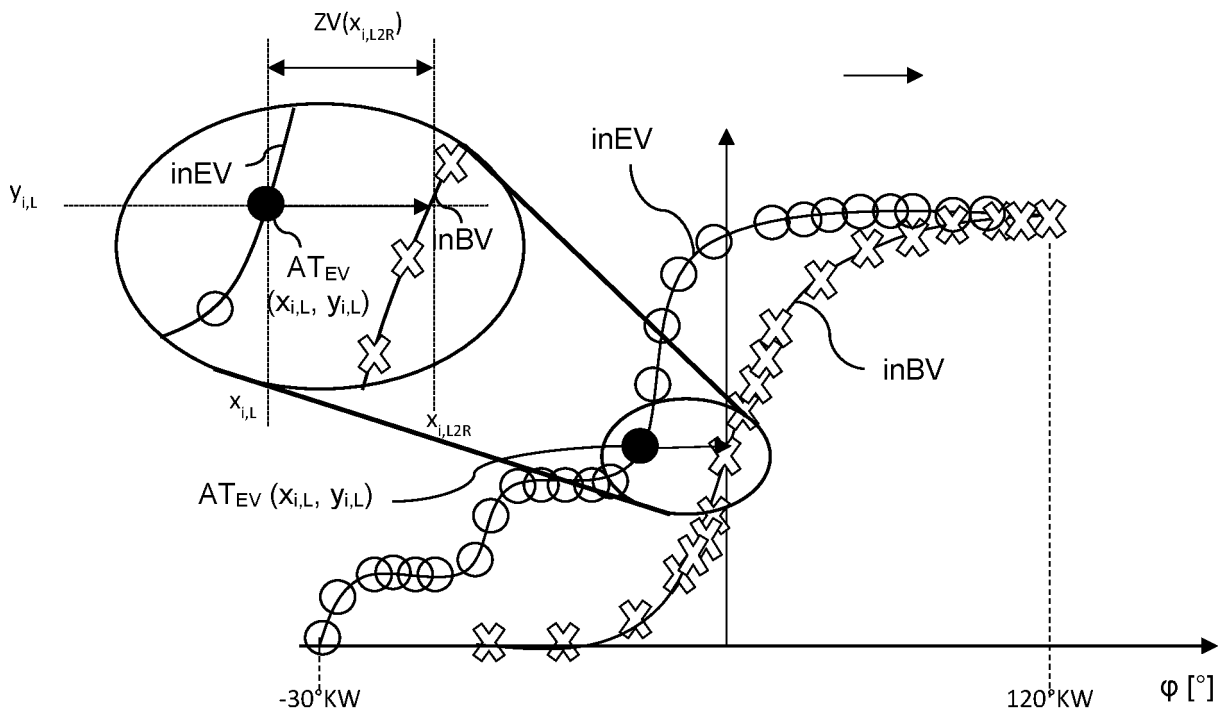


Fig. 6

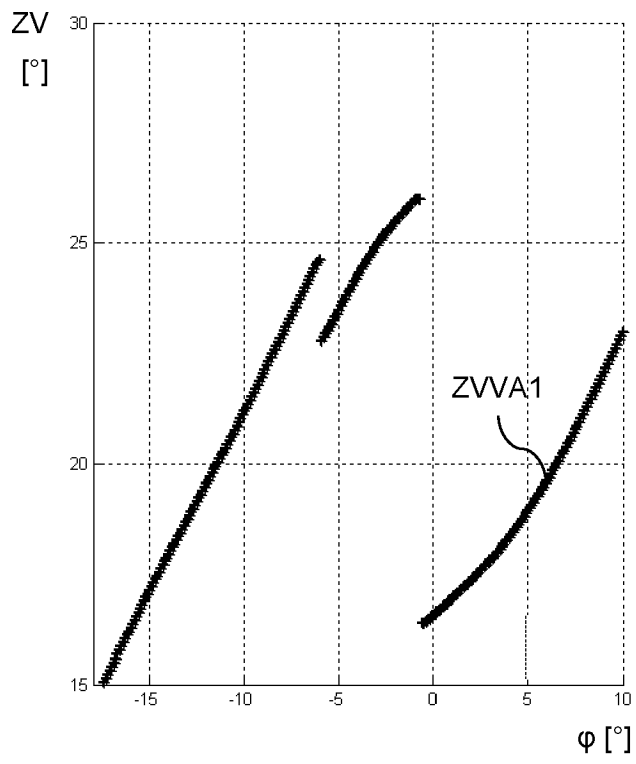


Fig. 7A

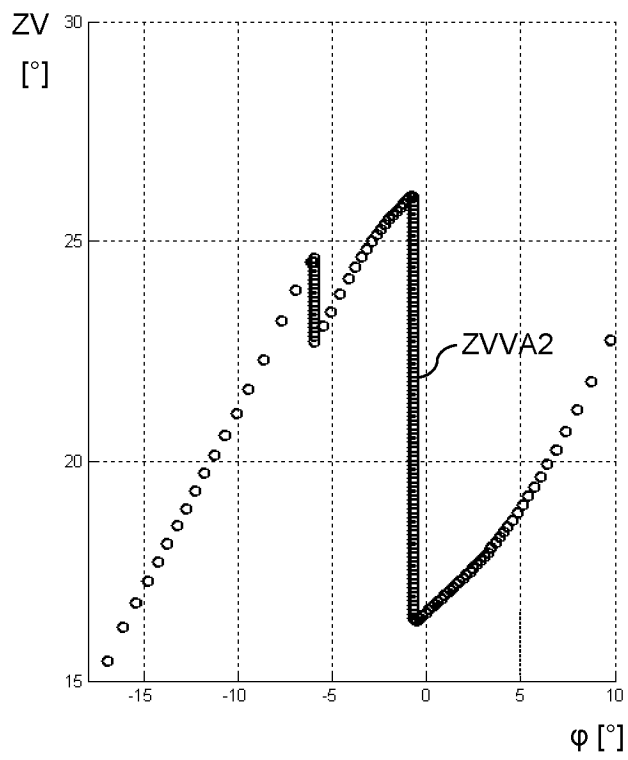


Fig. 7B

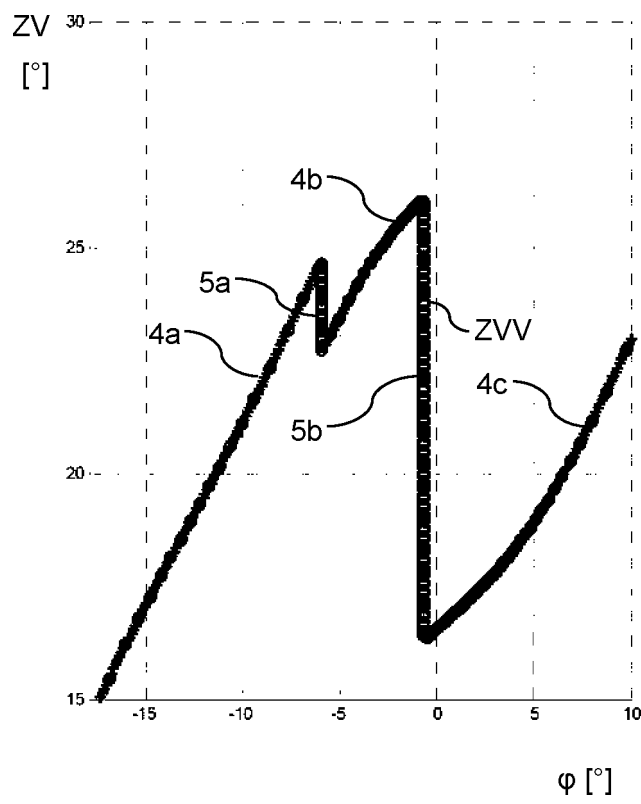


Fig. 8

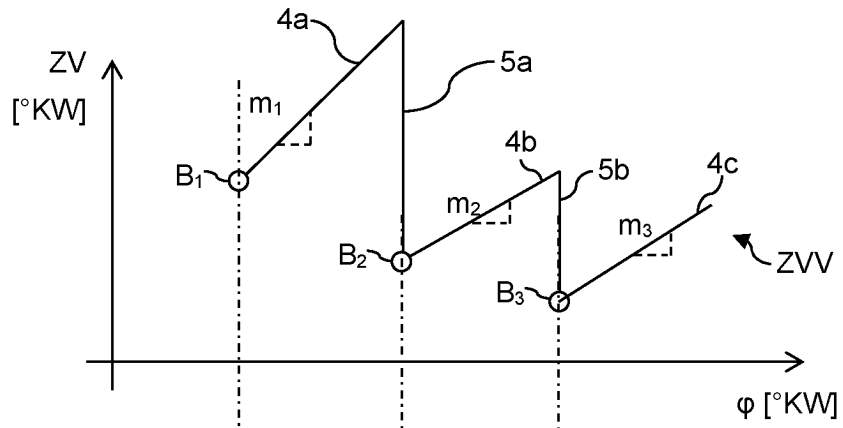


Fig. 9A

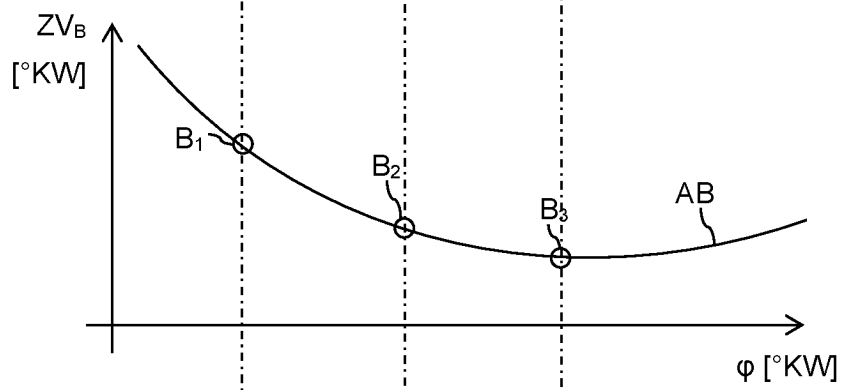


Fig. 9B

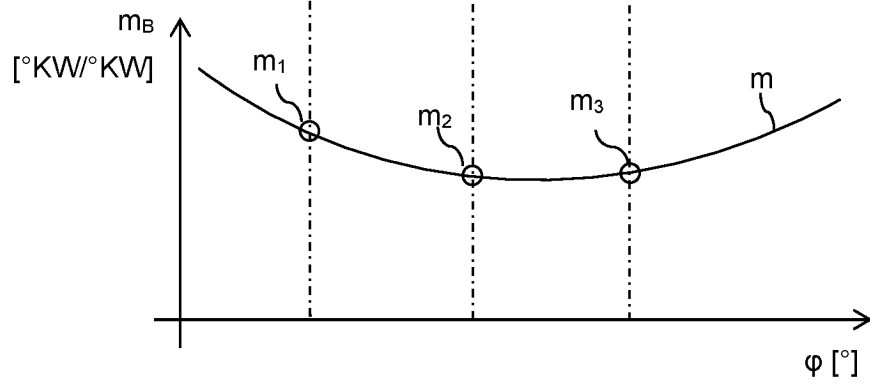


Fig. 9C

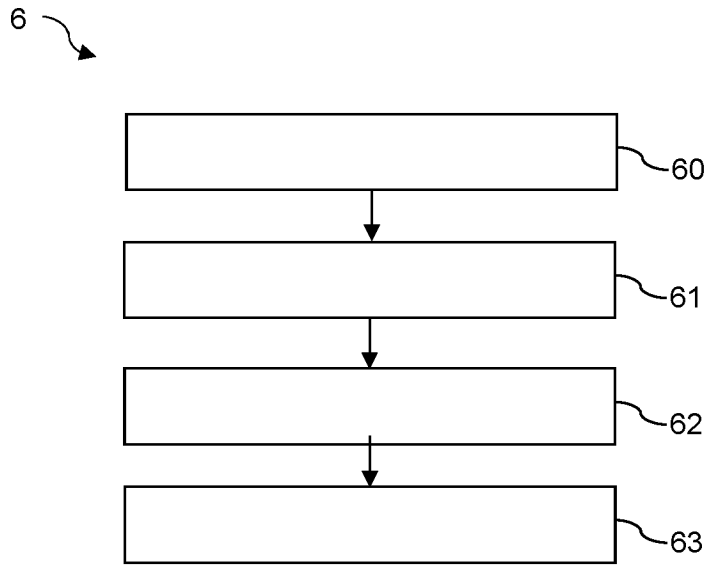


Fig. 10

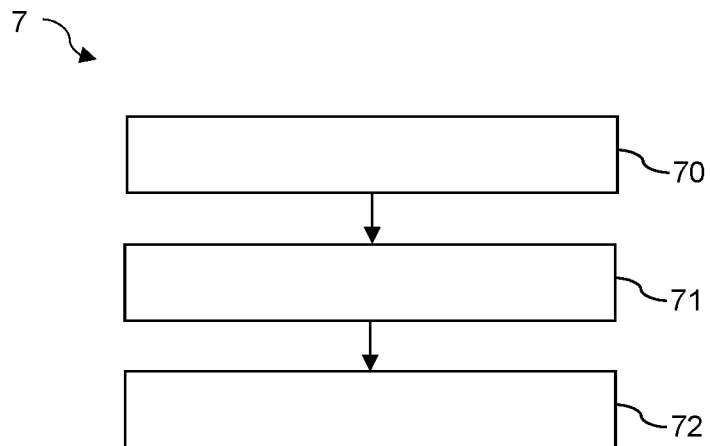


Fig. 11

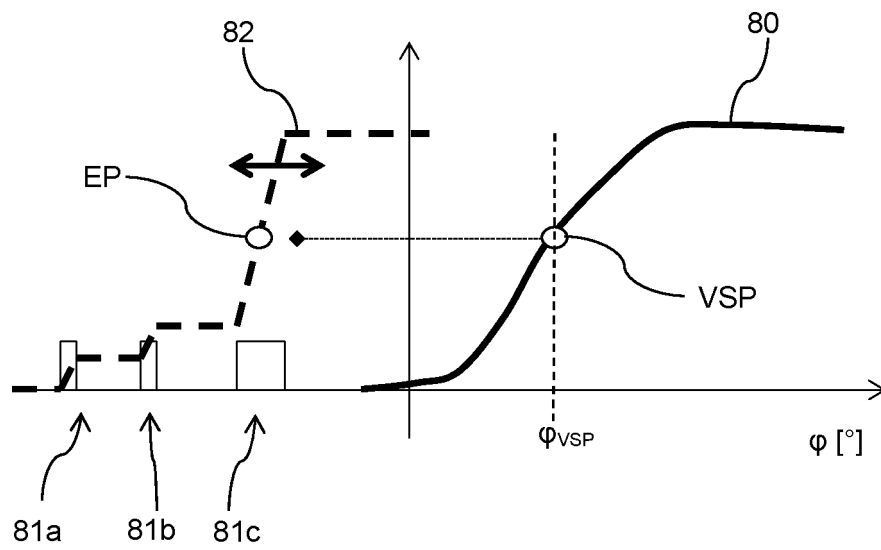


Fig. 12

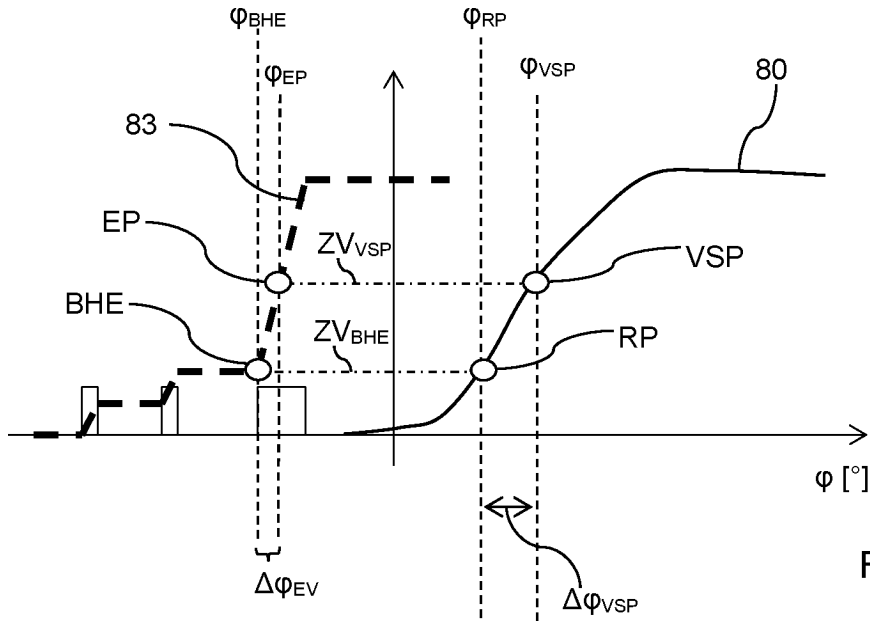


Fig. 13A

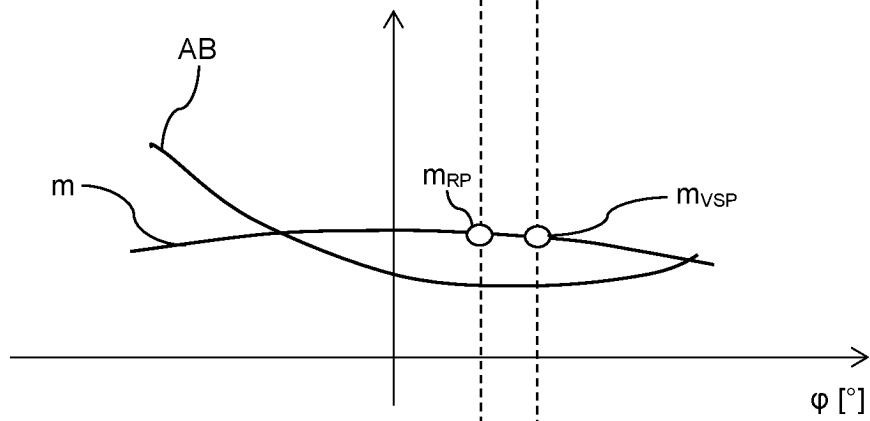


Fig. 13B

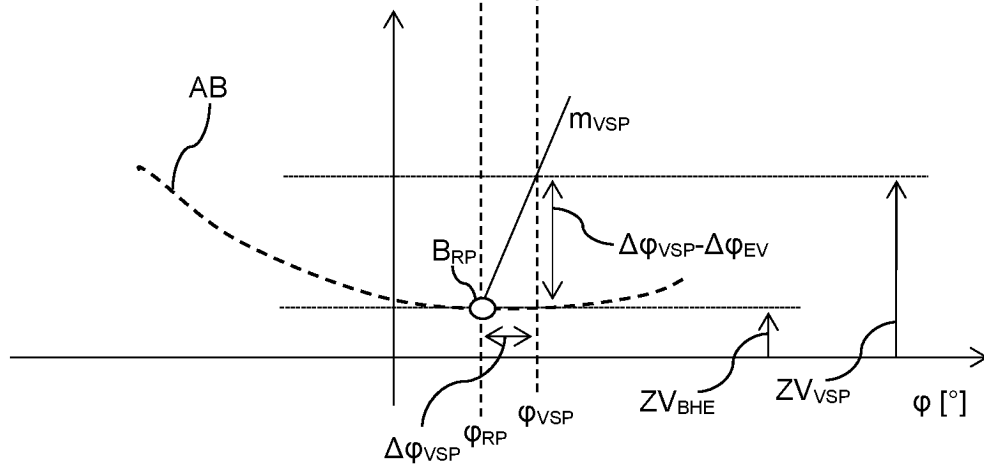


Fig. 13C