



(10) **DE 10 2011 012 722 B4** 2019.09.12

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 012 722.4**
 (22) Anmeldetag: **01.03.2011**
 (43) Offenlegungstag: **06.10.2011**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **12.09.2019**

(51) Int Cl.: **F02D 41/22 (2006.01)**
G01L 23/22 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2010-080943 31.03.2010 JP

(73) Patentinhaber:
Mazda Motor Corp., Hiroshima, JP

(74) Vertreter:
**Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte
 Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538
 München, DE**

(72) Erfinder:
**Matsuo, Naoya, Hiroshima, JP; Shishime, Kouji,
 Hiroshima, JP; Hayakawa, Motoo, Hiroshima,
 JP; Morimoto, Hiroki, Hiroshima, JP; Ohashi,
 Mikinori, Hiroshima, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

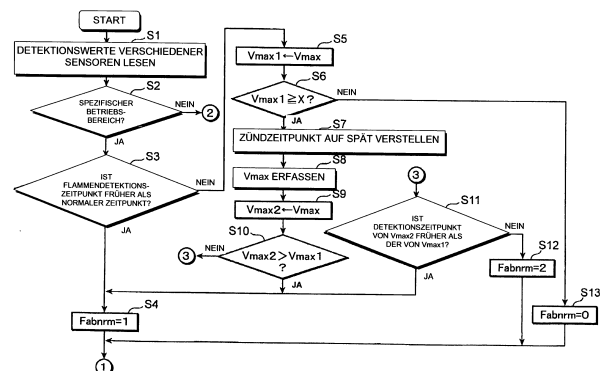
DE	10 2007 056 216	B4
DE	103 52 860	A1
JP	H11- 247 750	A
JP	2002- 339 780	A
JP	2006- 46 140	A

**ZACCARDI, J. M.; LECOMPTE, M.;
 DUVAL, L.; PAGOT, A.: Vorentflammung an
 hoch aufgeladenen Ottomotoren. In: MTZ-
 Motortechnische Zeitschrift, 70, 2009, 12, 938-945.
 - ISSN 2192-8843**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Detektion anomaler Verbrennung für einen Fremdzündungsmotor und Fremdzündungsmotor**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor, der mit einem Vibrationssensor (33) zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze (16) an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 Ermitteln, ob in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast ein maximaler Wert (V_{max}) einer Vibrationsstärke (V_a), der von dem Vibrationssensor (33) erfasst wird, oder ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist;
 wenn der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks gleich oder größer als der Schwellenwert ist, Verschieben des Zündzeitpunkts der Zündkerze (16) von dem Punkt, der in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, weiter hin zur Spätverstellseite; und

wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, Ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, ...



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor, der mit einem Vibrationsensor zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung (oberer Totpunkt eines Verdichtungsakts) festgelegt ist. Die vorliegende Erfindung betrifft auch einen Fremdzündungsmotor, der das Verfahren nutzt.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Bisher wurde in einem mit einer Zündkerze ausgestatteten Fremdzündungsmotor das Vorsehen eines Ionenstromsensors (Sensor zum Detektieren eines Ionenstroms, der durch Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches erzeugt wird) in einem Brennraum und beruhend auf einem Detektionswert des Ionenstromsensors Detektion von Nachzündung und Vorzündung, die während eines Motorbetriebs voraussichtlich auftreten, implementiert, wie zum Beispiel in JP 2006-46140A offenbart wird (nachstehend als „Patentschrift 1“ bezeichnet).

[0003] Gemäß der Patentschrift 1 ist die Nachzündung als Phänomen definiert, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch nahezu ohne Verzögerung bezüglich eines Zündzeitpunkts (Funkenzündungszeitpunkts) der Zündkerze gezündet wird. Im Einzelnen wird bei normaler Verbrennung ein Luft/Kraftstoff-Gemisch nach einer vorgegebenen Verzögerungszeit (Zündverzögerungs(abstands)zeit) ab Zündzeitpunkt gezündet, wogegen im Fall der Nachzündung ein Luft/Kraftstoff-Gemisch praktisch ohne die Zündverzögerungszeit bei einem Zeitpunkt selbst zündet. Die Vorzündung ist dagegen als Phänomen definiert, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vor dem Zündzeitpunkt selbst zündet, d.h. die Selbstzündung erfolgt zu einem Zeitpunkt, der früher als in der Nachzündung ist.

[0004] In der Patentschrift 1 ist mit anderen Worten die Selbstzündung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches, die zu einem späteren Zeitpunkt als dem Zündzeitpunkt auftritt, als Nachzündung definiert, und die Selbstzündung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches, die zu einem früheren Zeitpunkt als dem Zündzeitpunkt auftritt, ist als Vorzündung definiert. Auch wenn die Nachzündung hinsichtlich Ausprägung der anomalen Verbrennung verglichen mit der Vorzündung

schwach ist, kann man sagen, dass die Nachzündung ein warnendes Phänomen ist, das zu der Vorzündung führt. Sobald im Einzelnen die Nachzündung auftritt, wird ein Selbstzündungszeitpunkt schnell früher und ein Risiko des Entwickelns der Vorzündung wird höher.

[0005] Wenn sich die Nachzündung zu der Vorzündung entwickelt, treten starkes Geräusch und Vibration auf, und ein längeres Fortbestehen dieses Phänomens verursacht voraussichtlich eine Beschädigung eines Kolbens, etc. Wie vorstehend ist die Vorzündung eine nicht zu ignorierende bedenkliche anomale Verbrennung. Daher besteht der Wunsch, eine Verbrennungsanomalität so früh wie möglich zu detektieren, um ein Auftreten der Vorzündung zu verhindern.

[0006] Zu diesem Zweck wird in der Patentschrift 1 der Ionenstromsensor verwendet, um zunächst zu ermitteln, ob die Nachzündung auftritt. Im Einzelnen wird ein Zeitpunkt einer Spitze (Spitzenzeitpunkt) eines Verbrennungionenstroms beruhend auf einem Detektionswert des Ionenstromsensors festgestellt und das Vorhandensein oder Fehlen des Auftretens der Nachzündung wird beruhend darauf ermittelt, ob sich der Spitzenzeitpunkt um einen vorgegebenen Betrag oder mehr von einem Bezugszeitpunkt auf früh verstellt. Wenn dann das Auftreten der Nachzündung bestätigt wird, wird ein bestimmter Steuervorgang zum Unterbinden der Nachzündung (z.B. ein Steuervorgang des Anhebens einer Kraftstoffeinspritzmenge) ausgeführt, noch bevor sich die Nachzündung zur Vorzündung entwickelt.

[0007] Gemäß der Patentschrift 1 ist die nach dem Zündzeitpunkt erfolgende Selbstzündung als „Nachzündung“ definiert und die vor dem Zündzeitpunkt auftretende Selbstzündung ist als „Vorzündung“ definiert, wie vorstehend erwähnt wurde. Es gibt aber keinen Unterschied zwischen der Nachzündung und der Vorzündung, da sie ein Phänomen sind, dass sich ein Luft/Kraftstoff-Gemisch bei einem vorzeitigen Zeitpunkt bezüglich eines normalen Verbrennungseinleitungszeitpunkts (ein Zeitpunkt, da eine vorgegebene Verzögerungszeit seit einem Zündzeitpunkt verstrichen ist) selbst zündet. Somit werden in dieser Beschreibung die Nachzündung und die Vorzündung nachstehend kollektiv als „Vorzündung“ bezeichnet, ohne dazwischen zu unterscheiden.

[0008] In Fällen, da der Ionenstromsensor verwendet wird, um die Vorzündung zu detektieren, wie in dem in Patentschrift 1 offenbarten Motor, ist es indessen wahrscheinlich, dass die Vorzündung in manchen Situationen nicht präzise detektiert werden kann. Die Patentschrift 1 offenbart zum Beispiel eine Methode des Verwendens der Zündkerze als Ionenstromsensor. Aufgrund der Unmöglichkeit, einen Ionenstrom während einer Funkenentladung zu detektieren, oder des Einflusses von LC-Resonanzge-

räusch in einem Stromkreis, etc. wird es in diesem Fall schwierig, einen Verbrennungsionenstrom adäquat zu detektieren, was voraussichtlich zu einem Risiko des Übersehens der Vorzündung führt.

[0009] JP 2002-339780A (nachstehend als „Patentschrift 2“ bezeichnet) offenbart eine Methode des Detektierens der Vorzündung unter Verwenden eines Vibrationssensors zum Detektieren von Vibration eines Motors. Im Einzelnen wird in der Patentschrift 2 der Vibrationssensor verwendet, um eine Vibrationsstärke und einen Vibrationsauftrittszeitpunkt einer in einem Motorkörper auftretenden Vibration festzustellen, wobei, wenn die Vibrationsstärke größer als ein vorgegebener zulässiger Wert ist und der Vibrationsauftrittszeitpunkt auf einer Frühverstellseite bezüglich eines Zündzeitpunkts liegt, ermittelt wird, dass die Vorzündung auftritt.

[0010] In Fällen, da der Vibrationssensor verwendet wird, um wie in der Patentschrift 2 die Vorzündung zu detektieren, ist es möglich, die vorstehenden Probleme (Beschränkung der Detektion während einer Funkenentladung etc.) zu lösen, die voraussichtlich auftreten, wenn der Ionenstromsensor zum Detektieren der Vorzündung verwendet wird. Ferner ist der Vibrationssensor hinsichtlich der Kosten vorteilhaft, da er bereits verbreitet verwendet wird, um Klopfen zu detektieren.

[0011] Bei der Methode des einfachen Feststellens der Vibrationsstärke und des Vibrationsauftrittszeitpunkts unter Verwenden des Vibrationssensors, wie in der Patentschrift 2, besteht aber ein Problem, dass die Vorzündung nicht detektiert werden kann, sofern sie sich nicht zu einem bedenklichen Wert entwickelt, bei dem bei einem Zeitpunkt vor einem Zündzeitpunkt große Vibration auftritt. In Fällen, da die Vibration im Einzelnen bei einem Zeitpunkt nach einem Zündzeitpunkt auftritt, besteht eine Möglichkeit, dass eine Ursache für die Vibration nicht die Vorzündung (ein Phänomen, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet), sondern Klopfen (Phänomen, dass ein unverbranntes Luft/Kraftstoff-Gemisch nach Einleiten der Verbrennung selbst zündet) ist. Um klar zu ermitteln, dass die Vorzündung auftritt, ist es somit erforderlich zu warten, bis sich die Vorzündung zu einem bedenklichen Wert entwickelt, bei dem eine Vibration bei einem Zeitpunkt vor dem Zündzeitpunkt auftritt. Dies ist bezüglich Zuverlässigkeit, Haltbarkeit etc. eines Motors unerwünscht.

[0012] Die Vorzündung kann auch unter Verwenden eines Zylinderdrucksensors zum Detektieren eines Zylinderdrucks eines Motors in der gleichen Weise wie bei der vorstehenden Methode unter Verwenden des Vibrationssensors detektiert werden. Wenn im Einzelnen ein hoher Zylinderdruck, der größer als ein zulässiger Wert ist, bei einem vorzeitigen Zeitpunkt detektiert wird, kann ermittelt werden, dass die Vor-

zündung auftritt. In diesem Fall gibt es aber auch eine Situation, in der es unmöglich ist, die Vorzündung zu detektieren, während sie von Klopfen unterschieden wird, sofern ein Wert der Vorzündung nicht recht bedenklich wird.

[0013] Die JP H11 - 247 750A offenbart ein Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor.

[0014] Aus der DE 10 2007 056 216 B4 ist bekannt, dass ein Verbrennungsmotor auch bei einem Zündzeitpunkt betrieben wird, der nach dem oberen Totpunkt liegt und dass die Verbrennung in diesem Zustand stabil ist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0015] Im Hinblick auf die vorstehenden Umstände besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren, das unter Verwenden eines Vibrationssensors oder eines Zylinderdrucksensors eine Vorzündung, die voraussichtlich während eines Betriebs eines Fremdzündungsmotors auftritt, adäquat detektieren kann, während es sie von Klopfen unterscheidet, und einen das Verfahren verwendenden Fremdzündungsmotor vorzusehen.

[0016] Um die vorstehende Aufgabe zu verwirklichen, sieht die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor vor, der mit einem Vibrationssensor zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung festgelegt ist. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Ermitteln, ob in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast ein maximaler Wert einer Vibrationsstärke, der von dem Vibrationssensor erfasst wird, oder ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist; wenn der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks gleich oder größer als der Schwellenwert ist, Verschieben des Zündzeitpunkts der Zündkerze von dem Punkt, der in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung festgelegt ist, weiter hin zur Spätverstellseite; und wenn ein maximaler Wert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Wert vor Spätverstellung der Zündung ist, Ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstel-

lung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird.

[0017] Die vorliegende Erfindung sieht auch einen Fremdzündungsmotor vor, der mit einem Vibrationssensor zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung festgelegt ist. Der Fremdzündungsmotor umfasst ein Steuergerät, das betreibbar ist, um den Zündzeitpunkt der Zündkerze zu steuern und Informationen über eine Vibrationsstärke, die von dem Vibrationssensor detektiert wird, oder Informationen über einen Zylinderdruck, der von dem Zylinderdrucksensor detektiert wird, anzunehmen. Das Steuergerät ist betreibbar, um einen Steuervorgang des Verschiebens des Zündzeitpunkts der Zündkerze von dem in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung festgelegten Punkt weiter hin zur Spätverstellseite auszuführen, wenn ein maximaler Wert der Vibrationsstärke, der von dem Vibrationssensor erfasst wird, oder ein maximaler Wert des Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Und wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, ist das Steuergerät betreibbar, um zu ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und maximale Detektionswert der vor Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein schematisches Diagramm, das eine Gesamtstruktur eines Fremdzündungsmotors gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das ein Steuersystem des Motors zeigt.

Fig. 3 ist ein Graph, der einen spezifischen Betriebsbereich mit einem Risiko des Auftretens von Vorzündung zeigt.

Fig. 4 ist ein Diagramm, das Verteilungen (zeitliche Änderungen) von Wärmefreisetzungsbeträgen im Fall der Vorzündung und in einem normalen Verbrennungszustand zeigt.

Fig. 5 ist ein Diagramm, das eine Änderung des Zylinderdrucks im Fall der Vorzündung und eine Änderung des Zylinderdrucks im Fall des Klopfens in vergleichender Weise zeigt.

Fig. 6 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Wellenform zeigt, die von einem Vibrationssensor im Fall der Vorzündung einzugeben ist.

Fig. 7 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Wellenform zeigt, die von dem Vibrationssensor im Fall des Klopfens einzugeben ist.

Fig. 8 ist ein Diagramm, das zeigt, in welcher Weise eine Größenordnung und ein Detektionszeitpunkt einer maximalen Vibrationsstärke geändert werden, wenn ein Zündzeitpunkt im Fall der Vorzündung und im Fall des Klopfens auf spät verstellt wird.

Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, das Einzelheiten eines Steuervorgangs zum Detektieren der Vorzündung und des Klopfens zeigt.

Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das Einzelheiten eines Steuervorgangs zeigt, der als Reaktion auf ein Detektionsergebnis in **Fig. 9** auszuführen ist.

Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das Einzelheiten einer Vorzündungsvermeidungssteuerungssubroutine zeigt, die in dem in **Fig. 10** veranschaulichten Flussdiagramm enthalten ist.

Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, das Einzelheiten einer Rückführsteuerungssubroutine zeigt, die in dem in **Fig. 10** veranschaulichten Flussdiagramm enthalten ist.

Fig. 13 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Spätverstellbetrag eines Einlassventilschließzeitpunkts und einem effektiven Verdichtungsverhältnis zeigt.

Fig. 14 ist ein Graph, der zeigt, in welcher Weise ein zusätzlicher Spätverstellbetrag des Einlassventilschließzeitpunkts, der zum Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses um 0,5 erforderlich ist, abhängig von einem vorhandenen

Spätverstellbetrag des Einlassventilschließzeitpunkts von einem Ansaug-UT geändert wird.

Fig. 15A und **Fig. 15B** sind erläuternde Diagramme, die einen Kraftstoffeinspritzzeitpunkt zeigen, wobei **Fig. 15A** einen Kraftstoffeinspritzzeitpunkt in dem normalen Zustand zeigte und **Fig. 15B** einen Kraftstoffeinspritzzeitpunkt im Fall der Vorzündung zeigt.

Fig. 16 ist ein Zeitdiagramm, das ein Beispiel eines Betriebs für die Vorzündungsvermeidungssteuerung in einer Zeitreihenweise zeigt.

Fig. 17 ist ein Zeitdiagramm, das ein Beispiel eines Betriebs für die Rückführsteuerung in einer Zeitreihenweise zeigt.

Fig. 18A bis **Fig. 18C** sind erläuternde Diagramme, die verschiedene abgewandelte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

Gesamtstruktur des Motors

[0018] **Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm, das eine Gesamtstruktur eines Fremdzündungsmotors gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Der in **Fig. 1** gezeigte Motor ist ein Hubkolben-Mehrzylinderbenzinmotor, der als Leistungsquelle zum Antreiben von Fahrzeugbetrieb in einem Fahrzeug eingebaut ist. Ein Motorkörper **1** des Motors umfasst einen Zylinderblock **3** mit mehreren Zylindern **2**, die Seite an Seite in einer Richtung senkrecht zu einer Oberfläche des Zeichnungsblatts (in **Fig. 1** ist nur einer der Zylinder **2** veranschaulicht) angeordnet sind, einen Zylinderkopf **4**, der an einer oberen Fläche des Zylinderblocks **3** vorgesehen ist und mehrere Kolben **5**, die jeweils in einer hin und her gleitenden Weise in einen perspektivischen der Zylinder **2** eingeführt sind. Der dem Motorkörper **1** zu liefernde Kraftstoff kann von jeder Art sein, die hauptsächlich aus Benzin besteht. Zum Beispiel kann der Kraftstoff nur aus Benzin bestehen oder kann Benzin und Ethanol (Ethylalkohol) oder dergleichen, das in dem Benzin enthalten ist, umfassen.

[0019] Jeder der Kolben **5** ist durch eine jeweilige von mehreren Pleuelstangen **8** so mit einer Kurbelwelle **7** verbunden, dass die Kurbelwelle **7** gemäß einer Hubbewegung des Kolbens **5** um ihre mittlere Achse gedreht wird.

[0020] In jedem der Zylinder **2** ist ein Brennraum **6** oberhalb des Kolbens **5** festgelegt. Eine Einlassöffnung **9** und eine Auslassöffnung **10** sind zu dem Brennraum **6** geöffnet, und ein Einlassventil **11** und ein Auslassventil **12** sind an dem Zylinderkopf **4** vorgesehen, um jeweilige von Einlass- und Auslassöffnung **9**, **10** zu öffnen und zu schließen. Jedes von Ein-

lassventil **11** und Auslassventil **12** ist ausgelegt, um durch einen jeweiligen von zwei Ventilbetriebsmechanismen **13**, **14**, die ein Paar Nockenwellen umfassen (auf Darstellung wird verzichtet), die in dem Zylinderkopf **4** eingebaut sind, in öffentlicher/verschließbarer Weise in Verbindung mit der Drehung der Kurbelwelle **7** angetrieben zu werden.

[0021] Ein VVT-Mechanismus **15** ist in den Ventilbetriebsmechanismus **13** für das Einlassventil **11** integriert. Der WT-Mechanismus **15** steht für einen verstellbaren Ventilzeitsteuerungsmechanismus, der ein Mechanismus zum verstellbaren Einstellen einer Betriebszeit des Einlassventils **11** ist.

[0022] Als WT-Mechanismus **15** werden verschiedene Arten bereits praktisch eingesetzt und sind öffentlich bekannt. Zum Beispiel kann eine hydraulische Ausführung als WT-Mechanismus **15** verwendet werden. Auch wenn auf eine Darstellung verzichtet wird, umfasst der VVT-Mechanismus der hydraulischen Ausführung eine Abtriebswelle, die in konzentrischer Beziehung zu der Nockenwelle für das Einlassventil **11** angeordnet ist, und mehrere Hydraulikkammern, die zwischen der Nockenwelle und der Abtriebswelle positioniert und Seite an Seite entlang einer Umfangsrichtung angeordnet sind, wobei er ausgelegt ist, um zwischen den Hydraulikkammern eine vorgegebene Druckdifferenz vorzusehen, um zwischen der Nockenwelle und der Abtriebswelle eine Phasendifferenz zu erzeugen. Beruhend auf der vorstehenden Struktur ist der WT-Mechanismus der hydraulischen Ausführung betreibbar, um die Phasendifferenz innerhalb eines vorgegebenen Winkelbereichs verstellbar einzustellen, um die Betriebszeit des Einlassventils **11** ständig zu ändern.

[0023] Alternativ kann als VVT-Mechanismus **15** eine Ausführung vorgesehen werden, die ausgelegt ist, um einen Ventilhubbetrag zu ändern, um so eine Schließzeit des Einlassventils zu ändern. Ferner kann dieser Mechanismus für verstellbaren Ventilhub kombiniert mit dem vorstehenden Mechanismus für verstellbare Phasenverschiebung verwendet werden.

[0024] Der Zylinderkopf **4** des Motorkörpers **1** ist mit einer Zündkerze **16** und einem Injektor **18** in Paaren für jeden der Zylinder **2** versehen.

[0025] Der Injektor **18** ist so vorgesehen, der er zu dem Brennraum **6** von einer seitlichen Seite eines Einlassseitenbereichs desselben freiliegt, und ist ausgelegt, um Kraftstoff (Benzin) von einem nicht veranschaulichten Kraftstoffzufuhrrohr zu erhalten und den Kraftstoff von einem distalen Ende desselben in den Brennraum **6** einzuspritzen. Im Einzelnen ist der Injektor **18** betreibbar, um den Kraftstoff in den Brennraum **6** zum Beispiel in einem Ansaugtakt des Motors einzuspritzen, um so den eingespritzten Kraftstoff mit

Luft zu mischen, um ein Luft/Kraftstoff-Gemisch mit einem Sollverhältnis von Luft/Kraftstoff in dem Brennraum **6** zu bilden.

[0026] Die Zündkerze **16** ist so vorgesehen, dass sie zu dem Brennraum **6** von oberhalb desselben freiliegt, und ist ausgelegt, als Reaktion auf ein Einspeisen von Leistung von einem nicht gezeigten Zündkreis an einem distalen Ende davon eine Funkenstrecke zu erzeugen. Im Einzelnen ist die Zündkerze **16** betreibbar, um bei einem vorgegebenen Zündzeitpunkt, der um einen oberen Totpunkt der Verdichtung (Verdichtungs-OT) festgelegt ist, eine Funkenentladung zu erzeugen, um ein Einleiten von Verbrennung des Luft/Kraftstoff-Gemisches auszulösen.

[0027] Der Zylinderblock **3** ist mit einem Motordrehzahlsensor **30** zum Detektieren einer Drehzahl der Kurbelwelle **7** als Motordrehzahl versehen.

[0028] Der Zylinderblock **3** ist weiterhin mit einem Vibrationssensor **33** zum Detektieren von Vibration des Zylinderblocks **3** versehen. Ein Detektionswert des Vibrationssensors **33** wird verwendet, um anomale Verbrennung zu detektieren, die in dem Motor auftritt.

[0029] Im Einzelnen werden in dieser Ausführungsform zwei Arten von anomaler Verbrennung, Klopfen und Vorzündung, beruhend auf einem Detektionswert des Vibrationssensors **33** detektiert. Wie hierin verwendet bedeutet der Begriff „Klopfen“ ein Phänomen, dass im Verlauf von Flammenausbreitung nach Einleiten von Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches, die durch Fremdzündung (Funkenentladung) ausgelöst wird, ein unverbrannter Teil (Endgas) des Luft/Kraftstoff-Gemisches selbst zündet. Der Begriff „Vorzündung“ bedeutet dagegen ein Phänomen, dass sich ein Luft/Kraftstoff-Gemisch zu einem Zeitpunkt vor einem normalen Einleitungszeitpunkt von Verbrennung (normaler Verbrennungseinleitungszeitpunkt) ausgelöst durch die Fremdzündung selbst zündet (d.h. das Luft/Kraftstoff-Gemisch zündet unabhängig von der Fremdzündung selbst). Wenn das Klopfen oder die Vorzündung auftritt, tritt aufgrund schneller Änderungen des Verbrennungsdrucks etc. eine relativ große Vibration in dem Zylinderblock **3** auf. Somit wird in dieser Ausführungsform eine solche Vibration des Zylinderblocks **3** beruhend auf einem Detektionswert des Vibrationssensors **33** analysiert, um das Klopfen oder die Vorzündung zu detektieren.

[0030] An einer Position benachbart zu der Zündkerze **16** ist ein Ionenstromsensor **34** vorgesehen, um eine Flamme zu detektieren, die durch Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches in dem Brennraum **6** gebildet wird. Der Ionenstromsensor **34** weist eine Elektrode auf, an der eine Vorspannung von zum Beispiel etwa 100 V angelegt ist, wobei er ausgelegt ist, um einen Ionenstrom zu detektieren, der erzeugt

wird, wenn um die Elektrode eine Flamme gebildet wird, um so die Flamme zu detektieren.

[0031] Wie bei dem Vibrationssensor **33** kann das Auftreten der Vorzündung durch Detektieren einer Flamme unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** detektiert werden. Im Einzelnen wird in Fällen, da ein Luft/Kraftstoff-Gemisch durch Fremdzündung zwangsweise verbrannt wird, wenn ein Verbrennungszustand normal ist, die Verbrennung nach einer vorgegebenen Verzögerungszeit ab einem Zeitpunkt der Fremdzündung (Zündzeitpunkt) eingeleitet. Im Fall der Vorzündung zündet ein Luft/Kraftstoff-Gemisch aber vorzeitig selbst, unabhängig von der Fremdzündung, so dass eine Verbrennung bei einem Zeitpunkt vor der normalen Verbrennungseinleitungszeit (ein Zeitpunkt, da die vorgegebene Verzögerungszeit ab der Fremdzündung verstrichen ist) unerwünschterweise eingeleitet wird. Wenn somit ein Zeitpunkt einer Flammendetektion durch den Ionenstromsensor **34** (Flammenausbildungszeit) verglichen mit dem normalen Verbrennungseinleitungszeitpunkt übermäßig früh ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung erfolgt. Wie vorstehend werden in dieser Ausführungsform als Sensor zum Detektieren der Vorzündung zwei Arten von Sensoren: der Ionenstromsensor **34** und der Vibrationssensor **33** vorgesehen, um ein zuverlässigeres Detektieren der Vorzündung unter Verwenden der zwei Arten von Sensoren zuzulassen.

[0032] Eine anomale Verbrennung, die mit Hilfe des Ionenstromsensors **34** detektierbar ist, ist aber nur die Vorzündung, und der Ionenstromsensor **34** ist nicht in der Lage, das Klopfen zu detektieren. Im Einzelnen ist das Klopfen ein Phänomen, dass sich im Verlauf von Flammenausbreitung nach Flammenausbildung, die durch die Fremdzündung ausgelöst wird, ein unverbrannter Teil (Endgas) eines Luft/Kraftstoff-Gemisches wie vorstehend erwähnt selbst zündet. Selbst wenn das Klopfen auftritt, wird somit ein Zeitpunkt der Flammenausbildung normalerweise beibehalten. Daher ist es unmöglich, das Vorhandensein oder Fehlen des Klopfens durch Analysieren eines Flammenausbildungszeitpunkts von dem Ionenstromsensor **34** festzustellen. Aus diesem Grund wird das Klopfen nur durch Verwenden eines Detektionswerts des Vibrationssensors **33** ohne Verwenden des Ionenstromsensors **34** detektiert.

[0033] Ein Einlasskanal **20** und ein Auslasskanal **21** sind mit jeweiligen von Einlassöffnung **9** und Auslassöffnung **10** des Motorkörpers **1** verbunden. Im Einzelnen wird Außenansaugluft (Frischlufte) mittels des Einlasskanals **20** zu dem Brennraum **6** geliefert, und verbranntes Gas (Abgas), das in dem Brennraum **6** erzeugt wird, wird mittels des Auslasskanals **21** aus dem Motor heraus ausgestoßen.

[0034] Der Einlasskanal **20** ist mit einer Drosselklappe **22** zum Anpassen eines Durchsatzes von Ansaugluft, die in den Motorkörper **1** strömt, und mit einem Luftstromsensor **31** zum Detektieren des Durchsatzes von Ansaugluft versehen.

[0035] Die Drosselklappe **22** besteht aus einer elektronisch gesteuerten Drosselklappe, die ausgelegt ist, um gemäß einem Winkel eines nicht gezeigten Gaspedals, das von einem Fahrer zu betätigen (niederzutreten) ist, in einer offenen/schließbaren Weise elektrisch angetrieben zu werden. Im Einzelnen ist das Gaspedal mit einem Gaspedal-Winkelsensor **32** versehen (**Fig. 2**), und die Drosselklappe **22** ist ausgelegt, um durch einen nicht gezeigten elektrischen Aktuator gemäß einem Gaspedalwinkel, der von dem Gaspedalwinkelsensor **32** detektiert wird, in einer offenen/schließbaren Weise angetrieben zu werden.

[0036] Der Auslasskanal **21** ist mit einem Katalysator **23** zum Reinigen von Abgas versehen. Zum Beispiel beherbergt der Katalysator **23** einen Dreiwegekatalysator, um schädliche Bestandteile, die in dem durch den Auslasskanal **21** strömenden Abgas enthalten sind, durch eine Wirkung des Dreiwegekatalysators zu beseitigen.

Steuersystem

[0037] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, das das Steuersystem des Motors zeigt. Ein in **Fig. 2** veranschaulichtes ECU **40** ist ein Steuergerät zur umfassenden Steuerung verschiedener Abschnitte des Motors und besteht aus herkömmlichen Komponenten wie etwa einer CPU, einem ROM und einem RAM.

[0038] In das ECU **40** werden mehrere Detektionssignale von verschiedenen Sensoren eingegeben. Im Einzelnen ist das ECU **40** mit jedem von Motordrehzahlsensor **30**, Luftstromsensor **31**, Gaspedalwinkelsensor **32**, Vibrationssensor **33** und Ionenstromsensor **34** elektrisch verbunden und ausgelegt, um nacheinander eine Eingabe von Informationen wie etwa eine Motordrehzahl N_e , eine Ansaugluftmenge Q_a , einen Gaspedalwinkel AC , eine Vibrationsstärke (Vibrationsbeschleunigung) V_a , einen Ionenstromwert I_o als jeweilige Detektionswerte der Sensoren **30** bis **34** zu empfangen.

[0039] Ferner ist das ECU **40** mit jedem von VVT-Mechanismus **15**, Zündkerze **16**, Injektor **18** und Drosselklappe **22** elektrisch verbunden und ausgelegt, um ein Antriebssteuersignal zu jeder dieser Komponenten auszugeben.

[0040] Spezifische Funktionen des ECU **40** werden nachstehend beschrieben. Als Hauptfunktionselemente weist das ECU **40** einen Speicherabschnitt **41**, Ermittlungsabschnitt für anomale Verbrennung

42, einen Zündsteuerabschnitt **43**, einen Kraftstoffsteuerabschnitt **44** und einen WT-Steuerabschnitt **45** auf.

[0041] Der Speicherabschnitt **41** ist als Mittel zum Speichern verschiedener Daten und Programme vorgesehen, die zum Steuern des Motors notwendig sind. Als Beispiel für die Daten wird ein in **Fig. 3** veranschaulichtes Steuerkennfeld zum Festlegen eines spezifischen Betriebsbereichs **R** in dem Steuerabschnitt **41** gespeichert. Der spezifische Betriebsbereich **R** ist ein Motorbetriebsbereich mit einem Risiko des Auftretens der Vorzündung und ist in einer Nähe einer Linie maximaler Motorlast (**WOT**: Weit offene Drossel) angesetzt (d.h. in einem Bereich hoher Motorlast) und an der Seite eines Bereichs niedriger Motordrehzahl.

[0042] Im Einzelnen ist die Vorzündung ein Phänomen, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch wie vorstehend erwähnt bei einem Zeitpunkt vor einem normalen Verbrennungseinleitungszeitpunkt (einem normalen Einleitungszeitpunkt der Verbrennung, die durch Fremdzündung ausgelöst wird) selbst zündet. Somit tritt die Vorzündung am wahrscheinlichsten in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast auf, in dem Luft in dem Brennraum **6** eine hohe Temperatur und einen hohen Druck hat, und ein Zeitraum, während dessen Kraftstoff Wärme aus der Luft aufnimmt (Wärmeaufnahmezeitraum für Kraftstoff) wird länger. Wie in **Fig. 3** gezeigt wird daher der spezifische Betriebsbereich **R**, der ein Risiko des Auftretens der Vorzündung hat, in einem Bereich festgelegt, in dem die Motordrehzahl N_e relativ niedrig ist und eine Motorlast C_e relativ hoch ist.

[0043] Der Ermittlungsabschnitt für anomale Verbrennung **42** ist als Mittel vorgesehen, um das Vorhandensein oder Fehlen des Auftretens der Vorzündung oder des Klopfens beruhend auf jeweiligen Detektionswerten des Vibrationssensors **33** und des Ionenstromsensors **34** zu ermitteln. Im Einzelnen ist der Ermittlungsabschnitt für anomale Verbrennung **42** betreibbar, wenn sich ein Motorbetriebszustand in dem spezifischen Betriebsbereich **R** befindet, um eine Flammenausbildungszeit beruhend auf einem Detektionswert (Ionenstromwert I_o) des Ionenstromsensors **34** festzustellen und die Flammenausbildungszeit mit der normalen Verbrennungseinleitungszeit zu vergleichen, um zu ermitteln, ob die Vorzündung erfolgt. Ferner ist der Ermittlungsabschnitt für anomale Verbrennung **42** betreibbar, um beruhend auf einem Detektionswert (Vibrationsstärke V_a) des Vibrationssensors **33** einen Wert maximaler Vibrationsstärke und einen Auftrittszeitpunkt derselben zu analysieren, um zu ermitteln, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt (für Einzelheiten dieses Vorgangs siehe den nachstehend erwähnten Abschnitt **(3)**).

[0044] Der Zündsteuerabschnitt **43** ist als Mittel vorgesehen, um ein Leistungseinspeisungssignal zu dem Zündkreis der Zündkerze **16** zu einem vorgegebenen Zeitpunkt auszugeben, der abhängig von dem Motorbetriebszustand vorläufig festgelegt ist, um einen Zeitpunkt der Funkenentladung (Zündzeitpunkt) der Zündkerze **16** etc. zu steuern.

[0045] In dem spezifischen Betriebsbereich **R**, der in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast festgelegt ist, wird die Zündkerze **16** zum Beispiel so gesteuert, dass sie zu einem Zeitpunkt, der bezüglich des Verdichtungs-OT (oberer Totpunkt der Verdichtung) etwas spät festgelegt ist, Fremdzündung durchführt (eine Funkenentladung erzeugt). Wenn aber die Vibration mit einem vorgegebenen Wert oder mehr in dem spezifischen Betriebsbereich **R** detektiert und von dem Vibrationssensor **33** in das ECU **40** eingegeben wird, ist der Zündsteuerabschnitt **43** betreibbar, um den Zündzeitpunkt von dem vorstehenden Punkt (Zeitpunkt, der bezüglich des Verdichtungs-OT etwas spät ist) weiter hin zu einer Spätverstellseite zu verschieben. Dies soll ermitteln, durch welches von Vorzündung und Klopfen die von dem Vibrationssensor **33** bei dem vorgegebenen Wert oder mehr eingegebene Vibration hervorgerufen wird.

[0046] Im Einzelnen hat die Spätverstellung des Zündzeitpunkts eine Wirkung des Unterbindens des Klopfens, doch hat sie keine besondere Wirkung auf die Vorzündung (dieser Grund wird später näher beschrieben). Somit ist der Zündsteuerabschnitt **43** betreibbar, wenn Vibration mit einem vorgegebenen Wert oder mehr auftritt, um den Zündzeitpunkt absichtlich auf spät zu verstellen, um zu ermitteln, durch welches von Vorzündung und Klopfen die Vibration hervorgerufen wird. Dann ist das Ermittlungsmodul für anomale Verbrennung **42** betreibbar, um eine Änderung der Vibration nach der Spätverstellung des Zündzeitpunkts zu analysieren und beruhend auf einem Ergebnis der Analyse zu ermitteln, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt.

[0047] Der Kraftstoffsteuerabschnitt **44** ist als Mittel vorgesehen, um eine Einspritzmenge und einen Einspritzzeitpunkt von Kraftstoff, der von dem Injektor **18** in den Brennraum **6** einzuspritzen ist, zu steuern. Im Einzelnen ist der Kraftstoffsteuerabschnitt **44** betreibbar, um eine Kraftstoffeinspritzsollmenge und einen Kraftstoffeinspritzsollzeitpunkt beruhend auf Informationen zur Motordrehzahl N_e , die von dem Motordrehzahlsensor **30** eingegeben wird, und der Ansaugluftmenge Q_a , die von dem Luftstromsensor **31** eingegeben wird, zu berechnen und einen Ventilöffnungszeitpunkt und einen Ventilöffnungszeitraum des Injektors **18** beruhend auf einem Ergebnis der Berechnung zu steuern.

[0048] Wenn insbesondere die Vorzündung in dem spezifischen Betriebsbereich **R** detektiert wird, ist der Kraftstoffsteuerabschnitt **44** betreibbar, um einen Steuervorgang des Erhöehens der Kraftstoffeinspritzmenge von dem Injektor **18** auszuführen, um ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis des Zylinders anzureichern. Dieser Steuervorgang soll eine relativ große Kraftstoffmenge einspritzen, um eine Zylindertemperatur zu senken, um das Auftreten der Vorzündung zu unterbinden. Ferner ist der Kraftstoffsteuerabschnitt **44** nach Bedarf betreibbar, um einen Steuervorgang des Verzögerns einer Einspritzzeit eines Teils des Einspritzkraftstoffs, d.h. Kraftstoff, der ursprünglich in dem Ansaugtakt einspritzt werden sollte, auszuführen und den Teil des Einspritzkraftstoffs in einer späten Phase des (folgenden) Verdichtungstakts einzuspritzen (d.h. Kraftstoff in dem Ansaugtakt und in dem Verdichtungstakt geteilt einzuspritzen). Dies ermöglicht es, die Zylindertemperatur, insbesondere um den Verdichtungs-OT, zu senken und den Wärmeaufnahmezeitraum des Kraftstoffs zu verkürzen, um eine Umgebung zu erzeugen, in der die Vorzündung weniger wahrscheinlich auftritt.

[0049] Der VVT-Steuerabschnitt **45** ist als Mittel vorgesehen, um den VVT-Mechanismus **15** so anzutreiben, dass der Schließzeitpunkt des Einlassventils **11** (nachstehend als „Einlassventilschließzeitpunkt“ oder „IVC-Zeitpunkt“ bezeichnet) verschoben wird, um ein effektives Verdichtungsverhältnis des Motors verstellbar festzulegen. Im Einzelnen wird der Einlassventilschließzeitpunkt (IVC-Zeitpunkt) normalerweise benachbart zu einem unteren Totpunkt des Ansaugtakts (Ansaug-Vor-UT) und an einer Spätverstellseite bezüglich des Ansaug-Vor-UT (im Einzelnen bei einer Zeit etwas jenseits des Ansaug-Vor-UT) festgelegt. Beruhend auf dem so festgelegten IVC-Zeitpunkt wird es möglich, praktisch zu verhindern, dass in den Brennraum **6** eingeleitete Luft zurück in die Einlassöffnung **9** geblasen wird, so dass ein wesentliches Verdichtungsverhältnis (effektives Verdichtungsverhältnis) des Motors auf einen Wert nahe einem geometrischen Verdichtungsverhältnis des Motors gesetzt wird. Wenn dagegen der IVC-Zeitpunkt auf einen Punkt gesetzt ist, der bezüglich des Ansaug-Vor-UT signifikant spät ist, kommt es zu einer recht großen Rückblasmenge von Ansaugluft, was demgemäß eine Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses des Motors herbeiführt. Der VVT-Steuerabschnitt **45** ist betreibbar, um den WT-Mechanismus **15** so anzutreiben, dass ein Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts steuerbar erhöht und verringert wird, um das effektive Verdichtungsverhältnis des Motors verstellbar festzulegen.

[0050] Insbesondere ist der VVT-Steuerabschnitt **45** betreibbar, wenn die Vorzündung in dem spezifischen Betriebsbereich **R** detektiert wird, um nach Bedarf den IVC-Zeitpunkt auf spät zu verstellen, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern. Dies

ermöglicht es, hauptsächlich einen Zylinderdruck (Innendruck des Brennraums **6**) abzusinken, um die Vorzündung zu unterbinden.

[0051] Der Begriff „Einlassventilschließzeitpunkt (IVC-Zeitpunkt)“ in der vorstehenden Beschreibung ist ein Schließzeitpunkt auf einer Annahme, dass ein Intervall einer Hubkurve mit Ausnahme von Anstiegsgebieten (Puffergebiete, in denen ein Hubbetrag sanft ansteigt und fällt) als Ventilöffnungszeitraum definiert ist. Somit meint er keinen Zeitpunkt, bei dem ein Hubbetrag des Einlassventils **11** genau null wird.

Methode zum Ermitteln von Vorzündung und Klopfen

[0052] Die folgende Beschreibung behandelt einen spezifischeren Prozess, der auszuführen ist, wenn der Ermittlungsabschnitt anomaler Verbrennung **42** das Auftreten der Vorzündung und des Klopfens ermittelt.

[0053] Zuerst wird ein Prozess, der auszuführen ist, wenn die Vorzündung unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** detektiert wird, beschrieben. **Fig. 4** ist ein Diagramm, das Verteilungen (zeitliche Änderungen) von Wärmefreisetzungsbeträgen im Fall der Vorzündung und in einem normalen Verbrennungszustand zeigt. In **Fig. 4** deutet der Code „**IG**“ Fremdzündung (Funkenentladung) an, und ein Wärmefreisetzungsbetrag während normaler Verbrennung, der von der Fremdzündung **IG** ausgelöst wird, ist als durchgehende Wellenform **J0** gezeigt. Ein Zeitpunkt der Fremdzündung **IG** in dem spezifischen Betriebsbereich R mit einem Risiko des Auftretens der Vorzündung wird auf einen Punkt gesetzt, der wie vorstehend erwähnt bezüglich des Verdichtungs-OT etwas spät ist. Somit wird eine Kurbelwinkelposition der Fremdzündung **IG** in **Fig. 4** bezüglich des Verdichtungs-OT (in **Fig. 4** **OT**) auf einer Spätverstellseite festgelegt. In der gezeigten Ausführungsform ist die Fremdzündung **IG** bei etwa 5 Grad Kurbelwinkel (**CA**) nach dem Verdichtungs-OT (5 Grad CA N-OT) festgelegt.

[0054] In der Wellenform **J0** zeigt während der normalen Verbrennung, die von der Fremdzündung **IG** ausgelöst wird, **t0** einen Punkt an, an dem Verbrennung zu einem Wert abläuft, bei dem eine Flamme von dem Ionenstromsensor **34** detektiert werden kann (d.h. eine Einleitungszeit erheblicher Verbrennung). Der Punkt **t0** ist bezüglich des Punkts der Fremdzündung **IG** um einen vorgegebenen Kurbelwinkel spät. Im Einzelnen dehnt sich im normalen Verbrennungszustand die Verbrennung allmählich von einem Flammenkern, der von der Fremdzündung erzeugt wird, hin zu einer Peripherie des Brennraums **6** aus. Somit wird der Einleitungszeitpunkt er-

heblicher Verbrennung **t0** in gewissem Ausmaß später als der Zeitpunkt der Fremdzündung **IG**.

[0055] Eine Verteilung eines Wärmefreisetzungsbetrags im Fall der Vorzündung wird dagegen durch die Strich-Punkt-Wellenformen **J1** bis **J3** angedeutet. Die Wellenform **J1**, die Wellenform **J2** und die Wellenform **J3** zeigen schwache Vorzündung, mittlere Vorzündung bzw. starke Vorzündung an, wobei jeweilige Kurbelwinkelpositionen der Einleitungszeitpunkte erheblicher Verbrennung **t1**, **t2**, **t3** der drei Arten von Vorzündungen bezüglich des Einleitungszeitpunkts normaler Verbrennung **t0** an einer Frühverstellseite versetzt sind. Das bedeutet, dass es aufgrund von Selbstzündung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches unmöglich wird, die Verbrennung durch die Fremdzündung zu steuern, sobald die Vorzündung auftritt, und die Verbrennung wird zu einem Zeitpunkt eingeleitet, der früher als der Einleitungszeitpunkt normaler Verbrennung **t0** ist. Zusammen mit dem Vorrücken hin zum früheren Verbrennungseinleitungszeitpunkt wird ein Verbrennungsprozess zudem steiler oder schneller und ein Verbrennungszeitraum wird kürzer.

[0056] Ferner hat die Vorzündung eine Eigenschaft, dass sich die schwache Vorzündung (**J1**) allmählich zu der starken Vorzündung (**J3**) entwickelt, wenn sie ohne Steuerung bleibt. Sobald die Vorzündung auftritt, wird im Einzelnen eine Innentemperatur des Brennraums **6** beschleunigt höher, um eine Umgebung zu erzeugen, in der die Vorzündung wahrscheinlicher auftritt, so dass sich die Vorzündung in einer Kettenreaktionsweise entwickelt. Insbesondere wenn sich die Vorzündung zu starker Vorzündung (**J3**) entwickelt, wird der Verbrennungsprozess extrem schnell, was recht starkes Geräusch und recht große Vibration in einem Motor hervorruft, was zu einer Beschädigung eines Kolbens etc. führt.

[0057] Somit ist es erforderlich, das Auftreten der Vorzündung adäquat zu detektieren, zumindest bevor sie sich zu der starken Vorzündung entwickelt, und erforderliche Maßnahmen (z.B. Anreicherung eines Luft/Kraftstoff-Verhältnisses) zu ergreifen. In dieser Ausführungsform wird daher als Möglichkeit zum Detektieren der Vorzündung eine Flamme unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** detektiert und das Vorhandensein oder Fehlen des Auftretens der Vorzündung wird beruhend auf einem Detektionszeitpunkt der Flamme (Flammenausbildungszeit) ermittelt. Wenn im Einzelnen der Ionenstromsensor **34** eine Flamme zu einem Zeitpunkt, der um eine vorgegebene Zeit vor dem normalen Verbrennungseinleitungszeitpunkt **t0** liegt, detektiert, wird ermittelt, dass die Flamme durch die Vorzündung hervorgerufen wird. Um in diesem Prozess die Vorzündung zu detektieren, wenn sie bei einem Wert liegt, der so nah wie möglich bei schwach liegt, ist es bevorzugt, dass die Ermittlung des Auftretens der Vorzündung erfolgt, wenn eine Flammendetektionszeit durch den Ionen-

stromsensor **34** früher wird und zum Beispiel dem Punkt **t1** nahe kommt. Indessen kann das Auftreten der Vorzündung wie vorstehend erwähnt nicht nur durch Verwenden des Ionenstromsensors **34**, sondern auch durch Verwenden des Vibrationssensors **33** detektiert werden. In dieser Ausführungsform wird der Vibrationssensor **33** verwendet, um nicht nur die Vorzündung, sondern auch das Klopfen zu detektieren. Nachstehend wird ein Detektionsprozess unter Verwenden des Vibrationssensors **33** beschrieben.

[0058] Fig. 5 ist ein Diagramm, das eine Änderung des Zylinderdrucks im Fall der Vorzündung und eine Änderung des Zylinderdrucks im Fall des Klopfens in vergleichender Weise zeigt. In Fig. 5 ist die Änderung des Zylinderdrucks im Fall der Vorzündung durch eine Wellenform P_p angedeutet, und die Änderung des Zylinderdrucks im Fall von Klopfen ist durch eine Wellenform P_n angedeutet. Ferner ist in Fig. 5 zum klaren Ausdrücken eines Unterschieds zwischen den Wellenformen P_p , P_n die Wellenform P_p im Fall der Vorzündung als Änderung des Zylinderdrucks gezeigt, der auftaucht, wenn sich die Vorzündung einigermaßen (zu einem starken Wert oder einem Wert nahe diesem) entwickelt.

[0059] Wie aus der Wellenform P_p hervorgeht, ist, wenn sich die Vorzündung einigermaßen entwickelt, der Zylinderdruck um den Verdichtungs-OT stark erhöht, und der erhöhte Druck wird innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums auf einen normalen Wert zurückgeführt. Im Fall des Klopfens dagegen tritt, wie durch die Wellenform P_n angedeutet, eine Spitze der Wellenform, bei der der Zylinderdruck schnell erhöht wird, bei einer Position auf, die bezüglich einer Spitze der Wellenform im Fall der Vorzündung an der Spätverstellseite stark versetzt ist. Bei dem Klopfen, das ein Phänomen ist, dass, nachdem ein Verbrennungsprozess in gewissem Maße abläuft, ein verbleibendes unverbranntes Luft/Kraftstoff-Gemisch (Endgas) selbst zündet, tritt im Einzelnen ein schneller Anstieg des Zylinderdrucks, der durch die Selbstzündung verursacht wird, bei einer letzten Phase des Verbrennungsprozesses auf, und dadurch wird die Spitze der Wellenform weiter hin zur Spätverstellseite versetzt.

[0060] Fig. 6 und Fig. 7 zeigen eine Vibrationswellenform, die von dem Vibrationssensor **33** einzugeben ist, wenn die Änderung des Zylinderdrucks wie in Fig. 5 gezeigt in dem Fall der Vorzündung oder des Klopfens auftritt. In Fig. 6 und Fig. 7 stellen die senkrechte Achse und die waagerechte Achse eine Vibrationsstärke (Vibrationsbeschleunigung) V_a , die von dem Vibrationssensor **33** eingegeben wird, bzw. einen Kurbelwinkel CA dar, d.h. die Vibrationswellenform zeigt abhängig von dem Kurbelwinkel CA eine Änderung der Vibrationsstärke V_a .

[0061] Bei Vergleich zwischen Fig. 6 und Fig. 7 ist die Vibrationswellenform im Fall der Vorzündung

(Fig. 6) verglichen mit der Vibrationswellenform im Fall des Klopfens mit einem maximalen Wert V_{max} einer detektierten Vibrationsstärke V_a groß (nachstehend einfach als „maximale Vibrationsstärke V_{max} “ bezeichnet) und früh in einer Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} . Dies liegt daran, dass bei der einigermaßen entwickelten Vorzündung, wie sie in Fig. 5 gezeigt ist, ein Teil, in dem sich der Zylinderdruck am schnellsten ändert (d.h. eine Spitze der Wellenform), eine große Amplitude hat und bei einem Punkt auftritt, der verglichen mit dem Klopfen an der Frühverstellseite recht versetzt auftritt.

[0062] Wie vorstehend wird nachgewiesen, dass ein relativ deutliches Merkmal in einer Größenordnung (Amplitude) und einer Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} , die zu detektieren ist, wenn sich die Vorzündung einigermaßen entwickelt, gefunden werden kann. In einer Situation, in der sich die Vorzündung nicht ausreichend entwickelt (zum Beispiel in der schwachen Vorzündung, wie durch die Wellenform J_1 in Fig. 4 angedeutet), unterscheiden sich aber eine Größenordnung und eine Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} nicht stark von denen im Fall des Klopfens. Somit ist es wahrscheinlich, dass die Vorzündung aufgrund der Schwierigkeit, durch einfaches Analysieren der Wellenform der Vibrationsstärke V_a klar zwischen der Vorzündung und dem Klopfen zu unterscheiden, nicht detektiert werden kann.

[0063] Daher wird in dieser Ausführungsform in einer Situation, in der eine maximale Vibrationsstärke V_{max} gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert von dem Vibrationssensor **33** detektiert wird und vermutet wird, dass die Vorzündung oder das Klopfen auftritt, zum Unterscheiden dazwischen ein Zündzeitpunkt absichtlich auf spät verstellt und es wird beruhend auf einer Änderung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} nach der Spätverstellung des Zündzeitpunkts ermittelt, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt.

[0064] Im Einzelnen wird in dem spezifischen Betriebsbereich R, d.h. in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast, der ein Risiko des Auftretens der Vorzündung hat, der Zündzeitpunkt in dem normalen Zustand bei dem Punkt festgelegt, der bezüglich des Verdichtungs-OT etwas spät ist (z.B. bei etwa 5 Grad CA N-OT). Wenn dagegen die maximale Vibrationsstärke V_{max} gleich oder größer als der vorgegebene Schwellenwert von dem Vibrationssensor **33** detektiert wird, wird der Zündzeitpunkt bezüglich des Punkts in dem normalen Zustand um einen vorgegebenen Betrag auf spät verstellt, so dass die Fremdzündung bezüglich des Verdichtungs-OT bei einem späteren Zeitpunkt durchgeführt wird. Dann ist der Ermittlungsabschnitt anomaler Verbrennung **42** betreibbar, um zu analysieren, in welcher Weise die maximale Vibrationsstärke V_{max} gemäß

der Zündzeitpunktspätverstellung geändert wird, um zu ermitteln, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt.

[0065] Im Fall des Klopfens wird zum Beispiel der Zündzeitpunkt in der vorstehenden Weise auf spät verstellt, und dadurch wird die Verbrennung auf der Spätverstellseite weiter von dem Verdichtungs-OT (d.h. in einem Zustand nach Absenken von Temperatur/Druck des Zylinders) eingeleitet. Somit wird in einem folgenden Verbrennungsprozess das Auftreten der Selbstzündung eines unverbrannten Luft/Kraftstoff-Gemisches (Endgas) weniger wahrscheinlich. Beruhend auf dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts im Fall des Klopfens mindert sich somit ein Wert des Klopfens und ein Auftrittszeitpunkt des Klopfens wird später. Dadurch wird ein Phänomen beobachtet, dass eine Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}**, die von dem Vibrationssensor **33** detektiert wird, verringert wird und eine Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** später wird.

[0066] In **Fig. 8** deuten die Markierungen „x“ an, in welcher Weise die von dem Vibrationssensor **33** detektierte maximale Vibrationsstärke **V_{max}** geändert wird, wenn der Zündzeitpunkt im Fall des Klopfens allmählich auf spät verstellt wird. Wie in **Fig. 8** zusammen mit der Zündzeitpunktspätverstellung ersichtlich werden Darstellungen der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** (die Markierungen „x“) allmählich hin zu einer rechten unteren Seite verschoben. Dies zeigt, dass zusammen mit der Zündzeitpunktspätverstellung die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** allmählich abgesenkt wird und ein Kurbelwinkel der Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** allmählich hin zur Spätverstellseite versetzt wird. In **Fig. 8** zeigt der Wert **X** an der senkrechten Achse einen Schwellenwert zum Ermitteln an, ob der Zündzeitpunkt spät verstellt werden sollte, wobei, wenn eine maximale Vibrationsstärke **V_{max}** gleich oder größer als der Schwellenwert **X** detektiert wird, die Zündzeitpunktspätverstellung durchgeführt wird.

[0067] Auf die vorstehende Weise kann das Klopfen durch Spätverstellen des Zündzeitpunkts unterbunden werden. Im Fall der Vorzündung, bei der sich ein Luft/Kraftstoff-Gemisch unabhängig von dem Zündzeitpunkt selbst zündet, selbst wenn der Zündzeitpunkt auf spät verstellt wird, tritt die Selbstzündung aber immer noch auf und dadurch wird die Vorzündung nicht unterbunden. Wie beruhend auf **Fig. 4** beschrieben, entwickelt sich vielmehr die Vorzündung, sobald sie auftritt, allmählich mit Zeit, was zu einem früheren Verbrennungseinleitungszeitpunkt und einer schnelleren Verbrennung führt. Dies ist der Grund, warum die Markierungen „Δ“, die die maximale Vibrationsstärke **V_{max}** im Fall der Vorzündung anzeigen, allmählich hin zu einer oberen linken Seite in **Fig. 8** verschoben wird. Im Fall der Vorzündung

steigt mit anderen Worten die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** unabhängig von der Zündzeitpunktspätverstellung allmählich mit Zeit an und die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** wird allmählich auf früh verstellt.

[0068] Die vorstehenden Daten zeigen, dass im Fall der Vorzündung ein Anstieg der Größenordnung und eine Zunahme des Frühverstellbetrags der Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** trotz der Zündzeitpunktspätverstellung beobachtet werden, wogegen im Fall des Klopfens eine Abnahme der Größenordnung und eine Zunahme des Spätverstellbetrags der Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** zusammen mit der Zündzeitpunktspätverstellung beobachtet werden. Von diesem Standpunkt wird in dieser Ausführungsform beruhend auf einer Änderung (der Größenordnung und Detektionszeit) der maximalen Vibrationsstärke **V_{max}** zusammen mit der Zündzeitpunktspätverstellung ermittelt, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt. Dies macht es möglich, präzise zwischen der Vorzündung und dem Klopfen zu unterscheiden, auch bei Verwenden des Vibrationssensors **33**.

Steuerbetrieb

[0069] Unter Bezug auf die Flussdiagramme in **Fig. 9** bis **Fig. 12** wird ein Steuerbetrieb beruhend auf dem ECU **40**, das die vorstehenden Funktionen hat, nachstehend beschrieben. Die folgende Beschreibung erfolgt hauptsächlich für einen Vorgang des Detektierens der Vorzündung und des Klopfens und einen Vermeidungsvorgang, der auszuführen ist, wenn die Vorzündung oder das Klopfen detektiert werden.

[0070] Bei Start einer in dem Flussdiagramm in **Fig. 9** veranschaulichten Verarbeitungsroutine führt das ECU **40** erst einen Steuervorgang des Lesens jeweiliger Detektionswerte der Sensoren aus (Schritt **S1**). Jeweilige Werte der Motordrehzahl **N_e**, der Ansaugluftmenge **Q_a**, des Gaspedalwinkels **AC**, der Vibrationsstärke **V_a** und des Ionenstromwerts **I_o** werden im Einzelnen von entsprechenden von Motordrehzahlsensor **30**, Luftstromsensor **31**, Gaspedalwinkelsensor **32**, Vibrationssensor **33** und Ionenstromsensor **34** gelesen und in das ECU **40** eingegeben.

[0071] Dann führt das ECU **40** beruhend auf der in Schritt **S1** gelesenen Information einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob in dem in **Fig. 3** gezeigten spezifischen Betriebsbereich **R** der Motorbetriebszustand vorliegt (Schritt **S2**). Im Einzelnen wird ermittelt, ob beide, Motordrehzahl **N_e**, die in Schritt **S1** gelesen wird, und Motorlast **C_e**, die aus der in Schritt **S1** gelesenen Ansaugluftmenge **Q_a** (oder dem Gaspedalwinkel **AC**) berechnet wird, in dem spezifischen Betriebsbereich **R** in **Fig. 3** enthalten sind.

[0072] Wenn die Ermittlung in Schritt **S2** NEIN lautet, d.h. bestätigt wird, dass der vorliegende Motorbetriebszustand außerhalb des spezifischen Betriebsbereichs **R** liegt, wird ein normaler Steuermodus beibehalten (Schritt **S32** in **Fig. 10**), da ein solcher Motorbetriebszustand kein Risiko für das Auftreten der Vorzündung hat, und daher keine Notwendigkeit besteht, die nachstehend erwähnten Steuervorgänge in Schritt **S3** und den folgenden Schritten (wie etwa Ermittlung von anomaler Verbrennung und eine Vermeidungssteuerung anomaler Verbrennung) auszuführen. Im Einzelnen werden Parameter wie etwa die Kraftstoffeinspritzmenge, die Kraftstoffeinspritzzeit und die Betriebszeit des Einlassventils **11** gemäß jeweiligen normalen Sollwerten gesteuert, die abhängig vom Motorbetriebszustand vorläufig festgelegt werden.

[0073] Wenn dagegen die Ermittlung in Schritt **S2** JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass der Motorbetriebszustand derzeit in dem spezifischen Betriebsbereich **R** liegt, führt das ECU **40** beruhend auf dem in Schritt **S1** gelesenen Ionenstromwert I_o einen Steuervorgang des Ermittlens aus, ob die Flammenausbildungszeit früher als die in dem normalen Verbrennungszustand ist, d.h. ob die Vorzündung erfolgt (Schritt **S3**). Wenn im Einzelnen die Flammenausbildungszeit, die beruhend auf dem Ionenstromwert I_o festgestellt wird, um eine vorgegebene Zeit oder mehr früher als ein vorgeschpeicherter normaler Verbrennungseinleitungszeitpunkt ist (ein Zeitpunkt, der etwas später als der Zeitpunkt der Fremdzündung (Zündzeitpunkt) ist; z.B. der Punkt **t0** in **Fig. 4**), wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt.

[0074] Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S3** JA lautet, d.h. das Auftreten der Vorzündung wird bestätigt, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Setzens eines Flags anomaler Verbrennung F_{abnrm} zum Aufzeichnen eines Verbrennungszustands (ein Vorgabewert des Flags ist „0“) auf „1“ aus, was angibt, dass die Vorzündung auftritt (Schritt **S4**).

[0075] Wenn dagegen die Ermittlung in Schritt **S3** NEIN lautet, d.h. von dem Ionenstromwert I_o wird keine Vorzündung detektiert, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Erfassens eines maximalen Werts der Vibrationsstärke V_a (maximale Vibrationsstärke V_{max}) beruhend auf der Vibrationsstärke V_a , die in Schritt **S1** von dem Vibrationssensor **33** gelesen wird, und des Speicherns der erfassten maximalen Vibrationsstärke V_{max} als maximale Vibrationsstärke V_{max1} (Schritt **S5**) aus. Dann führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermittlens aus, ob die gespeicherte maximale Vibrationsstärke V_{max1} gleich oder größer als der vorbestimmte Schwellenwert **X** ist (siehe **Fig. 8**) (Schritt **S6**).

[0076] Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S6** JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass die maximale Vibrations-

stärke V_{max1} gleich oder größer als der Schwellenwert **X** ist, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Spätverstellens des Zündzeitpunkts der Zündkerze **16** um einen vorgegebenen Betrag aus (Schritt **S7**). Im Einzelnen wird der Zündzeitpunkt in dem spezifischen Betriebsbereich **R** und in dem normalen Zustand (normaler Zündzeitpunkt) bei dem Punkt festgelegt, bei bezüglich des Verdichtungs-OT leicht spät ist (z.B. etwa 5 Grad CA N-OT), wie vorstehend erwähnt wurde. Beruhend auf der vorstehenden Zündzeitpunktspätverstellung wird somit ein Spätverstellbetrag zwischen einem Verdichtungs-OT und dem Zündzeitpunkt weiter vergrößert.

[0077] Nach Beendigung der Zündzeitpunktspätverstellung führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Erfassens einer maximalen Vibrationsstärke V_{max} von der Vibrationsstärke V_a , die von dem Vibrationssensor **33** nach der Zündzeitpunktspätverstellung eingegeben wird, und ein Speichern der erfassten maximalen Vibrationsstärke V_{max} als maximale Vibrationsstärke V_{max2} aus (Schritte **S8** und **S9**). Dann führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermittlens aus, ob die gespeicherte maximale Vibrationsstärke V_{max2} größer als die maximale Vibrationsstärke V_{max1} ist, die in Schritt **S5** gespeichert wird (d.h. maximale Vibrationsstärke, die vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts gespeichert wird) (Schritt **S10**). In der folgenden Beschreibung wird die nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts gespeicherte maximale Vibrationsstärke V_{max2} als „maximale Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung“ bezeichnet, und die maximale Vibrationsstärke V_{max1} , die vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts gespeichert wird, wird als „maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung“ bezeichnet. In diesem Fall entspricht die „maximale Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung“ dem „maximalen Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung“, der in den beigefügten Ansprüchen dargelegt ist, und die „maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung“ entspricht dem „maximalen Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung“, der in den beigefügten Ansprüchen dargelegt ist.

[0078] Wenn die Ermittlung in Schritt **S10** JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass die maximale Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung größer als die maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung ist (dies bedeutet, dass die maximale Vibrationsstärke V_{max} trotz der Zündzeitpunktspätverstellung gesteigert ist), führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Setzens des Flags für anomale Verbrennung F_{abnrm} auf „1“ aus, was anzeigt, dass die Vorzündung erfolgt (der Schritt **S4**). Im Einzelnen wird, wie durch die Markierungen „ Δ “ in **Fig. 8** angedeutet, im Fall der Vorzündung, selbst wenn der Zündzeitpunkt auf spät verstellt wird, die Vorzündung nicht unterbunden und die maximale Vibrationsstär-

ke V_{max} wird gesteigert. Wenn somit die Beziehung: $V_{max2} > V_{max1}$ bestätigt wird, kann ermittelt werden, dass die Vorzündung auftritt, und daher wird das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm auf „1“ gesetzt.

[0079] Wenn dagegen die Ermittlung in Schritt **S10** NEIN lautet, d.h. bestätigt wird, dass die maximale Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als die maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung ist, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob eine Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung ist (Schritt **S11**).

[0080] Wenn die Ermittlung in Schritt **S11** JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass die maximale Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellung der Zündung früher als die maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung ist (dies bedeutet, dass eine Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} trotz der Zündzeitpunktspätverstellung früher wird), führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Setzens des Flags für anomale Verbrennung Fabnrm auf „1“ aus, was anzeigt, dass die Vorzündung erfolgt (der Schritt **S4**). Wenn im Einzelnen, wie durch die Markierungen „ Δ “ in **Fig. 8** angedeutet, die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} unabhängig von der Zündzeitpunktspätverstellung auf früh verstellt ist, kann ermittelt werden, dass die Vorzündung erfolgt, und daher wird das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm auf „1“ gesetzt.

[0081] Wie in den Schritten **S10** und **S11** gezeigt wird in dieser Ausführungsform nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts zuerst ermittelt, ob die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} erhöht ist (**S10**). Selbst wenn in Schritt **S10** ermittelt wird, dass die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} nicht erhöht ist, wird dann ermittelt, ob die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} früher wird (**S11**). Wenn eine der Ermittlungen in den Schritten **S10** und **S11** JA lautet, wird ermittelt, dass die Vorzündung erfolgt. Wie im Einzelnen durch die Markierungen „ Δ “ in **Fig. 8** angedeutet ist, werden im Fall der Vorzündung im Allgemeinen die folgenden Phänomene beobachtet: die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} ist erhöht; und die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} ist auf früh verstellt. Es besteht aber die Möglichkeit, dass abhängig von Umgebungen nur eines der Phänomene beobachtet wird. Daher wird die Ermittlung zum Auftreten der Vorzündung vorgenommen, wenn eine der Ermittlungen in den Schritten **S10** und **S11** JA lautet.

[0082] Die folgende Beschreibung betrifft einen Steuervorgang, der auszuführen ist, wenn die Ermittlung in Schritt **S11** NEIN lautet. In diesem Fall ist die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} verringert und die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} wird später. Somit führt das ECU **40** in Schritt **S12** einen Steuervorgang des Setzens des Flags für anomale Verbrennung Fabnrm auf „2“ aus, was anzeigt, dass Klopfen auftritt. Wenn im Einzelnen, wie durch die Markierungen „x“ in **Fig. 8** angedeutet, der Zündzeitpunkt im Fall des Klopfens auf spät verstellt ist, wird die Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} verringert und die Detektionszeit der maximalen Vibrationsstärke V_{max} wird auf spät verstellt. Wenn somit solche Phänomene beobachtet werden, kann ermittelt werden, dass das Klopfen auftritt, und daher wird das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm auf „2“ gesetzt“.

[0083] Wenn die Ermittlung in Schritt **S6** NEIN lautet, d.h. bestätigt wird, dass die maximale Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellung der Zündung kleiner als der Schwellenwert X ist (dies bedeutet, dass weder die Vorzündung noch das Klopfen auftritt), führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Setzens des Flags für anomale Verbrennung Fabnrm auf „0“ aus, was anzeigt, dass ein Verbrennungszustand normal ist (Schritt **S13**).

[0084] Wenn wie vorstehend in dem in **Fig. 9** gezeigten Flussdiagramm der Motorbetriebszustand in dem spezifischen Betriebsbereich **R** liegt, wird beruhend auf jeweiligen Detektionswerten des Ionenstromsensors **34** und des Vibrationssensors **33** ermittelt, ob die Vorzündung oder das Klopfen auftritt, und dann wird das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm abhängig von einem Ergebnis der Ermittlung auf einen der Werte „0“, „1“, „2“ gesetzt.

[0085] **Fig. 10** zeigt eine Verarbeitungsroutine, die von dem Flussdiagramm in **Fig. 9** fortfährt. Bei Start der in **Fig. 10** gezeigten Verarbeitungsroutine führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm **1** ist (Schritt **S20**). Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S20** JA ist (Fabnrm = 1), d.h. bestätigt wird, dass die Vorzündung erfolgt, führt das ECU **40** eine Vorzündungsvermeidungssteuerung als Sondersteuermodus zum Vermeiden der Vorzündung aus (Schritt **S21**).

[0086] Unter Bezug auf **Fig. 11** werden Einzelheiten der Vorzündungsvermeidungssteuerung in Schritt **21** nachstehend beschrieben. Bei Start der Vorzündungsvermeidungssteuerung führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob ein vorliegender Einstellwert des Luft/Kraftstoff(L/K)-Verhältnisses des Zylinders größer als **11** ist (Schritt **S40**). Der Schwellenwert (L/K-Verhältnis = 11) für die Ermittlung in Schritt **S40** ist ein L/K-Grenzwert, der während eines nachstehend erwähnten Steuervorgangs

des Anreicherns des UK-Verhältnisses in Schritt **S42** zulässig ist. Wenn das L/K-Verhältnis auf einen Wert unter **11** angereichert ist, bewirkt ein solches fettes L/K-Verhältnis voraussichtlich Rauch und ist bezüglich Kraftstoffwirtschaftlichkeit nachteilig. Somit wird ein L/K-Verhältnis als L/K-Grenzwert für das Anreichern auf **11** gesetzt.

[0087] In dem spezifischen Betriebsbereich **R** ist das UK-Verhältnis des Zylinders zunächst auf ein stöchiometrisches Luft/Kraftstoff-Verhältnis (= 11) oder einen Wert etwas fetter als das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis, d.h. einen Wert magerer als der UK-Grenzwert (= 11) gesetzt. Folglich lautet in dem Schritt **S40** die Ermittlung zunächst JA. Dann führt das ECU **40** in dem nächsten Schritt **S42** einen Steuervorgang des Anreicherns des L/K-Verhältnisses aus. Im Einzelnen wird eine Kraftstoffeinspritzmenge von dem Injektor **18** gesteigert, um einen vorliegenden Einstellwert des UK-Verhältnisses des Zylinders um eine vorgegebene Menge anzureichern.

[0088] Die Anreicherung des UK-Verhältnisses wird in einer mehrstufigen Weise (schrittweise) durchgeführt. Wenn zum Beispiel ein vorliegender Wert des UK-Verhältnisses 14,7 (stöchiometrisches Luft/Kraftstoff-Verhältnis) beträgt, wird es zunächst auf einen kleineren Wert von 12,5 angereichert. Wenn die Vorzündung auch nach der ersten Anreicherung nicht vermieden werden kann, wird das UK-Verhältnis weiter auf einen kleinsten Wert von **11** (L/K-Grenzwert) angereichert. In Fällen, da die Vorzündung kurz nach der ersten Anreicherung (14,7 → 12,5) erfolgreich vermieden wird, wird der Anreicherungssteuervorgang dagegen zu diesem Zeitpunkt beendet.

[0089] In einer Situation, in der die Vorzündung selbst nach Anreichern des UK-Verhältnisses in Schritt **S42** auf **11** ständig erfolgt, lautet die Ermittlung in Schritt **S40** NEIN. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S41** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob ein vorliegender Einstellpunkt des Einlassventilschließ(IVC)-Zeitpunkts früher als ein Punkt **Tx** ist, der durch einen Steuervorgang des maximalen Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts in dem nachstehend erwähnten Schritt **S43** (spätester IVC-Zeitpunkt **Tx**) erhalten wird. Der späteste IVC-Zeitpunkt **Tx** als Schwellenwert für die Ermittlung in Schritt **S41** wird auf einen Punkt gesetzt, bei dem ein Zurückblasen von Ansaugluft aufzutreten beginnt und das effektive Verdichtungsverhältnis des Motors in gewissem Umfang bezüglich des geometrischen Verdichtungsverhältnisses des Motors (z.B. etwa 110 Grad CA nach dem Ansaug-UT (N-UT) verringert ist). Wenn der IVC-Zeitpunkt jenseits des spätesten IVC-Zeitpunkts **Tx** auf spät verstellt wird, wird eine Motorleistungsleistung aufgrund einer signifikanten Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses des Motors ungenügend. Somit wird der späteste IVC-

Zeitpunkt **Tx** als zulässiger maximaler Spätverstellbetrag eingestellt.

[0090] In dem spezifischen Betriebsbereich **R** ist der IVC-Zeitpunkt zunächst auf einen Punkt gestellt, bei dem nahezu kein Zurückblasen von Ansaugluft auftritt, z.B. etwa 35 ± 5 Grad **CA** nach dem Ansaug-UT (N-UT) des Ansaugtakts. Folglich lautet in dem Schritt **S41** die Ermittlung zunächst JA. Dann führt das ECU **40** in dem Schritt **S43** einen Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts aus. Im Einzelnen wird der VVT-Mechanismus **15** angetrieben, um die Betriebszeit des Einlassventils **11** auf spät zu verstellen, so dass der IVC-Zeitpunkt bezüglich eines vorliegenden Einstellpunkts um einen vorgegebenen Betrag auf spät verstellt wird, um das effektive Verdichtungsverhältnis des Motors zu verringern.

[0091] Die Spätverstellung des Einlassventilschließ (IVC)zeitpunkts wird wie bei dem Steuervorgang des Anreicherns des UK-Verhältnisses in Schritt **S42** in mehrstufiger Weise (schrittweise) durchgeführt. Im Einzelnen wird der IVC-Zeitpunkt zunächst um einen vorgegebenen Betrag auf spät verstellt. Wenn dann die Vorzündung durch die erste Spätverstellung erfolgreich vermieden wird, wird jede weitere Spätverstellung unterbunden. Wenn dagegen die Vorzündung auch nach der ersten Spätverstellung nicht vermieden werden kann, wird der Spätverstellbetrag weiter erhöht.

[0092] In dieser Ausführungsform wird bei dem Vorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts in mehrstufiger Weise, wie er vorstehend erwähnt wird, ein Spätverstellbetrag in jeder Stufe so festgelegt, dass er ein Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses bei konstanten Intervallen zusammen mit der Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts zulässt. Zu diesem Zweck wird der Spätverstellbetrag in jeder Stufe zu einem größeren Wert gesetzt, wenn der IVC-Zeitpunkt vor der Spätverstellung des Einlassventilszeitpunkts näher zu dem Ansaug-UT ist, und wird mit dem Fortschreiten der Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts allmählich reduziert.

[0093] Unter Bezug auf **Fig. 13** wird der Grund für das Steuern des Spätverstellbetrags in vorstehender Weise beschrieben. **Fig. 13** ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Spätverstellbetrag eines IVC-Zeitpunkts und einem effektiven Verdichtungsverhältnis eines Fremdzündungsmotors mit einem geometrischen Verdichtungsverhältnis von **14** zeigt. Wie in dem in **Fig. 13** gezeigten Graph ersichtlich wird, wenn der IVC-Zeitpunkt weiter weg von einem Ansaug-UT (hin zu einer rechten Seite der waagerechten Achse) kommt, ein Gradient der Kurve in dem Graph steiler und eine Verringerungsrate des effektiven Verdichtungsverhältnisses wird allmählich erhöht. Somit ist es als Voraussetzung für das konstante Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses

ses um einen konstanten Betrag erforderlich, dass, wenn ein vorliegender Punkt des IVC-Zeitpunkts bezüglich des Ansaug-UT stärker auf spät verstellt wird, ein Spätverstellbetrag von dem vorliegenden IVC-Zeitpunkt auf einen kleineren Wert gesetzt wird. Dagegen ist es erforderlich, dass der Spätverstellbetrag auf einen größeren Wert gesetzt wird, wenn der vorliegende IVC-Zeitpunkt näher zu dem Ansaug-UT ist.

[0094] Fig. 14 ist ein Graph, der zeigt, in welcher Weise ein zusätzlicher Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts, der zum Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses um 0,5 (senkrechte Achse) erforderlich ist, abhängig von einem vorliegenden Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts von dem Ansaug-UT (waagerechte Achse) geändert wird, wobei der IVC-Zeitpunkt von 30 Grad CA N-UT hin zu der Spätverstellseite verschoben wird. Wie in dem in Fig. 14 gezeigten Graph ersichtlich ist, kann, wenn der vorliegende Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts zum Beispiel 30 Grad CA beträgt, das effektive Verdichtungsverhältnis nur um 0,5 verringert werden, wenn der IVC-Zeitpunkt zusätzlich um etwa 10 Grad CA auf spät verstellt wird. Wenn dagegen der vorliegende Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts 40 Grad CA beträgt, kann das effektive Verdichtungsverhältnis um 0,5 verringert werden, wenn der IVC-Zeitpunkt zusätzlich nur um etwa 8 Grad CA auf spät verstellt wird. Wie vorstehend wird ein zusätzlicher Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts, der zum Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses um einen vorgegebenen Betrag erforderlich ist, kleiner, wenn ein vorliegender Spätverstellbetrag des IVC-Zeitpunkts von dem Ansaug-UT größer wird.

[0095] Wenn daher der IVC-Zeitpunkt bezüglich des Ansaug-UT in Schritt S43 auf spät verstellt wird, wird der IVC-Zeitpunkt bis zu dem spätesten IVC-Zeitpunkt Tx in mehrstufiger Weise auf spät verstellt, während der zusätzliche Spätverstellbetrag allmählich verringert wird, wenn der IVC-Zeitpunkt vor der Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts weiter weg von dem Ansaug-UT kommt, um das effektive Verdichtungsverhältnis in mehrstufiger Weise bei konstanten Intervallen zu verringern.

[0096] In einer Situation, in der die Vorzündung selbst nach Spätverstellen des IVC-Zeitpunkts auf den spätesten IVC-Zeitpunkt Tx in Schritt S43 ständig erfolgt, lautet die Ermittlung in Schritt S41 NEIN. Dann führt das ECU 40 in Schritt S44 einen Steuervorgang des Einspritzens eines Teils von Einspritzkraftstoff in dem Verdichtungstakt in geteilter Weise aus. Im Einzelnen wird wie in Fig. 15A gezeigt der gesamte Einspritzkraftstoff normalerweise in dem Ansaugtakt eingespritzt (F in Fig. 15A). In Schritt S44 wird wie in Fig. 15B gezeigt eine Einspritzzeit eines Teils von Einspritzkraftstoff auf eine spätere Phase des Verdichtungstakts auf spät verstellt, um ein Einspritzen des Einspritzkraftstoffs in dem Ansaug- und

Verdichtungstakt in geteilter Weise zuzulassen (F1 und F2 in Fig. 15B).

[0097] Wie vorstehend werden in der Vorzündungsvermeidungssteuerung die Anreicherung des UK-Verhältnisses (der Schritt S42), die Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts (der Schritt S43) und die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (der Schritt S44) in dieser Reihenfolge der Priorität ausgeführt.

[0098] Bei Start eines der Steuervorgänge in den Schritten S42, S43 und S44 wird ein Steuerungsausführungsflag FF zum Aufzeichnen eines Steuerungsausführungszustands (ein Vorgabewert des Flags lautet „0“) anschließend auf „1“ gesetzt, was anzeigt, dass die Vorzündungsvermeidungssteuerung ausgeführt wird (Schritt S45), und die Steuerung wird zu der in Fig. 10 gezeigten Hauptroutine zurückgeführt.

[0099] Fig. 16 ist ein Zeitdiagramm, das zeigt, in welcher Weise jedes von L/K-Verhältnis, IVC-Zeitpunkt und Kraftstoffeinspritzzeitpunkt mit Zeit unter einer Annahme verändert wird, dass die Vorzündung nur nach Ausführen aller Steuervorgänge in den Schritten S42, S43 und S44 vermieden werden kann. Wie aus Fig. 16 deutlich wird, wird in der Vorzündungsvermeidungssteuerung der Steuervorgang des Anreicherns des UK-Verhältnisses in einer mehrstufigen Weise aufgrund Priorität zuerst ausgeführt. Wenn dann die Vorzündung selbst nach maximalem Anreichern des UK-Verhältnisses (auf 11) nicht vermieden werden kann, wird der IVC-Zeitpunkt als Nächstes in mehrstufiger Weise auf spät verstellt. Wenn dann die Vorzündung selbst nach maximalem Spätverstellen des IVC-Zeitpunkts immer noch nicht vermieden werden kann, wird zum Schluss die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (Einspritzen eines Teils von Einspritzkraftstoff in dem Verdichtungstakt) ausgeführt.

[0100] Unter erneutem Bezug auf Fig. 10 wird nachstehend ein Steuervorgang, der auszuführen ist, wenn die Ermittlung in dem Schritt S20 NEIN lautet, beschrieben. In einer Situation, in der die Vorzündung infolge der Vorzündungsvermeidungssteuerung (S21) ausreichend unterbunden wird oder ursprünglich keine Vorzündung erfolgt, ist das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm auf einen anderen Wert als 1 gesetzt, und dadurch lautet in dem Schritt S20 die Ermittlung NEIN. Dann führt das ECU 40 in Schritt S23 einen Steuervorgang des Ermittlens aus, ob das Flag für anomale Verbrennung Fabnrm 2 ist, d.h. ob das Klopfen auftritt.

[0101] Wenn die Ermittlung in dem Schritt S23 JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass das Klopfen auftritt, führt das ECU 40 einen Steuervorgang des Spätverstellens des Zündzeitpunkts aus, bis das Klopfen ausreichend unterbunden ist (Schritt S24), während es das Steuerungsausführungsflag FF auf „2“ setzt, was

anzeigt, dass die Spätverstellung des Zündzeitpunkts ausgeführt wird (Schritt **S25**).

[0102] In einer Situation, da das Klopfen durch die Spätverstellung des Zündzeitpunkts ausreichend unterbunden wird oder ursprünglich kein Klopfen auftritt, lautet die Ermittlung in dem Schritt **S23** NEIN. Jede der Ermittlungen in den Schritten **S20** und **S23** lautet mit anderen Worten NEIN und dadurch ist das Flag für anomale Verbrennung **Fabrm 0**, was anzeigt, dass weder die Vorzündung noch das Klopfen auftritt, d.h. der Verbrennungszustand normal ist. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S26** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob das Steuerungsausführungsflag **FF „1“** ist, d.h. ob die Vorzündungsvermeidungssteuerung (**S21**) ausgeführt wird.

[0103] Unter der Annahme, dass der Verbrennungszustand infolge der Vorzündungsvermeidungssteuerung normal wird, ist das Steuerungsausführungsflag **FF 1** und daher lautet die Ermittlung in dem Schritt **S26** JA. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S27** eine Rückführsteuerung zum Freigeben der Vorzündungsvermeidungssteuerung aus, um den Sondersteuermodus zu dem normalen Steuermodus zurückzuführen.

[0104] Bei Start der Rückführsteuerung führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob der Steuervorgang des Spätverstellens eines Einspritzzeitpunkts eines Teils von Einspritzkraftstoff zu der späteren Phase des Verbrennungstakts (der Schritt **S44** in **Fig. 11**) ausgeführt wird (Schritt **S50**). Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S50** JA lautet, d.h. wenn bestätigt wird, dass die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (Verdichtungs-takteinspritzung) ausgeführt wird, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Rückführens des Einspritzzeitpunkts des Teils des Einspritzkraftstoffs zu einem Zeitpunkt in dem Ansaugtakt, der ein normaler Einspritzzeitpunkt ist, aus (Schritt **S53**).

[0105] In einer Situation, in der keine Vorzündung erfolgt, nachdem die Kraftstoffeinspritzzeit zu einer normalen Zeit (in dem Ansaugtakt) zurückgeführt wird oder die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts ursprünglich nicht ausgeführt wird, lautet die Ermittlung in dem Schritt **S50** NEIN. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S51** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob der IVC-Zeitpunkt bezüglich seines ursprünglichen Einstellpunkts an der Spätverstellseite gesetzt ist.

[0106] In einer Situation, da der IVC-Zeitpunkt in dem in **Fig. 11** dargestellten Schritt **S43** auf spät verstellt ist, lautet in Schritt **S51** die Ermittlung JA. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S54** einen Steuervorgang des Rückführens des IVC-Zeitpunkts hin zu einer Frühverstellseite aus, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu steigern.

[0107] Das Frühverstellen des IVC-Zeitpunkts wird wie bei dem Steuervorgang in dem in **Fig. 11** gezeigten Schritt **S43** in mehrstufiger Weise (schrittweise) durchgeführt. Ein Frühverstellbetrag in jeder Stufe wird auf einen kleineren Wert gesetzt, wenn der IVC-Zeitpunkt vor dem Frühverstellen weiter weg von dem Ansaug-UT kommt, und wird auf einen größeren Wert gesetzt, wenn der IVC-Zeitpunkt vor dem Frühverstellen näher zu dem Ansaug-UT kommt. Dann wird das mehrstufige Frühverstellen fortgesetzt, bis der IVC-Zeitpunkt einen normalen Punkt erreicht (ein Zeitpunkt, bei dem praktisch kein Rückblasen von Ansaugluft auftritt; etwa 35 ± 5 Grad CA N-UT), um das effektive Verdichtungsverhältnis allmählich bei konstanten Intervallen auf einen Wert nahe dem geometrischen Verdichtungsverhältnis anzuheben.

[0108] In einer Situation, in der nach dem Rückführen des IVC-Zeitpunkts zu der normalen Zeit keine Vorzündung erfolgt oder der IVC-Zeitpunkt ursprünglich nicht spät verstellt ist, lautet die Ermittlung in Schritt **S51** NEIN. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S52** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob das L/K-Verhältnis des Zylinders auf einen Wert angereichert ist, der fetter als ein normaler Wert ist (der gleich oder nahe dem stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist). Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S52** JA lautet, d.h. wenn bestätigt wird, dass das L/K-Verhältnis angereichert ist, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Rückführens des L/K-Verhältnisses hin zu einer mageren Seite (dem normalen Wert) aus (Schritt **S55**).

[0109] Das Abmagern des L/K-Verhältnisses wird wie bei dem Steuervorgang in dem in **Fig. 11** gezeigten Schritt **S42** in mehrstufiger Weise (schrittweise) durchgeführt. Zum Beispiel wird das L/K-Verhältnis des Zylinders in den folgenden zwei Stufen abgemagert und zu dem normalen Wert zurückgeführt: $11 \rightarrow 12.5 \rightarrow 14.7$.

[0110] Wenn das L/K-Verhältnis nach dem Beenden des Steuervorgangs in dem Schritt **S55** zu dem normalen Wert zurückgeführt wird, lautet die Ermittlung in dem Schritt **S52** NEIN. Dann wird das Steuerungsausführungsflag **FF** auf „0“ gesetzt (Schritt **S56**) und die Steuerung wird zu der Hauptroutine in **Fig. 10** zurückgeführt.

[0111] **Fig. 17** ist ein Zeitdiagramm, das zeitliche Änderungen der Kraftstoffeinspritzzeit, des L/K-Verhältnisses und des IVC-Zeitpunkts während der Rückführsteuerung zeigt. Im Einzelnen zeigt **Fig. 17**, in welcher Weise jeder Wert des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts, des L/K-Verhältnisses und des IVC-Zeitpunkts durch die Rückführsteuerung geändert wird, die nach der in **Fig. 16** gezeigten Vorzündungsvermeidungssteuerung durchgeführt wird, d.h. wenn Anreicherung von UK-Verhältnis, Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts und Spätverstellung des Kraftstoffe-

inspritzzeitpunkts (Einspritzen eines Teils des Einspritzkraftstoffs in dem Verdichtungstakt) alle erforderlich sind, um die Vorzündung zu vermeiden.

[0112] Wie in **Fig. 17** gezeigt wird bei der Rückführung von der Vorzündungsvermeidungssteuerung die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts zuerst freigegeben, um den Kraftstoffeinspritzzeitpunkt zu der normalen Zeit (in dem Ansaugtakt) zurückzuführen. Wenn dann nach der Rückführung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts keine Vorzündung erfolgt, wird der Steuervorgang des Frühverstellens des IVC-Zeitpunkts zu dem normalen Zeitpunkt in mehrstufiger Weise ausgeführt. Wenn dann nach der Frühverstellung des IVC-Zeitpunkts keine Vorzündung erfolgt, wird der Steuervorgang des Abmagens des UK-Verhältnisses auf den normalen Wert in mehrstufiger Weise ausgeführt.

[0113] Unter erneutem Bezug auf **Fig. 10** wird nachstehend ein Steuervorgang, der auszuführen ist, wenn die Ermittlung in dem Schritt **S26** NEIN lautet, beschrieben. In einer Situation, in der infolge der Rückführsteuerung die Vorzündungsvermeidungssteuerung (**S21**) vollständig freigegeben wird und jedes von L/K-Verhältnis, IVC-Zeitpunkt und Kraftstoffeinspritzzeitpunkt zu dem normalen Zeitpunkt oder Wert zurückgeführt wird oder die Vorzündungsvermeidungssteuerung ursprünglich nicht ausgeführt wird, hat das Steuerungsausführungsflag **FF** einen anderen Wert als 1 und daher lautet die Ermittlung in dem Schritt **S26** NEIN. Dann führt das ECU **40** in Schritt **S29** einen Steuervorgang des Ermitteln aus, ob das Steuerungsausführungsflag **FF 2** ist, d.h. ob der Steuervorgang des Spätverstellens des Zündzeitpunkts zum Vermeiden des Klopfens ausgeführt wird.

[0114] Wenn die Ermittlung in dem Schritt **S29** JA lautet, d.h. bestätigt wird, dass der Zündzeitpunkt auf spät verstellt ist, führt das ECU **40** einen Steuervorgang des Frühverstellens der auf spät verstellten Fremdzündung zu dem Zündzeitpunkt in dem normalen Zustand (z.B. in dem spezifischen Betriebsbereich etwa 5 Grad CA N-OT) (Schritt **S30**) und des Setzens des Steuerungsausführungsflags **FF** auf „0“ (Schritt **S31**) aus.

[0115] In einer Situation, in der nach dem Rückführen des Zündzeitpunkts zu dem Punkt in dem normalen Zustand in der vorstehenden Weise kein Klopfen auftritt oder die Spätverstellung des Zündzeitpunkts ursprünglich nicht ausgeführt wird, lautet die Ermittlung in Schritt **S29** NEIN und der normale Steuermodus wird beibehalten (Schritt **S32**).

Funktionen/Wirkungen

[0116] Bei dem Fremdzündungsmotor gemäß der vorstehenden Ausführungsform wird in dem spezifi-

schen Betriebsbereich **R**, der in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast gesetzt ist, ein Vorgang zum Detektieren einer Flamme unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** durchgeführt, und das Vorhandensein oder Fehlen der Vorzündung wird beruhend auf einem Detektionszeitpunkt der Flamme (Flammenausbildungszeitpunkt) ermittelt. Selbst wenn durch den Detektionsvorgang unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** keine Vorzündung bestätigt wird, wird ferner ein Vorgang zum Detektieren der Vorzündung unter Verwenden des Vibrationssensors **33** durchgeführt. Diese Methode hat einen Vorteil, dass sie mit einem hohen Grad an Genauigkeit die Vorzündung detektieren kann, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, während sie sie von dem Klopfen unterscheidet.

[0117] Im Einzelnen wird in dem Vorgang des Detektierens der Vorzündung unter Verwenden des Vibrationssensors **33** ermittelt, ob eine maximale Vibrationsstärke **Vmax1**, die von dem Vibrationssensor **33** erfasst wird, gleich oder größer als der Schwellenwert **X** ist (**S6**). Wenn dann die maximale Vibrationsstärke **Vmax1** gleich oder größer als der Schwellenwert **X** ist, wird der Zündzeitpunkt der Zündkerze **16** von einem Punkt, der in dem normalen Zustand bezüglich des Verdichtungs-OT etwas an der Spätverstellseite gesetzt ist (z.B. etwa 5 Grad CA N-OT), weiter hin zur Spätverstellseite verschoben. Ferner wird ermittelt, ob eine maximale Vibrationsstärke **Vmax2**, die nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts (maximale Vibrationsstärke nach Spätverstellen der Zündung) erhalten wird, größer als die maximale Vibrationsstärke vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts (maximale Vibrationsstärke vor Spätverstellen der Zündung) **Vmax1** ist (**S10**). Wenn dann **Vmax2** größer als **Vmax1** ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt. Der vorstehende Prozess sieht einen Vorteil vor, da er die Vorzündung zuverlässig detektieren kann, während er sie von dem Klopfen unterscheidet, selbst wenn sich die Vorzündung in einer relativ frühen Phase befindet und sich nicht stark entwickelt hat (z.B. eine schwache Vorzündung, etwa die Wellenform **J1** in **Fig. 4** oder eine dazu ähnliche Vorzündung).

[0118] Selbst wenn zum Beispiel eine maximale Vibrationsstärke **Vmax** einfach mit einem Bezugswert verglichen wird, ist es schwierig zu ermitteln, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt, insbesondere wenn sich die Vorzündung in einer relativ frühen Phase befindet. Als Maßnahmen gegen dieses Problem wird in der vorstehenden Ausführungsform als Reaktion auf die Detektion einer maximalen Vibrationsstärke **Vmax**, die gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist, der Zündzeitpunkt absichtlich auf spät verstellt. Wenn dann eine Zunahme der Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke **Vmax** zwischen vor und nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts bestätigt wird, wird ermittelt, dass die Vor-

zündung auftritt. Im Einzelnen ist die Spätverstellung des Zündzeitpunkts nur beim Unterbinden des Klopfens wirksam (beim Unterbinden der Vorzündung unwirksam). Beruhend auf dieser Eigenschaft können die Vorzündung und das Klopfen durch Analysieren einer Änderung der Größenordnung einer maximalen Vibrationsstärke V_{max} nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts präzise voneinander unterschieden werden.

[0119] Somit wird es bei der vorstehenden Methode möglich, Vorzündung zuverlässig zu detektieren, die ein Phänomen ist, dass sich ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, während sie von dem Klopfen unterschieden wird, und ein Risiko des Übersehens des Auftretens der Vorzündung zu eliminieren, selbst wenn ein Defekt wie etwa eine Unterbrechung in dem Ionenstromsensor **34** auftritt oder der Ionenstromsensor **34** eine mangelhafte Detektionsgenauigkeit hat. Wenn ferner die Vorzündung detektiert wird, können Maßnahmen zum Vermeiden der Vorzündung (d.h. die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses etc.) ergriffen werden, um Motorprobleme (z.B. Beschädigung eines Kolbens **5**) aufgrund der Fortsetzung der Vorzündung zuverlässig zu verhindern.

[0120] Wenn ferner in der vorstehenden Ausführungsform ein Detektionszeitpunkt einer maximalen Vibrationsstärke V_{max2} nach Spätverstellen der Zündung früher als der einer maximalen Vibrationsstärke V_{max1} vor Spätverstellen der Zündung ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt, auch wenn eine Größenordnung von V_{max2} gleich oder kleiner als V_{max1} ist. Sobald im Einzelnen die Vorzündung erfolgt, werden im Allgemeinen die folgenden Phänomene unabhängig von dem Zündzeitpunkt beobachtet: eine Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} ist erhöht; und ein Detektionszeitpunkt der maximalen Vibrationsstärke V_{max} ist auf früh verstellt. Es besteht aber eine Möglichkeit, dass abhängig von Umgebungen nur eines der Phänomene beobachtet wird. Daher wird die Ermittlung bezüglich des Auftretens der Vorzündung vorgenommen, wenn eines von einem Anstieg der Größenordnung der maximalen Vibrationsstärke V_{max} und einem Frühverstellen des Detektionszeitpunkts der maximalen Vibrationsstärke V_{max} bestätigt wird. Dies macht es möglich, die Detektionsgenauigkeit der Vorzündung weiter zu verbessern.

[0121] Wenn in der vorstehenden Ausführungsform das Auftreten der Vorzündung in dem spezifischen Betriebsbereich **R** beruhend auf jeweiligen Richtungswerten des Ionenstromsensors **34** und des Vibrationssensors **33** bestätigt wird (wenn die Ermittlung in einem der Schritte **S3**, **S10** und **S11** JA ist), wird die Vorzündungsvermeidungssteuerung (**S21**) als Sondersteuermodus zum Vermeiden der Vorzün-

dung ausgeführt. Bei der Vorzündungsvermeidungssteuerung wird der Steuervorgang des Anhebens einer Kraftstoffeinspritzmenge von dem Injektor **18** zuerst ausgeführt, um das Luft/Kraftstoff-Verhältnis des Zylinders anzureichern (**S42**). Wenn dann die Vorzündung auch nach dem ersten Steuervorgang immer noch detektiert wird, wird der Steuervorgang des Spätverstellens eines Einlassventilschließ(IVC)zeitpunkts als Nächstes ausgeführt, um das effektive Verdichtungsverhältnis des Motors zu verringern (**S43**). Wenn dann die Vorzündung auch nach dem zweiten Steuervorgang immer noch detektiert wird, wird schließlich der Steuervorgang des Spätverstellens eines Einspritzzeitpunkts eines Teils von Einspritzkraftstoff zu der späteren Phase des Verdichtungstakts (**S44**) ausgeführt. Dieses Merkmal hat einen Vorteil, da es das Auftreten der Vorzündung effektiv unterbinden kann, während es eine erwünschte Emissionsleistung maximal aufrechterhalten kann.

[0122] In der vorstehenden Ausführungsform wird im Einzelnen bei der Vorzündungsvermeidungssteuerung zum Vermeiden der Vorzündung der Steuervorgang des Anreicherns des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses zuerst ausgeführt, und der Steuervorgang des Spätverstellens des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (Einspritzen eines Teils des Einspritzkraftstoffs in dem Verdichtungstakt) wird zuletzt ausgeführt, so dass es möglich wird, das Auftreten der Vorzündung effektiv zu unterbinden, während eine Verschlechterung der Emissionsleistung aufgrund des Auftretens von Rauch maximal vermieden wird.

[0123] Bei einem Fremdzündungsmotor kann die Vorzündung durch Anreichern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses oder durch Spätverstellen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts, um eine Zylindertemperatur zu senken, unterbunden werden. Das Spätverstellen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (Verdichtungstakteinspritzung) bewirkt aber voraussichtlich das Auftreten von Rauch. Wenn somit die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts zuerst ausgeführt wird, tritt Rauch zwangsweise häufig auf. In der vorstehenden Ausführungsform wird im Fall der Vorzündung das Luft/Kraftstoff-Verhältnis zuerst angereichert, um die Zylindertemperatur zu senken, und dann wird die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts nur ausgeführt, wenn die Vorzündung auch nach der Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses nicht vermieden werden kann. Dies bietet einen Vorteil, da das Auftreten von Rauch maximal vermieden werden kann, um die erwünschte Emissionsleistung maximal beizubehalten.

[0124] Ferner wird der Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern (**S43**), als Steuervorgang mit einer Priorität ausgeführt, die niedriger als die der Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses (**S42**) und höher als die der Spätverstellung

des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (**S44**) ist. Dies bietet einen Vorteil, dass eine Häufigkeit des Ausführens der Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts verringert werden kann, um eine Verschlechterung von Emissionsleistung aufgrund des Auftretens von Rauch effektiv zu verhindern.

[0125] Nach der Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses wird im Einzelnen der Steuervorgang zum Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses des Motors durchgeführt, um das Absenken des Zylinderdrucks zu erleichtern, und dann wird der Kraftstoffeinspritzzeitpunkt nur auf spät gestellt, wenn die Vorzündung auch nach Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses nicht vermieden werden kann, so dass es mit einer hohen Möglichkeit möglich wird, die Vorzündung ohne Spätverstellen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts zu vermeiden. Dies ermöglicht es, die Vorzündung zu unterbinden, während die Häufigkeit des Ausführens der Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts signifikant verringert wird, um das Auftreten von Rauch maximal zu vermeiden.

[0126] Wenn in der vorstehenden Ausführungsform der normale Steuermodus zu der Vorzündungsvermeidungssteuerung gewechselt wird, wird zuerst der Steuervorgang des Anreicherns des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses ausgeführt und, wenn dann die Vorzündung auch nach dem Anreichern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses nicht vermieden werden kann, wird der Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts ausgeführt, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern. Die zwei Steuervorgänge (die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses) haben keine Auswirkung auf die Emissionsleistung (Auftreten von Rauch). Im Hinblick nur auf diesen Punkt wird somit in Betracht gezogen, dass die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses vor der Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses durchgeführt werden kann. Der Steuervorgang zum Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses bringt aber nicht nur ein Problem des Bewirkens eines Absenkens von Motorausgangsleistung, sondern auch ein Problem schlechter Steuerungsreaktion mit sich. Wenn insbesondere im Einzelnen der VVT-Mechanismus **15** eine hydraulische Ausführung umfasst, tritt in einem Vorgang des Ändern einer Betriebszeit des Einlassventils **11** eine relativ lange Reaktionsverzögerung auf. Somit kann man sagen, dass der Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern, gegenüber dem Steuervorgang des Vergrößerns der Kraftstoffeinspritzmenge von dem Injektor **18**, um das Luft/Kraftstoff-Verhältnis anzureichern, bezüglich Steuerungsreaktion unterlegen ist.

[0127] In der vorstehenden Ausführungsform wird daher während der Vorzündungsvermeidungssteuerung die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses vor der Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses ausgeführt. Dies sah einen Vorteil vor, da das Sinken von Motorausgangsleistung beruhend auf dem Vergeben einer niedrigeren Priorität für die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses maximal vermieden und die Vorzündung kurz nach dem Auftreten derselben beruhend auf dem Vergeben einer höheren Priorität für die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, die eine ausgezeichnete Steuerungsreaktion hat, schnell unterbunden werden konnte.

[0128] In der vorstehenden Ausführungsform wird während der Vorzündungsvermeidungssteuerung die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses in mehrstufiger Weise ausgeführt, und, wenn dann die Vorzündung auch nach dem maximalen Anreichern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses (auf einen UK-Grenzwert von **11**) detektiert wird, wird der Steuervorgang des Verringerns des effektiven Verdichtungsverhältnisses ausgeführt (siehe **Fig. 16**). Wie vorstehend wird die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses in mehrstufiger Weise ausgeführt. In Fällen, da die Ausprägung der Vorzündung schwach ist und die Vorzündung nur durch leichtes Anreichern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses vermieden werden kann, wird es somit zum Beispiel möglich zu verhindern, dass das Luft/Kraftstoff-Verhältnis übermäßig angereichert wird, um eine Verschlechterung der Kraftstoffwirtschaftlichkeit etc. aufgrund des Anreicherns des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses zu minimieren. In Fällen, da die Vorzündung auch nach maximalem Anreichern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses nicht vermieden werden kann, kann dagegen die Vorzündung beruhend auf der Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses oder einer Kombination der Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses und der Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts unterbunden werden, so dass es möglich wird, die Vorzündung zuverlässig zu vermeiden, während verhindert wird, dass das Luft/Kraftstoff-Verhältnis übermäßig angereichert wird, selbst wenn sich die Vorzündung relativ entwickelt.

[0129] In der vorstehenden Ausführungsform wird als Vorzündungsvermeidungssteuerung der Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts in mehrstufiger Weise durchgeführt, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern, und, wenn dann die Vorzündung auch nach dem maximalen Verringern des effektiven Verdichtungsverhältnisses (auf ein effektives Verdichtungsverhältnis, das dem spätesten IVC-Zeitpunkt Tx entspricht) detektiert wird, wird der Steuervorgang des Spätverstellens des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts ausgeführt. Dieses Merkmal hat einen Vorteil, da es die Vorzündung zuverlässiger vermeiden kann, während ver-

hindert wird, dass eine Motorausgangsleistung aufgrund übermäßiger Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses signifikant gesenkt wird.

[0130] In der vorstehenden Ausführungsform wird insbesondere während des Vorgangs des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts in mehrstufiger Weise ein zusätzlicher Spätverstellbetrag von dem IVC-Zeitpunkt auf einen größeren Wert gesetzt, wenn ein vorliegender Punkt des IVC-Zeitpunkts näher zu dem Ansaug-UT ist, wie in **Fig. 14** gezeigt ist, so dass es möglich wird, das effektive Verdichtungsverhältnis bei konstanten Intervallen in jeder Phase zum Spätverstellen des IVC-Zeitpunkts zu verringern. Dies bietet einen Vorteil, da das Auftreten der Vorzündung effektiver unterbunden werden kann, während eine Situation adäquat vermieden werden kann, in der die Motorausgangsleistung in einer Stufe zum Spätverstellen des IVC-Zeitpunkts schnell abgesenkt wird oder effektive Verdichtung nur gering verringert werden kann und daher praktisch keine Wirkung auf das Unterbinden der Vorzündung erhalten wird.

[0131] In der vorstehenden Ausführungsform wird der IVC-Zeitpunkt in dem normalen Zustand (in dem keine Vorzündung auftritt) auf den Punkt an der Spätverstellseite bezüglich des Ansaug-UT, und bei dem praktisch kein Rückblasen von Ansaugluft auftritt (in dem spezifischen Betriebsbereich R, etwa 35 ± 5 Grad CA N-UT), gesetzt. Wenn dann das effektive Verdichtungsverhältnis während der Vorzündungsvermeidungssteuerung verringert wird, wird der WT-Mechanismus **15** angetrieben, um den IVC-Zeitpunkt bezüglich des Ansaug-UT weiter auf spät zu verstellen. Dies bietet einen Vorteil, da das effektive Verdichtungsverhältnis nach Bedarf effizient verringert werden kann, während eine Motorausgangsleistung in einem normalen Zustand ausreichend sichergestellt wird.

[0132] Bei Berücksichtigung nur einer Funktion des Verringerns des effektiven Verdichtungsverhältnisses kann das effektive Verdichtungsverhältnis zum Beispiel auch durch Frühverstellen des IVC-Zeitpunkts zu der Frühverstellseite bezüglich des Ansaug-UT verringert werden. Bei dem Motor, bei dem der IVC-Zeitpunkt in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des Ansaug-UT festgelegt ist, muss aber als Bedingung für das Verschieben des IVC-Zeitpunkts zu der Frühverstellseite bezüglich des Ansaug-UT, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern, der Betriebszeitpunkt des Einlassventils **11** stark geändert werden, was ein Problem der Verschlechterung der Steuerungsreaktion aufgrund einer Zunahme des Steuerbetrags des WT-Mechanismus **15** bewirkt. Um dieses Problem zu vermeiden, wird erwogen, einen normalen Punkt des IVC-Zeitpunkts in etwa gleich dem Ansaug-UT oder an der Frühverstellseite bezüglich des Ansaug-UT zu setzen. In diesem Fall ist es aber unmöglich, Induk-

tionsträgheit, die zu einem Absinken der Motorausgangsleistung führt, ausreichend zu nutzen.

[0133] Im Hinblick darauf ist es vorteilhaft, dass ein Punkt des IVC-Zeitpunkts in dem normalen Zustand bezüglich eines Ansaug-UT auf der Spätverstellseite gesetzt wird, und wenn es nötig ist, das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern, dass der IVC-Zeitpunkt wie in der vorstehenden Ausführungsform bezüglich des Punkts in dem normalen Zustand bezüglich einer Fähigkeit des wirksamen Verringerns des effektiven Verdichtungsverhältnisses nach Bedarf auf spät verstellt wird, während in dem normalen Zustand eine Motorausgangsleistung ausreichend sichergestellt wird.

[0134] Wenn in der vorstehenden Ausführungsform die Vorzündungsvermeidungssteuerung zu dem normalen Steuermodus zurückgeführt wird, wird der Steuervorgang des Freigebens der Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts (Einspritzen eines Teils von Einspritzkraftstoff in dem Verdichtungstakt) zuerst ausgeführt, um einen Kraftstoffeinspritzzeitpunkt, der zu der späteren Phase des Verdichtungsakts für den Teil des Einspritzkraftstoffs auf spät verstellt wurde, zu einem Zeitpunkt in dem Ansaugtakt zurückzuführen. Dies hat einen Vorteil, da die Emissionsleistung nach dem Beenden der Vorzündungsvermeidungssteuerung so frühzeitig wie möglich wiederhergestellt werden kann.

[0135] In Fällen, da zum Beispiel die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses (Spätverstellen des IVC-Zeitpunkts) und die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts alle erforderlich sind, um die Vorzündung in der Vorzündungsvermeidungssteuerung zu vermeiden, wenn die Vorzündungsvermeidungssteuerung, d.h. der Sondersteuermodus, zu dem normalen Steuermodus zurückgeführt wird, wird die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts zuerst freigegeben, um den Kraftstoffeinspritzzeitpunkt zu einem Zeitpunkt in dem Ansaugtakt zurückzuführen, und wenn dann keine Vorzündung nach Rückführung der Kraftstoffeinspritzzeit detektiert wird, wird der IVC-Zeitpunkt als Nächstes zu einer Frühverstellseite zurückgeführt, um das effektive Verdichtungsverhältnis anzuheben, wonach, wenn nach dem Anheben des effektiven Verdichtungsverhältnisses keine Vorzündung detektiert wird, das Luft/Kraftstoff-Verhältnis schließlich zu einer mageren Seite zurückgeführt wird, wie in **Fig. 17** gezeigt ist. Wenn in diesem Merkmal die Vorzündung erfolgreich vermieden wird, wird die Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts zuerst freigegeben, um ein Risiko des Auftretens von Rauch zu beseitigen. Dies macht es möglich, einen Zeitraum zu minimieren, in dem sich die Emissionsleistung verschlechtert.

[0136] Wenn dann nach dem Freigeben der Spätverstellung des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts keine Vorzündung detektiert wird, wird als Steuervorgang zweiter Priorität der IVC-Zeitpunkt auf früh verstellt, um das effektive Verdichtungsverhältnis anzuheben. Dies macht es möglich, ein Risiko eines Abfalls von Motorausgangsleistung aufgrund einer Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses umgehend zu eliminieren. Wenn dann nach dem zweiten Steuervorgang keine Vorzündung detektiert wird, wird das Luft/Kraftstoff-Verhältnis schließlich zu einer mageren Seite zurückgeführt. Dies macht es möglich, den Sonderbetriebsmodus des Motors adäquat zu dem normalen Betriebsmodus des Motors zurückzuführen, während das Fehlen des Auftretens der Vorzündung garantiert wird.

Abwandlungen/Änderungen

[0137] Bei der vorstehenden Ausführungsform wird während der Vorzündungsvermeidungssteuerung das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in mehrstufiger Weise zum Beispiel in den beiden folgenden Stufen angereichert: 14.7 → 12.5 → 11. Die Anzahl an Stufen ist aber nicht auf drei beschränkt, sondern das Luft/Kraftstoff-Verhältnis kann in drei Stufen oder mehr angereichert werden. Alternativ kann die Anzahl an Anreicherungsstufen auf nur eine festgelegt werden. Wenn in diesem Fall die Vorzündung auch nach Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses nicht vermieden werden kann, kann der Steuervorgang des Spätverstellens des IVC-Zeitpunkts, um das effektive Verdichtungsverhältnis zu verringern, direkt nach der Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses ausgeführt werden.

[0138] Wenn in der vorstehenden Ausführungsform der IVC-Zeitpunkt auf spät verstellt wird, um das effektive Verdichtungsverhältnis während der Vorzündungsvermeidungssteuerung zu verringern, wird der IVC-Zeitpunkt in mehrstufiger Weise auf spät verstellt. In diesem Fall kann die Anzahl an Stufen für die Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts abhängig von Motoreigenschaften geeignet festgelegt werden.

[0139] Wenn es weiterhin erwünscht ist, im Hinblick auf Motoreigenschaften das Sinken der Motorausgangsleistung zu minimieren, kann die Anzahl an Stufen für die Spätverstellung des IVC-Zeitpunkts bei nur einer festgelegt werden. In diesem Fall sollte ein zusätzlicher Spätverstellbetrag von dem IVC-Zeitpunkt vor der Spätverstellung so festgelegt werden, dass er kleiner wird, wenn der IVC-Zeitpunkt bezüglich des Ansaug-UT stärker auf spät verstellt wird. Im Einzelnen hat in dem spezifischen Betriebsbereich R mit einem Risiko des Auftretens der Vorzündung der IVC-Zeitpunkt in dem normalen Zustand einen bestimmten Bereich, zum Beispiel etwa 35 ± 5 Grad CA N-UT. Wenn der IVC-Zeitpunkt vor dem Einleiten der Spätverstellung somit bei 40 Grad CA N-UT liegt, wird

ein zusätzlicher Spätverstellbetrag von dem IVC-Zeitpunkt auf einen Wert gesetzt, der kleiner als der ist, wenn der IVC-Zeitpunkt bei 30 Grad CA N-UT liegt. Dies macht es möglich, eine Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses unabhängig von dem IVC-Zeitpunkt in dem normalen Zustand bei einem konstanten Wert zu halten.

[0140] In der vorstehenden Ausführungsform, wie sie zum Beispiel in **Fig. 15A** gezeigt ist, wird ein Punkt der Kraftstoffeinspritzzeit in dem normalen Zustand, bei dem keine Vorzündung erfolgt, auf einen Punkt in dem Ansaugtakt gesetzt (d.h. der Einspritzkraftstoff wird in dem Ansaugtakt einmal vollständig eingespritzt). Solange der normale Punkt der Kraftstoffeinspritzzeit in dem Ansaugtakt liegt, kann alternativ der Einspritzkraftstoff mehrere Male in geteilter Weise in dem Ansaugtakt eingespritzt werden.

[0141] Wenn in der vorstehenden Ausführungsform die Vorzündung detektiert wird, werden die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses in dieser Reihenfolge ausgeführt. Wenn dann die Vorzündung auch nach den zwei Vorgängen nicht vermieden werden kann, wird ein Einspritzzeitpunkt eines Teils von Einspritzkraftstoff auf spät zu der späteren Phase des Verdichtungstakts (**Fig. 15B**) verstellt. Wie in **Fig. 18A** bis **Fig. 18C** gezeigt kann alternativ eine zweite Einspritzung **F2** (nachstehend als „Nacheinspritzung“ bezeichnet), die einmalig auf den Verdichtungstakt spätzuverstellen ist, in mehrstufiger Weise zu mittleren oder späten Phasen des Verdichtungstakts spätverstellt werden. Im Einzelnen wird ein Zeitpunkt der Nacheinspritzung **F2** zuerst auf die mittlere Phase des Verdichtungstakts (**Fig. 18B**) auf spät verstellt. Wenn dann die Vorzündung nach der ersten Spätverstellung nicht vermieden werden kann, wird der auf spät verstellte Zeitpunkt der Nacheinspritzung **F2** weiter auf spät verstellt und auf die spätere Phase des Verdichtungstakts (**Fig. 18C**) gesetzt. In einer Situation, in der die Vorzündung durch Spätverstellen des Zeitpunkts der Nacheinspritzung **F2** zu der mittleren Phase des Verdichtungstakts ausreichend vermieden werden kann, wird der Einspritzzeitpunkt nie sofort zu der späteren Phase des Verdichtungstakts spätverstellt, wo Rauch mit hoher Wahrscheinlichkeit auftritt, so dass es möglich wird, die Verschlechterung der Emissionsleistung effektiver zu vermeiden.

[0142] Abhängig von Motoreigenschaften kann umgekehrt eine Situation eintreten, bei der die Vorzündung auch nach dem Spätverstellen des Zeitpunkts der Nacheinspritzung **F2** zu der späteren Phase des Verdichtungstakts nicht vermieden werden kann. In einer solchen Situation kann zum Beispiel das Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu einer fetten Seite (z.B. etwa **10**), die fetter als der UK-Grenzwert (**11**) ist, während oder nach dem Durchführen des Steuervorgangs des

Spätverstellens des Zeitpunkts der Nacheinspritzung **F2** zu der späteren Phase des Verdichtungstakts geändert werden. Auch wenn Rauch dazu neigt, zeitweilig aufzutreten, wird es in diesem Fall möglich, die Vorzündung zuverlässig zu vermeiden, selbst wenn sie sich ziemlich entwickelt.

[0143] In der vorstehenden Ausführungsform wird der Steuervorgang des Spätverstellens eines Einspritzzeitpunkts eines Teils von Einspritzkraftstoff (Nacheinspritzung **F2**) zu dem Verdichtungstakt in geteilter Weise ausgeführt, und dann, wenn die Vorzündung infolge des Steuervorgangs erfolgreich vermieden wird, wird der Einspritzzeitpunkt, der zu dem Verdichtungstakt für den Teil von Einspritzkraftstoff spät verstellt wurde, sofort zu einem normalen Zeitpunkt (in dem Ansaugtakt) zurückgeführt. Alternativ kann ein Kraftstoffeinspritzzeitpunkt nach dem Vermeiden der Vorzündung zu mindestens einer Frühverstellseite (hin zum Ansaugtakt) zurückgeführt werden und kann in mehrstufiger Weise zu dem normalen Zeitpunkt frühverstellt werden.

[0144] In der vorstehenden Ausführungsform werden als Vorzündungsvermeidungssteuerung die Anreicherung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses (**S42**), die Verringerung des effektiven Verdichtungsverhältnisses (**S43**) und die Einspritzung des Verdichtungsstakts (geteilte Einspritzung) (**S44**) in dieser Reihenfolge der Priorität ausgeführt, um eine Zylindertemperatur und einen Zylinderdruck zu senken. Alternativ kann jede andere geeignete Steuerung als die drei Arten von Steuerungen genutzt werden, solange sie mindestens eines von Zylindertemperatur und Zylinderdruck verringern kann. Zum Beispiel kann in dem Einlasskanal **20** eine Kühlvorrichtung zum Kühlen von Ansaugluft vorgesehen werden, um durch die Kühlvorrichtung gekühlte Ansaugluft in den Brennraum **6** einzuleiten.

[0145] In der vorstehenden Ausführungsform ist der Ionenstromsensor **34** als separate Komponente von der Zündkerze **16** vorgesehen, und eine Flammenausbildungszeit wird durch den Ionenstromsensor **34** detektiert, um zu ermitteln, ob die Vorzündung auftritt. Alternativ kann die Zündkerze **16** durch Abwandeln der Zündkerze **16**, um an einer Mittelelektrode (Kerzenelektrode) derselben eine Vorspannung für eine Ionenstromdetektion anlegen zu lassen, zusätzlich als Ionenstromsensor **34** verwendet werden. Dies macht es möglich, eine Vereinfachung eines Steuermechanismus zu fördern und für den Ionenstromsensor **34** erforderliche Kosten zu senken.

[0146] In Fällen, da die Zündkerze **16** auch als Ionenstromsensor **34** in vorstehender Weise verwendet wird, kann während eines Zeitraums, in dem ein Funke von der Zündkerze **16** abgegeben wird (d.h. ein Zeitraum, in dem an der Kerzenelektrode eine hohe Entladungsspannung angelegt ist), die Vorspan-

nung nicht an der Kerzenelektrode angelegt werden, und dadurch wird es unmöglich, einen Ionenstrom zu detektieren, so dass die Vorzündungsdetektionsgenauigkeit des Ionenstromsensors **34** selbst abnimmt. Bei dem Fremdzündungsmotor nach der vorstehenden Ausführungsform, der ausgelegt ist, um ein Detektieren der Vorzündung unter Verwenden des Vibrationssensors **33** zuzulassen, kann aber die Verschlechterung von Detektionspräzision durch den Vibrationssensor **33** abgedeckt werden, so dass es möglich wird, die Vereinfachung des Steuermechanismus und eine Verringerung von Komponentenkosten ohne Verschlechterung der Vorzündungsdetektionspräzision zu erleichtern.

[0147] Der Fremdzündungsmotor gemäß der vorstehenden Ausführungsform ist ausgelegt, um das Auftreten der Vorzündung unter Verwenden sowohl des Ionenstromsensors **34** als auch des Vibrationssensors **33** zu detektieren. Alternativ kann auf die Funktion des Detektierens der Vorzündung unter Verwenden des Ionenstromsensors **34** verzichtet werden. In diesem Fall wird das Auftreten der Vorzündung nur durch den Vibrationssensor **33** detektiert, so dass es möglich wird, den Steuermechanismus und das Schema weiter zu vereinfachen und die Komponentenkosten weiter zu verringern.

[0148] Bei der vorstehenden Ausführungsform wird die Vibration des Motorkörpers **1** unter Verwenden des Vibrationssensors **33** detektiert, und es wird beruhend darauf, in welcher Weise eine Größenordnung und eine Detektionszeit einer maximalen Vibrationsstärke **Vmax**, die von einem Detektionswert der Vibration festgestellt wird, zusammen mit einer Spätverstellung eines Zündzeitpunkts geändert wird, ermittelt, was von Vorzündung und Klopfen auftritt. Diese Detektionsmethode kann bei einem Detektierverfahren für anomale Verbrennung unter Verwenden eines Zylinderdrucksensors zum Detektieren eines Zylinderdrucks eines Fremdzündungsmotors angewendet werden.

[0149] Im Einzelnen werden die Vorzündung und das Klopfen unter Verwenden des Zylinderdrucks in folgender Weise detektiert. Wenn der Motorbetriebszustand in dem spezifischen Betriebsbereich **R** liegt wird beruhend auf einer Wellenform (siehe zum Beispiel **Fig. 5**) eines Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor eingegeben wird, zuerst ein maximaler Wert des Zylinderdrucks festgestellt. Dann wird ermittelt, ob der maximale Wert gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Wenn der maximale Wert gleich oder größer als der Schwellenwert ist, wird der Zündzeitpunkt auf spät verstellt, und ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks nach der Verstellung des Zündzeitpunkts wird weiter erfasst. Dann wird ermittelt, ob ein maximaler Zylinderdruck nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Zylinderdruck vor Spätverstellung der

Zündung ist, wobei: der maximale Zylinderdruck nach Spätverstellung der Zündung (der einem „maximalen Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung“ entspricht, der in den beigefügten Ansprüchen dargelegt ist) der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und der maximale Zylinderdruck vor Spätverstellung der Zündung (der einem „maximalen Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung“ entspricht, der in den beigefügten Ansprüchen dargelegt ist) der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird. Wenn der maximale Zylinderdruck nach Spätverstellung der Zündung größer als der maximale Zylinderdruck vor Spätverstellung der Zündung ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt.

[0150] Wenn vorzugsweise eine Detektionszeit des maximalen Zylinderdrucks nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit eines maximalen Zylinderdrucks vor Spätverstellung der Zündung ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn wie bei der vorstehenden Ausführungsform eine Größenordnung des maximalen Zylinderdrucks nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als eine Größenordnung des maximalen Zylinderdrucks vor Spätverstellung der Zündung ist. Wenn dagegen die Detektionszeit des maximalen Zylinderdrucks nach Spätverstellung der Zündung nicht früher als die Detektionszeit des maximalen Zylinderdrucks vor Spätverstellung der Zündung ist, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt.

Übersicht

[0151] Nachstehend wird eine Übersicht der Merkmale und Wirkungen der offenbarten Erfindung beruhend auf der vorstehenden Ausführungsform beschrieben.

[0152] Die vorliegende Erfindung sieht ein Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor vor, der mit einem Vibrationssensor zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Ermitteln, ob in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast ein maximaler Wert einer Vibrationsstärke, der von dem Vibrationssensor erfasst wird, oder ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist; wenn der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinder-

drucks gleich oder größer als der Schwellenwert ist, Verschieben des Zündzeitpunkts der Zündkerze von dem Punkt, der in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, weiter hin zur Spätverstellseite; und wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, Ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und maximale Detektionswert vor der Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird.

[0153] Die vorliegende Erfindung sieht auch einen Fremdzündungsmotor vor, der mit einem Vibrationssensor zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist. Der Fremdzündungsmotor umfasst ein Steuergerät, das betreibbar ist, um den Zündzeitpunkt der Zündkerze zu steuern und Informationen über eine Vibrationsstärke, die von dem Vibrationssensor detektiert wird, oder Informationen über einen Zylinderdruck, der von dem Zylinderdrucksensor detektiert wird, anzunehmen. Das Steuergerät ist betreibbar, um einen Steuervorgang des Verschiebens des Zündzeitpunkts der Zündkerze von dem in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzten Punkts weiter hin zur Spätverstellseite auszuführen, wenn ein maximaler Wert der Vibrationsstärke, der von dem Vibrationssensor erfasst wird, oder ein maximaler Wert des Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Und wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, ist das Steuergerät betreibbar, um zu ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst

wird; und der maximale Detektionswert vor der Spätverstellung der Zündung der maximale Wert der Vibrationsstärke oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird.

[0154] In der vorliegenden Erfindung wird ein maximaler Wert einer Vibrationsstärke oder ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks unter Verwenden des Vibrationssensors oder des Zylinderdrucksensors erfasst und, wenn der maximale Wert gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist, wird der Zündzeitpunkt auf spät verstellt. Dann wird beruhend darauf, ob ein maximaler Wert einer Vibrationsstärke oder eines Zylinderdrucks nach der Spätverstellung (maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung) größer als der maximale Wert der Vibrationsstärke oder des Zylinderdrucks vor der Spätverstellung (maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung) ist, das Vorhandensein oder Fehlen der Vorzündung ermittelt. Dies bietet einen Vorteil, da die Vorzündung zuverlässig detektiert wird, während sie von Klopfen unterschieden wird, selbst wenn sich die Vorzündung in einer relativ frühen Phase befindet und sich nicht so stark entwickelt hat.

[0155] Selbst wenn zum Beispiel eine Vibrationsstärke oder ein Zylinderdruck einfach mit einem Bezugswert verglichen wird, ist es schwierig zu ermitteln, welches von Vorzündung und Klopfen auftritt, insbesondere wenn sich die Vorzündung in einer relativ frühen Phase befindet. Als Maßnahmen gegen dieses Problem wird in der vorliegenden Erfindung der Zündzeitpunkt absichtlich auf spät verstellt, wenn ein maximaler Detektionswert (ein maximaler Wert der Vibrationsstärke oder des Zylinderdrucks) des Vibrationssensors oder des Zylinderdrucksensors gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Wenn dann eine Zunahme des maximalen Detektionswerts zwischen vor und nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts bestätigt wird, wird ermittelt, dass die Vorzündung auftritt. Im Einzelnen ist die Spätverstellung des Zündzeitpunkts nur beim Unterbinden des Klopfens wirksam (beim Unterbinden der Vorzündung unwirksam). Beruhend auf dieser Eigenschaft können die Vorzündung und das Klopfen durch Analysieren einer Änderung des maximalen Detektionswerts nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts präzise voneinander unterschieden werden.

[0156] Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren, wenn eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts vor Spätverstellung der Zündung ist, ermittelt, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist.

[0157] Erfindungsgemäß ist bei dem Fremdzündungsmotor das Steuergerät betreibbar, wenn eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts vor Spätverstellung der Zündung ist, um zu ermitteln, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist. Die Vorzündung entwickelt sich unabhängig von der Spätverstellung des Zündzeitpunkts allmählich. Sobald die Vorzündung auftritt, wird somit ein Einleitungszeitpunkt der Verbrennung mit der Zeit früher. Gemäß den vorstehenden Merkmalen wird beruhend auf dieser Eigenschaft ermittelt, wenn eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts früher wird, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn keine Zunahme des maximalen Detektionswerts des Vibrationssensors oder des Zylinderdrucksensors beobachtet wird. Dies macht es möglich, die Detektionsgenauigkeit der Vorzündung zu verbessern.

[0158] Vorzugsweise ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Motor mit einem Ionenstromsensor zum Detektieren einer Flamme, die sich aus Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches ergibt, versehen. Das Verfahren umfasst einen Schritt des Ermitteln des Vorhandenseins oder Fehlens der Vorzündung beruhend auf einer Detektionszeit der Flamme durch den Ionenstromsensor, wobei, wenn beruhend auf dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor bestätigt wird, dass der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, ermittelt wird, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn infolge der Ermittlung beruhend auf dem Ionenstromsensor bestätigt wird, dass keine Vorzündung auftritt.

[0159] Vorzugsweise umfasst der erfindungsgemäße Fremdzündungsmotor einen Ionenstromsensor zum Detektieren einer Flamme, die sich aus Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches ergibt. Das Steuergerät ist betreibbar, um das Vorhandensein oder Fehlen der Vorzündung beruhend auf einer Detektionszeit der Flamme durch den Ionenstromsensor zu ermitteln, und, wenn beruhend auf dem Vibrationssensor oder dem Zylinderdrucksensor bestätigt wird, dass der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, zu ermitteln, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn infolge der Ermittlung beruhend auf dem Ionenstromsensor bestätigt wird, dass keine Vorzündung auftritt.

[0160] Wie bei den vorstehenden Merkmalen kann bei einem Doppeldetektionssystem unter Verwenden einer Kombination des Ionenstromsensors und des Vibrationssensors oder Zylinderdrucksensors selbst

bei Auftreten eines Fehlers wie Unterbrechung in dem Ionenstromsensor oder mangelhafter Präzision des Ionenstromsensors die Vorzündung unter Verwenden des Vibrationssensors oder Zylinderdrucksensors detektiert werden und die Vorzündungsdetektionsgenauigkeit weiter verbessert werden.

[0161] Vorzugsweise ist bei dem erfindungsgemäßen Fremdzündungsmotor das Steuergerät betreibbar, wenn ermittelt wird, dass die Vorzündung auftritt, um einen vorgegebenen Steuervorgang des Senkens mindestens eines von Zylindertemperatur und Zylinderdruck des Motors auszuführen.

[0162] Wenn bei diesem Merkmal die Vorzündung auftritt, wird mindestens eines von Zylindertemperatur und Zylinderdruck gesenkt, was einen Vorteil vorsieht, da die Vorzündung effektiv unterbunden werden kann.

[0163] Ein Steuervorgang des vorrangigen Senkens der Zylindertemperatur kann einen Steuervorgang des Anreicherns eines Luft/Kraftstoff-Verhältnisses und einen Steuervorgang des Einspritzens mindestens eines Teils von Einspritzkraftstoff in einem Verdichtungstakt umfassen. Ein Steuervorgang des vorrangigen Senkens des Zylinderdrucks kann einen Steuervorgang des Ändern eines Schließzeitpunkts eines Einlassventils umfassen, um ein effektives Verdichtungsverhältnis zu verringern. Mindestens eines von Zylindertemperatur und Zylinderdruck können durch Ausführen eines oder einer Kombination von zwei oder mehr der vorstehenden Steuervorgänge gesenkt werden.

[0164] Diese Anmeldung beruht auf der japanischen Patentanmeldung Nr. 2010-080943, die am 31. März 2010 im japanischen Patentamt eingereicht wurde und deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme mitaufgenommen ist.

[0165] Auch wenn die vorliegende Erfindung beispielhaft unter Bezug auf die Begleitzeichnungen umfassend beschrieben wurde, versteht sich, dass für den Fachmann verschiedene Änderungen und Abwandlungen nahe liegen können. Sofern solche Änderungen und Abwandlungen nicht anderweitig vom Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung, die nachstehend dargelegt ist, abweichen, sollen sie daher als darin enthalten ausgelegt werden

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren anomaler Verbrennung in einem Fremdzündungsmotor, der mit einem Vibrationssensor (33) zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem nor-

malen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze (16) an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Ermitteln, ob in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast ein maximaler Wert (V_{max}) einer Vibrationsstärke (V_a), der von dem Vibrationssensor (33) erfasst wird, oder ein maximaler Wert eines Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist;

wenn der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks gleich oder größer als der Schwellenwert ist, Verschieben des Zündzeitpunkts der Zündkerze (16) von dem Punkt, der in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, weiter hin zur Spätverstellseite; und

wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, Ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor (33) oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der vor der Spätverstellung Zündzeitpunkts erfasst wird,

dadurch gekennzeichnet, dass, wenn eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts vor Spätverstellung der Zündung ist, ermittelt wird,

dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
der Motor mit einem Ionenstromsensor (34) zum Detektieren einer Flamme, die sich aus Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches ergibt, versehen ist; das Verfahren einen Schritt des Ermitteln des Vorhandenseins oder Fehlens der Vorzündung beruhend auf einer Detektionszeit der Flamme durch den Ionenstromsensor (34) umfasst; und
wenn beruhend auf dem Vibrationssensor (33) oder dem Zylinderdrucksensor bestätigt wird, dass der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, ermittelt wird, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn infolge der Er-

mittlung beruhend auf dem Ionenstromsensor (34) bestätigt wird, dass keine Vorzündung auftritt.

3. Fremdzündungsmotor, der mit einem Vibrationssensor (33) zum Detektieren von Vibration des Motors oder einem Zylinderdrucksensor zum Detektieren eines Zylinderdrucks des Motors versehen ist und so ausgelegt ist, dass in einem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast und in einem normalen Zustand, in dem keine anomale Verbrennung auftritt, ein Zündzeitpunkt einer Zündkerze (16) an einer Spätverstellseite bezüglich eines oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzt ist, wobei:

der Fremdzündungsmotor ein Steuergerät (40) umfasst, das betreibbar ist, um den Zündzeitpunkt der Zündkerze (16) zu steuern und Informationen über eine Vibrationsstärke (V_a), die von dem Vibrationssensor (33) detektiert wird, oder Informationen über einen Zylinderdruck, der von dem Zylinderdrucksensor detektiert wird, anzunehmen; und das Steuergerät (40) ist betreibbar, um einen Steuervorgang des Verschiebens des Zündzeitpunkts der Zündkerze (16) von dem in dem normalen Zustand an der Spätverstellseite bezüglich des oberen Totpunkts der Verdichtung gesetzten Punkt weiter hin zur Spätverstellseite auszuführen, wenn ein maximaler Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a), der von dem Vibrationssensor (33) erfasst wird, oder ein maximaler Wert des Zylinderdrucks, der von dem Zylinderdrucksensor erfasst wird, in dem Bereich niedriger Motordrehzahl/hoher Motorlast gleich oder größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist; und

wenn ein maximaler Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als ein maximaler Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, Ermitteln, dass Vorzündung auftritt, die ein Phänomen ist, dass ein Luft/Kraftstoff-Gemisch vorzeitig selbst zündet, wobei: der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist, der von dem Vibrationssensor (33) oder dem Zylinderdrucksensor nach dem Spätverstellen des Zündzeitpunkts erfasst wird; und der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung der maximale Wert (V_{max}) der Vibrationsstärke (V_a) oder der maximale Wert des Zylinderdrucks ist,

der vor der Spätverstellung des Zündzeitpunkts erfasst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuergerät (40) betreibbar ist, wenn eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts nach Spätverstellung der Zündung früher als eine Detektionszeit des maximalen Detektionswerts vor Spätverstellung der Zündung ist, um zu ermitteln, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung gleich oder kleiner als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist.

4. Fremdzündungsmotor nach Anspruch 3, der weiterhin einen Ionenstromsensor (34) zum Detektieren einer Flamme, die sich aus Verbrennung eines Luft/Kraftstoff-Gemisches ergibt, umfasst, wobei das Steuergerät (40) betreibbar ist, um:

das Vorhandensein oder Fehlen der Vorzündung beruhend auf einer Detektionszeit der Flamme durch den Ionenstromsensor (34) zu ermitteln; und wenn beruhend auf dem Vibrationssensor (33) oder dem Zylinderdrucksensor bestätigt wird, dass der maximale Detektionswert nach Spätverstellung der Zündung größer als der maximale Detektionswert vor Spätverstellung der Zündung ist, zu ermitteln, dass die Vorzündung auftritt, selbst wenn infolge der Ermittlung beruhend auf dem Ionenstromsensor (34) bestätigt wird, dass keine Vorzündung auftritt.

5. Fremdzündungsmotor nach einem der Ansprüche 3 bis 4, wobei das Steuergerät (40) betreibbar, wenn ermittelt wird, dass die Vorzündung auftritt, um einen vorgegebenen Steuervorgang des Senkens mindestens eines von Zylindertemperatur und Zylinderdruck des Motors auszuführen.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

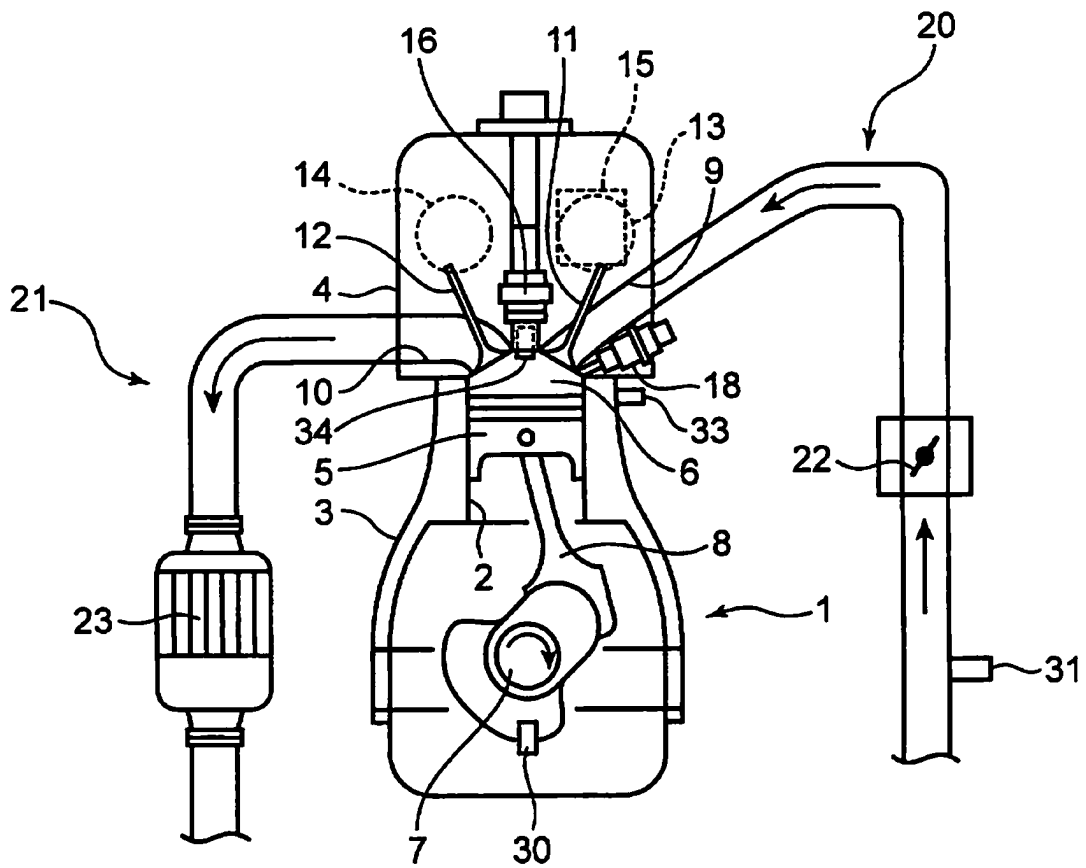


FIG. 2

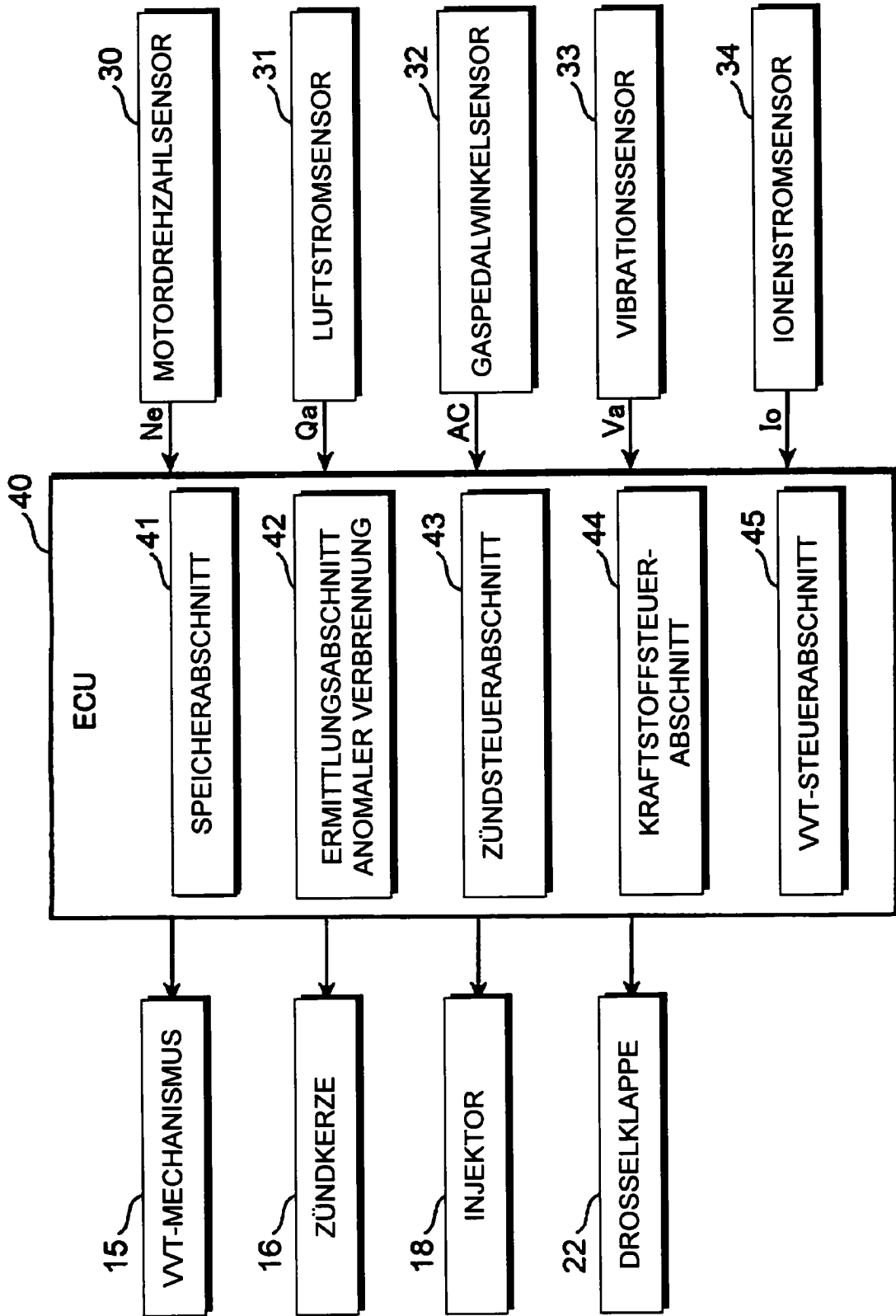


FIG. 3

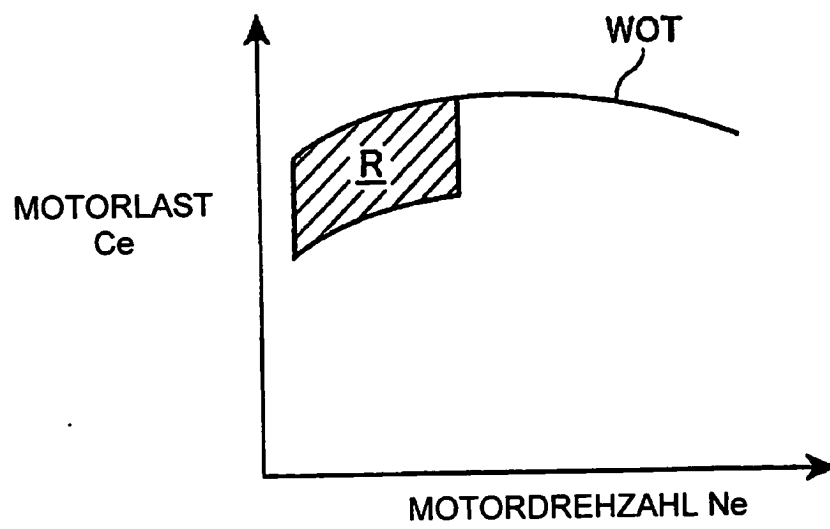


FIG. 4

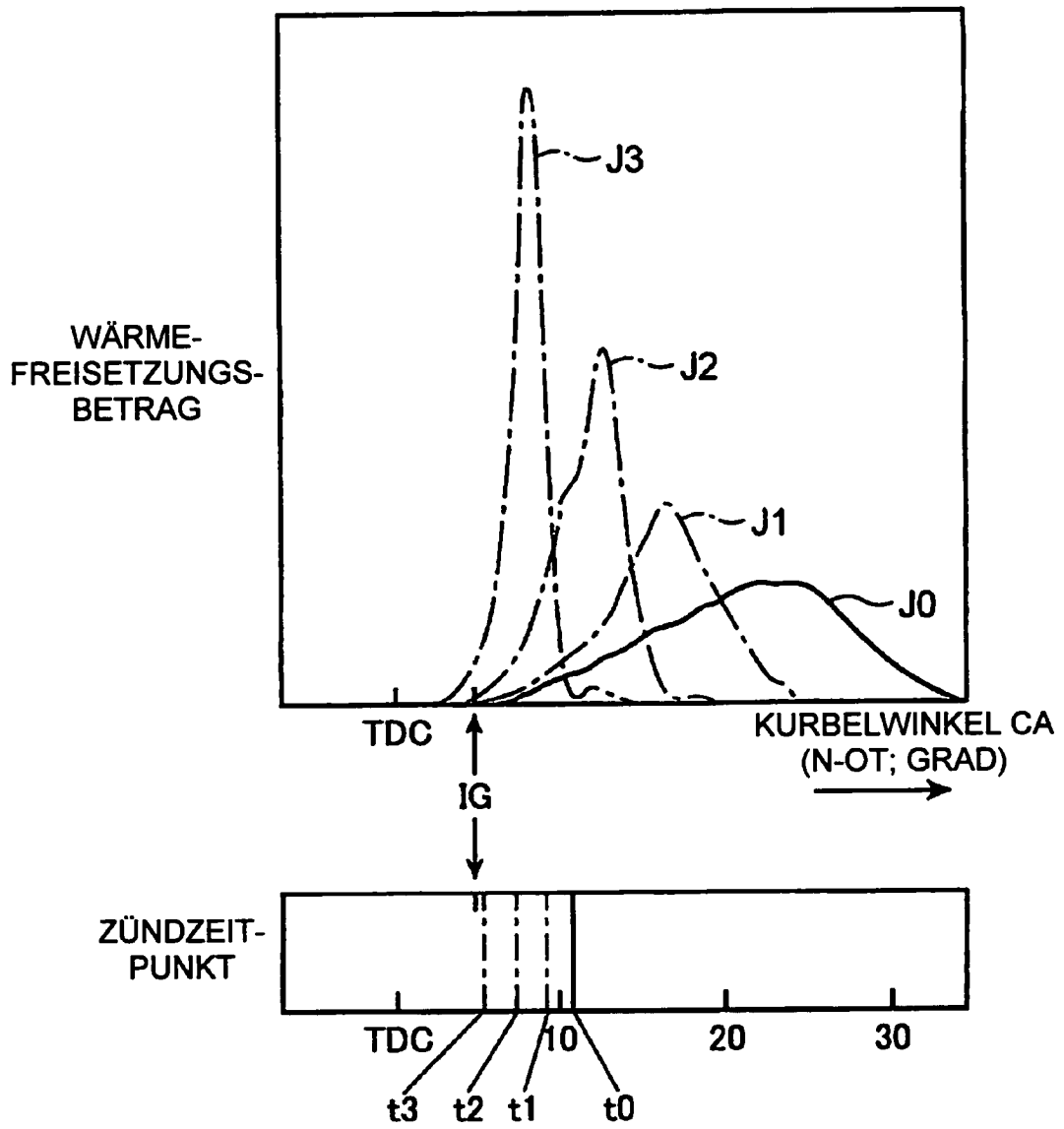


FIG. 5

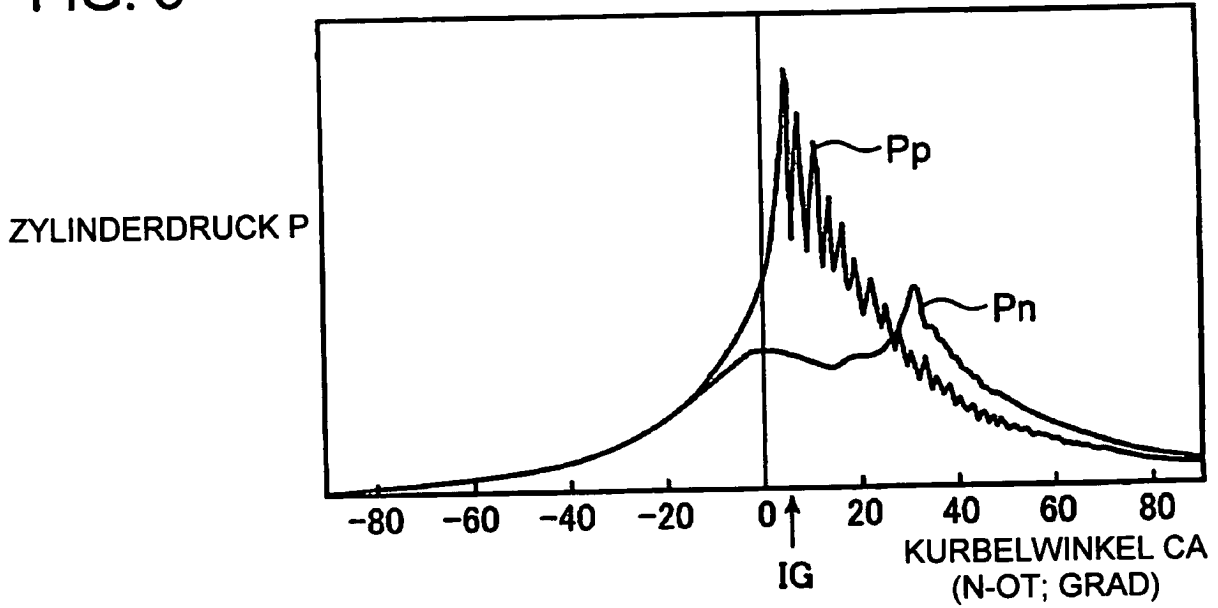


FIG. 6

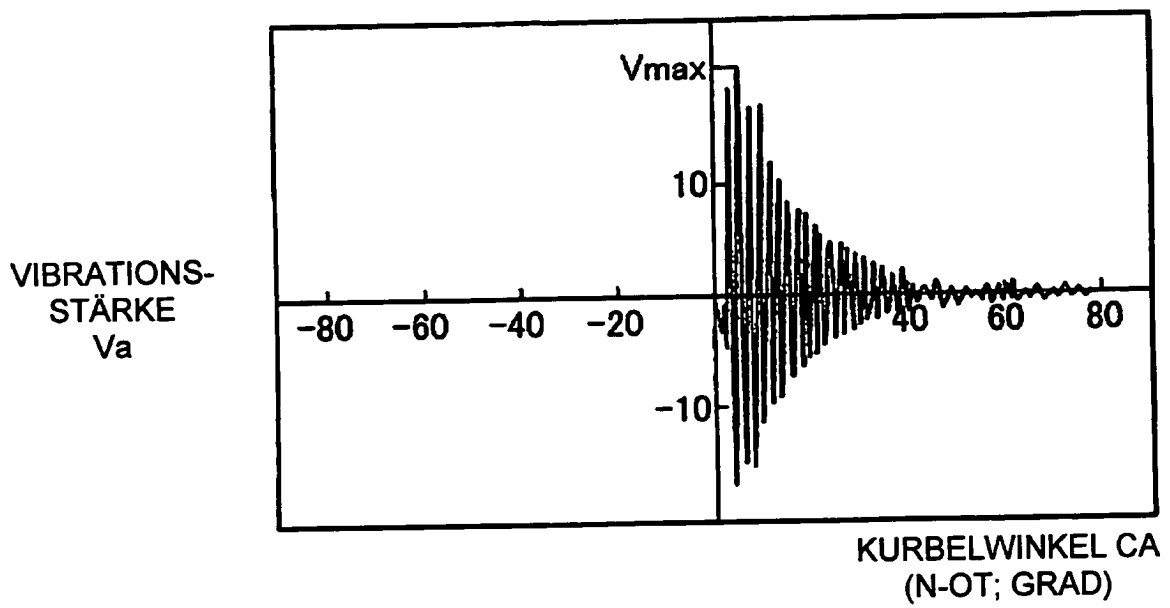


FIG. 7

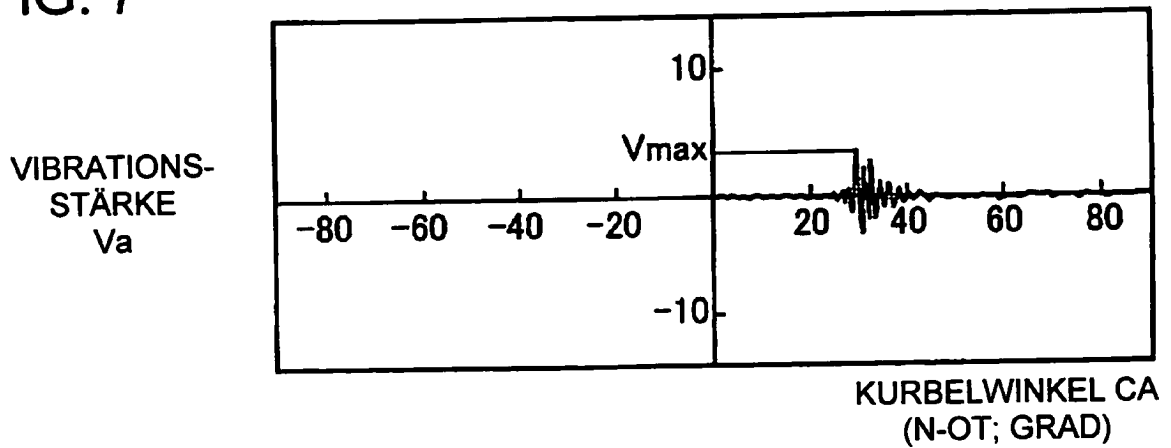


FIG. 8

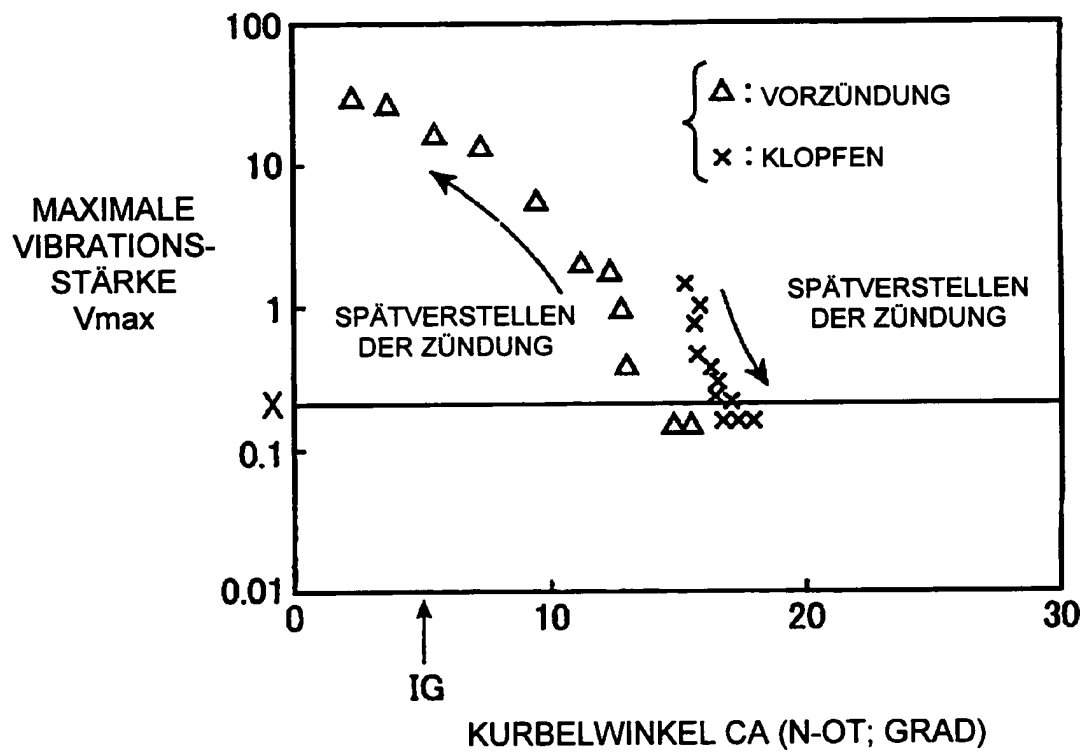


FIG. 9

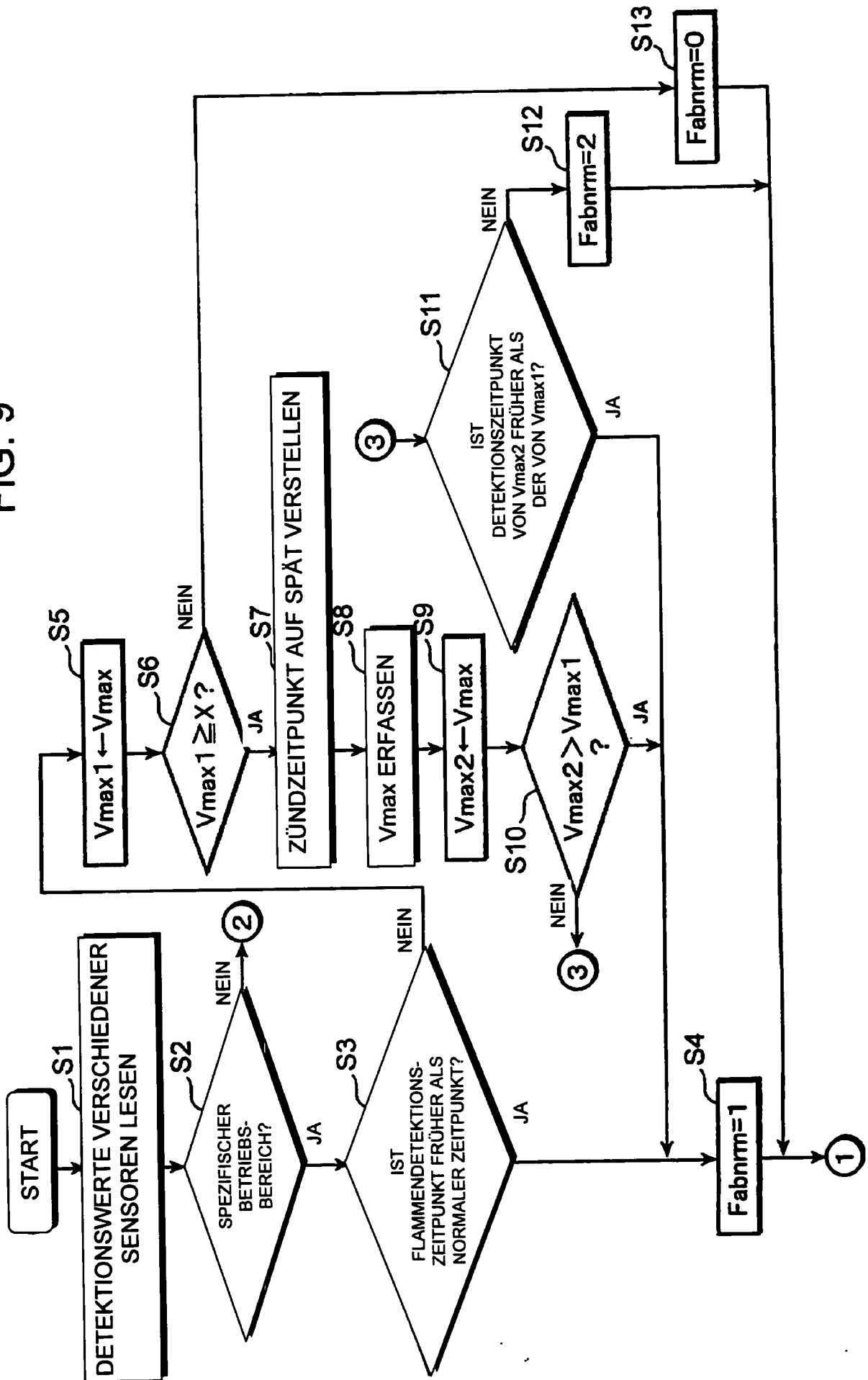


FIG. 10

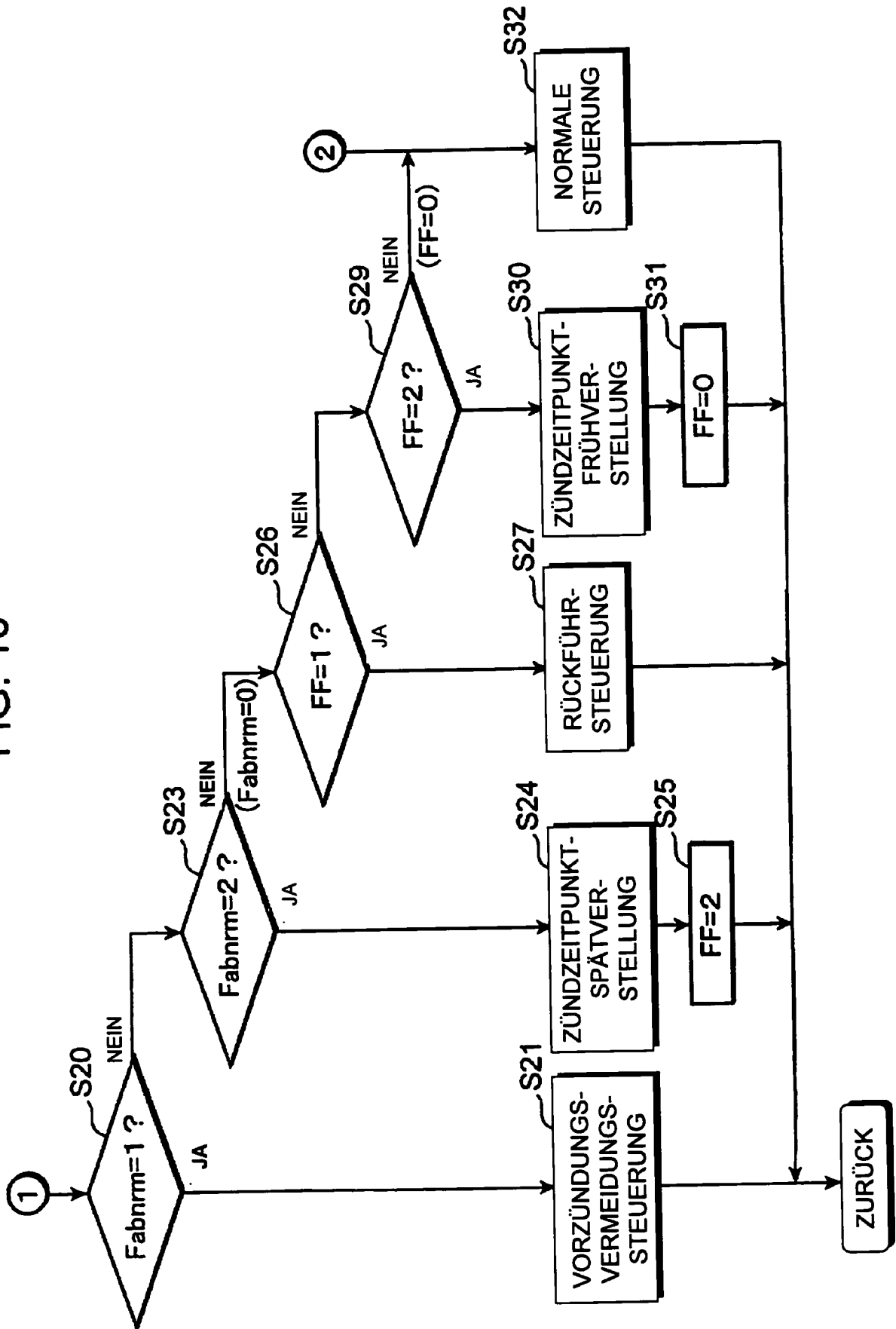


FIG. 11

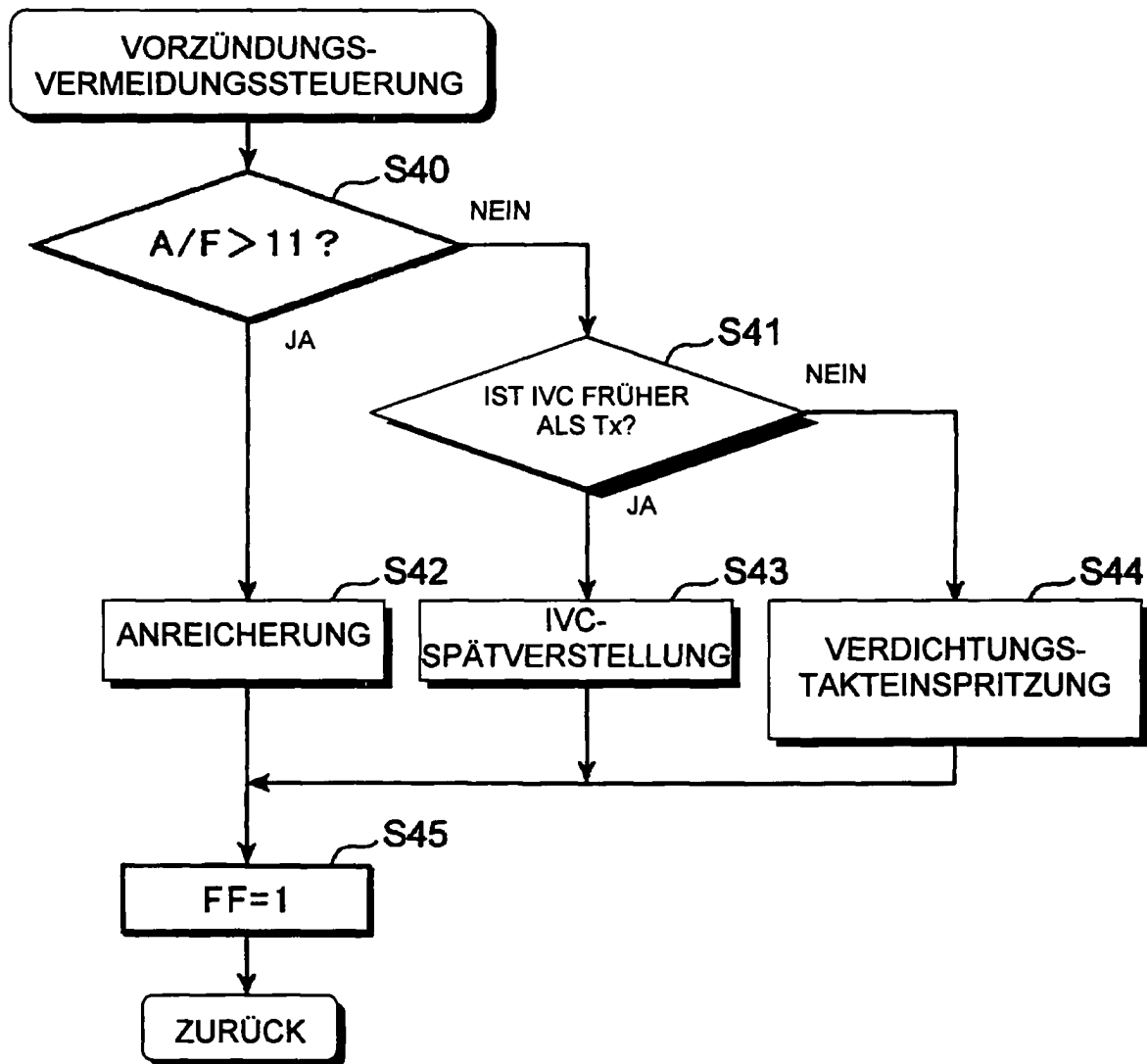


FIG. 12

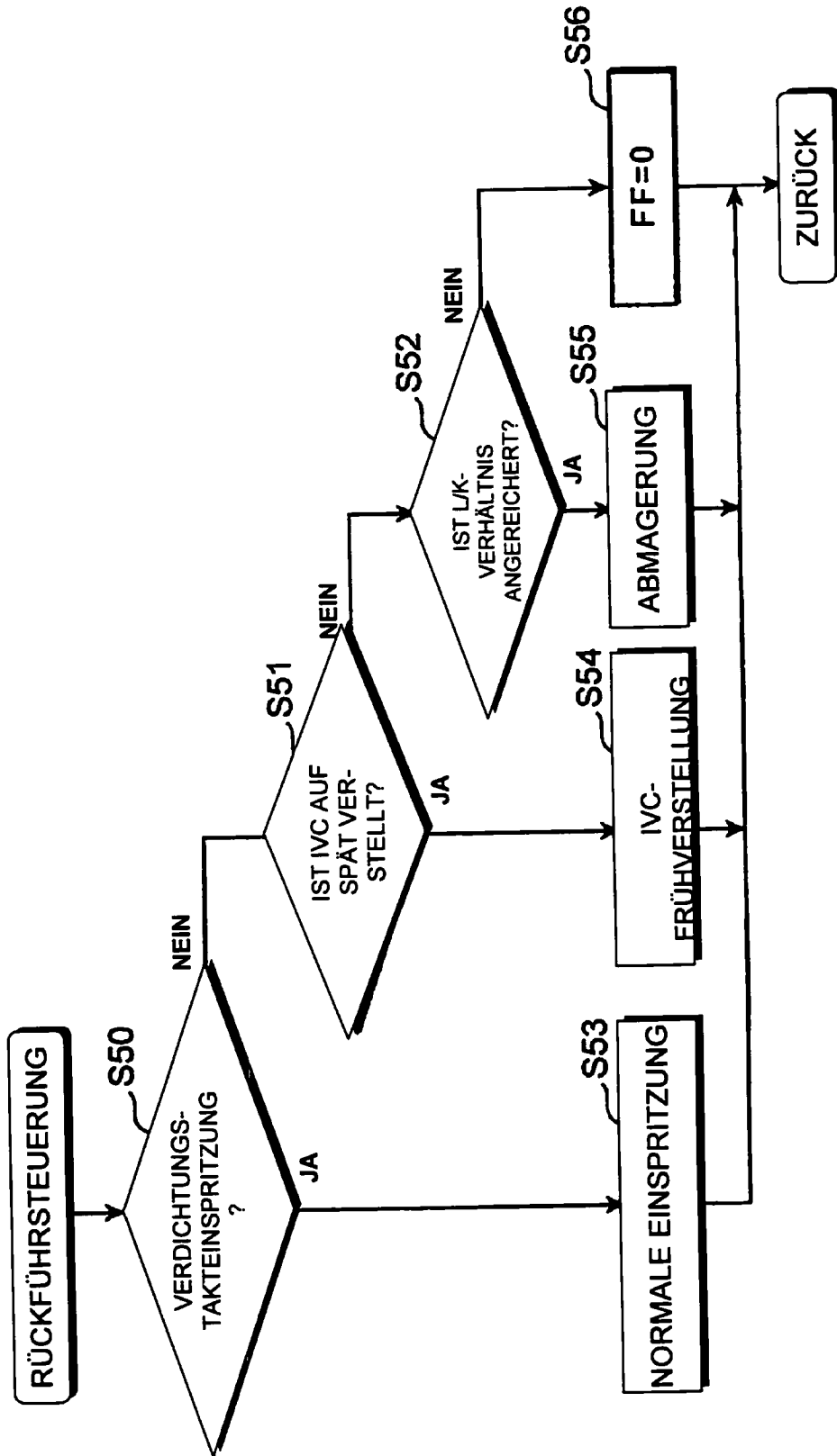


FIG. 13

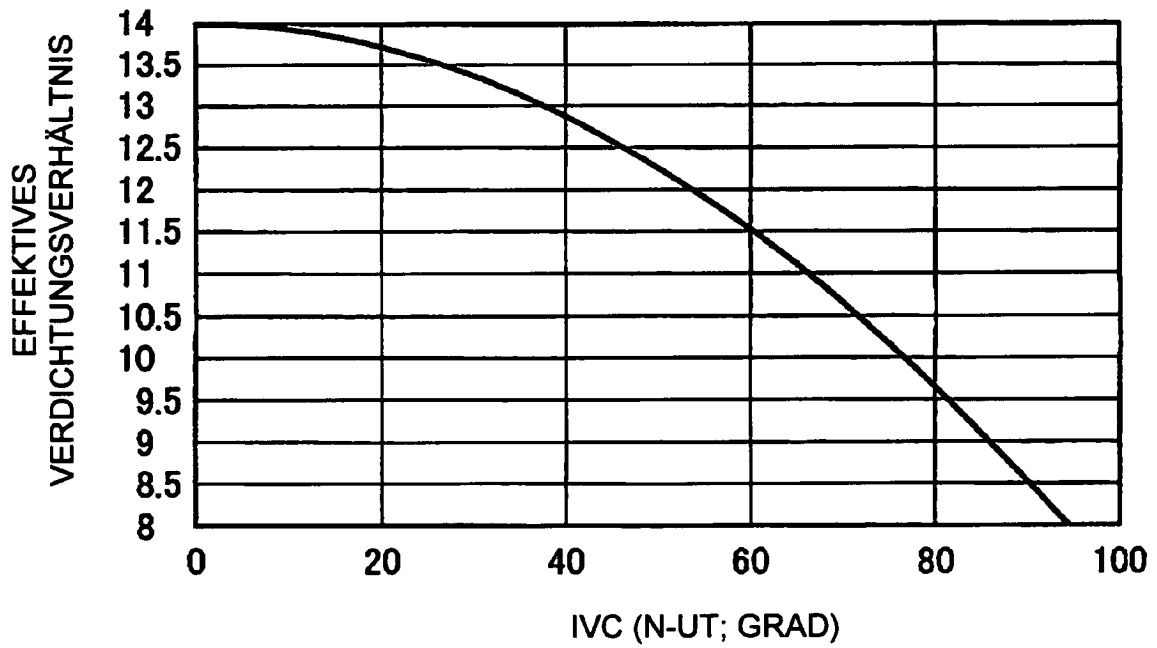


FIG. 14

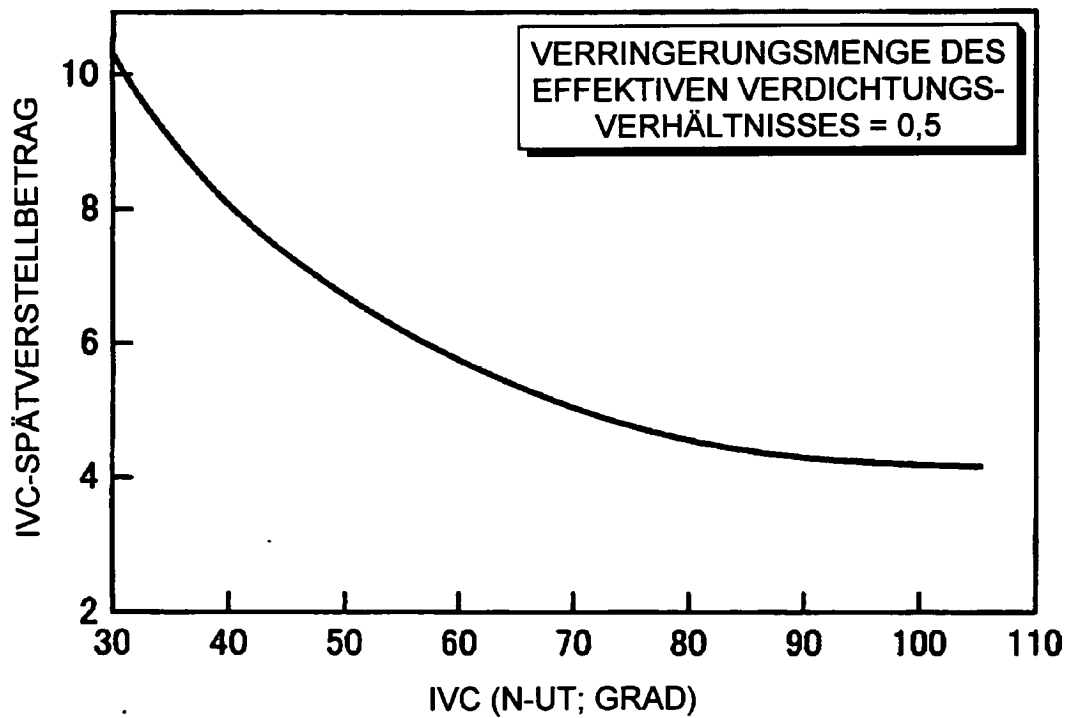


FIG. 15A

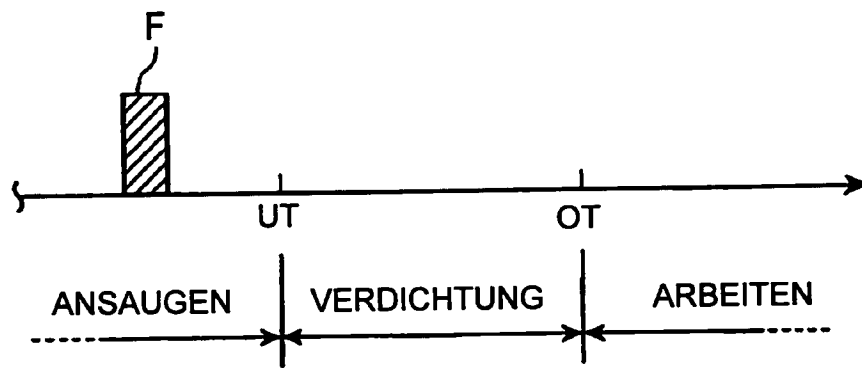


FIG. 15B

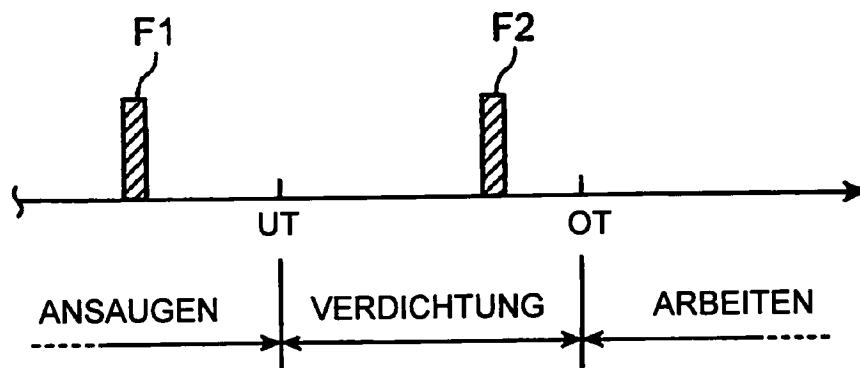


FIG. 16

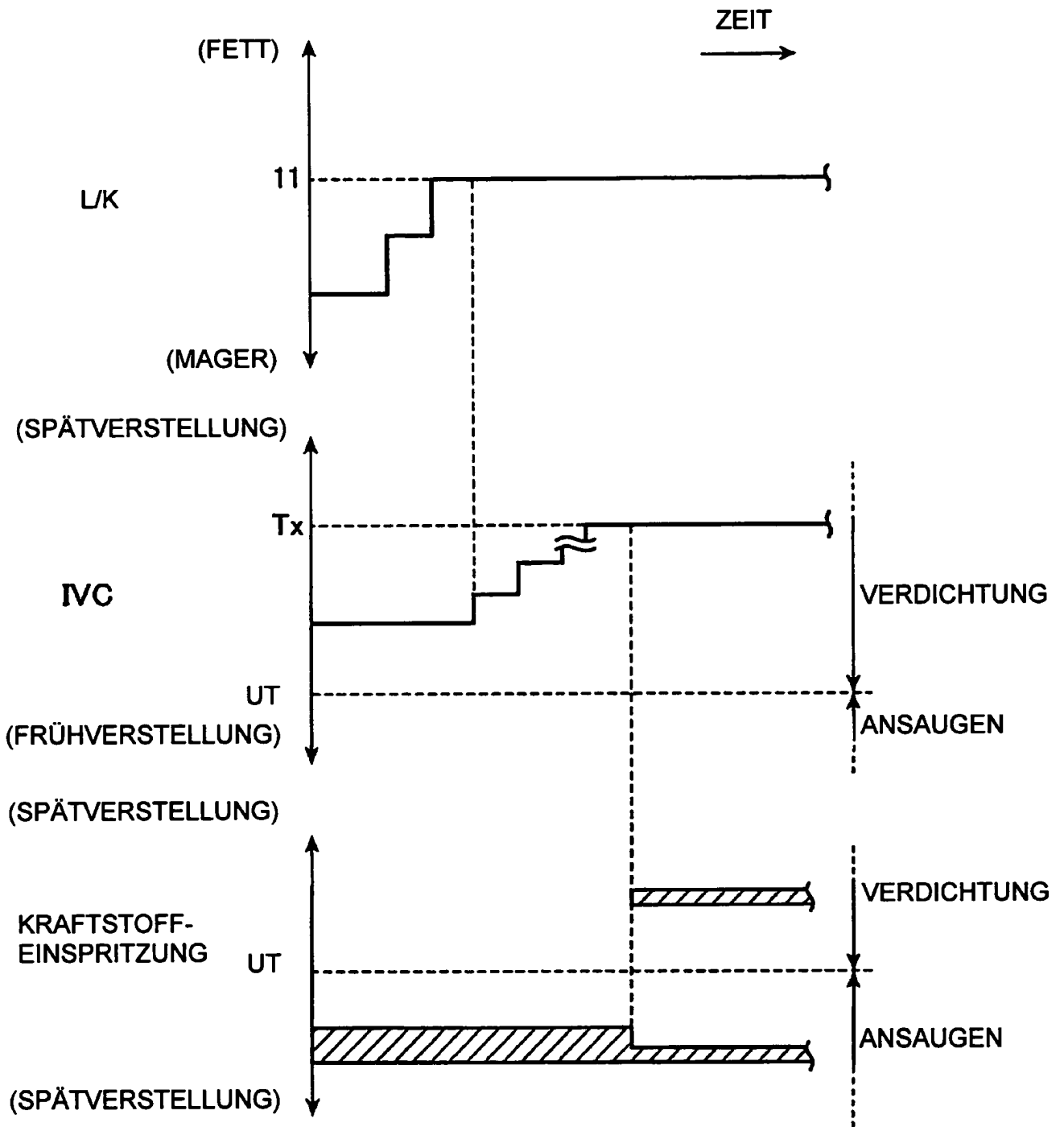


FIG. 17

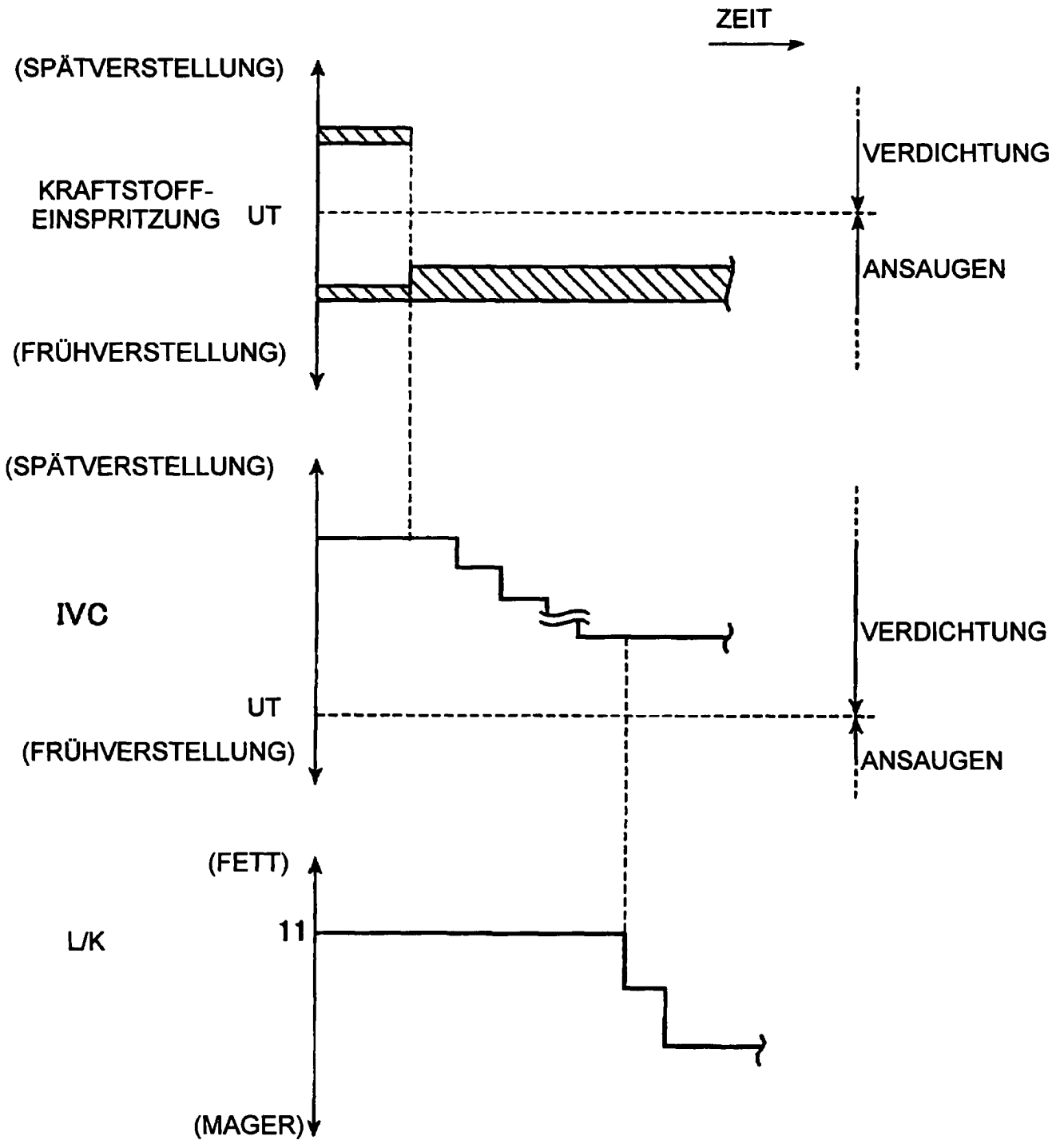


FIG. 18A

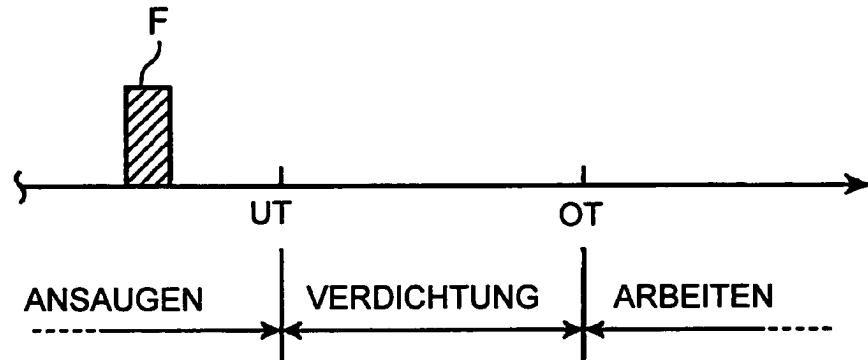


FIG. 18B

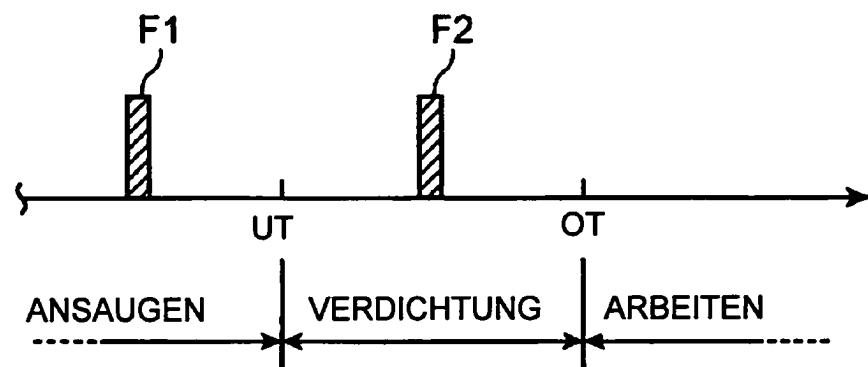


FIG. 18C

