



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 09 623 T2 2005.03.17**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 085 193 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 09 623.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 308 144.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **19.09.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **07.04.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.03.2005**

(51) Int Cl.7: **F02D 41/38**

F02M 63/02, F02M 55/02

(30) Unionspriorität:

26519499 20.09.1999 JP

(73) Patentinhaber:

Isuzu Motors Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Westphal Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Nishiyama, Yasuhiro, Fujisawa-shi, Kanagawa, JP

(54) Bezeichnung: **Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung oder Verteilerleitung, bei welchem eine Reihe von Injektoren die Kraftstoffbeschickung in jede Verbrennungskammer aus einer gemeinsamen Druckleitung oder Verteilerleitung zuführt, die mit unter einem hohem Druck stehendem Kraftstoff gefüllt ist.

[0002] Kraftstoffeinspritzsysteme mit gemeinsamer Druckleitung sind bekannt als die geeignetste Weise, die Einspritzdrücke zu erhöhen und auch die Kraftstoffeinspritzfaktoren zu steuern, wie eine Einspritz-Zeitsteuerung, Menge des je Zyklus eingespritzten Kraftstoffs und dergl., in Abhängigkeit von den Maschinenbetriebsbedingungen. Unter den bekannten Kraftstoffeinspritzsystemen mit gemeinsamer Druckleitung befindet sich ein Kraftstoffeinspritzsystem, in welchem ein Arbeitsfluid für die Kraftstoffeinspritzung, das auf einen vorgewählten Druck aufgepumpt wird, in einer gemeinsamen Druckleitung gespeichert wird, um die Injektoren zu betätigen, die in einzelnen Zylindern angeordnet sind, jeder zu jedem Zylinder. Kraftstoff wird aus den Injektoren in ihre zugehörigen Verbrennungskammern ausgestoßen, indem der hydraulische Druck des Arbeitsmediums ausgenutzt wird. Eine Steuereinheit steuert die in den einzelnen Injektoren eingebauten Ventile, um den Kraftstoff mit den für die Maschinenbetriebsbedingungen optimalen Kraftstoffeinspritzfaktoren einzuspritzen.

[0003] Im Gegensatz dazu ist ein Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung mit Kraftstoff-Druckbetätigung bekannt, bei dem der Kraftstoff als Arbeitsfluid dient. Bei dieser Art von Kraftstoffeinspritzung werden die den Einspritzdrücken entsprechenden Kraftstoffdrücke in Kraftstoffkanälen von der gemeinsamen Druckleitung durch die Einspritzleitungen zu den Einspritzöffnungen an den distalen Enden der Injektoren kontinuierlich aufrechterhalten. Jeder Injektor ist mit einem Steuerventil versehen, das den zu den Einspritzleitungen zugeführten Kraftstoff fließen lässt oder sperrt, und mit einem solenoidbetätigten Betätigungsglied zum Antrieb des Steuerventils. Eine Steuereinheit regelt die Kraftstoffdrücke in der gemeinsamen Druckleitung und den Betrieb der solenoidbetätigten Betätigungsglieder, um den unter Druck stehenden Kraftstoff aus den einzelnen Injektoren entsprechend den für die Maschinenbetriebsbedingungen am meisten geeigneten Einspritzfaktoren einzuspritzen. Ferner wurde eine weitere Art des Kraftstoffeinspritzsystems mit gemeinsamer Druckleitung vorgeschlagen, bei welchem das Arbeitsfluid durch Maschinenöl gebildet wird, das unter einem hohem Druck in der gemeinsamen Druckleitung gespeichert ist. Das auf die Druckkammern in den Injektoren aus der gemeinsamen Druckleitung eingebrachte Maschinenöl liefert hydraulische Drücke, um den

Kraftstoffdruck auf einen gewünschten Druck zu steigern, der in Intensivierungskammern in den Injektoren geliefert wird.

[0004] Anhand von **Fig. 17** wird das bekannte Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung, das mit Kraftstoffdruck betätigt wird, ausführlicher erläutert. Von einer Kraftstoffzufuhrpumpe **6** aus einem Kraftstofftank **7** angesaugter Kraftstoff wird zu einer Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe **1** gefördert, die eine Hochdruckkolbenpumpe mit veränderlicher Abgabe ist und von einem Motor angetrieben wird, um den Kraftstoff in eine gemeinsame Druckleitung **2** zu drücken. Der unter hohem Druck in der gemeinsamen Druckleitung **2** gespeicherte Kraftstoff kann dann durch Einspritzleitungen **23** fließen, die in ein Kraftstoffeinlasssystem zu Injektoren **3** eingeschlossen sind, die in die Zylinder, jedes zu jedem Zylinder, entsprechend der Art der Maschine oder des Motors eingebaut sind. Der Kraftstoff wird schließlich aus den einzelnen Injektoren in ihre zugehörigen Verbrennungskammern ausgespritzt. Die Hochdruck-Kraftstoffzufuhrkolbenpumpe **1** kann neben dem dargestellten Typ auch eine Drehkolbenpumpe und eine Inline-Kolbenpumpe je nach der Art der Maschine sein.

[0005] Die Hochdruck-Kraftstoffzufuhrkolbenpumpe **1** hat eine Kurvenscheibe **10**, die vom Maschinenantrieb angetrieben wird, um die Pumpe zu betätigen, und ein Kolben **11** läuft auf der Kurvenscheibe **10**, so dass er nach innen und außen bewegt wird, wobei der Kolben **11** an seiner oberen Fläche einen Teil der inneren Trommelwand (barrel wall) bildet, die eine Pumpenkammer **12** begrenzt. Ein Einlassventil **15** ist zwischen der Pumpenkammer **12** und einer Kraftstoffeinlassleitung **13** angeordnet und bewirkt die Regelung der Menge des in die Pumpenkammer **12** von der Kraftstoffzufuhrpumpe **6** durch die Kraftstoffeinlassleitung **13** gedrückten Kraftstoffs. Ein Rückschlagventil **17** ist längs der Kraftstoffauslassleitung **14** angeordnet und verbindet die Pumpenkammer **12** mit der gemeinsamen Druckleitung **2** und kann sich öffnen, wenn der von der Hochdruck-Kraftstoffzufuhrkolbenpumpe **1** erzeugte Druck über einen vorgewählten Auslassdruck steigt.

[0006] Um den Druck in der gemeinsamen Druckleitung vor einem unerwarteten Anstieg zu bewahren, der beispielsweise auf einer Anormalität im Steuerungssystem beruht, ist ein Entspannungsventil **20** vorgesehen, das normalerweise geschlossen ist, das sich aber öffnen kann, wenn es einem höheren Druck als einem vorgewählten Druck unterworfen wird, was dem in der gemeinsamen Druckleitung **2** enthaltenen Kraftstoff erlaubt, zum Kraftstofftank **7** durch eine Entspannungsleitung **21** zu entweichen, wodurch sich eine Verringerung des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung ergibt. Ferner überwacht ein Druckdetektor **22** den Druck P_r in der gemeinsamen

Druckleitung, der wiederum einer Steuereinheit **8** des elektronisch gesteuerten Moduls signalisiert wird, der gewöhnlich mit der EMC verbunden ist.

[0007] Die Injektoren **3** sind hermetisch ausgestattet mit Dichtorganen in Löchern, die in ein Basisorgan, wie einen Zylinderkopf, gebohrt sind. Die Injektoren **3** enthalten jeweils ein Nadelventil **31**, das in einem Injektorkörper auf und ab bewegbar ist, wobei Einspritzöffnungen **32** an einem distalen Ende einer Einspritzdüse ausgebildet sind, die sich öffnen, wenn das Nadelventil **31** sich von seinem Sitz abhebt, wodurch die Kraftstoffeinspritzung in eine nicht gezeigte Verbrennungskammer stattfinden kann. Das Nadelventil **31** hat eine obere Fläche **33**, die einen Teil einer Ausgleichskammer **30** bildet, die mit dem unter hohem Druck stehenden Kraftstoff aus der zugehörigen Einspritzleitung **23** versorgt wird. Ein Kraftstoffkanal **34**, der mit der Einspritzleitung **23** verbunden ist, öffnet sich zu einer Kraftstofftasche **35**, die rings um das Nadelventil **31** ausgebildet ist. Das Nadelventil **31**, das gegen die Kraftstofftasche **35** offenliegt, ist einem Kraftstoffdruck an seiner ersten verjüngten Oberfläche **36** ausgesetzt und erfährt dadurch eine hydraulische Kraft, um das Nadelventil **31** abzuheben. Andererseits trifft auf das Nadelventil **31** sowohl der Abwärtsschub infolge des Kraftstoffdrucks in der Ausgleichskammer **30** als auch die Rückstellkraft einer Rückstellfeder **47**.

[0008] Während der Hochdruck-Kraftstoff in der gemeinsamen Druckleitung **2** der Ausgleichskammer **30** durch eine Kraftstoffzuführleitung **38** zugeführt wird, die von der Einspritzleitung **23** abzweigt, wird der Kraftstoff in der Ausgleichskammer **30** durch eine Abzugsleitung **40** ausgestoßen. Die Kraftstoffzuführleitung **38** und die Abzugsleitung **40** sind jeweils mit Verengungen **39**, **41** versehen, die so definiert sind, dass die Verengung **41** in der wirksamen Querschnittsfläche größer ist als die andere Verengung **39**. Ferner enthält die Abzugsleitung **40** ein Ventil **44**, das dazu dient, den Kraftstoff in der Abzugsleitung **40** zu einer Kraftstoffrückleitung **46** zu entlasten.

[0009] Das Abheben des Nadelventils **31** hängt ab von einem kinetischen Ausgleich zwischen den nach oben und nach unten wirkenden hydraulischen Kräften und der Rückstellkraft. Steuerstrom aus der Steuereinheit **8** erregt ein Solenoid **45**, um das Ventil **44** in der Abzugsleitung **40** zu öffnen. Da somit die Kraftstoffströmung an der Verengung **39** stärker eingeschränkt ist als an der Verengung **41**, fällt der Kraftstoffdruck in der Ausgleichskammer **30** ab, so dass die Kraft zum Anheben des Nadelventils **31** vom Sitz die Summe der abwärts drückenden Kraft übertrifft, die sich aus dem Kraftstoffdruck in der Ausgleichskammer **30** und der elastischen Kraft der Rückstellfeder **47** ergibt, so dass das Nadelventil **31** sich von dem Sitz abhebt, wobei der Kraftstoff aus den Einspritzöffnungen **32** in die nicht gezeigte Verbren-

nungskammer eingespritzt wird. Wenn das Ventil **44** geschlossen wird, bringt der in der Ausgleichskammer **30** erhaltene Kraftstoffdruck eine zweite verjüngte Fläche **37** nahe dem distalen Ende des Nadelventils **31** in Eingriff mit einem verjüngten Ventilsitz, um den Kraftstoffdurchlass zwischen den Einspritzöffnungen **32** und der Kraftstofftasche **35** zu sperren. So hört die Kraftstoffeinspritzung auf. Der im Injektor verbleibende unverbrauchte Kraftstoff kann aus der Ausgleichskammer **30** durch die Abzugsleitung **40** ausgestoßen und im Kraftstofftank **7** durch die Kraftstoffrückleitung **46** wiedergewonnen werden.

[0010] Die Steuereinheit **8** wird mit verschiedenen Signalen von Sensoren **9** versorgt, wie einem Kurbelwellen-Lagesensor Ne zur Erfassung der Maschinendrehzahl, einem Gaspedal-Sensor Ac für die Erfassung des Niederdrückens eines Gaspedals usw. Die Sensoren **9**, die ihre Signale auf die Steuereinheit **8** geben, können auch andere Sensoren zur Überwachung der Maschinenbetriebsbedingungen umfassen, beispielsweise einen Maschinenkühltemperatur-Sensor und einen Maschinenzylinder-Identifizierungssensor, einen Erfassungssensor für den oberen Totpunkt, einen Sensor für die Umgebungstemperatur, einen Detektor für den Atmosphärendruck, einen Einlassverteiler-Druckdetektor usw.

[0011] Die Steuereinheit **8** findet auf der Basis einer Einspritzcharakteristik-Karte, die vorher im Speicher gespeichert wird, gewünschte Einspritzfaktoren entsprechend den von den diversen Sensoren **9** ausgegebenen Signalen, und das Ventil **44** öffnet und schließt sich in Abhängigkeit von den gewünschten Einspritzfaktoren, um das Abheben des Nadelventils **31** zu steuern. Die gewünschten Einspritzfaktoren werden so definiert, dass sie eine Einspritzzeitsteuerung und eine aus dem Injektor **3** je Zyklus eingespritzte Kraftstoffmenge bestimmen, so dass die Maschinenleistung für die Maschinenbetriebsbedingungen optimal ist. Einspritzzeitsteuerung und die Menge des eingespritzten Kraftstoffs hängen vom Einspritzdruck sowie vom Hub oder Betrag und Dauer des Hubes des Nadelventils **31** ab. Die Steuereinheit **8** gibt einen Befehlsimpuls ab, um einen Antriebsstrom zum Erregen des Solenoids **45** zu bestimmen, der seinerseits das Ventil **44** öffnet und schließt.

[0012] Insbesondere die Beziehung zwischen dem Betrag der aus dem Injektor **3** eingespritzten Kraftstoffmenge und der Impulsbreite des Befehls- oder Steuerimpulses, der von der Steuereinheit **8** ausgegeben wird, wird auf der Basis eines Parameters aufgezeichnet: Druck Pr in der gemeinsamen Druckleitung oder Kraftstoffdruck in der gemeinsamen Druckleitung **2**. Die Einspritzzeitsteuerung kann geregelt werden, indem die Zeit des Steuerimpulses ein/aus gesteuert wird, da die Kraftstoffeinspritzung mit der vorgewählten Verzögerung der Zeit nach einer Zeit startet oder aufhört, wenn der Steuerimpuls abfällt

oder ansteigt. Die Beziehung zwischen der grundsätzlichen eingespritzten Kraftstoffmenge und der Motordrehzahl N_e wird vorher in einer Karte der grundlegenden Mengencharakteristiken des eingespritzten Kraftstoffs gespeichert, wobei sie auf Grundlage eines Parameters aufgezeichnet werden: des Gaspedal-Niederdrückens A_c . So kann die Menge des eingespritzten Kraftstoffs auf der Basis der Karte der grundlegenden Mengencharakteristiken des eingespritzten Kraftstoffs berechnet werden, die von den Maschinenbetriebsbedingungen abhängen. Obwohl nur ein Injektor **3** in dem dargestellten Beispiel gezeigt ist, ist die Maschine dieser Art gewöhnlich eine Mehrzylinder-Maschine, beispielsweise eine Vier-Zylinder-Maschine oder eine Sechs-Zylinder-Maschine, und die Steuereinheit **8** steuert einzeln die Kraftstoffeinspritzung für jeden Injektor **3**, der jeweils in jeden Zylinder eingebaut ist.

[0013] Da der Einspritzdruck zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Injektor **3** im Wesentlichen gleich dem in der gemeinsamen Druckleitung **2** aufrechterhaltenen Kraftstoffdruck ist, führt die Steuerung des Druckes P_r in der gemeinsamen Druckleitung zur Steuerung des Einspritzdrucks. Selbst wenn die Maschinenbetriebsbedingungen unverändert aufrechterhalten würden, würde der Druck P_r in der gemeinsamen Druckleitung infolge des Kraftstoffverbrauchs bei jeder Kraftstoffeinspritzung absinken. Wenn im Gegenteil die Maschinenbetriebsbedingungen sich ändern, sollte der Druck P_r in der gemeinsamen Druckleitung entweder steigen oder fallen auf ein anderes Optimum des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung oder des Verteilerleitungsdrucks für die veränderten Maschinenbetriebsbedingungen. Der Druckanstieg im Verteilerleitungsdruck P_r wird erreicht durch Steigerung der Kraftstoffzuführung der Hochdruck-Kraftstoffzuführungskolbenpumpe **1**, während der Druckabfall entweder durch Kraftstoffauslecken aus dem Injektor **3** oder ein anderes geeignetes Mittel herbeigeführt werden kann, beispielsweise ein längs der Verteilerleitung **2** eingebautes Entspannungsventil. Die Steuereinheit **8** regelt die von der Hochdruck-Kraftstoffzuführungskolbenpumpe **1** abgegebene Menge, um den Kraftstoffdruck in der Verteilerleitung **2** auf dem vorgewählten Druck zu halten oder denselben kontinuierlich bis auf den Druck zu verändern, der für die veränderten Maschinenbetriebsbedingungen erforderlich ist.

[0014] Zum Regeln des Verteilerleitungsdrucks P_r wird zuerst ein gewünschter Verteilerleitungsdruck in Abhängigkeit von der gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge und Maschinendrehzahl N_e aufgefunden, welche entsprechend den Maschinenbetriebsbedingungen bestimmt werden. Sodann wird die von der Hochdruck-Kraftstoffzuführungskolbenpumpe **1** abgegebene Kraftstoffmenge oder die Kraftstoffmenge entsprechend dem effektiven Kolbenhub einer Rückkopplungssteuerung unterworfen, um die

Abweichung des tatsächlich am Druckdetektor **22** erfassten Verteilerleitungsdrucks vom gewünschten Verteilerleitungsdruck auszuschalten.

[0015] Unter den bekannten Systemen zum Regeln der von der Hochdruck-Kraftstoffzuführungskolbenpumpe **1** im Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung gemäß **Fig. 17** gibt es ein System, das Vorhubsteuerung (prestroke control) genannt wird, bei welchem ein Einlassventil **15** entsprechend der Vorhubstrecke gesteuert wird. Entsprechend der Vorhubstrecke wird der in die Pumpenkammer **12** eingelassene Kraftstoff, obwohl er zwar durch die Kraftstoffeinlassleitung **13** zum Kraftstofftank **7** zurückfließen kann, solange ein Kraftstoffeinlassventil **15** in der Kraftstoffeinlassleitung **13** offengehalten wird, sogar während des Anhebhubs des Kolbens **11**, auf die Abgabeseite der Pumpe direkt nach dem Schließen des Einlassventils **15** gedrückt, wodurch die Kraftstoffmenge auf der Abgabeseite der Pumpe gesteuert wird. Die Steuereinheit **8** regelt eine Dauer, während der ein Solenoid **16** erregt gehalten wird, wodurch die Kraftstoffabgabedauer gesteuert wird, die vom Zeitpunkt des Schließens des Einlassventils **15** bis zum Zeitpunkt des Erreichens des oberen Totpunktes des Kolbens **11** dauert, um die von der Hochdruck-Kraftstoffzuführungskolbenpumpe **1** abgegebene Menge einzustellen, wodurch schließlich der Verteilerleitungsdruck P_r gesteuert wird. Da ein Entspannungsventil **18** zur Einstellung einer oberen Grenze des Kraftstoffdrucks oder Zuführdrucks in der Einlassleitung **13** vorgesehen ist, kann überschüssiger Kraftstoff aus der Kraftstoffzuführungspumpe **6** durch das Entspannungsventil **18** und die Kraftstoffrückleitung **19** zum Kraftstofftank **7** zurückfließen.

[0016] Es wird eine Beziehung zwischen der eingespritzten Kraftstoffmenge und dem Betrag des Druckabfalls des Drucks der Verteilerleitung infolge der Kraftstoffeinspritzung vorbestimmt. Andererseits ändert sich die Menge des eingespritzten Kraftstoffs bei jedem Injektor **3** infolge von unvermeidlichen Unterschieden in den mechanischen Eigenschaften und in der Alterung der einzelnen Injektoren. So wurde ein Konzept zum Kompensieren der Änderungen der Menge des eingespritzten Kraftstoffs vorgeschlagen, bei welchem die einzuspritzende Kraftstoffmenge auf der Basis des Betrags des Druckabfalls vorweggenommen wird, der sich aus einer Wellenform ergibt, welche die Änderungen im Verteilerleitungsdruck zeigt. Das obige Konzept ist beispielsweise in den Japanischen Patent-Offenlegungsschriften Nr. 186034/1987, 203441/1992 und 203451/1992 beschrieben.

[0017] Da nun beide, die Hochdruck-Kraftstoffzuführungspumpe und die Injektoren, mit der Verteilerleitung verbunden sind, führt eine Reihe der Kraftstoffabgaben aus der Hochdruck-Kraftstoffzuführungspumpe und/oder der Kraftstoffeinspritzungen

bei einem sehr kleinen Zeitintervall zwischen jeder Abgabe und/oder Einspritzung zu einem Ölschlag oder Druckanstieg in der Verteilerleitung. Wie aus den Fig. 13 und 16 ersichtlich ist, pulsiert der Ölschlag nach jeder Kraftstoffeinspritzung eine beträchtliche Zeitspanne noch nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung weiter. Trotzdem gibt es kein bekanntes Kraftstoffeinspritzsystem, das irgendeine Überlegung auf das Vibrieren oder Pulsieren im Verteilerleitungsdruck richtet.

[0018] Entsprechend einem Beispiel eines bekannten Kraftstoffeinspritzsystems wird eine Abweichung eines Spitzenwertes im Verteilerleitungsdruck nach dem Beginn der Kraftstoffeinspritzung von einem Verteilerleitungsdruck direkt vor der Kraftstoffeinspritzung als Betrag eines Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck angesehen, der durch die Kraftstoffeinspritzung verursacht wird, von welchem eine tatsächlich einzuspritzende Kraftstoffmenge abgeleitet wird.

[0019] Bei den bekannten Kraftstoffeinspritzsystemen, die in der oben beschriebenen Weise aufgebaut sind, ändert sich jedoch der Extremwert des Betrages an Druckabfall, der im Verteilerleitungsdruck infolge der Kraftstoffeinspritzung auftritt, in Abhängigkeit von einem Abstand jedes Injektors von dem Druckdetektor, sogar wenn die einzelnen Injektoren einander gleich sind in ihren mechanischen Eigenschaften und einzuspritzenden Kraftstoffmengen. Wenn die Maschinenbetriebsbedingung den Verteilerleitungsdruck in seinem Druckmittelwert und/oder den Steuerimpuls in seiner Impulsbreite beeinflusst, erfährt darüber hinaus die Pulsierung im Verteilerleitungsdruck die Änderung in seiner Periode und Amplitude, ob die Menge des eingespritzten Kraftstoffs die gleiche ist oder nicht, und entsprechend ändert sich der Extremwert. Auch wenn daher der Spitzenwert der Pulsierung des Verteilerleitungsdruckes aufrechterhalten wird und die Abweichung des gehaltenen Spitzenwertes vom Verteilerleitungsdruck vor jeglichem Druckabfall berechnet wurde, würde es sehr schwierig sein, die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge vorauszusagen.

[0020] Ein weiteres bekanntes Kraftstoffeinspritzsystem sucht die Änderungen im Druck der gemeinsamen Druckleitung oder Verteilerleitung so klein wie möglich zu machen, was sich aus der Kraftstoffeinspritzung ergeben könnte, die während der Kraftstoffabgabe aus der Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe durchgeführt wird, indem die Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe gestoppt wird. Ein Stilllegen der Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe während des Betriebs der Maschine führt tatsächlich zu einem Absinken des Verteilerleitungsdruckes. So tritt eine größere Änderung im Verteilerleitungsdruck auf, was eine Streuung oder Änderung bei der eingespritzten Kraftstoffmenge und der Verbrennung im Zylinder führt. Wenn irgendeine gemachte Erfahrung es ermöglicht,

den Verteilerleitungsdruck zu überwachen, so bleibt das auf dem Pulsieren des Verteilerleitungsdruckes beruhende Problem ungelöst.

[0021] Da die Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe fortfährt, den Kraftstoff in die Verteilerleitung zuzuführen, auch wenn der Druckdetektor den Betrag des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck feststellt, der sich aus jeder Kraftstoffeinspritzung ergibt, wird es oft schwierig, den Betrag des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck genau zu messen. Zu diesem Zweck ist vorgeschlagen worden, wie in der Japanischen Patent-Offenlegungsschrift Nr. 203452/1992 beschrieben, die Menge des von der Kraftstoffzufuhrpumpe abgegebenen Kraftstoffs so zu steuern, dass der Verteilerleitungsdruck mit einem gewünschten Druck zusammenfällt, wodurch mit hoher Genauigkeit der Betrag des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck, der sich aus jeder Kraftstoffeinspritzung ergibt, abgetastet wird.

[0022] Allgemein gesprochen führt in den Kraftstoffeinspritzsystemen mit Verteilerleitung der im Verteilerleitungsdruck infolge der Kraftstoffeinspritzung verursachte plötzliche Druckabfall zu dem Druckanstieg oder Ölschlag bzw. Ölstoß in der Verteilerleitung, der eine Zeit lang pulsierend und vibrierend nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung anhält. Die auftretende Pulsierung oder Vibrierung kann sich in ihrer Wellenform ändern in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften und dem Altern der einzelnen Injektoren, der Lage und/oder Anordnung der einzelnen Injektoren längs der Verteilerleitung und dem durchschnittlichen Druck in der Verteilerleitung und der Breite des Steuerimpulses, die gemäß den Maschinenbetriebsbedingungen eingestellt werden. Insbesondere ist ein Kraftstoffeinspritzsystem, bei welchem eine kleine Voreinspritzung vor einer größeren Kraftstoffeinspritzung durchgeführt wird, dazu geneigt, einer großen Veränderung bei der Menge des bei der Voreinspritzung verbrauchten Kraftstoffs in jedem Zylinder ausgesetzt zu sein, da die Kraftstoffmenge bei der Voreinspritzung sehr klein ist.

[0023] So wird vorweggenommen, vernünftige Schätzungen des Verteilerleitungsdruckes direkt nach jeder Kraftstoffeinspritzung auf der Basis des weiteren Pulsierens und Vibrierens des Verteilerleitungsdruckes noch nach dem durch die Kraftstoffeinspritzung verursachten Druckabfall durchzuführen, wodurch eine an jedem Injektor einzuspritzende vernünftige Kraftstoffmenge berechnet wird.

[0024] DE 19700738C beschreibt ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung, in welchem die aus jedem Injektor eingespritzte Kraftstoffmenge berechnet wird auf Grund des gemessenen statischen Verteilerleitungsdruckes vor und nach der Kraftstoffeinspritzung.

[0025] Die Erfindung hat daher als Hauptziel die Verbesserung eines Kraftstoffeinspritzsystems mit Verteilerleitung bzw. gemeinsamer Druckleitung, in welchem ein plötzlicher Druckabfall in einem Verteilerleitungsdruck auf Grund jener Kraftstoffeinspritzung zu einem Druckanstieg oder Ölstoß bzw. Ölschlag in einer Verteilerleitung führt, der längere Zeit nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung pulsierend oder vibrierend anhält, wobei die Pulsierungs- oder Vibrierungseinflüsse sich in ihrer Wellenform ändern können in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften und dem Altern der einzelnen Injektoren, den Lagen und/oder Anordnungen der einzelnen Injektoren längs der Verteilerleitung sowie eines durchschnittlichen Druckes in der Verteilerleitung sowie der Breite des Steuerimpulses, die eingestellt werden entsprechend den Maschinenbetriebsbedingungen. Die Erfindung schafft insbesondere ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung, die so ausgebildet ist, dass sie eine vernünftige und stetige Höhe des Druckabfalls misst, die im Verteilerleitungsdruck in folge einer Kraftstoffeinspritzung auftreten könnte, unabhängig von den Änderungen der Wellenform des Druckanstiegs, die noch nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung pulsierend anhält, und eine gewünschte Kraftstoffmenge aufzufinden, die tatsächlich einzuspritzen ist, wodurch zur Sicherheit der Reduktion der Maschinenschwingung, des Geräuschs und Kraftstoffverbrauchs sowie einer guten Emissionssteuerung beigetragen wird.

[0026] Die Erfindung betrifft ein Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung, welche aufweist: eine gemeinsame Druckleitung zur Speicherung von unter Druck stehendem Kraftstoff in derselben, Injektoren, deren jeder in jedem Zylinder angeordnet ist, um von der gemeinsamen Druckleitung zugeführten Kraftstoff in die Zylinder einzuspritzen, eine Sensoreinrichtung zur Überwachung der Maschinenbetriebsbedingungen, einen Druckdetektor zur Überwachung des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung, sowie eine Steuereinheit zum Auffinden der Kraftstoffeinspritzfaktoren einschließlich einer gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge, welche von Signalen abhängt, die von der Sensoreinrichtung erfasst werden, und ferner zur Berechnung eines Betrages des Druckabfalls, welcher in der gemeinsamen Druckleitung infolge einer Kraftstoffeinspritzung jedes Injektors stattfindet, der von einem Signal abhängt, welches vom Druckdetektor erfasst wird, um dadurch die gewünschte Kraftstoffmenge in jedem Injektor zu kompensieren, was von einer Abweichung eines tatsächlichen Betrages des aus jedem Injektor eingespritzten Kraftstoffs abhängt, die auf der Basis des Betrages des Druckabfalls von der gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge gefunden wird, und wobei die Steuereinheit einen mittleren Druck nach der Kraftstoffeinspritzung mittels Durchschnittsbildung der pulsierenden Drücke berechnet, die in der gemeinsamen Druckleitung auf-

grund der Kraftstoffeinspritzung auftreten, und den Betrag des Druckabfalls in der gemeinsamen Druckleitung aus einem Druckunterschied zwischen dem mittleren Druck nach der Kraftstoffeinspritzung und einem Druck vor der Kraftstoffeinspritzung in der gemeinsamen Druckleitung ableitet.

[0027] Bei dem in der oben beschriebenen Weise ausgebildeten Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung ist der mittlere Druck nach der Kraftstoffeinspritzung in der Verteilerleitung gegeben durch die Durchschnittsbildung der Druckwerte des Verteilerleitungsdruckes, der nach dem durch die Kraftstoffeinspritzung verursachten Druckabfall pulsiert. Von dem mittleren Druck nach der Kraftstoffeinspritzung wird angenommen, dass er die Schätzung eng annähert, auf welche die Pulsierung im Verteilerleitungsdruck abgeschwächt wird, auch wenn der Druckanstieg im Verteilerleitungsdruck infolge des von jeder Kraftstoffeinspritzung verursachten Druckanstiegs in der Verteilerleitung stattfindet und der sich ergebende Druckanstieg aus den obigen Gründen in seiner Wellenform viele Änderungen erfährt. Der Betrag des Druckabfalls auf Grund der Kraftstoffeinspritzung kann genau und stabil aus der Abweichung zwischen dem mittleren Druck nach der Einspritzung und dem Druck vor der Einspritzung in der Verteilerleitung vor dem Druckanstieg infolge der Kraftstoffeinspritzung abgeleitet werden.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit ein Befehls- oder Steuersignal ausgibt, um den Injektor entsprechend den Einspritzfaktoren zu betätigen, und den Druck vor der Kraftstoffeinspritzung aus Werten des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung ableitet, welche während einer Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Befehlsimpulses und dem späteren Zeitpunkt genommen werden, in welchem der Druck in der gemeinsamen Druckleitung infolge der Kraftstoffeinspritzung abfällt.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit einen Extremwert im Druck der gemeinsamen Druckleitung ermittelt, in welchem eine Ableitung des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung nach dem Beginn des Druckabfalls im Druck der gemeinsamen Druckleitung Null wird, und den mittleren Druck nach der Kraftstoffeinspritzung mittels Durchschnittsbildung der Extremwerte berechnet, die nacheinander im Druck der gemeinsamen Druckleitung auftreten. Der Verteilerleitungsdruck, der im Zeitpunkt der Ableitung in derselben Null wird, ist entweder eine maximale oder minimale Druckspitze und daher kann von dem Mittelwert der Extremwerte angenommen werden, dass er der mittlere Druck nach jeder Kraftstoffeinspritzung in der Verteilerleitung oder gemein-

samen Druckleitung ist.

[0030] Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die aufeinanderfolgenden Extremwerte im Verteilerleitungsdruck momentane Maximal- und Minimalwerte sind, welche entweder in einem ersten Zyklus oder in mehreren früheren Zyklen des in der Verteilerleitung bleibenden pulsierenden Drucks auftreten. Da die einzige vollständige Periode des pulsierenden Verteilerleitungsdrucks sowohl die maximalen wie die minimalen Extremwerte einschließt, die abwechselnd in der Pulsierung auftreten, ergibt die Ermittlung der Durchschnittswerte der aufeinanderfolgenden Maximal- und Minimalwerte den mittleren Druck.

[0031] Bei einer anderen Ausführungsform wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit Abweichungen der Extremwerte im Druck der gemeinsamen Druckleitung von dem Druck vor der Kraftstoffeinspritzung ermittelt und annimmt, dass ein Mittelwert der Abweichungen den Betrag des Druckabfalls darstellt. Als Alternative kann der Betrag des Druckabfalls erhalten werden durch eine Abweichung des Drucks zwischen dem Druck vor dem Einspritzen und einem Mittelwert, der aus den Extremwerten im Verteilerleitungsdruck ermittelt wurde. Ferner kann das gleiche Ergebnis wie bei den oben beschriebenen Vorgehensweisen auch durch Durchschnittsbildung eines Integrals der Abweichungen im Druck zwischen dem Druck vor der Einspritzung und Extremwerten im Verteilerleitungsdruck gegeben sein.

[0032] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit einen mittleren Wert der Beträge des Druckabfalls ermittelt, indem sie den Durchschnitt der Werte der Beträge des Druckabfalls bildet, die nacheinander an jedem Injektor berechnet werden, und den Mittelwert als den Betrag des Druckabfalls in der gemeinsamen Druckleitung berücksichtigt.

[0033] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit einen Steuerimpuls ausgibt, um den Injektor entsprechend den Einspritzfaktoren zu betätigen, wobei erfasst wird, ob die Maschine in einem stabilen Zustand läuft oder nicht, und einen korrelativen Wert zwischen dem Steuerimpuls und dem Betrag des eingespritzten Kraftstoffs durch einen Lernprozess ermittelt, der durchgeführt wird, wenn die Maschine im stabilen Zustand läuft, bezüglich des Steuerimpulssignals und der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge, die auf der Basis des Betrages des Druckabfalls in der Verteilerleitung auf Grund der Kraftstoffeinspritzung des mit dem Steuer- oder Befehlsimpuls

betätigten Injektors ermittelt wird. Die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge wird oft einer Veränderung unterworfen, die durch Alterung in den Einspritzzeigenschaften der einzelnen Injektoren beruht. Um dieses Problem zu lösen, misst die Steuereinheit, ob die Maschine unter stetigen Betriebsbedingungen läuft, um zu ermöglichen, dass die korrelativen Daten zwischen dem Befehlsimpuls und der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge durch den Lernprozess ermittelt werden, wenn die Maschine in dem stetigen Betriebszustand läuft, in welchem die Relation des Befehlsimpulses mit der Menge des eingespritzten Kraftstoffs stabil gehalten wird.

[0034] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit weitere korrelative Daten durch den Lernprozess ermittelt, wobei die weiteren korrelativen Daten vorgesehen werden, wenn die eingespritzte Kraftstoffmenge eine kleine Kraftstoffmenge ist, d.h. nicht mehr als eine vorgewählte eingespritzte Kraftstoffmenge. Wenn der eingespritzte Kraftstoff eine sehr kleine Menge ist, wird von der Menge des eingespritzten Kraftstoffs angenommen, dass sie weithin veränderlich ist bei jedem Injektor und entsprechend der Alterung der einzelnen Injektoren, so dass die Rückkopplungssteuerung beinahe unmöglich wird.

[0035] So werden die korrelativen Daten zwischen der Steuerimpulsbreite und der eingespritzten Kraftstoffmenge durch den Lernprozess korrigiert, der durchgeführt wird, um die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge zu ermitteln, in Abhängigkeit sowohl von der Steuerimpulsbreite, wenn die Maschine im stetigen Betriebszustand läuft, als auch von der Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung in Abhängigkeit von der Impulsbreite.

[0036] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem die Steuereinheit einen Einspritzfaktor einer Haupteinspritzung und einen weiteren Einspritzfaktor einer Überwachungs- oder Voreinspritzung ermittelt, um eine sehr kleine Kraftstoffmenge vor der Haupteinspritzung einzuspritzen, und die kleine Kraftstoffmenge der Überwachungseinspritzung mit einem Steuersystem mit offener Schleife auf der Basis des durch den Lernprozess ermittelten korrelativen Werts regelt. Da die Haupteinspritzung direkt nach der Voreinspritzung durchgeführt wird, wird es oft schwierig, den Betrag des Druckabfalls auf Grund nur der Voreinspritzung zu berechnen. Das macht es schwierig, die Rückkopplungssteuerung durchzuführen, um die einzuspritzende Kraftstoffmenge in der Voreinspritzung auf der Basis der Abweichung von der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge zu ermitteln, die durch die Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung infolge der Voreinspritzung gegeben sein könnte. Im Gegen-

satz dazu kann die eingespritzte Kraftstoffmenge bei der Voreinspritzung mit der Steuerung mit offener Schleife überwacht werden, was von den durch den Lernprozess ermittelten korrelativen Daten abhängt.

[0037] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung beschrieben, bei welchem der Kraftstoff der gemeinsamen Druckleitung oder Verteilerleitung durch die Pumpwirkung einer Kraftstoffzuführungs-Kolbenpumpe in Abhängigkeit von der Kraftstoffeinspritzung aus dem Injektor zugeführt wird, und die Steuereinheit in Abhängigkeit von dem Einspritzfaktor eine Kraftstoffmenge steuert, die von der Kraftstoffzuführungs-Kolbenpumpe abgegeben wird. Die Steuerung der aus der Hochdruck-Kraftstoffzuführpumpe abgegebenen Kraftstoffmenge trägt dazu bei, den Verteilerleitungsdruck wieder herzustellen, der infolge der Kraftstoffeinspritzung abgefallen ist, oder auch den Verteilerleitungsdruck auf eine willkürliche Druckhöhe zu verändern, die gemäß den Maschinenbetriebsbedingungen erforderlich ist.

[0038] Bei den bekannten Kraftstoffeinspritzsystemen mit Verteilerleitung führt der plötzliche Druckabfall in der Verteilerleitung auf Grund der Kraftstoffeinspritzung zu dem Druckanstieg oder Ölschlag in der Verteilerleitung, welcher noch eine Zeit lang weiter pulsiert nach dem Ende der Kraftstoffeinspritzung. Die Pulsierung erfährt viele Veränderungen in ihrer Wellenform in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften und der Alterung der einzelnen Injektoren, der Lage und/oder Anordnung der einzelnen Injektoren längs der Verteilerleitung und dem durchschnittlichen Druck in der Verteilerleitung sowie den Maschinenbetriebsbedingungen. Dies macht es unmöglich, die Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung genau zu messen. Jedenfalls entsteht eine Streuung in der eingespritzten Kraftstoffmenge bei jedem Injektor, so dass keine gewünschte Einspritzmenge des Kraftstoffs für jede Einspritzung gewährleistet ist, wodurch eine Änderung in der Verbrennung jedes Zylinders verursacht wird, was in stärkeren Fällen die Vibration, das Geräusch und das Ausstoßverhalten der Maschinen verschlechtert.

[0039] Im Gegensatz dazu ist das Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung gemäß der Erfindung so ausgebildet, dass ein mittlerer Druck nach dem Einspritzen in der Verteilerleitung berechnet wird, der nach dem Druckabfall infolge der Kraftstoffeinspritzung pulsierend verbleibt. Von dem mittleren Druck kann angenommen werden, dass er ziemlich nahe eine Schätzung annähert, auf welche sich die Pulsierung des Drucks in der Verteilerleitung abschwächt. So kann die Abweichung des mittleren Drucks nach der Einspritzung von dem Druck vor der Einspritzung vernünftig und stetig so erkannt werden, dass er der Höhe des Druckabfalls entspricht, welche durch die Kraftstoffeinspritzung bewirkt wird. Die tat-

sächlich einzuspritzende vernünftige Kraftstoffmenge kann aus der Abweichung des Drucks auf der Basis einer Einspritzungskarte oder -aufzeichnung abgeleitet werden, die vorher vorbereitet worden ist. So wird die tatsächlich eingespritzte Kraftstoffmenge durch Rückkopplung gesteuert, um in Übereinstimmung mit der gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge zu kommen. Insbesondere tritt keine Änderung in der eingespritzten Kraftstoffmenge für jeden Zylinder ein, selbst wenn die Maschine mit niedriger Drehzahl läuft, wie im Leerlauf, so dass unangenehme Schwingungen und Geräusche sowie Kraftstoffverbrauch der Maschine reduziert werden und die Abgassteuerung weiter verbessert wird. Wenn ferner die Rückkopplungssteuerung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge schwierig ist, da der eingespritzte Kraftstoff eine geringe Menge hat, wie die Kraftstoffeinspritzung bei Leerlauf der Maschine oder bei der Voreinspritzung, die vor der Haupteinspritzung durchgeführt wird, kann die kleine eingespritzte Kraftstoffmenge durch ein Steuersystem mit offener Schleife auf der Basis der korrelativen Daten zwischen der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge und der Steuerimpulsbreite geregelt werden, was durch den Lernprozess in Abhängigkeit von der Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung erhalten wird, der durch Mittelwertbildung in der oben beschriebenen Weise aufgefunden wird.

[0040] Weitere Ziele und Merkmale der Erfindung gehen für den Fachmann aus der Betrachtung der Figuren und der nachfolgenden Beschreibung hervor, in der bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung beschrieben sind.

[0041] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung lediglich beispielhaft mit Bezugnahme auf die Figuren beschrieben. Es zeigt:

[0042] Fig. 1 ein Ablaufdiagramm, das einen Hauptverfahrensablauf erläutert, der bei einer Kraftstoffeinspritzung in einem erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung durchgeführt wird;

[0043] Fig. 2 ein Ablaufdiagramm, welches einen unterbrochenen Verfahrensablauf eines Zylinderidentifizierungssignals in dem in Fig. 1 gezeigten Hauptverfahrensablauf erläutert;

[0044] Fig. 3 ein Ablaufdiagramm, welches einen unterbrochenen Verfahrensablauf eines Kennzeichnungssignals für den unteren Totpunkt bei dem in Fig. 1 gezeigten Hauptverfahrensablauf erläutert;

[0045] Fig. 4 ein Ablaufdiagramm, welches ein Verfahren bei jedem Injektor erläutert, das in dem unterbrochenen Verfahrensablauf eines Zylinderkennzeichnungssignals in Fig. 3 durchzuführen ist;

[0046] Fig. 5 ein Ablaufdiagramm, welches einen

Lernprozess erläutert, der bei dem in **Fig. 4** gezeigten Kraftstoffeinspritzverfahren durchgeführt wird;

[0047] **Fig. 6** ein Ablaufdiagramm, welches einen vorläufigen Lernidentifizierungsprozess erläutert, der bei den in **Fig. 5** gezeigten Lernprozess durchgeführt wird;

[0048] **Fig. 7** ein Ablaufdiagramm, welches ein DSP-Verfahren **1** erläutert, welches den Hauptverfahrensablauf ausführt, um eine Höhe des Druckabfalls infolge jeder Kraftstoffeinspritzung aufzufinden;

[0049] **Fig. 8** ein Ablaufdiagramm, welches ein DSP-Verfahren **2** erläutert, das einen unterbrochenen Verfahrensablauf eines Steuerimpulses bei dem Vorgang des Hauptverfahrensablaufes in **Fig. 7** ausführt;

[0050] **Fig. 9** ein Ablaufdiagramm, welches ein DSP-Verfahren **3** erläutert, das einen unterbrochenen Verfahrensablauf von 100 kHz in dem Vorgang des DSP-Verfahrens **2** in **Fig. 8** durchführt;

[0051] **Fig. 10** ein Ablaufdiagramm, welches ein DSP-Verfahren **4** erläutert, das einen Hauptverfahrensablauf in **Fig. 7** durchführt, um eine Höhe des Druckabfalls auf Grund jeder Kraftstoffeinspritzung aufzufinden;

[0052] **Fig. 11** ein Ablaufdiagramm, welches ein weiteres DSP-Verfahren **4A** erläutert, das statt des DSP-Verfahrens **4** durchgeführt wird, um eine Höhe des Druckabfalls während einer vollständigen Periode aufzufinden;

[0053] **Fig. 12** ein Ablaufdiagramm, welches ein weiteres DSP-Verfahren **4B** erläutert, das statt des DSP-Verfahrens **4** durchgeführt wird, um eine Höhe des Druckabfalls während einiger Perioden aufzufinden;

[0054] **Fig. 13** eine zusammengesetzte graphische Darstellung, welche eine Zeitrelation mehrerer Unabhängiger zeigt: Steuerimpuls, Kraftstoffeinspritzmenge und Verteilerleitungsdruck, um zu erläutern, wie man die Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung bei dem erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung auffindet;

[0055] **Fig. 14** eine graphische Darstellung, welche die Koordinaten der Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs und die Höhe des Druckabfalls ΔP_r in der Verteilerleitung als Funktion einer Hilfsvariablen: der Kraftstofftemperatur T_f , erläutert;

[0056] **Fig. 15** eine graphische Darstellung, welche die Koordinaten einer Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs und einer Steuerimpulsbreite PW erläutert;

[0057] **Fig. 16** eine zusammengesetzte graphische Darstellung, welche eine Zeitrelation verschiedener Variablen zeigt: Steuerimpuls, Verteilerleitungsdruck und Ableitungen desselben sowie Kraftstoffeinspritzmenge, um zu erläutern, wie man die Höhe des Druckabfalls in der Verteilerleitung im erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung auffindet; und

[0058] **Fig. 17** eine allgemein schematische, teilweise geschnittene Ansicht, welche ein bekanntes Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung darstellt.

[0059] Bevorzugte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystems mit Verteilerleitung werden nachfolgend mit Bezugnahme auf die Figuren erläutert.

[0060] Hauptteile des erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystems mit Verteilerleitung, wie Injektoren, Hochdruck-Kraftstoffzufuhrpumpe, Verteilerleitung usw. sind die gleichen, wie es oben mit Bezugnahme auf **Fig. 17** beschrieben wurde, so dass die obige Beschreibung auch nachfolgend angewendet werden kann.

[0061] In einem erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung wird der Hauptverfahrensablauf für die Kraftstoffeinspritzung oder grundlegende Entscheidungsfindungsprozesse, wie das Auffinden der Maschinendrehzahl, die grundsätzliche Kraftstoffeinspritzmenge usw., gemäß dem in **Fig. 1** dargestellten Ablaufdiagramm durchgeführt. Zuerst wird ein in eine Steuereinheit eingebauter CUP ausgelöst (Schritt **1**). Eine Maschinendrehzahl N_e und eine Gaspedalniederdrückung A_c wird in Abhängigkeit von Signalen aufgefunden, die von Abtasteinrichtungen gegeben werden, um die Maschinenbetriebsbedingungen zu überwachen (Schritte **2** und **3**). Eine gewünschte Menge Q_t des pro Zyklus eingespritzten Kraftstoffs und eine gewünschte Zeitsteuerung T_t der Kraftstoffeinspritzung werden gegeben in Abhängigkeit von der Maschinendrehzahl N_e und der Gaspedalniederdrückung A_c , die in den Schritten **2** und **3** ermittelt werden (Schritte **4** und **5**). Ein tatsächlicher Verteilerleitungsdruck P_{ra} wird auf Grundlage eines Signals ermittelt, das von einem Druckdetektor gegeben wird, der in die Verteilerleitung eingebaut ist (Schritt **6**). Ein gewünschter Verteilerleitungsdruck P_{rt} , der für den hohen Einspritzdruck verfügbar ist, wird auf Grundlage sowohl der gewünschten Menge Q_t des eingespritzten Kraftstoffs und der Motordrehzahl N_e erhalten (Schritt **7**). Der Verteilerleitungsdruck P_r wird gesteuert, damit der tatsächliche Verteilerleitungsdruck P_{ra} mit dem gewünschten Verteilerleitungsdruck P_{rt} zusammenfällt (Schritt **8**).

[0062] Wenn ein Zylinderkennzeichnungssignal REF bei dem Verfahren nach dem Ablaufdiagramm in

Fig. 1 erkannt wird, wird ein Unterbrechungsverfahrens vorgang eines Zylinderkennzeichnungssignals im Hauptverfahrensvorgang gemäß dem in **Fig. 2** gezeigten Ablaufdiagramm durchgeführt. Wenn irgendein Zylinder, beispielsweise der Zylinder **1**, in die Reihe der Einspritzung kommt, wird ein Zählwert CNTbtdc der Zylinderzählungskennzeichnung in einen 0-Zustand zurückgesetzt in dem Augenblick, in dem ein Zylinderkennzeichnungssignal REF in einem vorgewählten Kurbelwinkel direkt vor dem oberen Totpunkt abgetastet wird, was nachfolgend auf TDC zusammengezogen wird (Schritt **9**). Unter der Annahme, dass die Zylinder in einem Motor von #1 bis #4 gezählt werden, ist die Zündreihenfolge dieses Motors #1-#3-#4-#2. Der Zählwert CNTbtdc der Zylinderzählkennzeichnung ist irgendeine Zahl aus 1, 2, 3 und 4, welche jeweils #1, #2, #3 bzw. #4 entspricht.

[0063] Wenn ein Signal, das den Augenblick angibt, in dem ein Kolben direkt vor TDC ankommt, was nachfolgend auf das BTDC-Kennzeichnungssignal zusammengezogen wird, für jeden Zylinder im Verfahren des Hauptverfahrensvorgangs in **Fig. 1** abgetastet wird, wird der Unterbrechungsverfahrens vorgang des BTDC-Kennzeichnungssignals gemäß dem Ablaufdiagramm der **Fig. 3** ausgeführt, um den Kraftstoffeinspritzvorgang für jeden Injektor durchzuführen, die in den Zylinder jeweils einzeln in jeden Zylinder eingebaut sind. Eine Impulsperiode der Maschinenumdrehung wird eingelesen, welche in Übereinstimmung mit der Kurbelwellendrehung abgetastet wird (Schritt **10**). Ob der Zählwert CNTbtdc der Zylinderzählkennzeichnung 0 ist, wird bestimmt (Schritt **11**). Wenn der Zählwert CNTbtdc 0 ist, wird der Kraftstoffeinspritzvorgang am Injektor #1, welcher in den Zylinder #1 eingebaut ist, in der Zylinderzählungs- und Zündreihenfolge durchgeführt (Schritt **12**). Ob der Zählwert CNTbtdc, wie oben, einer aus 1, 2 und 3 ist, wird sodann festgestellt (Schritte **13**, **15** und **17**). Wenn das Ergebnis JA ist, wird der Kraftstoffeinspritzvorgang bezüglich irgendeines Injektors #2, #3 und #4 gemäß dem Zündbefehl durchgeführt (Schritte **14**, **16** und **18**). Der Zählwert CNTbtdc steigt in der Nummer um 1 bei jeder Durchführung des Unterbrechungsverfahrens vorgangs des BTDC-Kennzeichnungssignals (Schritt **19**). Mit der Unterbrechung des BTDC-Kennzeichnungssignals wird somit der Kraftstoffeinspritzvorgang bei jedem Injektor der Reihe nach entsprechend dem Zündbefehl oder der Zündreihenfolge durchgeführt.

[0064] Der Kraftstoffeinspritzvorgang, der bei der Unterbrechung des BTDC-Kennzeichnungssignals in **Fig. 3** durchgeführt wird, wird im Einzelnen mit Bezugnahme auf **Fig. 4** beschrieben. Die Unterbrechung des DSP wird ermöglicht durch die Eingabe eines Steuerimpulses (Schritt **20**). Ein Lernvorgang wird durchgeführt, der weiter unten erläutert wird (Schritt **21**). Eine Steuerimpulsbreite Pw in Übereinstimmung mit einem gewünschten Betrag Qt des ein-

gespritzten Kraftstoffs wird von aufgezeichneten Korrelationsdaten zwischen der Steuerimpulsbreite Pw und der eingespritzten Kraftstoffmenge abgeleitet, wobei diese Daten durch das Lernen im Schritt **21** erhalten worden sind (Schritt **22**). Die resultierende Steuerimpulsbreite wird in irgendein Register in der CPU der Steuereinheit eingelesen, um dadurch eine tatsächliche Kraftstoffeinspritzung zu erreichen (Schritt **23**).

[0065] Das bei jedem Kraftstoffeinspritzvorgang durchgeführte Lernverfahren jedes Injektors in **Fig. 4** wird im Einzelnen mit Bezugnahme auf **Fig. 5** beschrieben. Die meisten Dieselmotoren, insbesondere, wenn sie mit niedriger Drehzahl oder Teilbelastung, wie Leerlauf, laufen, sind geeignet, Verbrennungsgeräusche infolge von Zündverzögerung zu erzeugen. Es ist eine Version eines Kraftstoffeinspritzsystems zur wirksamen Verringerung der Verbrennungsgeräusche bekannt, bei welcher die gewünschte eingespritzte Kraftstoffmenge pro Verbrennungszyklus in einen Haupteinspritzteil und einen Voreinspritzteil mit kleiner Menge, der vor der Haupteinspritzung eingespritzt wird, unterteilt wird. Um den Vorteil zu erreichen, dass die einzuspritzende Kraftstoffmenge aus der Höhe des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck gewonnen wird, ist es notwendig, Datenbeispiele des Verteilerleitungsdruckes über eine vorgewählte Zeitdauer zu sammeln. Diese Datenbeispiele des Verteilerleitungsdruckes müssen beendet sein vor jeder Haupteinspritzung, da die Haupteinspritzung zu einem weiteren Abfall des Verteilerleitungsdruckes führt, der bereits infolge der Voreinspritzung gefallen ist. Trotzdem, wenn eine Zeitspanne zwischen der Vor- und Haupteinspritzung zu kurz ist, um ausreichend Datenbeispiele oder Datenproben zu gewinnen, ist es sehr schwierig, die Menge des einzuspritzenden Kraftstoffs bei jeder Kraftstoffeinspritzung aus der Höhe des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck abzuleiten. Um damit zurechtzukommen, schlägt das erfindungsgemäße Kraftstoffeinspritzsystem vor, eine Kraftstoffmenge unter der Bedingung eines Einspritzschusses je Zylinder einzuspritzen und dadurch eine in **Fig. 15** dargestellte Aufzeichnung der Korrelation zwischen kleinen eingespritzten Kraftstoffmengen und Steuerimpulsbreiten durch den Lernvorgang vorzubereiten. Die so vorbereitete Aufzeichnung ist geeignet, die Steuerimpulsbreite aufzufinden, die für das Einspritzen einer gewünschten kleinen Kraftstoffmenge bei der Voreinspritzung erforderlich ist. Die Bedingung eines Einspritzschusses je Zylinder wird entsprechend einem Lern-Vorerfordernis-Kennzeichnungsvorgang gemäß **Fig. 6** erläutert.

[0066] Der Lernvorgang beginnt zuerst mit dem Lern-Vorerfordernis-Kennzeichnungsvorgang (Schritt **30**). Ob das Vorerfordernis zum Beginnen des Lernens erfüllt ist, wird gekennzeichnet. Wenn das Resultat JA ist, wird der Lernvorgang ausgelöst

(Schritt 31). Eine Steuerimpulsbreite Pw_1 wird für das erste Lernen eingestellt (Schritt 32). Die Steuerimpulsbreite Pw_1 , betrachtet gemäß Fig. 15, ist ein Wert, der gegeben ist durch Unterteilen einer Impulsbreite in gleiche Teile, die von $0:Pw = 0$ bis zu einer Impulsbreite Pw_{start} für die Haupteinspritzung während des Leerlaufs reicht. Eine Höhe des Druckabfalls ΔPr , die im Verteilerleitungsdruck infolge der Kraftstoffeinspritzung verursacht wird, wird im DSP-Vorgang 4, wie oben beschrieben, berechnet und sodann eingelesen (Schritt 33). Die Höhe des im Schritt 33 gespeicherten Druckabfalls wird zu einem Durchschnittswert gebildet (Schritt 34). Die Durchschnittsbildung im Schritt 34 ist im Gegensatz zur Durchschnittsbildung auf Grundlage der in der DSP verbrauchten Zeit die Durchschnittsbildung, in welcher die Höhe des Druckabfalls ΔPr in der DSP berechnet wird: ein Wert, der durch Subtrahieren des Mittelwerts Pr_{ave} der Datenbeispiele von einem Druck Pr_0 direkt vor jeder Kraftstoffeinspritzung erhalten wird, wird auf Grundlage des Einspritzschusses in jedem Zylinder zum Durchschnittswert gebildet. Die Durchschnittsbildung im Schritt 34 ist erforderlich, falls eine beträchtliche Streuung oder Veränderung der beobachteter Höhe des Druckabfalls ΔPr vorhanden ist, und daher kann keine Durchschnittsbildung erforderlich sein, wenn nur eine geringe Änderung vorhanden ist.

[0067] Fig. 14 ist eine graphische Darstellung, welche die Koordinaten einer Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs und die Höhe des Druckabfalls ΔPr im Verteilerleitungsdruck auf Grund einer Hilfsveränderlichen der Kraftstofftemperatur T_f erläutert. Die Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs ist im Allgemeinen direkt proportional zur Höhe des Druckabfalls ΔPr und ihre Proportionalitätskonstante wird groß, wenn die Kraftstofftemperatur T_f sinkt. Gemäß Fig. 14 ist die vorausgenommene Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs entsprechend irgendeiner Höhe des Druckabfalls ΔPr gegeben (Schritt 35). Die graphische Darstellung der Fig. 14 zeigt die Ergebnisse von Experimenten, die unter Umgebungsbedingungen durchgeführt wurden, die in Temperatur, Druck usw. stabil waren. Eine vorher vorbereitete Aufzeichnung wird mit der Beziehung zwischen der Steuerimpulsbreite Pw und der Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs gespeichert (Schritt 36). Mit nicht flüchtigen Aufzeichnungen kann die Einspritzaufzeichnung bis nach dem Aufhören des Maschinenbetriebs verbleiben. Nach der Beendigung des Lernens mit der ersten Steuerimpulsbreite Pw_1 wird das Lernen mit einer weiteren Steuerimpulsbreite Pw fortgesetzt (Schritt 37). Die Steuerimpulsbreite Pw für jeden Lernvorgang wird definiert durch Unterteilen in gleiche Teile, beispielsweise in vier gleiche Teile, wie in Fig. 15 gezeigt, wobei eine Impulsbreite von $Pw = 0$ bis zu einer Impulsbreite von Pw_s reicht. Sodann werden die Werte Pw_1 , Pw_2 und Pw_3 nacheinander eingestellt und zuletzt gekennzeichnet, ob der Wert

Pw_3 für den letzten Lernvorgang stattfindet (Schritt 38). Wenn das Lernen mit der Steuerimpulsbreite Pw_3 endet, wird die Steuerimpulsbreite Pw auf den 0-Zustand zurückgesetzt und der Lernvorgang beendet (Schritt 39). Die Korrelation zwischen der Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs und der Steuerimpulsbreite Pw , die gemäß dem oben beschriebenen Vorgang gewonnen wird, ist in Fig. 15 dargestellt und wird ebenfalls in der Steuereinheit 8 in Form der Einspritzaufzeichnung gespeichert.

[0068] Der Lern-Vorerfordernis-Kennzeichnungsvorgang im Schritt 30 beim Lernverfahren der Fig. 5 wird entsprechend dem Ablaufdiagramm in Fig. 6 durchgeführt. Der Lern-Vorerfordernis-Kennzeichnungsvorgang dient zur Kennzeichnung, ob das Lern-Vorerfordernis befriedigt ist oder nicht. Die Kennzeichnung des Lern-Vorerfordernisses wird mit der Feststellung ausgelöst, ob die Maschine in stabilem oder stetigem Betriebszustand läuft oder nicht. Ein typisches Beispiel für Fälle, die ein Laufen der Maschine im stetigen Zustand erlauben, ist der Leerlauf, in welchem die Maschine läuft, wenn das Gaspedal vollständig freigegeben ist und keinerlei Belastung auf der Maschine liegt. Der tatsächliche Verteilerleitungsdruck in dem oben gerade beschriebenen Fall wird auf einen Druck eingestellt, der gleich einem gewünschten Verteilerleitungsdruck im Leerlauf ist. Nach der Feststellung, dass kein Betrag Q_m des eingespritzten Kraftstoffs bei der Haupteinspritzung im Schritt 40 auftritt, wenn der tatsächliche Verteilerleitungsdruck Pr_a so gekennzeichnet wird, dass er gleich dem gewünschten Verteilerleitungsdruck Pr_t im Leerlauf ist, der auf der gewünschten Verteilerleitungs-Druckaufzeichnung gefunden wird, wird eine Lernauslösungs-Flagge eingeschaltet (Schritt 42). Wenn irgendeines der Lern-Vorerfordernisse unerfüllt ist, kann die Lernauslöseflagge nicht neben dem Lernvorgang eingeschaltet werden (Schritt 43). Es kann jedoch kein Schritt 43 erforderlich sein. Ferner ist zu bemerken, dass nicht stets kein Lernen erforderlich sein muss, auch wenn beide Vorerfordernisse in den Schritten 40 und 41 erfüllt sind. Wenn man annimmt, dass das Hauptziel des erfindungsgemäßen Steuersystems in der Kompensierung der Streuung der Menge des eingespritzten Kraftstoffs liegt, die aus der Änderung der mechanischen Eigenschaften und der Alterung der einzelnen Injektoren sich ergeben könnte, kann das Lernverfahren entweder einmal in jedem Zeitpunkt während des Maschinenbetriebes vom Start bis zu einem Stillstand oder in jedem vorgewählten Zeitintervall entsprechend der in die CPU eingebauten Aufzeichnung durchgeführt werden. Eine Menge Q_m des bei der Haupteinspritzung eingespritzten Kraftstoffs, die aus dem von der Haupteinspritzung bei Leerlaufbetrieb verursachten Druckabfall gelernt wird, obwohl sie außerhalb der Lern-Vorerfordernisse eingestellt wurde, wird zur oberen Begrenzung der Einspritzaufzeichnung in der Beziehung zwischen der Steuerimpulsbreite und der

Menge des eingespritzten Kraftstoffs gemacht, um die Menge Q_p des bei der Voreinspritzung eingespritzten Kraftstoffs zu berechnen. Bei praktischem Maschinenbetrieb kann manchmal eine beträchtliche Abweichung von den Lern-Vorerfordernissen vor der Beendigung des Lernens auftreten. In diesem Fall ist es erlaubt, die Speicherung der Einspritzaufzeichnung mitten im Lernverfahren zu unterbrechen und die Speicherung der Einspritzaufzeichnung für die verbleibenden Lern-Steuerimpulsbreiten wieder aufzunehmen, wenn die Lern-Vorerfordernisse wiederum erfüllt sind. Vor dem Versand arbeitet die Maschine aus Lern-Vorerfordernissen von der Auslösung bis zum Ende des Lernens, wodurch die gewonnenen Ergebnisse über die Korrelation zwischen der Steuerimpulsbreite und der eingespritzten Kraftstoffmenge in derselben gespeichert werden.

[0069] Ein DSP-Vorgang zur Berechnung der Höhe des Druckabfalls ΔPr , der durch irgendeine Kraftstoffeinspritzung verursacht wird, wird in Übereinstimmung mit einem DSP-Vorgang **1** unter Ausführung des Hauptverfahrensvorgangs durchgeführt, das in einem Ablaufdiagramm in **Fig. 7** erläutert ist. Der DSP-Vorgang **1** startet mit Auslösung der DSP (Schritt **50**). Ob die Datenprobenahme des Verteilerleitungsdruckes beendet ist, wird identifiziert (Schritt **51**). Wie in **Fig. 13** gezeigt, werden die Daten über den Verteilerleitungsdruck in einer Zeitspanne gesammelt, oder eine Datenprobeprobeperiode T_{ds} , die von einem Startzeitpunkt des Steuerimpulses bis zu einem Pulsierungszeitpunkt im Verteilerleitungsdruck Pr reicht, schwächt sich ausreichend auf eine vorgewählte Frequenz ab. Wenn die Datenprobenahme noch nicht beendet ist, wird die Beispielnahme oder Probenahme bis über die Datenprobenahmeperiode T_{ds} hinaus fortgesetzt. Bei Beendigung der Datenprobenahme wird die Höhe des Druckabfalls ΔPr im Verteilerleitungsdruck Pr berechnet (Schritt **52**).

[0070] Ein DSP-Vorgang **2** für einen Unterbrechungsverfahrens Vorgang eines Steuerimpulses wird entsprechend einem in **Fig. 8** gezeigten Ablaufdiagramm durchgeführt. Beim Abtasten der Unterbrechung irgendeines Steuerimpulses wird die Unterbrechung des Steuerimpulses unwirksam gemacht, um den Hauptverfahrensvorgang vor einer weiteren Unterbrechung eines anderen Befehlsimpulses oder Steuerimpulses zu bewahren (Schritt **60**).

[0071] Nach dem Verstreichen irgendeiner Datenprobenahmeperiode über die vorgewählten Perioden, beispielsweise 100 kHz im vorliegenden Falle, wird eine 100 kHz-Zeitsteuerunterbrechung eingeschaltet (Schritt **61**).

[0072] Ein DSP-Vorgang **3** für einen Unterbrechungsverfahrens Vorgang von 100 kHz wird entsprechend dem in **Fig. 9** gezeigten Ablaufdiagramm durchgeführt. Das Speichern des Verteilerleitungs-

drucks Pr startet durch die Wirkung eines bei 100 kHz betätigten Zeitgebers und wird über eine Datenprobenahmeperiode der vorgewählten Perioden fortgesetzt (Schritt **70**). Der gespeicherte Verteilerleitungsdruck ist ein Wert $Pr(i)$, der während eines Zeitintervalls t genommen wird, das nach dem Steuerimpuls verstrichen ist (Schritt **71**). Ob die Datenprobenahme beendet ist, wird identifiziert (Schritt **72**). Wenn die Datenprobenahme noch nicht beendet ist, wird die nächste 100 kHz-Unterbrechung vorgenommen, um einen DSP-Vorgang **3** durchzuführen. Bei Beendigung der Datenprobenahme wird die 100 kHz-Unterbrechung gesperrt (Schritt **73**), während die Zeit t ausgelöst oder auf 0 zurückgesetzt wird (Schritt **74**).

[0073] Ein DSP-Vorgang **4** zur Berechnung der Höhe des Druckabfalls ΔPr in dem Verteilerleitungsdruck infolge irgendeiner Kraftstoffeinspritzung wird gemäß dem in **Fig. 10** gezeigten Ablaufdiagramm durchgeführt. Ein Verteilerleitungsdruck Pr_0 direkt vor irgendeiner Einspritzung wird berechnet durch Durchschnittsnahme der über ein vorgewähltes Zeitintervall gesammelten Daten ($t_i = 0$, wobei $i = 0$ ist, $\sim t_i = T_{pre}$), das von direkt nach der Unterbrechung des Steuerimpulses, die stattfindet in einem Zeitpunkt des Beginns des Steuerimpulses, d.h. einem Zeitpunkt, in welchem der Steuerimpuls beginnt anzuheben oder abzufallen, bis direkt vor einem anderen Zeitpunkt reicht, in dem der Druckabfall im Verteilerleitungsdruck eintritt (Schritt **80**). Ein mittlerer Druck Pr_{ave} nach der Einspritzung wird durch Unterteilen eines Integrals des Wertes $P(i)$ im Verteilerleitungsdruck abgeleitet, genommen während eines Zeitintervalls t_i durch eine Anhäufung (population) N der Probenahme. Subtrahieren des mittleren Druckes Pr_{ave} vom Druck Pr_0 direkt vor irgendeiner im Schritt **80** gegebenen Einspritzung führt zur Erzielung der Höhe des Druckabfalls ΔPr im Verteilerleitungsdruck (Schritt **81**). Die im Schritt **81** angegebene Formel bzw. Gleichung kann durch eine modifizierte Gleichung ausgedrückt werden: $\Delta Pr = [\sum(Pr_0 - Pr(i))]/N_{smp}$. Das heißt, eine Differenz zwischen dem Druck Pr_0 direkt vor dem Einspritzen und dem Wert $P(i)$ im Verteilerleitungsdruck wird zuerst erhalten für jeden Wert $P(i)$ im Verteilerleitungsdruck, der während eines Zeitintervalls t_i genommen wird, das nach dem Steuerimpuls verstrichen ist. Sodann wird die Höhe des Druckabfalls ΔPr im Verteilerleitungsdruck durch Unterteilung der Summe der Differenz durch die Population N der Probenahme gegeben.

[0074] Als Nächstes ist in **Fig. 13** eine zusammengesetzte graphische Darstellung von Änderungen von Befehls- oder Steuerimpuls oder Einspritzbefehlssignal, Kraftstoffeinspritzmenge Q und Verteilerleitungsdruck Pr im Verlauf der Zeit gezeigt. Da, wie aus **Fig. 13** bekannt, ein Druckanstieg oder Ölschlag im Injektor **3** infolge des wiederholten Fortschreitens der Kraftstoffeinspritzung durch die zugehörige Einspritzleitung **23**, die sich zwischen dem Injektor **3** und

der Verteilerleitung **2** erstreckt, stattfindet, verbleibt die im Verteilerleitungsdruck P_r infolge irgendeiner Einspritzung auftretende Pulsierung für ein vorgewähltes Zeitintervall bei einer allmählichen Dämpfung. Daher kann kein Nettobetrag des Druckabfalls im Verteilerleitungsdruck unmittelbar nach jeder Kraftstoffeinspritzung angegeben werden. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, eine Menge der Werte von $P_r(i)$, die im Verteilerleitungsdruck P_r aufgenommen wurden, zu sammeln und den arithmetischen Mittelwert der Werte von $P_r(i)$ zu ermitteln. Das heißt, der mittlere Druck $P_{r\text{ave}}$ nach der Einspritzung wird gefunden durch Unterteilung eines Integrals der Werte von $P_r(i)$ durch eine Menge von Probenwerten N_{samp} . So kann der mittlere Druck $P_{r\text{ave}}$ nach der Einspritzung als der Netto-Verteilerleitungsdruck betrachtet werden, nachdem sich die Pulsierung genügend abgeschwächt hat. Durch das Subtrahieren des mittleren Drucks $P_{r\text{ave}}$ nach der Einspritzung von dem Druck vor irgendwelcher Einspritzung erhält man den Nettobetrag des Druckabfalls ΔP_r im Verteilerleitungsdruck. Die Menge Q des eingespritzten Kraftstoffs entsprechend dem Nettobetrag des Druckabfalls ΔP_r kann vorausgenommen werden, gestützt auf die Einspritzaufzeichnung, die experimentell erhalten wurde, um vorher die Korrelation zwischen dem Betrag des Druckabfalls und der Menge des eingespritzten Kraftstoffs zu erhalten.

[0075] Obwohl nur der DSP-Vorgang **4** die Daten über den Verteilerleitungsdruck P_r mittelt, die während der Datenprobenahmenperiode T_{ds} gesammelt wurden, kann das Zeitintervall, während dessen die zu mittelnden Probedaten des Verteilerleitungsdrucks gesammelt werden, durch ein anderes Zeitintervall ersetzt werden, welches von direkt nach dem Druckabfall bis zu einem ganzzahligen Vielfachen der Druckpulsierungsperiode reicht. Das alternative Zeitintervall entsprechend einem ganzzahligen Vielfachen der Druckpulsierungsperiode ist zu bevorzugen, da die Abweichung vom Mittelwert bei der Druckpulsierungsperiode ausser Betracht bleiben kann. Ein Beispiel des DSP-Vorgangs entsprechend dem alternativen Zeitintervall, das im Gegensatz zu dem Vorgang **4** steht, ist ein DSP-Vorgang **4A**, der im Ablaufdiagramm der **Fig. 11** gezeigt ist, in welchem der Betrag des Druckabfalls basierend auf einer ersten vollständigen Periode ermittelt wird.

[0076] Der DSP-Vorgang **4A** beginnt in der gleichen Weise wie der DSP-Vorgang **4** mit der Mittelwertbildung der für ein bestimmtes Zeitintervall ($t_i = 0 \text{ } \& \text{ } t_1 = T_{\text{pre}}$) gesammelten Daten, welches von direkt nach dem Beginn des Steuerimpulses, was in einem Zeitpunkt stattfindet, in welchem der Steuerimpuls ansteigen oder abzufallen beginnt, bis direkt vor einen weiteren Zeitpunkt reicht, in welchem der Druckabfall im Verteilerleitungsdruck mit einer bestimmten Zeitverzögerung eintritt, um einen Verteilerleitungsdruck P_{r0} direkt vor irgendwelcher Einspritzung zu berech-

nen (Schritt **91**). Ein Wert der Ableitung des erforderlichen Verteilerleitungsdrucks wird beispielsweise ermittelt, indem eine Differenz im Wert irgendwelcher verbundenen Druckdaten durch ein Zeitintervall geteilt wird (Schritt **91**). Ein Zeitpunkt $T_{\text{peak}(j)}$, worin $j = 0, 1, 2, \dots$ ist, wird ermittelt, wobei der Wert der Ableitung des im Schritt **90** erhaltenen Verteilerleitungsdruckes Null wird (Schritt **92**).

[0077] Als Nächstes ist aus **Fig. 16** eine zusammengesetzte graphische Darstellung ersichtlich, welche eine Zeitrelation verschiedener Variablen wiedergibt: Steuerimpuls, Verteilerleitungsdruck und Ableitung desselben, sowie Kraftstoffeinspritzmenge, um zu erläutern, wie man den Betrag des Druckabfalls in der Verteilerleitung in dem Kraftstoffeinspritzsystem mit Verteilerleitung ermittelt. Wie aus **Fig. 16** zu sehen ist, ist ein Zeitpunkt $T_{\text{peak}(j)}$ ein Punkt, an welchem der Wert der Ableitung des Verteilerleitungsdrucks 0 wird. Eine Druckdatum $P_{\text{peak}(j)}$ des Verteilerleitungsdruckes im Zeitpunkt $T_{\text{peak}(j)}$ wird ermittelt (Schritt **93**). Jedes Druckdatum $P_{\text{peak}(j)}$ ist entweder ein Maximum oder ein Minimum des augenblicklichen Drucks in der Verteilerleitung. Nach der Berechnung einer Amplitude für den ersten vollständigen Zyklus T_{c1} der Wellenform im Verteilerleitungsdruck, welcher das Pulsieren infolge irgendeiner Kraftstoffeinspritzung begonnen hat, wird der Betrag des Druckabfalls ΔP_r im Verteilerleitungsdruck vom Druck vor der Einspritzung P_{r0} entsprechend der folgenden Formel abgeleitet

$$\Delta P_r = P_{r0} - [P_{\text{peak}(0)} + P_{\text{peak}(1)}]/2 \text{ (Schritt 94).}$$

[0078] Der Wert $P(j)$ des Verteilerleitungsdrucks, der im Zeitpunkt genommen wurde, in welchem die Ableitung des Verteilerleitungsdruckes 0 ist, bezeichnet entweder den maximalen oder den minimalen augenblicklichen Druck der pulsierenden Wellenform in der Verteilerleitung. Der Wert $P_{\text{peak}(j)}$ würde sich ausreichend abschwächen, wenn eine beträchtliche Zeitspanne nach der Kraftstoffeinspritzung zur Verfügung stände. Nur Abwarten einer ausreichenden Abschwächung ist jedoch mit der Wirklichkeit nicht verträglich. Der Durchschnitt des ersten Minimums und Maximums der augenblicklichen Drücke $P_{\text{peak}(0)}$, $P_{\text{peak}(1)}$ ist ein Wert, der den Netto-Verteilerleitungsdruck nach dem Druckabfall eng annähert, wobei der mittlere Druck $P_{r\text{ave}}$ nach der Kraftstoffeinspritzung zu berücksichtigen ist. Somit wird der Nettobetrag des Druckabfalls ΔP_r erhalten durch Subtrahieren des mittleren Drucks $P_{r\text{ave}}$ von Druck P_{r0} vor der Einspritzung.

[0079] Obwohl der gerade oben beschriebene DSP-Vorgang **4A** eine Annäherung des Netto-Verteilerleitungsdruckes nach irgendwelchem Druckabfall durch Mittelwertbildung des ersten maximalen und minimalen Druckes ermittelt, die in der ersten vollständigen Periode T_{c1} des Verteilerleitungsdrucks

auftreten, der sich sinusförmig ändert, führt der Mittelwert des maximalen und minimalen Drucks, die in wenigstens dem zweifachen ganzzahligen Vielfachen der Periode des pulsierenden Verteilerleitungsdruckes auftreten, dazu, dass es ermöglicht wird, den Mittelwert aufzufinden, der viel näher am Netto-Verteilerleitungsdruck nach der Einspritzung liegt, als die beim DSP-Vorgang **4A** erhaltene Annäherung. Anstatt des DSP-Vorgangs **4A** kann ein alternativer DSP-Vorgang **4B** angewendet werden, der in einem Ablaufdiagramm der **Fig. 12** gezeigt ist, wobei der Betrag des Druckabfalls auf der Basis von einigen frühen Perioden T_{c1} , T_{c2} , ... berechnet wird. Der DSP-Vorgang **4B** führt die Schritte **100** bis **103** in der gleichen Weise durch wie die Schritte **90** bis **93** beim früheren DSP-Vorgang **4A**. Angenommen, dass die Frequenz der Periode $x(\geq 1)$ ist und so die positiven ungeraden Zahlen gleich $2x + 1$ oder $a=2x + 1$ sind, ermittelt man die Annäherung des Netto-Verteilerleitungsdruckes nach jedem Druckabfall durch Mittelwertbildung des maximalen und minimalen Druckes, welche in einigen Perioden stattfinden, wie in der obigen Gleichung erläutert. Dann ist der Betrag des Druckabfalls, der sich aus jeder Einspritzung ergibt, Schritt **104** durch Subtrahieren des gemittelten Verteilerleitungsdruckes vom Verteilerleitungsdruck vor dem Druckabfall Pr_0 gegeben:

$$\Delta Pr = Pr_0 - [\sum (k=0 \rightarrow a) P_{peak}(k)] / (a + 1)$$

[0080] Da der Verteilerleitungsdruck vor dem Druckabfall Pr_0 gewöhnlich im Voraus bekannt ist, kann der Betrag des Druckabfalls ΔPr durch eine modifizierte Gleichung folgendermaßen erhalten werden:

$$\Delta Pr = [\sum (k=0 \rightarrow a) (Pr_0 - P_{peak}(k))] / (a + 1)$$

[0081] Obwohl nur die Berechnungen bezüglich des Verteilerleitungsdruckes in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen dargestellt sind, die durch die Verwendung von DSP oder einem Hochgeschwindigkeits-A/D-Konverter erhalten werden, kann irgendeine CPU verwendet werden, vorausgesetzt, dass die CPU eine genügende Leistungsfähigkeit besitzt. Ferner kann das Lernen von der kleinen Impulsbreite P_{w3} ausgehen im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Lernbefehl, bei welchem die Impulsbreite P_w von dem P_{wstart} ausgeht.

[0082] Es wird bemerkt, dass die obige Beschreibung bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung betrifft und dass die Erfindung nicht auf die besonders gezeigten Ausführungsformen eingeschränkt ist.

Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung, welche aufweist: eine gemeinsame Druckleitung (2) zur Speicherung von unter Druck

stehendem Kraftstoff in derselben, Injektoren (3), deren jeder in jedem Zylinder angeordnet ist, um von der gemeinsamen Druckleitung (2) zugeführten Kraftstoff in die Zylinder einzuspritzen, eine Sensoreinrichtung zur Überwachung der Maschinenbetriebsbedingungen, einen Druckdetektor (22) zur Überwachung des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung (2), sowie eine Steuereinheit (8) zum Auffinden der Kraftstoffeinspritzfaktoren einschließlich einer gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge (Q_t), welche von Signalen abhängt, die von der Sensoreinrichtung erfasst werden, und ferner zur Berechnung eines Betrages des Druckabfalls (ΔPr), welcher in der gemeinsamen Druckleitung infolge einer Kraftstoffeinspritzung jedes Injektors (3) stattfindet, der von einem Signal abhängt, welches vom Druckdetektor (22) erfasst wird, um dadurch die gewünschte Kraftstoffmenge (Q_t) an jedem Injektor zu kompensieren, was von einer Abweichung eines tatsächlichen Betrages des aus jedem Injektor eingespritzten Kraftstoffs abhängt, die auf der Basis des Betrages des Druckabfalls (ΔPr) von der gewünschten einzuspritzenden Kraftstoffmenge (Q_t) gefunden wird, und wobei die Steuereinheit (8) einen mittleren Druck (Pr_{ave}) nach der Kraftstoffeinspritzung mittels Durchschnittsbildung der pulsierenden Drücke berechnet, die in der gemeinsamen Druckleitung (2) aufgrund der Kraftstoffeinspritzung auftreten, und den Betrag des Druckabfalls (ΔPr) in der gemeinsamen Druckleitung (2) aus einem Druckunterschied zwischen dem mittleren Druck (Pr_{ave}) nach der Kraftstoffeinspritzung und einem Druck (Pr_0) vor der Kraftstoffeinspritzung in der gemeinsamen Druckleitung (2) ableitet, und wobei die Steuereinheit (8) ein Befehlssignal ausgibt, um den Injektor (3) entsprechend den Einspritzfaktoren zu betätigen und den Druck vor der Kraftstoffeinspritzung aus Werten [$Pr(i)$] des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung ableitet, welche während einer Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Befehlsimpulses und dem späteren Zeitpunkt genommen werden, in welchem der Druck (Pr_0) in der gemeinsamen Druckleitung infolge der Kraftstoffeinspritzung abfällt, und **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (8) einen Extremwert im Druck der gemeinsamen Druckleitung ermittelt, in welchem eine Ableitung des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung nach dem Beginn des Druckabfalls im Druck der gemeinsamen Druckleitung Null wird, und den mittleren Druck (Pr_{ave}) nach der Kraftstoffeinspritzung mittels Durchschnittsbildung der Extremwerte berechnet, die nacheinander im Druck der gemeinsamen Druckleitung auftreten.

2. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 1, bei welchem die der Durchschnittsbildung zu unterwerfenden Extremwerte maximale und minimale Extremwerte ($P_{peak 0}$, $P_{peak 1}$) sind, welche entweder in einem ersten Zyklus oder in mehreren früheren Zyklen der in der ge-

meinsamen Druckleitung verbleibenden pulsierenden Drücke auftreten.

3. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 1, bei welchem die Steuereinheit (8) Abweichungen der Extremwerte im Druck (Pr0) der gemeinsamen Druckleitung von dem Druck vor der Kraftstoffeinspritzung ermittelt und den Betrag des Druckabfalls (ΔPr) von einem mittleren Wert der Abweichungen ableitet.

4. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 1, bei welchem die Steuereinheit (8) einen mittleren Wert der Beträge des Druckabfalls (ΔPr) ermittelt, indem sie den Durchschnitt der Werte der Beträge des Druckabfalls bildet, die nacheinander an jedem Injektor berechnet werden, und den Mittelwert als den Betrag des Druckabfalls (ΔPr) in der gemeinsamen Druckleitung berücksichtigt.

5. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 1, bei welchem die Steuereinheit (8) einen Steuerimpuls ausgibt, um den Injektor (3) entsprechend den Einspritzfaktoren zu betätigen, wobei erfasst wird, ob die Maschine in einem stabilen Zustand läuft oder nicht, und einen korrelativen Wert zwischen dem Steuerimpuls und dem Betrag des eingespritzten Kraftstoffs durch einen Lernprozess ermittelt, der durchgeführt wird, wenn die Maschine in stabilem Zustand läuft, bezüglich des Steuerimpulssignals und der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge, die auf der Basis des Betrages des Druckabfalls (ΔPr) im Druck der gemeinsamen Druckleitung ermittelt wird, der sich aus der Kraftstoffeinspritzung aus dem Injektor (3) ergibt, welcher mit dem Steuerimpuls betätigt wird.

6. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 5, bei welchem die Steuereinheit (8) den korrelativen Wert verwendet, wenn die eingespritzte Kraftstoffmenge eine sehr kleine Kraftstoffmenge ist, die eine vorgewählte Menge nicht übersteigt.

7. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 6, bei welchem die Steuereinheit (8) einen Einspritzfaktor einer Haupteinspritzung und einen weiteren Einspritzfaktor einer Überwachungseinspritzung ermittelt, um eine sehr kleine Kraftstoffmenge vor der Haupteinspritzung einzuspritzen, und die kleine Kraftstoffmenge der Überwachungseinspritzung mit einem Steuersystem mit offener Schleife auf der Basis des durch den Lernprozess ermittelten korrelativen Werts regelt.

8. Kraftstoffeinspritzsystem mit gemeinsamer Druckleitung nach Anspruch 1, bei welchem der Kraftstoff der gemeinsamen Druckleitung durch die Pumpwirkung einer Kraftstoffzuführungs-Kolben-

pumpe (1) in Abhängigkeit von der Kraftstoffeinspritzung aus dem Injektor (3) zugeführt wird, und die Steuereinheit (8) in Abhängigkeit von den Einspritzfaktoren eine Kraftstoffmenge steuert, die von der Kraftstoffzuführungs-Kolbenpumpe (1) abgegeben wird.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

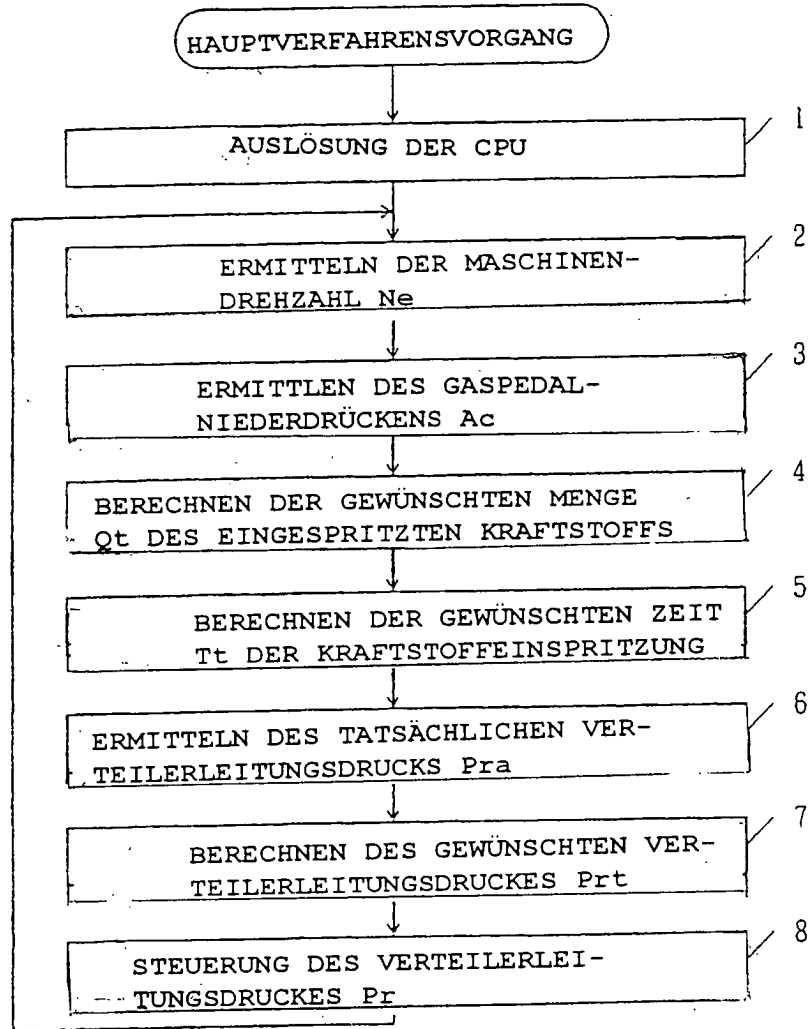


FIG. 2

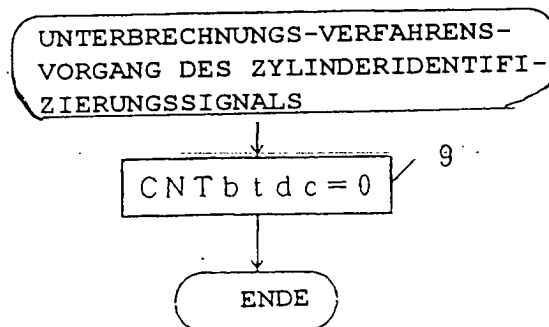


FIG. 3

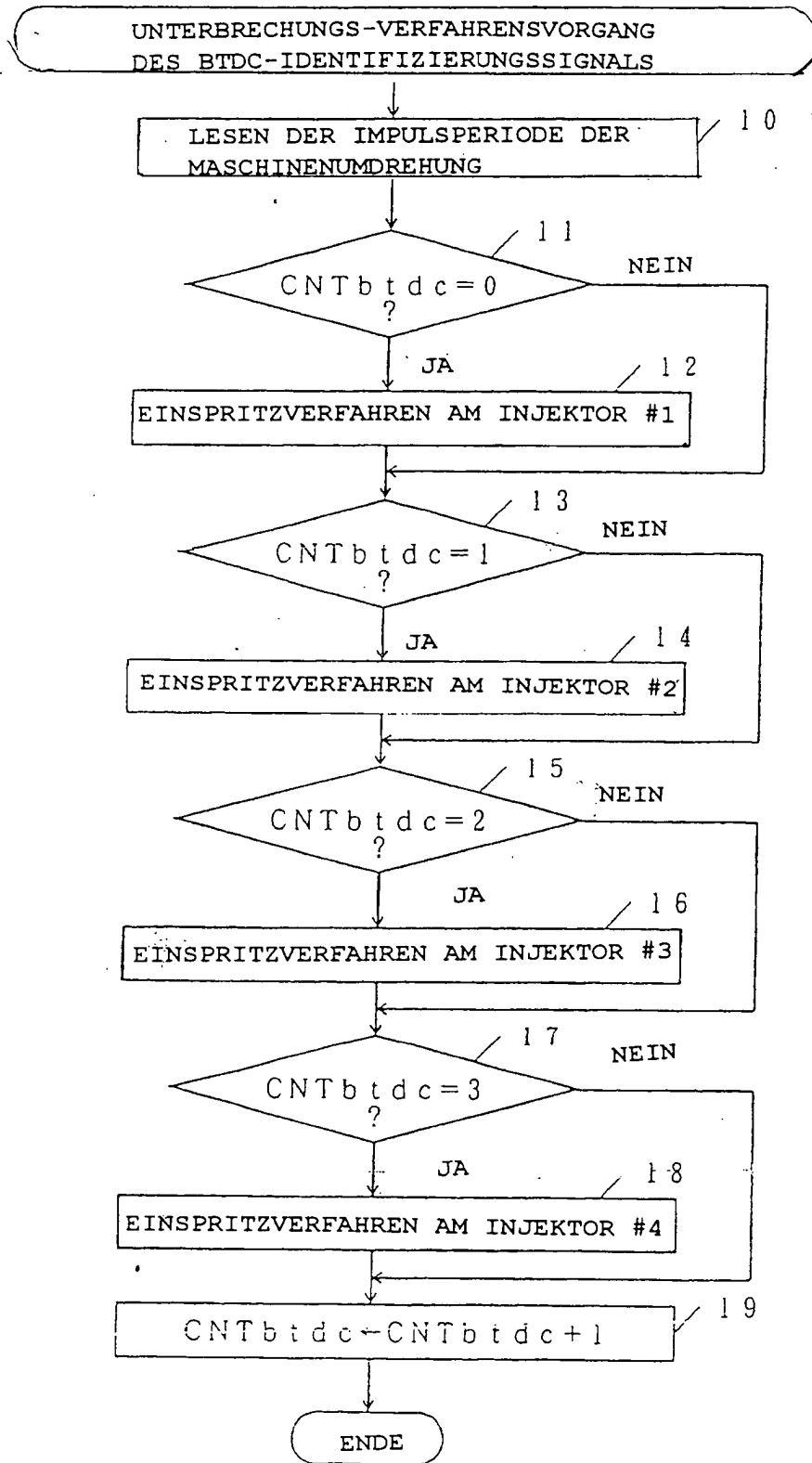


FIG. 4

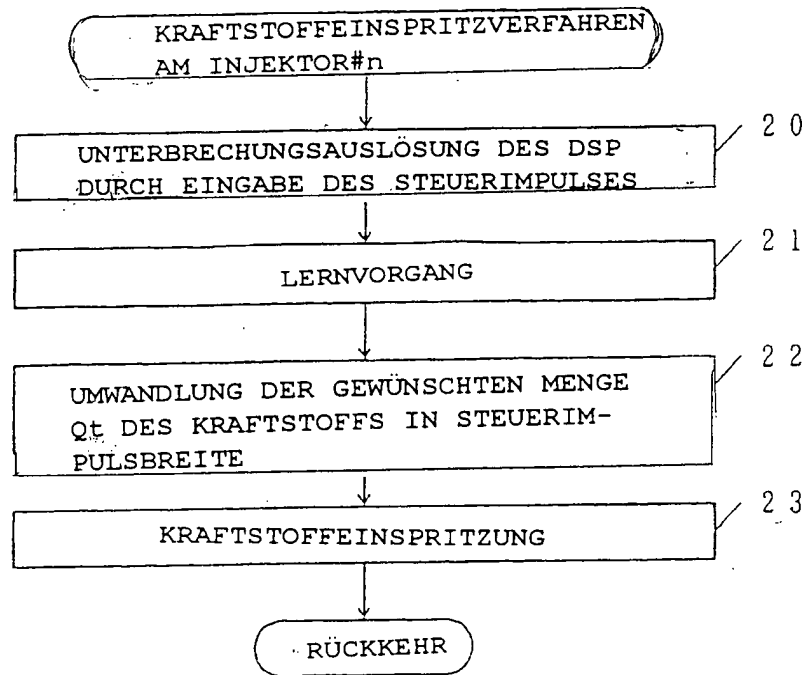


FIG. 5

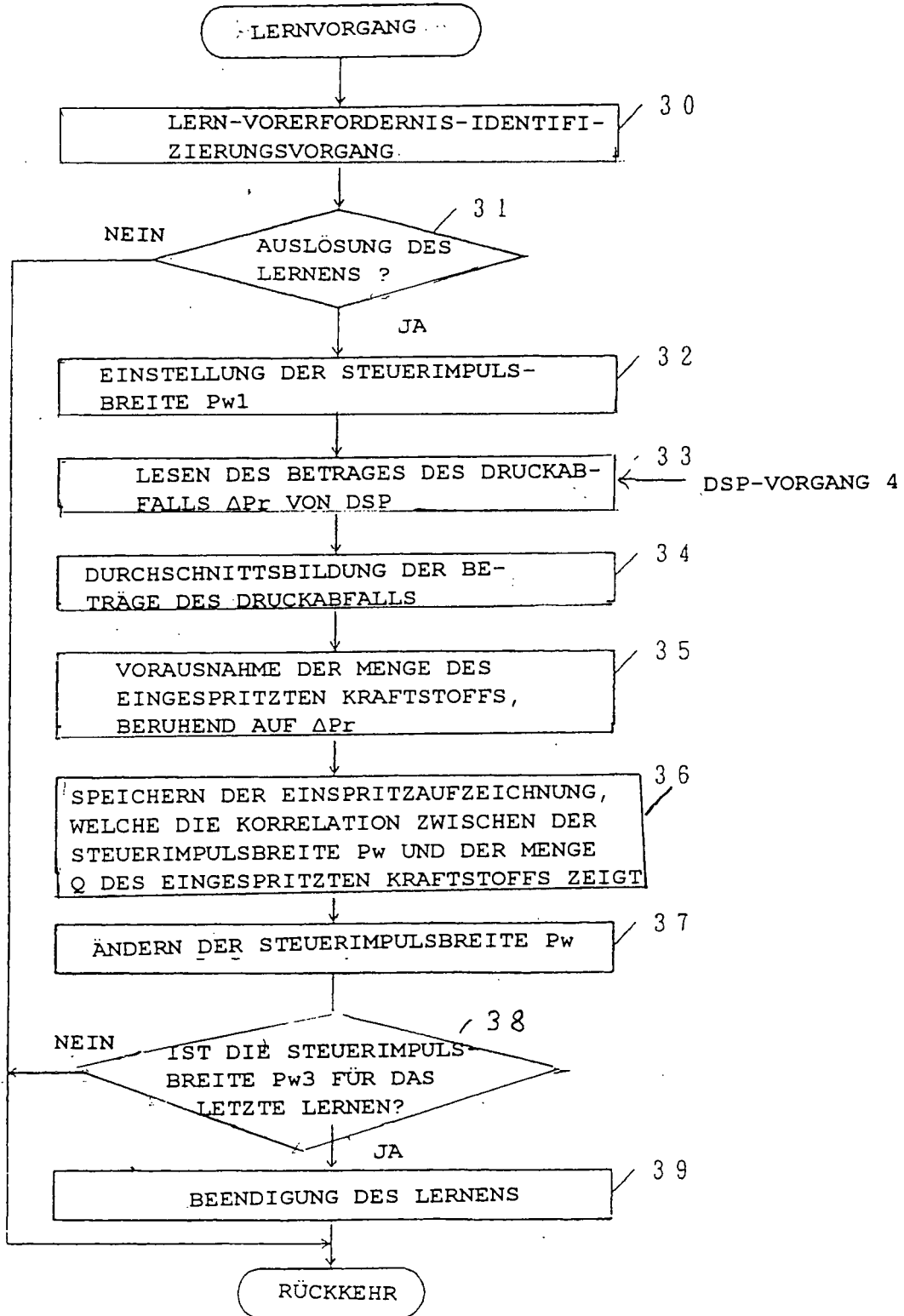


FIG. 6

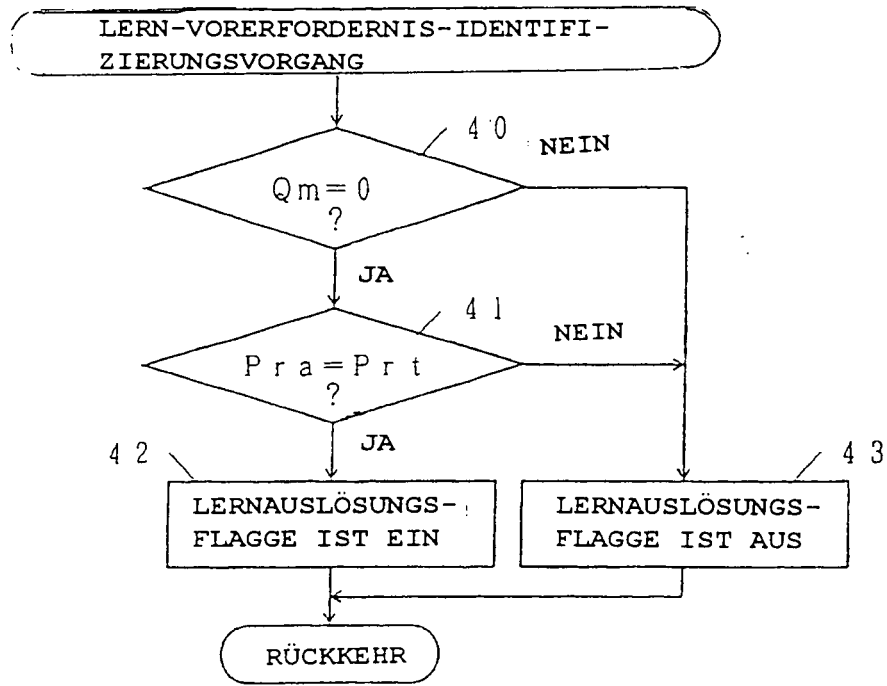


FIG. 7

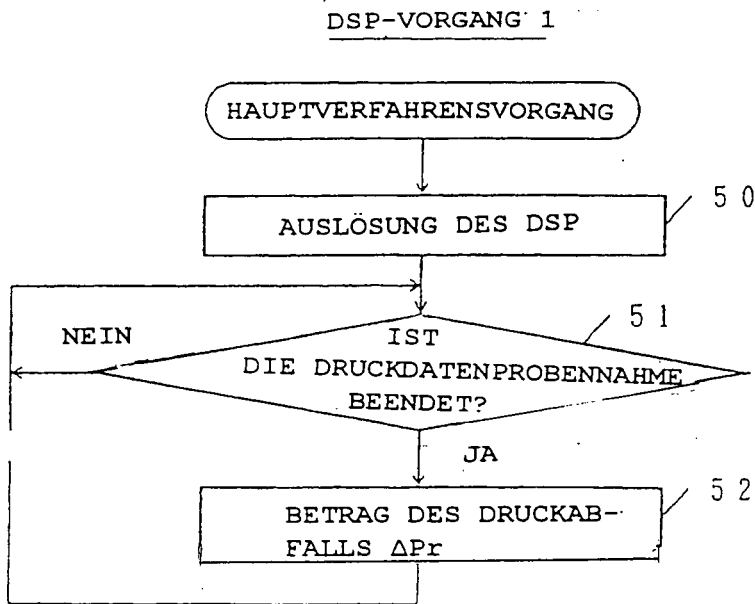


FIG. 8

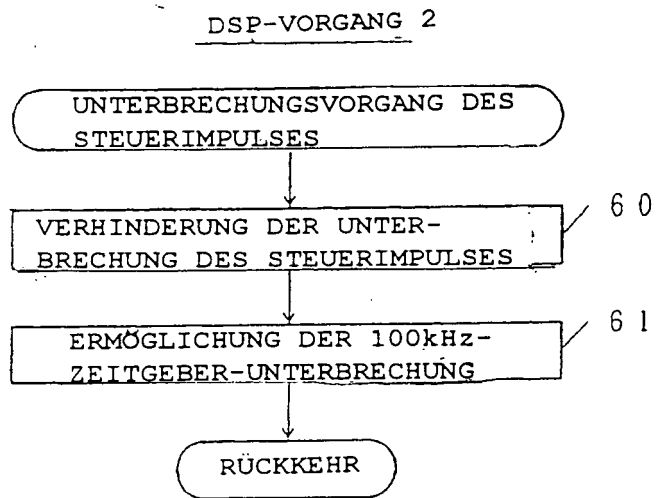


FIG. 9

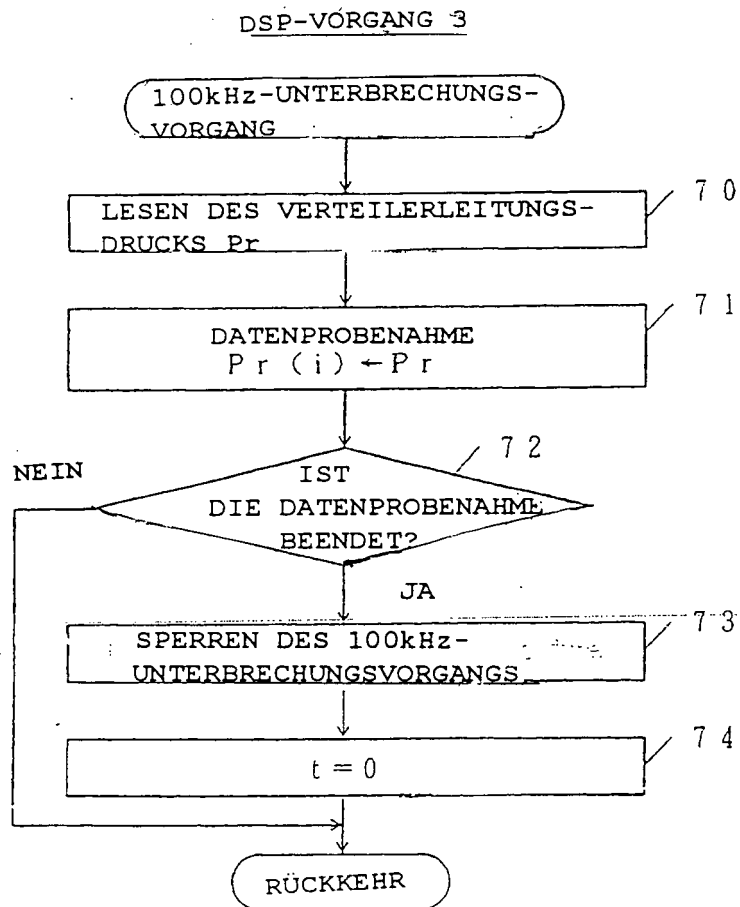


FIG. 10

DSP-VORGANG 4

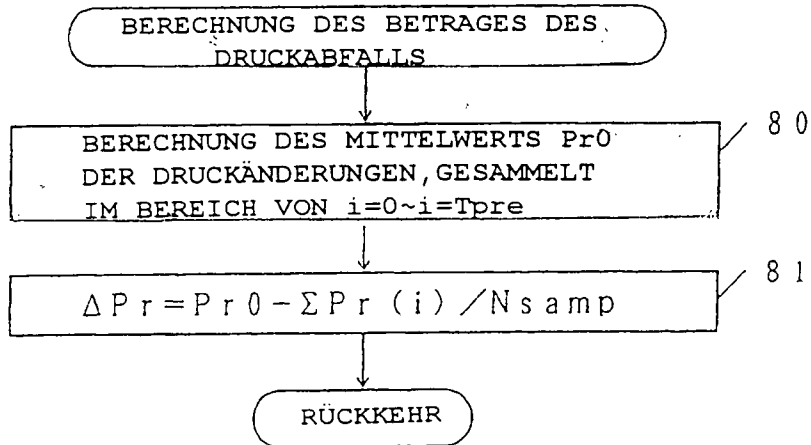


FIG. 11

DSP-VORGANG 4A

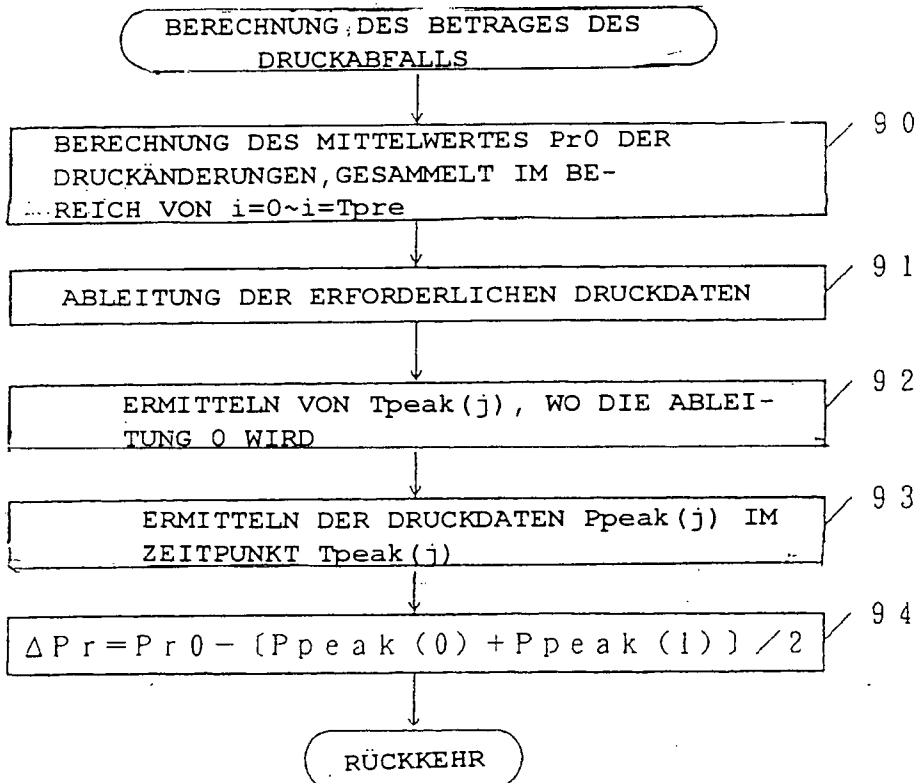


FIG. 12

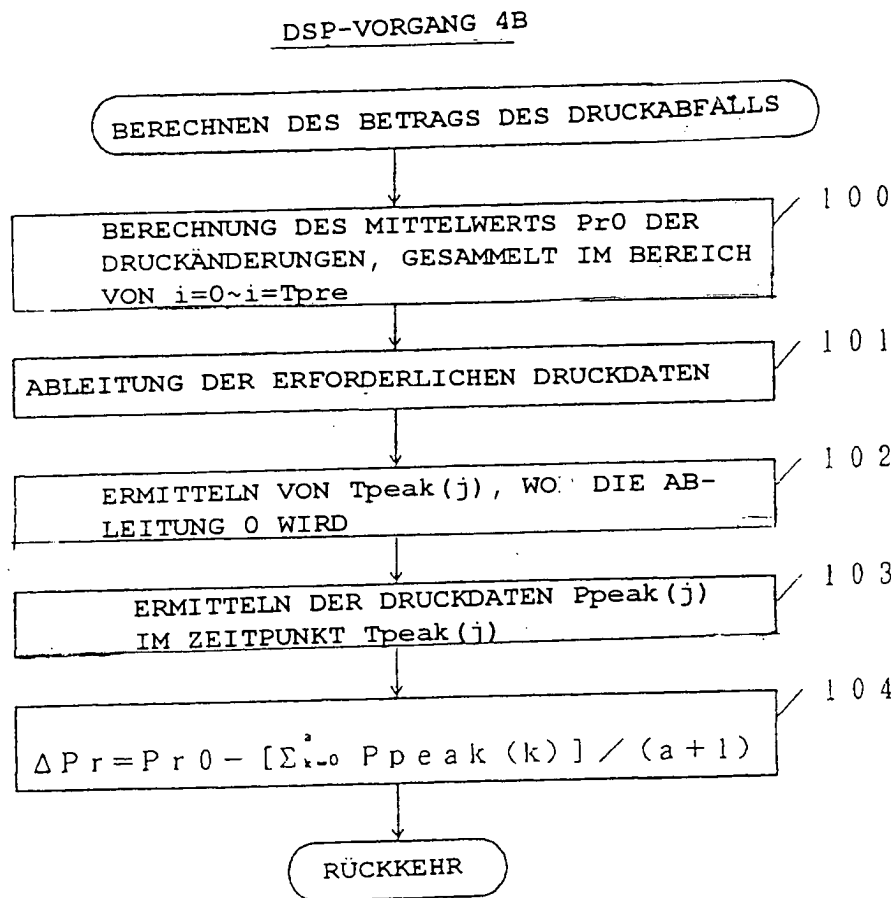


FIG. 13

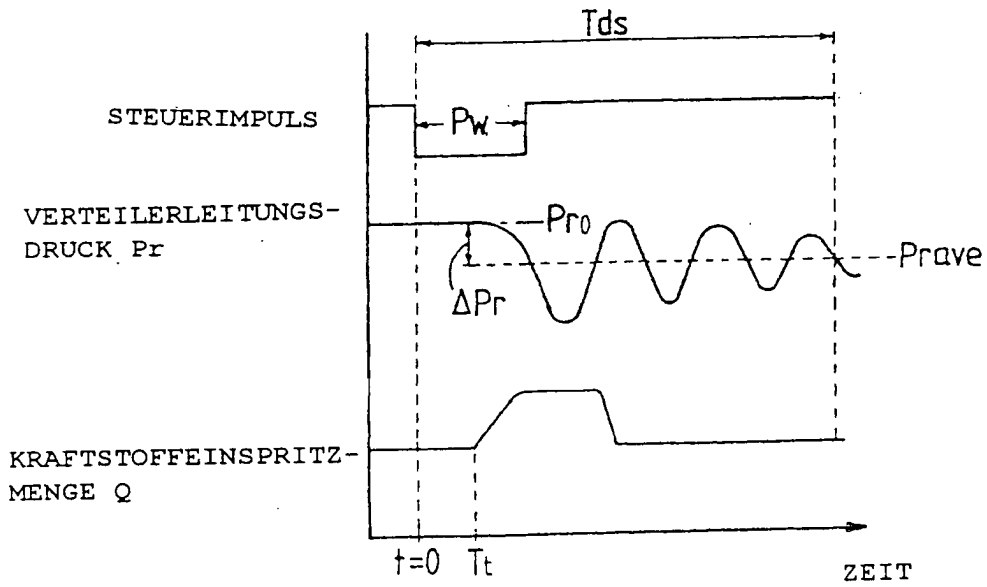


FIG. 14

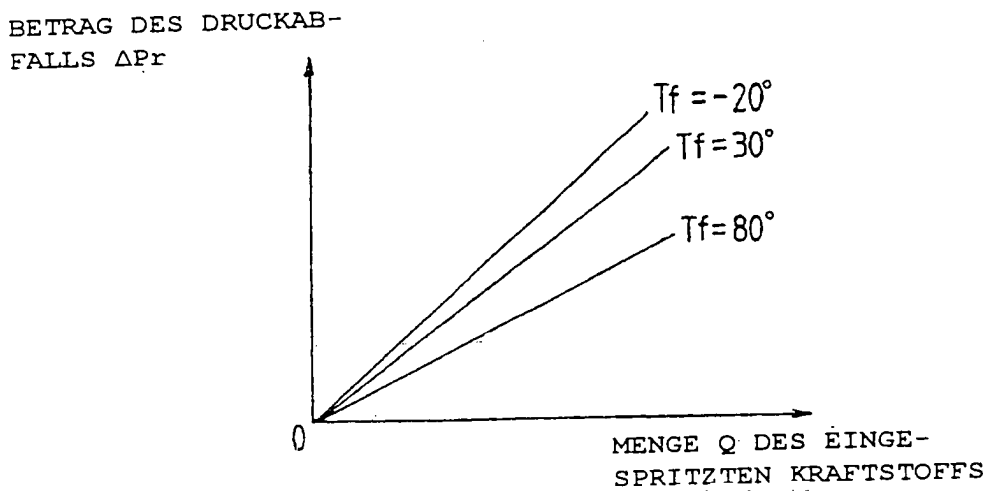


FIG. 15

STEUERIMPULS-
BREITE P_w

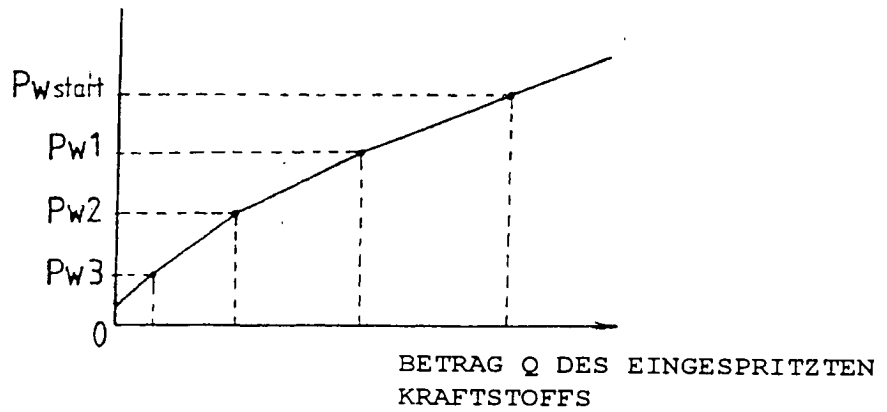


FIG. 16

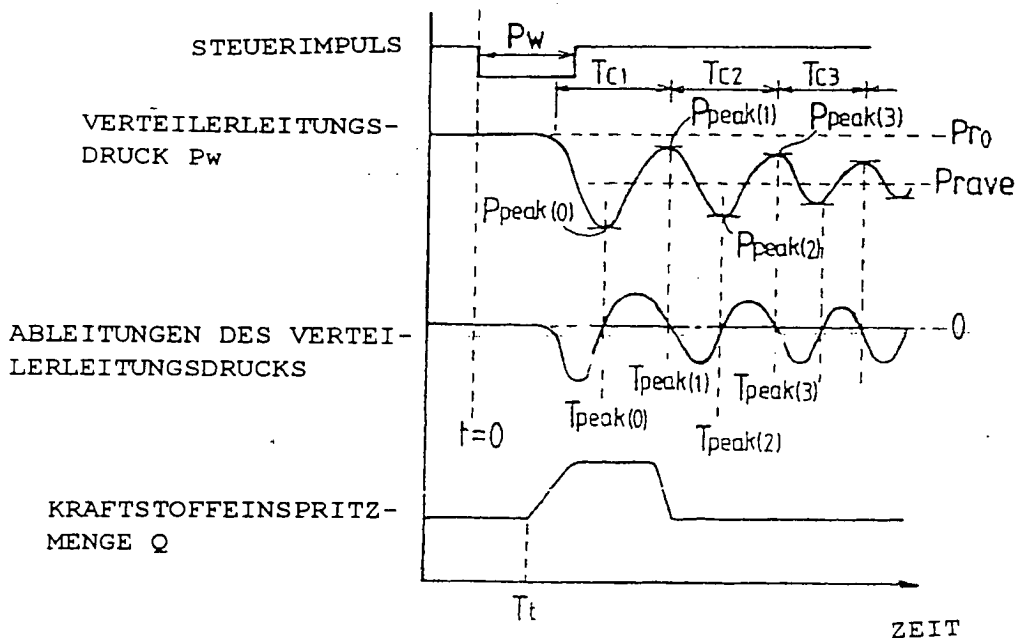


FIG. 17 (STAND DER TECHNIK)

