(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 198 38 862 A 1**

(21) Aktenzeichen: 198 38 862.4
(22) Anmeldetag: 26. 8. 1998
(43) Offenlegungstag: 9. 3. 2000

(51) Int. Cl.[7]:
G 01 F 13/00
B 05 B 9/047
F 15 B 1/00
F 15 B 15/00
F 02 M 51/06
F 02 M 47/06

DE 198 38 862 A 1

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

(72) Erfinder:
Kappel, Andreas, Dipl.-Phys. Dr., 81369 München, DE; Mock, Randolf, Dipl.-Phys. Dr., 81739 München, DE; Meixner, Hans, Prof. Dipl.-Phys. Dr., 85540 Haar, DE; Gottlieb, Bernhard, Dipl.-Phys. Dr., 85764 Oberschleißheim, DE

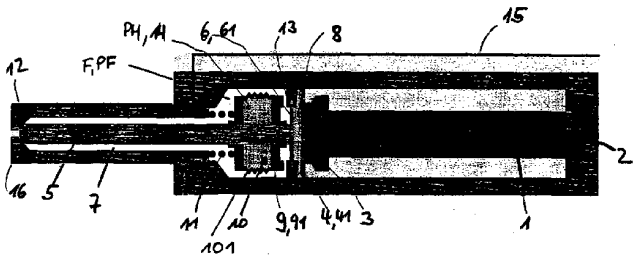
(56) Entgegenhaltungen:
DE 195 19 762 A1
DE 43 06 072 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Dosiervorrichtung

(57) Doesiervorrichtung, aufweisend
- ein Gehäuse (2) mit einem in dessen Innenraum plazierten Piezoaktor (1),
- eine von einem primärseitigen Trennelement (4, 41, 42) und einem sekundärseitigen Trennelement (6, 61, 62) begrenzte Hydraulikkammer (8), die mit einer Hydraulikflüssigkeit (14) gefüllt ist und die den Innenraum des Gehäuses (2) in eine mit einem Fluid (F) druckbefüllte Fluidkammer (7) und einen Raum für den Piezoaktor (1) untertrennt,
- eine Ventilnadel (5) in der Fluidkammer (7), die mit dem sekundärseitigen Trennelement (6, 61, 62) verbunden ist,
- einen mit der Hydraulikflüssigkeit (14) gefüllten Hydrospeicher (10) mit einer mindestens teilweise flexiblen Außenwand (101), der mit der Ventilnadel (5) verbunden ist,
- eine gedrosselte Verbindungsleitung (9, 91, 92), die den Hydrospeicher (10) mit der Hydraulikkammer (8) verbindet, so daß
- eine schnelle Bewegung des Piezoaktors (1) über das primärseitige Trennelement (4, 41, 42) und die Hydraulikkammer (8) auf das sekundärseitigen Trennelement (6, 61, 62) und damit auf die Ventilnadel (5) hydraulisch hubtransformiert übertragbar ist,
- über eine gedrosselte Verbindungsleitung (9, 91, 92) ein Druck (PT) in der Hydraulikkammer (8) vergleichsweise langsam an einen resultieren Druck (PH) im Hydrospeicher (10) angleichbar ist,
- durch die Bewegung der Ventilnadel (5) ein Öffnen und Schließen eines Ventils (16) zur dosierten Abgabe des Fluid (F) steuerbar ist.



DE 198 38 862 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Dosierung eines Fluids.

Die Direkteinspritzung von Kraftstoff in den Brennraum eines Motors stellt eine wirkungsvolle Maßnahme zur weiteren Absenkung des Verbrauch und der Abgasemission dar. Zur Vermeidung der mit der Direkteinspritzung verbundenen Nachteile ist ein spezielles Brennverfahren erforderlich, das sich nur mit einem stark verbesserten Kraftstoffeinspritzer umsetzen läßt. Aufgrund der sehr kurzen Aufbereitungszeit des Kraftstoffgemisches ist zur Sicherstellung einer ausreichenden Gemischaufbereitung und Ladungsschichtung im Brennraum deshalb eine, unter Umständen sogar mehrfache, Hochdruckeinspritzung von Kraftstoff geboten.

Die hochpräzise Dosierung einer kleinen Kraftstoffmenge bei einem hohen Einspritzdruck ist jedoch mit einem konventionellen elektromagnetischen Einspritzer nur bedingt möglich, beispielsweise aufgrund einer vergleichsweise langen Ansprechdauer. Deshalb ist der Einsatz eines sehr schnell schaltenden Stellantriebs, z. B. eines piezoelektrischen, elektrostriktiven oder magnetostriktiven Aktors, zum Betrieb eines Kraftstoff-Einspritzventils interessant.

Allerdings wird bei der Integration eines piezoelektrischen anstelle eines elektromagnetischen Antriebs wegen der vorgegebenen Randbedingungen eine hohe Anforderung an die Dosiervorrichtung gestellt. Beispielsweise werden oft gefordert:

- eine möglichst weitgehende Beibehaltung der etablierten Bauformen,
- eine Beibehaltung eines nach innen öffnenden Ventils,
- eine Vergrößerung des Piezohubs durch Hubübersetzung,
- eine Abdichtung des Piezoaktors gegenüber dem zu dosierenden Fluid,
- eine Funktionsfähigkeit über einen weiten Temperaturbereich (z. B. –40°C bis +150°C),
- eine Funktionsfähigkeit über einen weiten Einspritzdruckbereich (z. B. 0–250 bar bei einem Benzin-Injektor),
- eine Versagenssicherheit bei Kurzschluß oder Leitungsunterbrechung,
- eine Lebensdauer $\geq 2 \cdot 10^9$ Betätigungen.

Eine befriedigende Lösung der oben angegebenen Problempunkte, insbesondere für einen Benzin-Hochdruckinjektor, existiert bisher nicht.

Aus US-PS 4 725 002 ist ein Dosierventil zur Dosierung von Flüssigkeiten und Gasen bekannt, das eine Vorrichtung lediglich zur Dämpfung und zum Ausgleich einer thermischen Längenänderung eines Piezoaktors enthält. Die Vorrichtung besteht aus einem Dämpfungsraum und einem Ausgleichsraum, die über einen Ringspalt miteinander verbunden sind. Der Dämpfungsraum ist zwischen einem Gehäuse und einem primärseitigen Piezoaktor angebracht. Der Piezoaktor treibt eine Ventilnadel direkt an.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Dosiervorrichtung bereitzustellen, mittels der eine präzise Dosierung auch einer kleinen Fluidmenge, auch bei einem hohen Einspritzdruck, realisierbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 23 gelöst.

Die Idee der Erfindung basiert darauf, eine schnell schaltbare Dosiervorrichtung zu verwenden, die einen geschlossenen und weitgehend druckausgeglichenen hydraulischen Hubtransformator mit integriertem Hydrospeicher verwendet.

Dabei dient als Primärantrieb ein Piezoaktor, der in einem Gehäuse plaziert ist und der sich an der Innenwand des Gehäuses abstützt. Dieser Innenraum wird durch eine Hydraulikkammer in eine Fluidkammer und einen Raum für den Piezoaktor untertrennt.

Die Hydraulikkammer wird von einem primärseitigen und einem sekundärseitigen Trennelement begrenzt, beispielsweise einer Membran, einem Kolben oder einem Balg. Sie ist mit einer unter einem Vordruck stehenden Hydraulikflüssigkeit, z. B. mit synthetischen oder mineralischen Ölen, Fetten oder Quecksilber gefüllt.

In der mit einem Fluid druckbeaufschlagten Fluidkammer befindet sich eine Ventilnadel, die mit der Sekundärmembran verbunden ist. Durch den Hub der Ventilnadel ist ein Öffnen und Schließen eines Ventils steuerbar, wodurch Fluid dosiert aus der Fluidkammer abgebbar ist.

Mit der Ventilnadel ist ein Hydrospeicher verbunden, welcher eine wenigstens teilweise flexible Außenwand aufweist und der ebenfalls mit der Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist. Der Hydrospeicher und die Hydraulikkammer sind über eine gedrosselte Verbindungsleitung miteinander verbunden, beispielsweise durch eine sich in der Ventilnadel befindliche Drosselbohrung.

Eine Bewegung des Piezoaktors wird über das primärseitige Trennelement und die Hydraulikkammer auf das sekundärseitige Trennelement und damit auf die Ventilnadel übertragen. Durch die gedrosselte Verbindungsleitung ist ein sich aufbauender Druckunterschied zwischen Hydraulikkammer und Hydrospeicher vergleichsweise langsam ausgleichbar. Ein schneller hergestellter Druckunterschied, beispielsweise bei einer Betätigung des Primärantriebs, wird daher im wesentlichen ungedämpft vom primärseitigen Trennelement auf das sekundärseitige Trennelement übertragen.

Durch die Verbindung der Hydraulikkammer über die gedrosselte Verbindungsleitung mit dem Hydrospeicher ergibt sich vorteilhafterweise eine vollständige Kompensation temperaturbedingter Längen- und Volumenänderungen sowie von Setzeffekten des Piezoaktors. Dadurch ist die Funktionsfähigkeit in einem weiten Temperaturbereich von mindestens –40°C bis 150°C möglich.

Durch die unter einem Vordruck stehende Hydraulikflüssigkeit ergibt sich der Vorteil, daß der Piezoaktor unter einer Druckvorspannung steht. Dies ist besonders vorteilhaft bei einem keramischen oder keramikähnlichen Piezoaktor, weil dieser durch eine Zugspannung leicht zerstört wird. Es folgt eine hohe Lebensdauer der Dosiervorrichtung $\geq 2 \cdot 10^9$ Betätigungen.

Zusätzlich kann zur Druckvorspannung des Piezoaktors ein Federelement, z. B. eine Rohrfeder oder eine Tellerfeder, vorgesehen sein, so daß vorteilhafterweise die Druckvorspannung des Piezoaktors auch bei einem niedrigen Druck des Fluids oder der Hydraulikflüssigkeit gewährleistet ist.

Die Verwendung eines Niederspannungs-PMAs ("PMA" = "Piezoelectric Multilayer Actor" = Vielschicht-Piezoaktor) ist unter anderem wegen seiner niedrigen Ansteuerspannung, seiner hohen mechanischen Steifigkeit und seinen kurzen Schaltzeiten vorteilhaft.

Auch die Verwendung eines elektrostriktiver oder magnetostriktiven Aktors ist aufgrund der schnellen Betätigungsdauer denkbar.

Durch eine Verwendung des primärseitigen und des sekundärseitigen Trennelementes ist günstigerweise eine beliebige hydraulische Hubtransformation einstellbar. Zur Hubübersetzung (Hubverhältnis > 1) zwischen Primärantrieb und Ventilnadel wird die der Hydraulikflüssigkeit ausgesetzte Oberfläche des primärseitigen Trennelementes bei-

spielsweise größer ausgelegt als die der Hydraulikflüssigkeit ausgesetzte Seite des sekundärseitigen Trennelementes. Eine typische Hubübersetzung zwischen sekundärseitigem und primärseitigem Trennelement liegt zwischen 1,5 : 1 und 10 : 1, insbesondere bei 6 : 1. Es ist aber auch eine Hubuntersetzung (Hubverhältnis < 1) oder eine Hubtransformation ohne Hubänderung (Hubverhältnis = 1) denkbar.

Mit Hilfe der unter einem Vordruck stehenden Hydraulikkammer ist weiterhin ein invertierter piezohydraulischer Betriebsmodus zur Bewegungskommutierung vorteilhafterweise möglich, wodurch die nach innen öffnende Dosierung beibehaltbar ist. Durch eine entsprechende Auslegung dieses Systems kann die hydraulische Dosiervorrichtung aber auch zum Betätigen nach außen öffnender Ventile verwendet werden.

Auch ist durch eine Druckvorspannung des Piezoaktors eine Ansteuerung bis in den Bereich negativer (d. h. der Polungsrichtung entgegengesetzter) Spannungen möglich, wodurch sich günstigerweise ein verbesserter Piezohub ergibt. Die negative Ansteuerspannung liegt dabei typischerweise in einem Bereich von bis zu 30% der möglichen positiven Ansteuerspannung.

Bei einer Verwendung eines in einer Bohrung geführten Kolbens wird vorteilhafterweise der parasitäre Kraftnebenschluß der Membranen vermieden.

Diese Dosiervorrichtung erreicht zudem durch ihre kompakte Bauweise, daß bestehende Bauformen für Dosiervorrichtungen beibehaltbar sind.

Durch den Einsatz des Piezoaktors sind zudem eine sehr schnelle Schaltzeit von typischerweise 10 µs bis 100 µs möglich.

Natürlich ist diese Dosiervorrichtung nicht auf eine Kraftstoff-Einspritzung beschränkt, z. B. auf eine Benzin-Einspritzung, eine Diesel-Einspritzung oder eine Methan-Einspritzung für einen Gasmotor. Es sind vielmehr andere Anwendungen denkbar, z. B. eine Steuerung eines Hydraulikventils. So kann ein solches Hydraulikventil zur Steuerung eines Bremskreislaufes oder zur Dosierung eines aktiven Schwingungsdämpfers verwendet werden.

Das Fluid kann eine Flüssigkeit sein, z. B. Wasser, oder ein Gas, z. B. Druckluft. Bei einer Verwendung der Dosiervorrichtung zur Kraftstoff-Einspritzung ist das Fluid vorteilhafterweise eine Flüssigkeit wie Benzin, Diesel, Kerosin, Petroleum oder Alkohol oder ein Gas wie Methan oder Buthan.

In den folgenden Ausführungsbeispielen wird die Dosiervorrichtung schematisch näher ausgeführt:

Fig. 1 zeigt eine Dosiervorrichtung,

Fig. 2 zeigt einen Betriebsmodus der Dosiervorrichtung,

Fig. 3 zeigt eine Auslenkung eines Piezoaktors,

Fig. 4 zeigt eine weitere Dosiervorrichtung,

Fig. 5 zeigt eine weitere Dosiervorrichtung,

Fig. 6 zeigt verschiedene dynamische Variablen,

Fig. 7 zeigt den Verlauf von dynamischen Variablen bei einer typischen Anwendung.

In **Fig.** 1 ist als Schnittdarstellung in Seitenansicht ein Ausführungsbeispiel einer Dosiervorrichtung dargestellt.

Als Antrieb dient ein Piezoaktor **1**, der sich mit einer Stirnseite am Boden der Innenwand eines Gehäuses **2** abstützt. Der Piezoaktor **1** ist als Niederspannungs-PMA ausgeführt. Mit seiner anderen Stirnseite liegt der Piezoaktor **1** über einem Druckstempel **3** an einem primärseitigen Trennelement **4** an, das als Primärmembran **41** ausgeführt ist. Die Verwendung einer Primärmembran **41** ergibt den Vorteil eines einfachen Aufbaus, einer weitgehend verschleißfreien Betätigung und einer hohen hydraulischen Dichtigkeit.

In geringem Abstand zur Primärmembran **41** befindet sich ein sekundärseitiges Trennelement **6** in Form einer Sekundärmembran **61**. Der von der Primärmembran **41** und der Sekundärmembran **61** eingeschlossene Raum wird als Hydraulikkammer **8** bezeichnet, die mit einer Hydraulikflüssigkeit **14** druckbeaufschlagt ist. Die Hydraulikkammer **8** dient der hydraulischen Kraftübertragung zwischen der Primärmembran **41** und der Sekundärmembran **61**.

Durch die Hydraulikkammer **8** wird der Innenraum des Gehäuses **2** in eine Fluidkammer **7** und in einen Raum für den Piezoaktor **1** untertrennt. Die Fluidkammer **7** wird über eine Fluidzufuhr **15** mit Fluid F, beispielsweise Kraftstoff, druckbeaufschlagt.

Die Sekundärmembran **61** ist mit einer sich in der Fluidkammer **7** befindlichen Ventilnadel **5** verbunden. Über den Hub der Ventilnadel **5**, die im geschlossenen Zustand auf einem Ventildichtsitz **12** aufliegt, wird das Öffnen und Schließen des Ventils **16** gesteuert.

Mit der Ventilnadel **5** ist ein Hydrospeicher **10** verbunden. Der Hydrospeicher **10** besitzt eine zumindest teilweise flexible Außenwand **101** und ist über eine gedrosselte Verbindungsleitung **9**, die hier in Form einer in der Ventilnadel **5** vorhandenen Drosselbohrung **91** ausgeführt ist, mit der Hydraulikkammer **8** verbunden.

Der Hydrospeicher **10** bewirkt, daß sich eine langfristige, z. B. durch eine Temperaturänderung bewirkte, Druckänderung der Hydraulikflüssigkeit **14** nicht wesentlich auf die Funktion des Antriebs auswirkt, da der Grunddruck P0 im Hydrospeicher **10** nahezu konstant gehalten wird.

So führt eine Temperaturerhöhung zu einer Erhöhung des Drucks PT in der Hydraulikkammer **8**, während im Hydrospeicher **10** durch eine Ausdehnung der mindestens teilweise flexiblen Außenwand **101** eine Volumenänderung ohne wesentliche Druckerhöhung stattfindet. Diese Druckdifferenz zwischen Hydraulikkammer **8** und Hydrospeicher **10** führt wiederum solange zu einem Ausgleich von Hydraulikflüssigkeit **14** durch die Drosselbohrung **91**, bis der Druck PT in der Hydraulikkammer **8** wieder auf den Grunddruck P0 abgesunken ist.

Durch die vollständige Anlenkung des Hydrospeichers **10** an der Ventilnadel **5** haben auch durch einen wechselnden Druck PF des Fluids F in der Fluidkammer **7** bedingte mechanische Deformationen des Hydrospeichers **10** und die dadurch an den Anlenkpunkten des Hydrospeichers **10** hervorgerufenen Kräfte keinen signifikanten Einfluß auf die Funktion (d. h. die Kräftebilanz) des Antriebs.

Die Drosselbohrung **91** ist so abgestimmt, daß sich eine schnelle, durch die Ansteuerung des Piezoaktors **1** hervorgerufenen Änderungen des Drucks PT in der Hydraulikkammer **8** nur langsam abbauen.

Das hydraulische System, bestehend u. a. aus dem Hydrospeicher **10**, der Hydraulikkammer **8** und der Drosselbohrung **91**, ist hermetisch abgedichtet (insbesondere gegenüber dem Fluid F) und wird einmalig druckbefüllt, bevorzugt bei einem Grunddruck P0 im Bereich von 10–50 bar, bevorzugt mit einem synthetischen Öl. Das synthetische Öl besitzt den Vorteil, daß es inert und verschleißfrei ist und bei einer Temperaturänderung eine nur geringe Änderung seiner Viskosität erfährt.

Die durch den Grunddruck P0 auf die Sekundärmembran **61** wirkende rückstellende Kraft wird durch ein Federelement **11**, z. B. eine Spiraldruckfeder, geeignet kompensiert und zwar so, daß einerseits eine ausreichende Schließkraft zum Dichthalten der Ventilnadel **5** im Ventildichtsitz **12** zur Verfügung steht und andererseits die Ventilsitzkraft auf einen Wert begrenzt ist, bei dem eine Beschädigung des Ventildichtsitzes **12** ausgeschlossen ist. Der Hub der Ventilnadel **5** wird durch einen Anschlag **13** begrenzt.

Die durch den Grunddruck P0 des hydraulischen Systems (und gegebenenfalls durch den Druck PF des Fluids F) über

die Primärmembran **41** auf den Druckstempel **3** und den Piezoaktor **1** ausgeübte Druckkraft dient zur Rückstellung der primärseitigen Elemente **1**, **3** und zur Vermeidung einer Schädigung des Piezoaktors **1** durch eine Zugspannung. Zur Druckvorspannung des Piezoaktors **1** und zur Rückstellung der primärseitigen Elemente **1**, **3** wird vorteilhafterweise ergänzend eine am Druckstempel **3** angreifende Rohrfeder eingesetzt (ohne Abbildung). Die Rohrfeder wird an einem Ende am Gehäuse **2** und am anderen Ende am Primärkolben **42** befestigt und umschließt den Piezoaktor **1**.

Eine hydraulische Hubübersetzung vom Piezoaktor **1** auf die Ventilnadel **5** und wird durch eine geeignete Ausgestaltung der druckwirksamen Flächen von Primärmembran **41** und Sekundärmembran **61** erreicht, d. h. daß im Regelfall die Primärmembran **41** einen größeren hydraulisch wirksamen Durchmesser aufweist als die Sekundärmembran **61**. Bevorzugt ist eine Hubübersetzung von 6 : 1, bei einem Hub des Piezoaktors **1** von 40 µm und einem Hub der Ventilnadel **5** von 240 µm.

Je nach Anforderung kann aber auch eine Hubgleichheit oder -untersetzung eingestellt werden.

Bei einer gefüllten Fluidkammer **7** überlagert sich durch die Nachgiebigkeit der mindestens teilweise flexiblen Außenwand **101** des Hydrospeichers **10** der Druck PF des Fluids F in der Fluidkammer **7** dem Grunddruck P0 des Hydrospeichers **10** additiv. Somit beträgt der resultierende Druck PH der Hydraulikflüssigkeit **14** im Hydrospeicher **10** dem additiven Druck P0 + PF. Da der Druck PH im Hydrospeicher **10** andererseits über die Drosselbohrung **91** auch in der Hydraulikkammer **8** ansteht, ist die über der Sekundärmembran **61** abfallende Druckdifferenz zwischen Hydraulikkammer **8** und Fluidkammer **7** unabhängig von PF. Hierdurch wird eine von PF unabhängige statische hydraulische Schließkraft auf die Ventilnadel **5** gewährleistet. Bei einem Druck PF von 0–250 bar, typischerweise 100 bar, und einer druckwirksamen Fläche der Primärmembran **41** von mehr als 100 mm^2 ist eine optimale, sehr hohe und wegunabhängige mechanische Druckvorspannung des Piezoaktors **1** gegeben. Beispielsweise folgt aus einem Durchmesser des Piezoaktors **1** von 16 mm, und PF = 100 bar eine Druckvorspannung am Piezoaktor **1** von 2210 N. Dadurch wird ein parasitärer mechanischer Flußmechanismus, beispielsweise durch eine Spaltfederung, minimiert.

Eine Dosierung erfolgt beispielsweise in folgenden, anhand einer Benzin-Einspritzung in einen Verbrennungsmotor dargelegten Schritten:

Im Grundzustand ist die Fluidkammer **7** drucklos und die Ventilnadel **5** wird durch den auf die Sekundärmembran **61** wirkenden Grunddruck P0 in der Hydraulikkammer **8** (typischerweise P0 = 25 bar) dichtend im Ventilsitz **12** gehalten. Der Piezoaktor **1** ist entladen bzw. kurzgeschlossen.

Zum Starten des Verbrennungsmotors wird zunächst Fluid F, hier Benzin, unter einem Druck PF = 3 bar in die Fluidkammer **7** gefördert. Hierdurch steigen der Druck PH im Hydrospeicher **10** und damit der Druck PT in der Hydraulikkammer **8** geringfügig auf 28 bar an. Der Differenzdruck zwischen Hydraulikkammer **8** und Fluidkammer **7** über der Sekundärmembran **61** bleibt jedoch konstant.

Zur Vorbereitung eines Dosiervorgangs wird der Piezoaktor **1** (über einen hier nicht abgebildeten elektrischen Anschluß) auf seine Nennbetriebsspannung U0 aufgeladen und im geladenen Zustand gehalten. Die mit dem Aufladen verbundene axiale Ausdehnung des Piezoaktors **1** (Längseffekt in die d_{33}-Richtung) führt zu einem Anstieg des Drucks PT in der Hydraulikkammer **8** und folglich zu einer additiven Schließkraft auf die Ventilnadel **5**. Die zum Aufladen benötigte Pulsform des elektrischen Signals ist dabei unkritisch.

Mit einer durch die Geometrie der Drosselbohrung **91** und der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit **14** gegebenen Zeitkonstante (typischerweise 0,1 s–1 s) sinkt der Druck PT in der Hydraulikkammer **8** innerhalb kurzer Zeit wieder auf sein ursprüngliches Druckniveau von PT = PH = 28 bar. Der Grund dafür ist, daß der Hydrospeicher **10** aufgrund seiner teilweise flexiblen Außenwand **101** durch eine Volumenänderung das ursprüngliche Druckniveau PH = 28 bar beibehält. Der Piezoaktor **1** und die von ihm angetriebenen Druckstempel **3** und Primärmembran **41** befinden sich nun jedoch in der maximal ausgelenkten Position (typischer Hub = 20–60 µm).

Ausgehend von dieser Position kann die Dosiervorrichtung durch eine kurzzeitige Entladung des Piezoaktors **1** geöffnet werden, wobei die Einspritzdauer proportional zur Entladedauer des Piezoaktors **1** ist.

Durch das schnelle Entladen kontrahiert der Piezoaktor **1** um den Betrag seiner Leerlauf-Auslenkung, was einen Druckabfall in der Hydraulikkammer **8** unter das Standdruckniveau PH = P0 + PF und eine entsprechende Druckdifferenz über der Sekundärmembran **61** zur Folge hat. Die dadurch hervorgerufene Kraft führt zu einer Verschiebung der Sekundärmembran **61** und der an dieser befestigten Ventilnadel **5** in Richtung des Piezoaktors **1**, wodurch sich die Ventilnadel **5** vom Ventildichtsitz **12** abhebt. Dadurch wird das Ventil **16** geöffnet und es fließt Fluid F aus der Fluidkammer **7** durch eine Öffnung des Gehäuses **2** ab.

Zur vorteilhaften Steigerung der Reproduzierbarkeit der Einspritzmenge wird der Hub der Ventilnadel **5** durch einen Anschlag **13** auf definierte Werte begrenzt.

Während der Öffnungsdauer der Dosiervorrichtung gleicht sich der Druck PT der Hydraulikkammer **8** allmählich wieder an den Druck PH des Hydrospeichers **10** an, wodurch nach einer gewissen Zeit ein selbsttätiges, driftartiges Schließen der Dosiervorrichtung einsetzt. Dadurch ist im Falle eines Kurzschlusses oder einer Leitungsunterbrechung zum Piezoaktor **1** ein optimales Versagensverhalten gewährleistet.

Die erforderlichen Einspritzdauern von typischerweise 0,05 ms bis 10 ms lassen sich durch eine geeignete Abstimmung des Strömungswiderstandes in der Drosselbohrung **91** auf die Viskosität der Hydraulikflüssigkeit **14** über den gesamten Temperaturbereich auf einfache Weise erreichen. Dabei wird vorteilhafterweise ein synthetisches Öl mit einer geringen Temperaturabhängigkeit der Viskosität verwendet.

Zum aktiven Beenden des Dosiervorgangs wird der Piezoaktor **1** wieder auf die Nennbetriebsspannung U0 geladen und dadurch die an der Sekundärmembran **61** befestigte Ventilnadel **5** in den Ventildichtsitz **12** zurückbewegt. Die leichte Überfüllung der Hydraulikkammer **10** durch das während der Öffnungsphase des Ventils **16** in diese hineinströmende Hydraulikflüssigkeit **14** unterstützt vorteilhafterweise ein vollständiges und prellfreies Schließen des Ventils **16**.

Nach Erreichen einer Leerlaufdrehzahl des Motors wird, beispielsweise mittels einer mechanisch angetriebenen Benzin-Hochdruckpumpe, über die Zuleitung **15** der Druck in der Fluidkammer **7** hochgefahren, typischerweise innerhalb von 1–2 Sek auf typischerweise 100 bar. Über den Hydrospeicher **10** wird somit das gesamte geschlossenen hydraulische System auf einen Druck von PH = 125 bar aufgeladen. Der Differenzdruck über der Sekundärmembran **61** bleibt jedoch weiterhin konstant bei 25 bar.

Zur Unterbindung eines ungewollten Öffnens der Dosiervorrichtung beim Aufbau des Drucks PF muß der Ausgleichsvorgang zwischen Hydrospeicher **10** und Hydraulikkammer **8** schneller vonstatten gehen als der Druckaufbau im Hochdrucksystem. Andererseits müssen Drosselwiderstand und Viskosität der Hydraulikflüssigkeit **14** so aufein-

ander abgestimmt sein, daß die geforderte Einspritzdauer sicher erreicht wird. Beides ist problemlos möglich. Gegebenenfalls besteht die Möglichkeit, die Geschwindigkeit des Druckanstiegs im Hochdrucksystem durch Drosseln oder Speichervolumina geeignet zu reduzieren (ohne Abbildung). Das höhere Niveau des Drucks PF und der beim Laden bzw. Entladen des Piezoaktors **1** dann auftretende höhere Differenzdruck ermöglicht prinzipiell einen noch schnelleren Dosiervorgang (typischerweise t_{ein} und t_{aus} < 75 µs).

Beim Abstellen des Motors wird der kapazitive Piezoaktor **1** (typischerweise C ≈ 2,5 µF) zunächst im geladenen Zustand gehalten, d. h. daß der Injektor weiter geschlossen bleibt. Durch einen hochohmigen Ableitwiderstand (z. B. 1 MΩ parallel zum Piezoaktor **1**), der dauerhaft im Signalweg verbleiben kann, wird der Piezoaktor **1** so langsam entladen und damit zurückgestellt, daß ein ungewolltes Öffnen der Dosiervorrichtung ausgeschlossen ist.

Fig. 2 zeigt einen typischen Betriebsablauf einer Dosiervorrichtung anhand einer am Piezoaktor **1** anliegenden Spannung U (Ordinate), aufgetragen gegen eine Zeit t (Abszisse).

Im Grundzustand befindet sich die Spannung auf Grundniveau ("Grd."), beispielsweise 0 V. Zur Herstellung einer Betriebsbereitschaft ("get ready") wird die Spannung U auf eine Nennbetriebsspannung U0 erhöht. Zur Dosierung ("injection") wird die Spannung U auf das Grundniveau zurückgefahren, z. B. durch Ausschalten des Piezoaktors **1**, und nach einer Haltezeit wieder auf die Nennbetriebsspannung U0 hochgefahren.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm der Auslenkung A des druckvorgespannten Piezoaktors **1** in µm gegen die an ihn angelegte Spannung U in Volt. Die ohne Pfeile versehene Kurve beschreibt ein Durchfahren der positiven und negativen Betriebsspannung des Piezoaktors **1**. Dieser wird dabei wechselseitig umgepolt (Umklappen der Polarisation). Die verwendete Kennlinie des vorgespannten Piezoaktors **1** ist als eine mit Pfeilen gekennzeichnete Schleife dargestellt.

Die relative Längenänderung Δl/l eines auf dem piezoelektrischen d_{33}-Längseffekt basierenden Piezoaktors **1** der Länge l beträgt typischerweise 0,10%–0,14%. Zur Vermeidung einer Umpolung wird der Piezoaktor **1** herkömmlicherweise ausschließlich mit einer positiven Betriebsspannung in Polungsrichtung betrieben (schraffierter Bereich). Es ergibt sich in dieser unipolaren Betriebsart eine positive Längenänderung Δl_n bei einer Spannungsdifferenz ΔU_n.

Der erweiterte Betriebsbereich des druckvorgespannten Piezoaktors **1** ermöglicht demgegenüber eine kurzzeitige Aussteuerung bis in den negativen Spannungsbereich. Dadurch wird eine deutlich höhere relative Längenänderung Δl_i bis zu 0,3 Δl_n bei einer entsprechenden Spannungsdifferenz ΔU_i erreicht. Vor einer Umpolarisation wird die Betriebsspannung jedoch wieder hochgefahren. Der erweiterte Betriebsbereich ergibt einen Vorteil hinsichtlich der Aktorbaugröße und der Herstellungskosten. Eine solche Betriebsweise ist zulässig, weil der Piezoaktor **1** die überwiegende Zeit (während der Einspritzpausen) durch die anliegende Nennbetriebsspannung U0 jeweils nachpolarisiert wird.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform der Dosiervorrichtung als Seitenansicht in Schnittdarstellung.

Hier sind das primärseitige Trennelement **4** bzw. das sekundärseitige Trennelement **6** in Form eines in einer Bohrung des Gehäuses **1** geführten Primärkolbens **42** bzw. Sekundärkolbens **62** ausgeführt.

Der Primärkolben **42** liegt mit einer Stirnseite auf Anlage mit dem Piezoaktor **1** und begrenzt mit seiner dem Piezoaktor **1** entgegengesetzten Stirnseite die Hydraulikkammer **8**.

Auf der dem Primärkolben **42** gegenüberliegenden Seite wird die Hydraulikkammer **8** durch einen Sekundärkolben **62** begrenzt. Der Hydrospeicher **10** wird durch die flexible Außenwand **101** und das Gehäuse gebildet. Die Ventilnadel **5** reicht durch Hydraulikkammer **8**, die über die Passung **92** zwischen Gehäuse **2** und Sekundärkolben **62** gedrosselt mit der Hydraulikkammer **8** hydraulisch in Verbindung steht. Die Passung **92** in Form eines Ringspaltes übt die Funktion eines Strömungswiderstandes aus. Sie entspricht der Funktion der Drosselbohrung **91**.

Die teilweise flexible Außenwand **101** des Hydrospeichers **10** ist am Gehäuse **2** und an der Ventilnadel **5** fixiert. Die durch den Druck P0 bzw. PH im Hydrospeicher **10** auf die mindestens teilweise flexible Außenwand **101** ausgeübte Kraft wird durch ein Federelement **11**, bevorzugt eine Spiraldruckfeder, soweit kompensiert, daß eine zum Dichthalten des Ventils **16** noch ausreichende Schließkraft übrigbleibt. Dies geschieht dadurch, daß das unter einem Druck stehende Federelement **11** sich am Gehäuse **2** und an der Ventilnadel **5** abstützt.

Der Doppelkolbenantrieb besitzt günstigerweise im Unterschied zur Verwendung einer Membran keinen parasitären Kraftnebenschluß, wodurch der hydraulische Wirkungsgrad höher liegt.

Die Passung zwischen Gehäuse **2** und Primärkolben **42** wird bevorzugt durch einen Dichtring **17**, vorzugsweise aus Elastomermaterial, hydraulisch abgedichtet, so daß keine Hydraulikflüssigkeit **14** an den Piezoaktor **1** gelangt. Der Dichtring **17** wird zur Gewährleistung einer hohen hydraulischen Steifigkeit mit hohem Verpreßgrad in eine Nut des Primärkolbens **42** eingebaut. Bedingt durch den geringen Hub des Piezoaktors 1 wird der Dichtring **17** lediglich elastisch verformt, so daß vorteilhafterweise keine Gleitreibung auftritt, die zu einem Verschleiß des Dichtrings **17** führen könnte. Außer einem Dichtring **17** kann beispielsweise auch eine Sicke aus Metall oder Gummi verwendet werden.

Der Primärkolben **42** ist mit einem sehr geringen lateralen Spiel in das Gehäuse **2** eingepaßt (typischerweise mit einem Spaltmaß im Bereich einiger Mikrometer). Hierdurch wird die Einwirkung der in der Hydraulikkammer **8** auftretenden Druckspitze auf den Dichtring **17** gering gehalten. Zur Verhinderung einer Spalteinwanderung des Dichtringes **17** kann ein zusätzlicher Stützring vorgesehen werden (ohne Abbildung). Ebenso ist der Sekundärkolben **62** mit nur geringem lateralen Spiel in das Gehäuse **2** eingepaßt.

Die Position des Piezoaktors **1** kann gehäuseseitig über eine entlang der Bohrung verschiebbare Scheibe **18** und eine daran anliegende Verschiebevorrichtung **19**, beispielsweise eine Schraube, verstellt werden.

Die Funktionsweise dieses Ausführungsbeispieles ist der Arbeitsweise des in **Fig.** 1 dargestellten Ausführungsbeispieles grundsätzlich analog. Eine Biegung der Membranen **41**, **61** wird hier durch eine Verschiebung der Kolben **42**, **62** ersetzt. In diesem Ausführungsbeispiel fällt der Druckstempel **3** weg.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Dosiervorrichtung als Schnittdarstellung in Seitenansicht. Hier wird eine kombinierte kolben- und membranhydraulische Hubübertragung verwendet.

Die primärseitigen Elemente Piezoaktor **1**, Druckstempel **3** und Primärmembran **41** entsprechen den in **Fig.** 1 aufgezeichneten Elementen. Die sekundärseitigen Elemente wie beispielsweise der Sekundärkolben **62**, Hydrospeicher **10** und Passung **92** entsprechen dabei den entsprechenden Elementen aus **Fig.** 4. Der Betrieb dieses Ausführungsbeispieles geschieht entsprechend der Wirkweise der in **Fig.** 1 und **Fig.** 4 beschriebenen Elemente.

Es kann auch eine beliebige andere Kombination geeigneter Trennelemente **4**, **6** verwendet werden, z. B. mittels

Metallbälgen oder Schläuchen.

Fig. 6 zeigt Zustandsgrößen der Dosiervorrichtung, aufgetragen gegen die Zeit t, bei der Herstellung einer Betriebsbereitschaft (**Fig.** 6a und 6b) sowie während eines längeren Spannungsabfalls am Piezoaktor **1** (**Fig.** 6c und 6d).

Fig. 6a zeigt die am Piezoaktor **1** anliegende Spannung U, die von einem Grundniveau U = 0 V ab einer Zeit t = 0 s auf die Nennbetriebsspannung U0 ansteigt.

Fig. 6b zeigt die auf die Ventilnadel **5** durch die Betätigung des Piezoaktors **1** in **Fig.** 6a zusätzlich wirkende Schließkraft F_N (maximal ca. 88 N) beim initialen Laden des Piezoaktors **1**. Diese Schließkraft F_N klingt innerhalb von 20 ms auf unter 10% des maximalen Wertes ab.

Fig. 6c zeigt die am Piezoaktor **1** angelegte Spannung U an, aufgetragen gegen die Zeit t für einen längeren Spannungsabfall.

Die Spannung U sinkt von der Nennbetriebsspannung U0 auf das Grundniveau ab, beispielsweise zum Öffnen des Ventils **16** oder bei einem Ausfall der am Piezoaktor **1** anliegenden Spannung U, und steigt danach bei t = 0,25 s wieder auf U0 an.

Fig. 6d zeigt das zu **Fig.** 6c gehörige Diagramm des Hubs u_V der Ventilnadel **5**, aufgetragen gegen die Zeit t. Man erkennt deutlich das selbsttätige Zurückdriften der Ventilnadel **5** innerhalb von 140 ms bei einer extrem langen Betätigungsdauer, wie sie z. B. bei einer Fehlfunktion des Piezoaktors auftritt.

Fig. 7 illustriert das erwartete Schaltverhalten anhand des in der Hydraulikkammer **8** auftretenden Drucks PT in MPa (**Fig.** 7a) und der dazu korrespondierenden Kraft F_N auf die Ventilnadel **5** in beliebigen Einheiten (**Fig.** 7b), aufgetragen jeweils gegen die gleiche Zeit t.

Fig. 7a zeigt zu Beginn der Auftragung einen Druck PT entsprechend dem Grunddruck P0 in der Hydraulikkammer **8** von ca. 3 MPa (links) an, wobei die Fluidkammer **7** drucklos betrieben wird (Abschnitt I). Eine erste Druckspitze a mit einem Druckanstieg auf PT $\approx$ 13 MPa und einem folgenden Druckabfall wird aufgrund des anfänglichen Aufladens des Piezoaktors **1** erzeugt.

Mit weiter fortschreitender Zeit t (in Richtung nach rechts) werden Druckschwankungen für Dosiervorgänge Z im drucklosen Zustand der Fluidkammer **7** (Abschnitt I) und Dosiervorgänge L, M während eines Druckaufbaus (Abschnitt II) in der Fluidkammer **7** gezeigt. Wenn in der Fluidkammer **7** ein gewünschter Hochdruckzustand (Abschnitt III) erreicht ist, wird die Hydraulikkammer **8** stärker belastet, beispielsweise indem der Piezoaktor **1** mit einer höheren Spannung beaufschlagt wird oder schneller angesteuert wird. Im Hochdruckzustand ist die Gefahr einer Kavitation in der Hydraulikkammer **8** vernachlässigbar. Man erkennt, daß die Höhe der Druckschwankungen in den Abschnitten I und II im wesentlichen konstant gehalten wird.

Nach einem Ausschalten b des Motors tritt ein Druckabfall c in der Hydraulikkammer **8** bis auf den Grunddruck P0 = 3 MPa auf.

In **Fig.** 7b ist die dem Verlauf von **Fig.** 7a analoge Kraft F_N auf die Ventilnadel **5** aufgetragen.

Nach einer anfänglichen Schließkraft $F_{N,0}$ auf die Ventilnadel **5** kommt es beim anfänglichen Aufladen des Piezoaktors **1** zu einer Kraftspitze d, die analog zur Druckspitze a des Drucks PT ist.

Die darauf folgenden Schwankungen der Kraft F_N sind wiederum analog und korrespondieren mit den Druckschwankungen des Drucks PT. Das Vorzeichen von F_N entspricht einem Öffnen und Schließen des Ventils **16**. Im Gegensatz zum Druck PT ist die Kraft F_N unabhängig vom Druck PF des Fluids F in der Fluidkammer **7**. Dies zeigt deutlich die vorteilhafte Wirkung des Hydrospeichers **10** zur schnellen und präzisen Steuerung der Dosierung von Fluid.

Nach dem Ausschalten des Verbrennungsmotors fällt die Kraft F_N auf die Ventilnadel **5** wieder auf die anfängliche Schließkraft $F_{N,0}$ zurück.

Der Primärantrieb der Dosiervorrichtung in ist selbstverständlich nicht auf einen piezoelektrischen Aktor beschränkt. Vielmehr kann auch ein geeigneter elektro- oder magnetostriktiver Aktor eingesetzt werden.

Die Form der Dosiervorrichtung ist nicht auf die in den Ausführungsbeispielen dargestellt Form beschränkt. Es kann beispielsweise von der weitgehend axialsymmetrischen Form abgewichen werden, wobei aber meist ein Verlust des Wirkungsgrades hingenommen werden muß.

Beispielsweise kann der Piezoaktor schräg auf die primärseitige Trennvorrichtung (**4**, **41**, **42**) auftreffen, oder die primärseitige Trennvorrichtung (**4**, **41**, **42**) und die sekundärseitige Trennvorrichtung (**6**, **61**, **62**) sind seitlich zueinander versetzt oder angewinkelt.

Patentansprüche

1. Dosiervorrichtung, aufweisend
   - ein Gehäuse (**2**) mit einem in dessen Innenraum plazierten Stellantrieb,
   - eine von einem primärseitigen Trennelement (**4**, **41**, **42**) und einem sekundärseitigen Trennelement (**6**, **61**, **62**) begrenzte Hydraulikkammer (**8**), die mit einer Hydraulikflüssigkeit (**14**) gefüllt ist und die den Innenraum des Gehäuses (**2**) in eine mit einem Fluid (F) druckbefüllbare Fluidkammer (**7**) und einen Raum für den Stellantrieb trennt,
   - eine Ventilnadel (**5**) in der Fluidkammer (**7**), die mit dem sekundärseitigen Trennelement (**6**, **61**, **62**) verbunden ist,
   - einen mit der Hydraulikflüssigkeit (**14**) gefüllten Hydrospeicher (**10**) mit einer mindestens teilweise flexiblen Außenwand (**101**), der mit der Ventilnadel (**5**) verbunden ist,
   - eine gedrosselte Verbindungsleitung (**9**, **91**, **92**), die den Hydrospeicher (**10**) mit der Hydraulikkammer (**8**) verbindet,

   so daß
   - eine schnelle Bewegung des Stellantriebs über das primärseitige Trennelement (**4**, **41**, **42**) und die Hydraulikkammer (**8**) auf das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) und damit auf die Ventilnadel (**5**) hydraulisch übertragbar ist,
   - über die gedrosselte Verbindungsleitung (**9**, **91**, **92**) ein Druck (PT) in der Hydraulikkammer (**8**) langsam an einen Druck (PH) im Hydrospeicher (**10**) angleichbar ist,
   - durch die Bewegung der Ventilnadel (**5**) ein Öffnen und Schließen eines Ventils (**16**) zur dosierten Abgabe des Fluid (F) steuerbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die schnelle Bewegung des Stellantriebs hydraulisch hubtransformiert auf das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) übertragbar ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei der der Stellantrieb ein Piezoaktor (**1**), ein elektrostriktiver Aktor oder ein magnetostriktiver Aktor ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der das primärseitige Trennelement (**4**) eine Primärmembran (**41**) ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der zwischen Stellantrieb und Primärmembran (**41**) ein Druckstempel (**3**) angebracht ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei

der das primärseitige Trennelement (**4**) ein Primärkolben (**42**) ist, welcher in einer Bohrung des Gehäuses (**2**) verschiebbar angebracht ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der die Passung zwischen Primärkolben (**42**) und Gehäuse (**2**) mittels eines Dichtringes (**17**) hydraulisch abdichtbar ist.

8. Vorrichtung nach einem vorhergehenden Ansprüche, bei der das sekundärseitige Trennelement (**6**) eine Sekundärmembran (**61**) ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der die gedrosselte Verbindungsleitung (**9**) in Form einer durch die Ventilnadel (**5**) geführten Drosselbohrung (**91**) realisierbar ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 9, bei der der Hydrospeicher (**10**)

- durch die flexible Außenwand (**101**) und einen Teil der Ventilnadel (**5**) gebildet wird und
- sich innerhalb der Fluidkammer (**7**) befindet.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der das sekundärseitige Trennelement (**6**) ein Sekundärkolben (**62**) ist, welcher in einer weiteren Bohrung des Gehäuses (**2**) verschiebbar angebracht ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der die gedrosselte Verbindungsleitung (**9**) in Form einer leckagebehafteten Passung (**92**) zwischen Sekundärkolben (**62**) und Gehäuse (**1**) realisierbar ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 12, bei der der Hydrospeicher (**10**)

- durch die flexible Außenwand (**101**), einen Teil der Wand der Fluidkammer (**7**) und einen Teil der Ventilnadel (**5**) gebildet wird und
- am Gehäuse (**2**) und der Ventilnadel (**5**) befestigt ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mittels mindestens eines Federelementes (**11**) eine von dem sekundärseitigen Trennelement (**6**) auf die Ventilnadel (**5**) ausgeübte Kraft mindestens teilweise kompensierbar ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei der das Federelement (**11**) im Fluidraum (**7**) angebracht ist und sich einerseits am Gehäuse (**2**) und andererseits an der Außenwand des Hydrospeichers (**10**) abstützt.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der zur Druckvorspannung des Stellantriebs eine Rohrfeder oder Tellerfeder vorhanden ist.

17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Hydraulikflüssigkeit (**14**) ein synthetisches Öl ist.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Ventilnadel (**5**) im geschlossenen Zustand dichtend auf einem Ventildichtsitz aufliegt, so daß die Fluidkammer (**7**) gegen einen Außenraum abdichtbar ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Stellantrieb ein Vielschicht-Piezoaktor (**1**) ist.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Hub der Ventilnadel (**5**) durch einen Anschlag (**13**) begrenzbar ist.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Kraftstoff-Einspritzung.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei das Fluid (F) Benzin, Diesel, Kerosin, Petroleum Alkohol oder Methan ist.

23. Verfahren zur Dosierung von Fluid, bei dem

- der Innenraum eines Gehäuses (**2**) durch eine Hydraulikkammer (**8**) in eine Fluidkammer (**7**) und einen Raum für einen Stellantrieb untertrennt wird, wobei die Hydraulikkammer (**8**) von einem primärseitigen Trennelement (**4**, **41**, **42**) und einem sekundärseitigen Trennelement (**6**, **61**, **62**) begrenzt wird und mit einer Hydraulikflüssigkeit (**14**) druckbeaufschlagt wird,
- eine in der Fluidkammer (**7**) befindliche Ventilnadel (**5**) mit dem sekundärseitigen Trennelement (**6**, **61**, **62**) verbunden wird,
- ein mit einer teilweise flexiblen Außenwand versehener Hydrospeicher (**10**) mit der Hydraulikflüssigkeit (**14**) gefüllt und mit der Ventilnadel (**5**) verbunden wird,
- der Hydrospeicher (**10**) über eine gedrosselte Verbindungsleitung (**9**, **91**, **92**) mit der Hydraulikkammer (**8**) hydraulisch verbunden wird,

so daß

- eine schnelle Bewegung des Stellantriebs über das primärseitige Trennelement (**4**, **41**, **42**) und die Hydraulikkammer (**8**) auf das sekundärseitigen Trennelement (**6**, **61**, **62**) und damit auf die Ventilnadel (**5**) hydraulisch übertragen wird,
- über die gedrosselte Verbindungsleitung (**9**, **91**, **92**) ein Druck (PT) in der Hydraulikkammer (**8**) vergleichsweise langsam an einen resultierenden Druck (PH) im Hydrospeicher (**10**) angeglichen wird,
- über die Bewegung der Ventilnadel (**5**) ein Öffnen und Schließen eines Ventils (**16**) zur dosierten Abgabe von Fluid (F) gesteuert wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem

- in Ruhestellung der Stellantrieb elongiert wird, wodurch die Hydraulikkammer (**8**) zusammengedrückt wird, und das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) so in Richtung der Fluidkammer (**7**) bewegt wird, daß die Ventilnadel (**5**) das Ventil (**16**) verschließt,
- zu Beginn eines Dosiervorgangs der Stellantrieb kontrahiert wird, wodurch die Hydraulikkammer (**8**) entlastet wird, so daß das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) in Richtung der Hydraulikkammer (**8**) bewegt wird, wodurch die Ventilnadel (**5**) das Ventil (**16**) öffnet, und Fluid (F) dosiert aus der Fluidkammer (**7**) in den Außenraum abgegeben wird,
- zur Beendigung des Dosiervorgangs der Stellantrieb elongiert wird, wodurch die Hydraulikkammer (**8**) wieder zusammengedrückt wird, so daß das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) in Richtung der Fluidkammer (**7**) bewegt wird, wodurch die Ventilnadel (**5**) das Ventil (**16**) schließt.

25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, bei der die schnelle Bewegung des Piezoaktors (**1**) hydraulisch hubtransformiert auf das sekundärseitige Trennelement (**6**, **61**, **62**) übertragen wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 25, bei der als Stellantrieb ein Piezoaktor (**1**), ein elektrostriktiver Aktor oder ein magnetostriktiver Aktor eingesetzt wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, bei dem das primärseitige Trennelement (**4**) eine Primärmembran (**41**) ist, deren Auslenkung durch die Bewegung des Stellantriebs gesteuert wird.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, bei dem das primärseitige Trennelement (**4**) ein Primärkolben (**41**) ist, dessen Verschiebung durch die Bewegung des Stellantriebs gesteuert wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, bei

dem das sekundärseitige Trennelement (**6**) eine Sekundärmembran (**61**) ist, deren Auslenkung durch den Druck der Hydraulikflüssigkeit (**14**) in der Hydraulikkammer (**8**) gesteuert wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, bei dem das sekundärseitige Trennelement (**6**) ein Sekundärkolben (**62**) ist, dessen Auslenkung durch den Druck der Hydraulikflüssigkeit (**14**) in der Hydraulikkammer (**8**) gesteuert wird.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 30, bei dem ein Grunddruck (P0) der Hydraulikflüssigkeit (**14**) 10 bis 50 bar beträgt.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 31, bei dem ein Druck (PF) des Fluids (F) 0 bis 250 bar beträgt.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 32, bei dem der Piezoaktor (**1**) 20 µm bis 60 µm ausgelenkt wird.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 33, bei dem die Ventilnadel (**5**) 60 µm bis 360 µm ausgelenkt wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Nummer: **DE 198 38 862 A1**
Int. Cl.[7]: **G 01 F 13/00**
Offenlegungstag: 9. März 2000

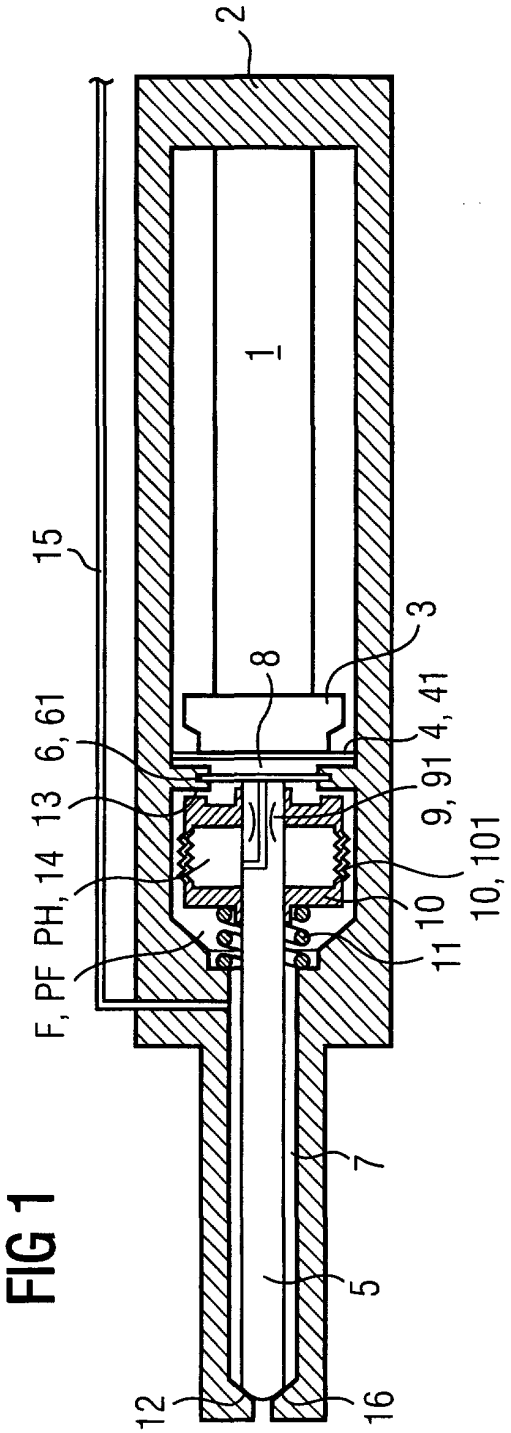


FIG 1

Nummer: DE 198 38 862 A1
Int. Cl.[7]: G 01 F 13/00
Offenlegungstag: 9. März 2000

FIG 2

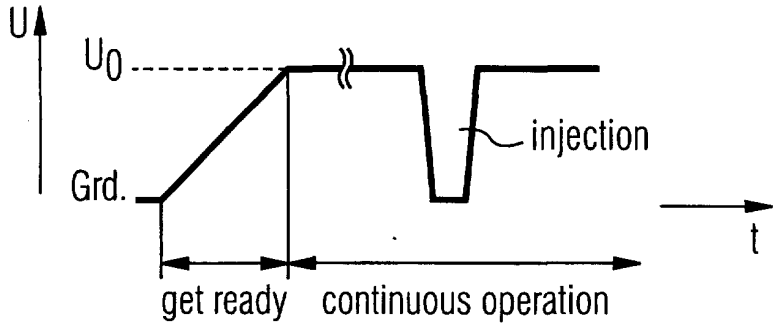
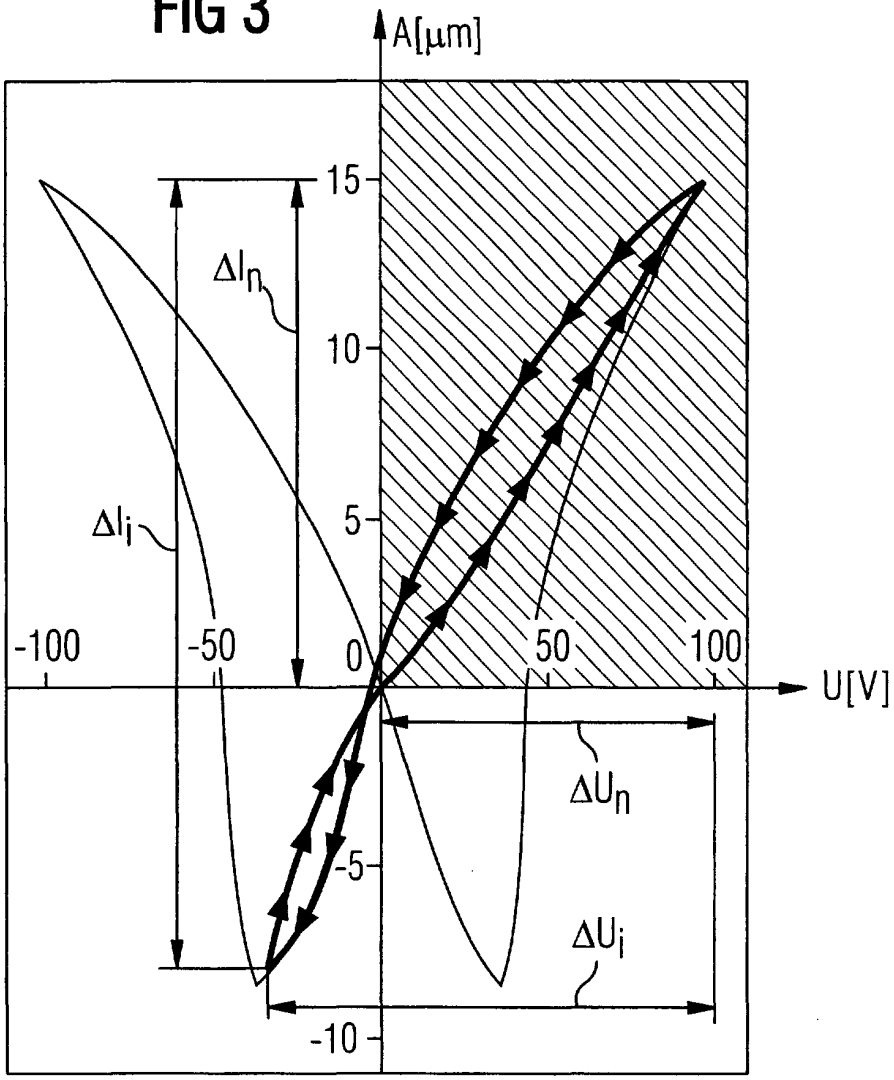


FIG 3



Nummer: **DE 198 38 862 A1**
Int. Cl.[7]: **G 01 F 13/00**
Offenlegungstag: 9. März 2000

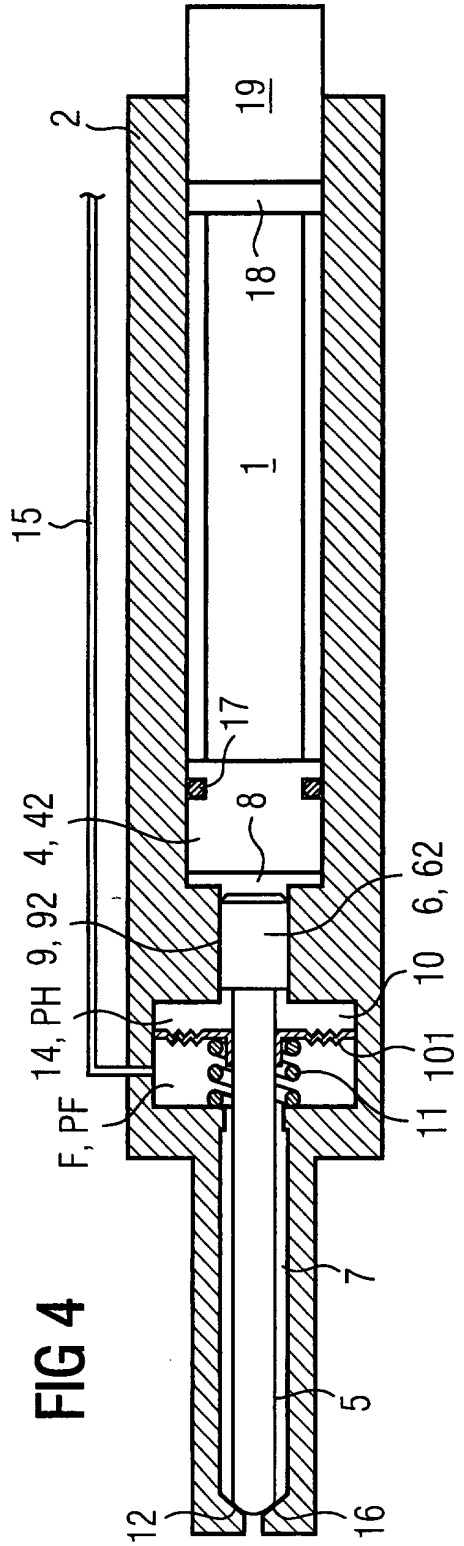


FIG 4

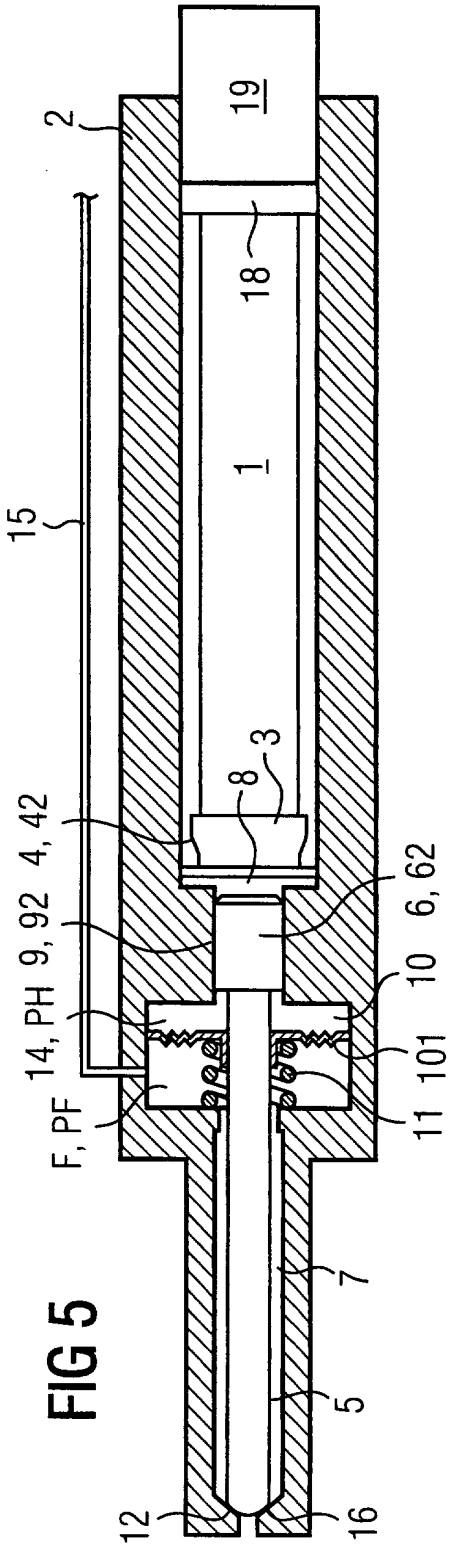


FIG 5

Nummer: DE 198 38 862 A1
Int. Cl.[7]: G 01 F 13/00
Offenlegungstag: 9. März 2000

FIG 6a

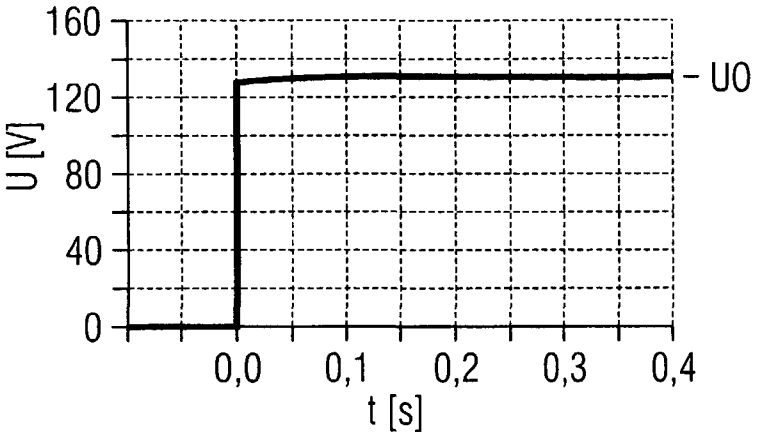


FIG 6c

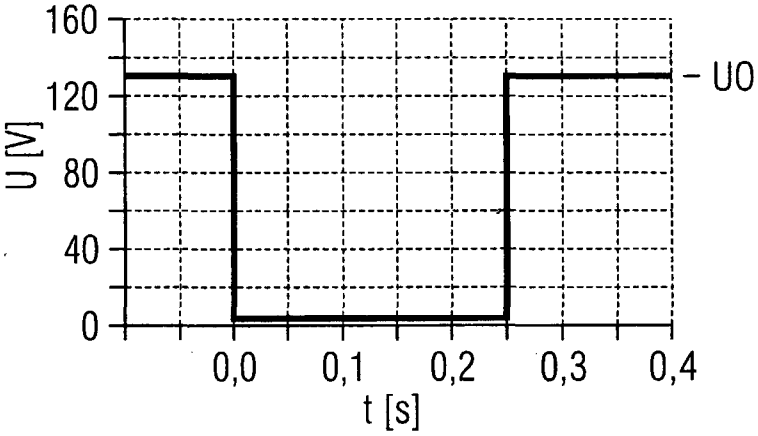


FIG 6b

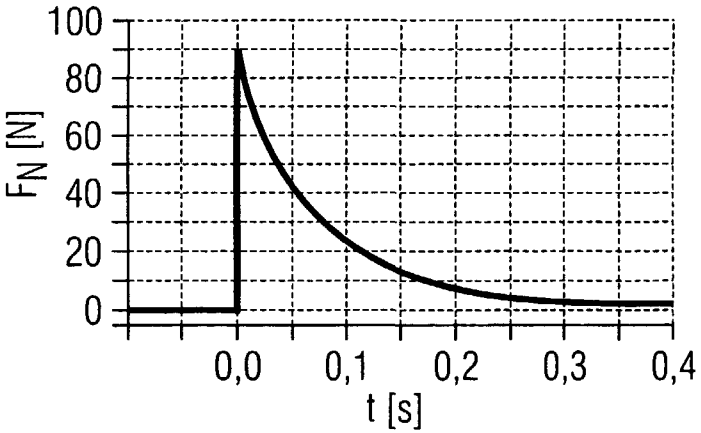
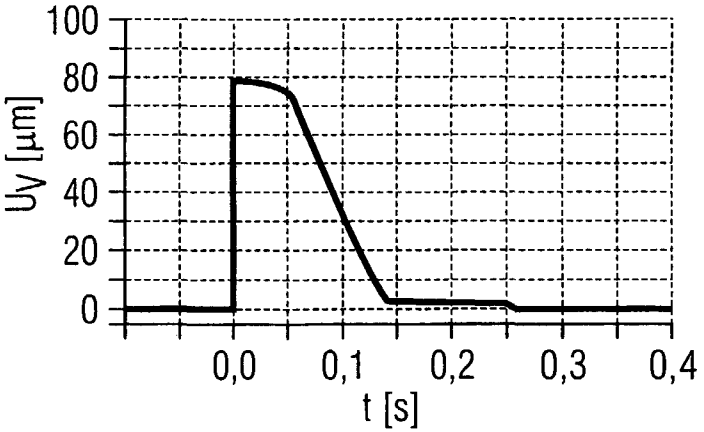


FIG 6d



Mercedes EX1005, Page 13 of 14
Mercedes v. Westport
IPR2023-00351

Nummer: DE 198 38 862 A1
Int. Cl.7: G 01 F 13/00
Offenlegungstag: 9. März 2000

FIG 7a

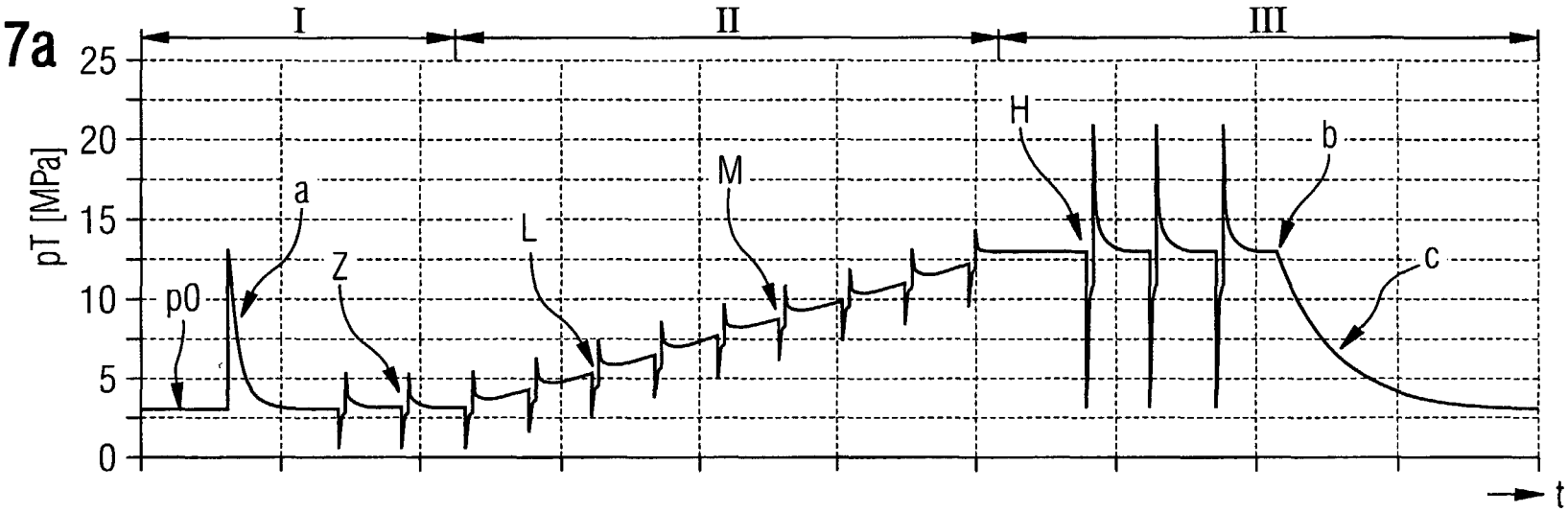
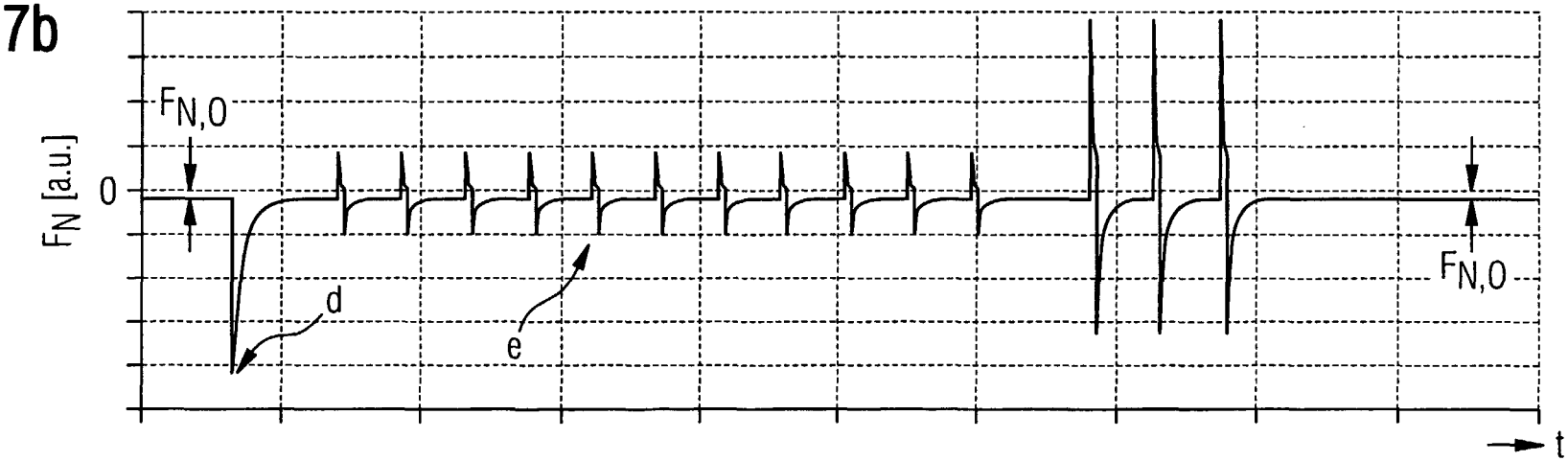


FIG 7b



Mercedes EX1005, Page 14 of 14
Mercedes v. Westport
IPR2023-00351