



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 25 387 T2 2007.09.27**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 325 226 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 25 387.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/31850**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 983 946.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/031347**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.10.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **18.04.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.07.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **20.12.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F02M 51/06 (2006.01)**
F02M 61/16 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
239290 P 11.10.2000 US

(73) Patentinhaber:
**Siemens VDO Automotive Corp., Auburn Hills,
Mich., US**

(74) Vertreter:
Berg, P., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 80339 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:
**LORRAINE, R., Jack, Harrisburg, VA 17104, US;
KAPPEL, Andreas, 85649 Munich, DE; ULIVIERI,
Enrico, 81669 Munich, DE; GOTTLIEB, Bernhard,
81739 Munich, DE; FISCHER, Bernhard, 84513
Toging, DE**

(54) Bezeichnung: **AUSGLEICHSVORRICHTUNG MIT EINER FLEXIBLEN MEMBRAN UND INNEREM FÜLLROHR
FÜR EIN EINSPRITZVENTIL UND VERFAHREN**

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] Diese Patentanmeldung beansprucht die Vorteile der vorläufigen Patentanmeldung SN 60/239.290, eingereicht am 11. Oktober 2000.

Gebiet der Erfindung

[0002] Die Erfindung betrifft allgemein sich in der Länge ändernde elektromechanische Festkörperaktoren wie zum Beispiel einen Aktor auf Basis einer elektrischen oder magnetischen Drossel oder einen Festkörperaktor. Speziell betrifft die vorliegende Erfindung eine Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe für einen sich in der Länge ändernden Aktor und spezieller eine Vorrichtung und ein Verfahren zum hydraulischen Ausgleich eines piezoelektrisch betätigten Hochdruck-Kraftstoffeinspritzventils für Kraftmaschinen mit innerer Verbrennung.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Ein bekannter Festkörperaktor umfasst eine Keramikstruktur, deren axiale Länge sich durch Anlegen einer Betriebsspannung oder eines Magnetfelds ändern kann. Es wird davon ausgegangen, dass die axiale Länge sich bei typischen Anwendungen um beispielsweise etwa 0,12 % ändern kann. Es wird davon ausgegangen, dass sich bei einer Stapelanordnung von piezoelektrischen Elementen eines Festkörperaktors die Änderung der axialen Länge als Funktion der Zahl der Elemente im Aktor vergrößert. Wegen der Art des Festkörperaktors wird davon ausgegangen, dass das Anlegen einer Spannung zu einer sofortigen Ausdehnung des Aktors und zu einer sofortigen Bewegung jedes Bauteils führt, das mit dem Aktor verbunden ist. Es wird davon ausgegangen, dass im Bereich der Automobilindustrie, insbesondere im Bereich Kraftmaschinen mit innerer Verbrennung, ein Bedarf besteht, ein Einspritzventilelement präzise zu öffnen und zu schließen, um Kraftstoffstrahl und -verbrennung zu optimieren. Daher wird für Kraftmaschinen mit innerer Verbrennung davon ausgegangen, dass neuerdings Festkörperaktoren zum präzisen Öffnen und Schließen des Einspritzventilelements eingesetzt werden.

[0004] DE-A-19856617 beschreibt eine hydraulische Ausgleichsvorrichtung für einen sich in der Länge ändernden Aktor mit zwei Kolben, die einen fluidgefüllten Hohlraum zwischen denselben umschließen. Ein Spalt zum Füllen des Hohlrums ist so bemessen, dass ein kurzzeitiger Druckanstieg nicht ausgeglichen wird, länger andauernde Druckdifferenzen jedoch ausgeglichen werden.

[0005] Es wird davon ausgegangen, dass die Bauteile einer Kraftmaschine mit innerer Verbrennung während des Betriebs erheblichen Temperaturschwankungen unterliegen, die zu einer thermischen

Ausdehnung oder Kontraktion der Motorbauteile führen. Es wird beispielsweise davon ausgegangen, dass eine Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe einen Ventilkörper umfasst, der sich aufgrund der vom Motor erzeugten Wärme während des Betriebs ausdehnen kann. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass ein Ventilelement, das in dem Ventilkörper betätigt wird, sich aufgrund des Kontakts mit relativ kaltem Kraftstoff zusammenziehen könnte. Wenn ein Festkörperaktor für das Öffnen und Schließen eines Einspritzventilelements verwendet wird, wird davon ausgegangen, dass die Temperaturschwankungen zu Bewegungen des Ventilelements führen können, die als ein unzureichender Öffnungshub oder ein unzureichender Schließhub charakterisiert werden können. Es wird davon ausgegangen, dass dies wegen der Eigenschaft der geringen thermischen Ausdehnung des Festkörperaktors im Vergleich zu den thermischen Ausdehnungseigenschaften anderer Bauteile des Kraftstoffeinspritzventils oder Motors geschieht. Zum Beispiel wird davon ausgegangen, dass eine Differenz zwischen der thermischen Ausdehnung des Gehäuses und des Aktorstapels größer als der Hub des Aktorstapels sein kann. Daher wird davon ausgegangen, dass alle Kontraktionen oder Ausdehnungen eines Ventilelements eine erhebliche Wirkung auf die Funktionsweise des Kraftstoffeinspritzventils haben können.

[0006] Es wird davon ausgegangen, dass herkömmliche Verfahren und Vorrichtungen, die die temperaturbedingten Änderungen ausgleichen, die sich auf die Funktionsweise des Festkörperaktors auswirken, Nachteile haben, die darin bestehen, dass sie entweder nur annähernd die Längenänderung ausgleichen, dass sie nur einen Längenänderungsausgleich für den Festkörperaktor bieten, oder dass sie nur für einen engen Bereich von Temperaturänderungen die Längenänderung des Festkörperaktors in einer ausreichend genauen Näherung bewirken.

[0007] Es wird davon ausgegangen, dass Bedarf besteht, eine Temperatenausgleichsvorrichtung bereitzustellen, die die Nachteile herkömmlicher Verfahren überwindet.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt hydraulische Ausgleichsvorrichtungen, eine Kraftstoffeinspritzventil und Verfahren für den Ausgleich von thermischem Verzug eines Kraftstoffeinspritzventils gemäß den beigefügten Ansprüchen bereit.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0009] Die beigefügten Zeichnungen, die in diese Patentschrift einbezogen sind und einen Bestandteil derselben darstellen, zeigen die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung und dienen

zusammen mit der oben gegebenen allgemeinen Beschreibung und der unten gegebenen ausführlichen Beschreibung zur Erklärung der Merkmale der Erfindung.

[0010] [Abb. 1](#) ist eine Darstellung im Schnitt einer Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe mit einem Festkörperaktor und einer Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe einer bevorzugten Ausführungsform.

[0011] [Abb. 2A](#) ist eine vergrößerte Ansicht der Vorrichtungsbaugruppe zum thermischen Ausgleich aus [Abb. 1](#).

[0012] [Abb. 2B](#) ist eine vergrößerte Ansicht einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtungsbaugruppe zum thermischen Ausgleich.

[0013] [Abb. 3](#) ist eine Darstellung des druckempfindlichen Ventils aus den [Abb. 2A](#) bzw. [Abb. 2B](#) im Betrieb.

[0014] [Abb. 4](#) ist eine Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform, die die ineinander angeordnete Bauweise aus [Abb. 2B](#) verwendet.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0015] Es wird auf die [Abb. 1](#) bis [Abb. 4](#) Bezug genommen, in denen mehrere bevorzugte Ausführungsformen einer Vorrichtungsbaugruppe zum thermischen Ausgleich dargestellt sind. Insbesondere [Abb. 1](#) zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **10**, die einen Festkörperaktor aufweist, der vorzugsweise einen Festkörperaktorstapel **100** und eine Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** für den Stapel **100** umfasst. Die Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **10** umfasst Eintrittsanschlussstück **12**, Einspritzventilgehäuse **14** und Ventilkörper **17**. Das Eintrittsanschlussstück **12** umfasst einen Kraftstofffilter **16**, Kraftstoffkanäle **18**, **20** und **22** sowie einen Kraftstoffeintritt **24**, der mit einer Kraftstoffquelle (nicht dargestellt) verbunden ist. Das Eintrittsanschlussstück **12** umfasst ferner ein Eintrittsendelement **28**. Das Fluid **36** kann ein im Wesentlichen inkompressibles Fluid sein, das auf Temperaturänderungen reagiert, indem es sein Volumen ändert. Vorzugsweise ist das Fluid **36** entweder Silikon- oder eine andere Art von Hydraulikflüssigkeit, die einen größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als den des Eintrittsanschlussstücks **12**, des Gehäuses **14** oder anderer Bauteile des Einspritzventils hat.

[0016] Bei der bevorzugten Ausführungsform umgibt das Einspritzventilgehäuse **14** den Festkörperaktorstapel **100** und die Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200**. Ventilkörper **17** ist fest mit dem Einspritzventilgehäuse **14** verbunden und umgibt ein Ventil-

schließelement **40**. Der Festkörperaktorstapel **100** umfasst eine Vielzahl von Festkörperaktoren, die über Kontaktstifte (nicht dargestellt) betätigt werden können, die elektrisch an eine Spannungsquelle angeschlossen sind. Wenn eine Spannung zwischen den Kontaktstiften (nicht dargestellt) angelegt wird, dehnt der Festkörperaktorstapel **100** sich in Längsrichtung aus. Eine typische Ausdehnung des Festkörperaktorstapels **100** kann sich zum Beispiel in einer Größenordnung von etwa 30–50 µm bewegen. Die Längsausdehnung kann genutzt werden, um das Einspritzventilschließelement **40** für die Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **10** zu betätigen. Das heißt, die Längsausdehnung des Stapels **100** und des Schließelements **40** kann verwendet werden, um eine Durchlassweite des Kraftstoffeinspritzventils zu definieren, anders als bei einer Durchlassweite, die von einem Ventilsitz oder einer Lochscheibe definiert wird, wie bei einem herkömmlichen Kraftstoffeinspritzventil üblich.

[0017] Festkörperaktorstapel **100** wird mittels Führungen **110** entlang des Gehäuses **14** geführt. Der Festkörperaktorstapel **100** weist ein erstes Ende auf, das mittels eines Bodenelements **44** in Wirkverbindung mit einem Schließende **42** des Ventilschließelements **40** ist, und ein zweites Ende des Stapels **100** auf, das mittels eines Deckenelements **46** auf eine ein Zusammenwirken ermöglichende Weise mit der Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** verbunden ist.

[0018] Die Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **10** umfasst ferner eine Feder **48**, eine Tellerfeder **50**, ein Halteelement **52**, eine Buchse **54**, einen Ventilschließelementsitz **56**, einen Balg **58** und einen O-Ring **60**. O-Ring **60** ist vorzugsweise ein kraftstoffbeständiger O-Ring, der bei niedrigen Umgebungstemperaturen (–40°C oder darunter) und bei Betriebstemperatur (140°C und darüber) funktionsfähig bleibt.

[0019] In der vorliegenden Anmeldung werden Elemente mit vergleichbaren Merkmalen mit demselben Bezugszeichen bezeichnet und können in den [Abb. 2A](#) und [Abb. 2B](#) durch ein Hochkomma voneinander unterschieden werden. Es wird auf [Abb. 2A](#) Bezug genommen; eine Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** umfasst einen Körper **210**, der ein erstes Körperende **210a** und ein zweites Körperende **210b** aufweist. Das zweite Körperende **210b** umfasst eine Endkappe **214** mit einer Öffnung **216**. Die Endkappe **214** kann ein Bereich sein, der in einem spitzen Winkel oder quer zur Längsachse A-A von der Innenfläche **213** des Körpers **210** zur Längsachse hin verlaufen kann. Alternativ kann die Endkappe **214** ein separater Bereich sein, der fest mit dem Körper **210** verbunden ist. Vorzugsweise ist die Endkappe **214** als Teil des zweiten Endes **210b** des Körpers **210** ausgeführt, wobei die Endkappe **214** quer zur Längsachse A-A verläuft.

[0020] Der Körper **210** umgibt einen ersten Kolben **220**, einen Teil eines Kolbenstößels bzw. Fortsatzbereichs **230**, einen zweiten Kolben **240**, eine flexible Membran **250** und ein elastisches Element bzw. eine Feder **260**, die zwischen dem zweiten Kolben **240** und der Endkappe **214** angeordnet ist. Das erste Körperende **210a** und das zweite Körperende **210b** können jede geeignete Querschnittsform aufweisen, solange sie eine kraftschlüssige Verbindung mit dem ersten und dem zweiten Kolben gewährleistet, beispielsweise oval, quadratisch, rechteckig oder jede geeignete Polygonform. Vorzugsweise ist der Querschnitt des Körpers **210** kreisförmig, wodurch ein zylindrischer Körper ausgebildet wird, der entlang der Längsachse A-A verläuft. Der Körper **210** kann ferner ausgebildet werden, indem zwei separate Teile aneinander gefügt werden ([Abb. 2A](#)), oder indem der Körper aus einem einzigen Materialstück hergestellt wird ([Abb. 2B](#)), wie hier für die bevorzugten Ausführungsformen dargestellt.

[0021] Der Fortsatzbereich **230** ragt vom ersten Kolben **220** hervor, so dass er mit dem Deckelement **46** des piezoelektrischen Stapels **100** verbunden werden kann. Vorzugsweise ist der Fortsatzbereich als eigenständiges Stück des ersten Kolbens **220** ausgebildet und durch eine Keilwellenverbindung **272** mit dem ersten Kolben **220** verbunden. Es können auch sonstige geeignete Verbindungen verwendet werden, beispielsweise ein Kugelgelenk, ein Drehgelenk oder sonstige Verbindungen, die ermöglichen, dass zwei bewegliche Teile miteinander verbunden werden. Alternativ kann der Fortsatzbereich **230** als Bestandteil des ersten Kolbens **220** aus einem Stück ausgeführt sein.

[0022] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ([Abb. 2B](#)) ist ein separater Fortsatzbereich **230** mit einem inneren Füllkanal **232** ausgeführt, der im Fortsatzbereich **230** angeordnet ist. Der Füllkanal **232** verläuft von einem ersten Füllkanalende **232a** durch allgemein die gesamte Länge des Fortsatzbereichs **230** zu einem zweiten Füllkanalende **232b**. Das erste Füllkanalende **232a** ist im Allgemeinen eine Öffnung, deren Achse entlang derselben Achse wie die des Füllkanals **232** oder der Längsachse A-A verläuft. Das zweite Füllkanalende **232b** ist im Allgemeinen eine Öffnung, die eine Achse quer zum Füllkanal oder zur Längsachse A-A aufweist. Die Füllkanal- und Öffnungsquerschnitte können eine geeignete Querschnittskontur aufweisen, wie zum Beispiel einen kreisförmigen, ovalen, quadratischen oder rechteckigen Querschnitt. Vorzugsweise haben die jeweiligen Querschnitte eine kreisförmige Form.

[0023] Einer der zahlreichen Vorteile des inneren Füllkanals **232** (oder **332**) ist die Fähigkeit, die Ausgleichsvorrichtung mit einer möglichst geringen Fluidmenge zu füllen, ohne zu viel in die Ausgleichsvorrichtung zu füllen. Insbesondere kann die Vorrichtung

zum thermischen Ausgleich **200**, **200'** bzw. **300** vollständig montiert und im Einspritzventilgehäuse **14** angeordnet sein, allerdings ohne den Aktor bzw. Stapel **100**. Da das Fluid **36**, vorzugsweise ein Silikonöl (Baysilone® M350), eine Affinität zu Gas oder Luft hat, wird das teilmontierte Kraftstoffeinspritzventil danach in einer Kammer angebracht, die unter Unterdruck (etwa -28 mbar) gesetzt werden kann, um die Luft- oder Gasmenge zu minimieren, die sich im Fluid **36** lösen kann, bevor die Ausgleichsvorrichtung **200**, **200'** bzw. **300** mit dem Fluid **36** gefüllt wird. Wenn das Fluid **36** durch den innen liegenden Füllkanal **232** fließt, werden der erste Volumenbereich **32** und der zweite Volumenbereich mit Fluid **36** gefüllt. Da das Fluid **36** im Wesentlichen inkompressibel ist, verschiebt es den ersten Kolben **220** in Richtung des Austrittsendes. Wenn der erste Kolben **220** sich zum Austrittsende hin bewegt, kommt eine Fase **234a** auf der Kolbenseite in Kontakt mit einer Fase **234b** auf der Fortsatzbereichsseite, wodurch eine Dichtung **234** ausgebildet wird, die den Austritt oder Eintritt von Fluid **36** aus der bzw. in die Ausgleichsvorrichtung verhindert. Der Stapel **100** kann jetzt im Einspritzventilgehäuse **14** angebracht werden, solange noch Unterdruck herrscht. Sobald der Unterdruck abgebaut ist, weitet der erste Kolben **220** sich und legt sich dicht an den Fortsatzbereich, um einen allgemein fluiddichten Verschluss mit der Fasendichtung **234** auszubilden. Alternativ kann eine Dichtung **234** aus elastischem Kunststoff in einer Nut montiert werden, die zwischen dem ersten Kolben **220** und dem Fortsatzbereich **230** ausgebildet ist, um eine weitere Dichtung gegen Austreten des Fluids **36** bereitzustellen.

[0024] Der erste Kolben **220** ist in einer gegenüberliegenden Anordnung zum Eintrittsendelement **28** angeordnet. Eine äußere umlaufende Fläche **228** des ersten Kolbens **220** ist so dimensioniert, dass sie eine Passung mit enger Toleranz mit einer Innenfläche **212** des Körpers ausbildet, d. h. einen definierten Spalt, der eine Schmierung des Kolbens und des Körpers ermöglicht, zugleich jedoch eine hydraulische Dichtung bereitstellt, die die Menge des Fluidleckstroms durch den Spalt definiert. Der definierte Spalt zwischen dem ersten Kolben **220** und dem Körper **210** bietet einen definierten Leckstrompfad vom ersten Fluidvolumenbereich **32** zum zweiten Fluidvolumenbereich **33** und vermindert die Reibung zwischen dem ersten Kolben **220** und dem Körper **210**, wodurch die Hysterese in der Bewegung des ersten Kolbens **220** minimiert wird. Es wird davon ausgegangen, dass vom Stapel **100** Seitenkräfte ausgehen, die Reibung und Hysterese vergrößern würden. Demzufolge ist der erste Kolben **220** mit dem Stapel **100** nur in die Richtung entlang der Längsachse A-A verbunden, um etwaige Seitenkräfte zu reduzieren oder sogar auszuschalten. Der Körper **210** ist vorzugsweise fest an einem ersten Ende **210a** mit dem Einspritzventilgehäuse verbunden, damit er in Relation zum Einspritzventilgehäuse teilweise frei beweg-

lich ist. Alternativ kann ermöglicht werden, dass der Körper **210** in einer axialen Richtung im Einspritzventilgehäuse frei beweglich ist. Darüber hinaus werden, da eine Feder in der Kolbenunterbaugruppe vorhanden ist, geringe oder keine Seitenkräfte oder Momente durch die Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** (**200'** bzw. **300**) in das Einspritzventilgehäuse eingeleitet. Daher wird davon ausgegangen, dass diese Merkmale bewirken, dass ein Verzug des Einspritzventilgehäuses reduziert oder sogar verhindert wird.

[0025] Taschen oder Kanäle **228a** können auf der ersten Fläche **222** ausgebildet sein, die über den Kanal **226** in Fluidaustausch mit dem zweiten Fluidvolumenbereich **33** stehen. Die Taschen **228a** gewährleisten, dass etwas Fluid **36** auf der ersten Fläche **222** verbleiben kann, um als eine hydraulische „Scheibe“ zu fungieren, selbst wenn sich wenig oder kein Fluid zwischen der ersten Fläche **222** und dem Endelement **28** befindet. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist im ersten Volumenbereich **32** stets mindestens ein wenig Fluid vorhanden. Die erste Fläche **222** und die zweite Fläche **224** können jede geeignete Form wie zum Beispiel eine konische umlaufende Fläche, eine kegelstumpfförmige Fläche oder eine ebene Fläche aufweisen. Vorzugsweise umfassen die erste Fläche **222** und zweite Fläche **224** eine ebene Fläche quer zur Längsachse A-A.

[0026] Um zu ermöglichen, dass Fluid **36** selektiv zwischen einer ersten Fläche **222** des ersten Kolbens **220** und einer zweiten Fläche **224** des ersten Kolbens **220** zirkuliert, verläuft ein Kanal **226** zwischen der ersten und der zweiten Fläche. Erleichtert wird der Strom des Fluids **36** zwischen dem Kanal **226** und den Volumenbereichen durch einen Spalt **229**, der durch einen eingezogenen Bereich **227** des ersten Kolbens **220** ausgebildet wird, der auf einer äußeren umlaufenden Fläche des Kolbens **220** angeordnet ist. Der Spalt **229** ermöglicht, dass Fluid **36** aus dem Kanal **226** und in den zweiten Volumenbereich **33** strömt.

[0027] Ein druckempfindliches Ventil ist im ersten Fluidvolumenbereich **32** angeordnet, das abhängig vom Druckabfall im druckempfindlichen Ventil einen Fluidstrom in eine Richtung ermöglicht ([Abb. 3](#)). Das druckempfindliche Ventil kann beispielsweise ein Rückschlagventil oder ein Einwegventil sein. Vorzugsweise ist das druckempfindliche Ventil eine elastische Dünnscheiben-Platte **270** mit einer glatten Oberfläche, die oben auf der ersten Fläche **222** angeordnet ist.

[0028] Insbesondere fungiert die Platte **270**, weil sie eine glatte Oberfläche auf der Seite aufweist, die in Kontakt mit dem ersten Kolben **220** ist und eine Dichtfläche mit der ersten Fläche **222** ausbildet, als druckempfindliches Ventil, das ermöglicht, dass immer, wenn der Druck in einem ersten Fluidvolumen-

bereich **32** (oder **32'**) niedriger als der Druck in einem zweiten Fluidvolumenbereich **33** (oder **33'**) ist, Fluid zwischen dem ersten Fluidvolumenbereich **32** (oder **32'**) und dem zweiten Fluidvolumenbereich **33** (oder **33'**) strömt. Das heißt, immer wenn eine Druckdifferenz zwischen den Volumenbereichen besteht, wird die glatte Oberfläche der Platte **270** angehoben, um zu ermöglichen, dass Fluid zu den Kanälen oder Taschen **228a** (oder **228a'**) fließt. Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Platte eine Dichtung zur Verhinderung des Durchflusses als Funktion der Druckdifferenz statt einer Kombination aus Fluiddruck und Federkraft wie bei einem Kugelrückschlagventil ausbildet. Das druckempfindliche Ventil bzw. die Platte **270** umfasst Öffnungen **272a** und **272b**, die durch ihre Oberfläche verlaufen. Die Öffnungen können zum Beispiel quadratisch, kreisförmig oder mit jeder sonstigen geeigneten Kanalöffnungskontur ausgeführt sein. Vorzugsweise sind zwölf Öffnungen in der Platte ausgebildet, wobei jede Öffnung einen Durchmesser von etwa 1,0 mm aufweist. Ferner weist jede(r) der Kanäle bzw. Taschen **228a** vorzugsweise eine Öffnung auf, die etwa dieselbe Form und denselben Querschnitt hat wie jede der Öffnungen **272a** und **272b**. Die Platte **270** ist vorzugsweise an die erste Fläche **222** an vier oder mehr verschiedenen Stellen am Umfang der Platte **270** angeschweißt.

[0029] Weil die Platte **270** eine sehr niedrige Masse hat und elastisch ist, reagiert sie sehr schnell mit dem einströmenden Fluid, indem sie sich zum Endelement **28** hin anhebt, so dass Fluid, das nicht durch die Platte hindurchgetreten ist, das Volumen des scheibenförmigen hydraulischen Mediums vergrößert. Die Platte **270** nähert sich der Form eines Kugelabschnitts an, wenn sie ein Fluidvolumen eintreten lässt, das sich noch unter der Platte **270** und im Kanal **226** befindet. Dieses zusätzliche Volumen wird danach dem Volumen des scheibenförmigen Mediums hinzugefügt, dessen zusätzliches Volumen sich allerdings immer noch auf der Seite des ersten Volumenbereichs der Dichtfläche befindet. Einer der vielen Vorteile der Platte **270** besteht darin, dass die Druckpulsationen schnell gedämpft werden durch das zusätzliche Volumen an Hydraulikflüssigkeit, das dem scheibenförmigen hydraulischen Medium im ersten Volumenbereich hinzugefügt wird. Ursache dafür ist, dass die Betätigung des Einspritzventils ein sehr dynamisches Ereignis ist und der Übergang zwischen inaktiv, aktiv und inaktiv Massenkkräfte erzeugt, die Druckschwankungen im scheibenförmigen hydraulischen Medium hervorrufen. Das scheibenförmige hydraulische Medium dämpft die Schwingungen schnell, weil für es ein ungehindertes Zuströmen und ein beschränktes Abströmen an Hydraulikflüssigkeit besteht.

[0030] Den Kanalbohrungs- oder -öffnungsdurchmesser der Öffnungen **272a** oder **272b** kann man sich vorstellen als den wirksamen Öffnungsdurch-

messer der Platte im Gegensatz zur Hubhöhe der Platte **270**, weil die Platte **270** sich der Form eines Kugelabschnitts annähert, wenn sie sich von der ersten Fläche **222** nach oben abhebt. Darüber hinaus bestimmt die Anzahl der Öffnungen und der Durchmesser jeder Öffnung die Steifigkeit der Platte **270**, die wesentlich für die Bestimmung des Druckabfalls über der Platte **270** ist. Vorzugsweise sollte der Druckabfall gering sein in Relation zu den Druckpulsationen im ersten Volumenbereich **32** der Vorrichtung zum thermischen Ausgleich. Wenn die Platte **270** sich um ungefähr 0,1 mm angehoben hat, kann davon ausgegangen werden, dass die Platte **270** weit geöffnet ist, wodurch ein ungehindertes Zuströmen in den ersten Volumenbereich **32** erfolgt. Die Möglichkeit, ein ungehindertes Zuströmen in das scheibenförmige hydraulische Medium zuzulassen, verhindert einen erheblichen Druckabfall im Fluid. Dies ist wichtig, weil im Fall eines erheblichen Druckabfalls das im Fluid gelöste Gas austritt und sich Blasen bilden. Dies geschieht, weil der Dampfdruck des Gases den reduzierten Fluiddruck übersteigt (d. h. bestimmte Flüssigkeiten nehmen Gas auf wie ein Schwamm Wasser aufnimmt, so dass das Fluid sich wie ein kompressibles Fluid verhält). Die gebildeten Blasen verhalten sich wie kleine Federn, die die Ausgleichsvorrichtung „weich“ oder „schwammig“ machen. Haben die Blasen sich erst einmal gebildet, ist es schwierig, sie wieder im Fluid zu lösen. Die Ausgleichsvorrichtung arbeitet vorzugsweise konstruktionsbedingt mit einem Druck von etwa 2 bar bis 7 bar und es wird davon ausgegangen, dass der Druck des scheibenförmigen hydraulischen Mediums nicht wesentlich unter den atmosphärischen Druck abfällt. Somit ist das Ausgasen aus dem Fluid und den Ausgleichsvorrichtungskanälen nicht so kritisch wie dies ohne die Platte **270** wäre. Vorzugsweise beträgt die Dicke der Platte **270** ungefähr 0,1 mm und ihre Oberflächengröße beträgt etwa 110 mm². Um eine gewünschte Elastizität der Platte **270** aufrechtzuerhalten, ist zu bevorzugen, ein Muster mit ungefähr zwölf Öffnungen zu haben, wobei jede Öffnung eine Größe von ca. 0,8 mm² hat und die Dicke der Platte vorzugsweise das Ergebnis der Quadratwurzel der Oberflächengröße dividiert durch ca. 94 ist.

[0031] Angeordnet zwischen dem ersten Kolben **220** und dem Deckelelement **46** des Stapels **100** ist ein ringartiger Kolben oder zweiter Kolben **240**, der auf den Fortsatzbereich **230** montiert ist, damit er axial entlang der Längsachse A-A gleiten kann. Der zweite Kolben **240** umfasst eine dritte Fläche **242**, die gegenüber der zweiten Fläche **224** angeordnet ist. Der zweite Kolben **240** umfasst ferner eine vierte Fläche **244**, die in einem Abstand zur dritten Fläche **242** entlang der Längsachse A-A angeordnet ist. Die vierte Fläche **244** umfasst einen Halteflanschbereich **246**, der ferner einen Teil einer Halteschulter **248** darstellt. Der Halteflanschbereich **246** wirkt mit einem Flanschbereich **211** (auf einer Fläche des Körpers

210 ausgebildet, die der Längsachse A-A gegenüberliegt) zusammen, um die Montage einer flexiblen Membran **250** zu erleichtern, nachdem der zweite Kolben **240** im zweiten Ende **210b** des Körpers **210** angebracht worden ist. Vorzugsweise haben die Kolben eine kreisförmige Form, obwohl auch andere Formen, beispielsweise rechteckige oder ovale, für den ersten Kolben **220** und den zweiten Kolben **240** verwendet werden können.

[0032] Der zweite Volumenbereich **33** wird durch einen Hohlraum gebildet, der von der flexiblen Membran **250** umgeben ist. Die Membran **250** ist zwischen der zweiten Fläche **224** des ersten Kolbens **220** und dem zweiten Kolben **240** angeordnet. Die flexible Membran **250** kann von einteiliger Bauart sein oder aus zwei oder mehr Teilen bestehen, die mittels eines geeigneten Verfahrens fest miteinander verbunden werden, beispielsweise Schweißen, Fügen, Löten, Kleben und vorzugsweise Laserschweißen. Vorzugsweise umfasst die flexible Membran **250** einen ersten Steg **252** und einen zweiten Steg **254**, die fest miteinander verbunden sind.

[0033] Die flexible Membran **250** kann mittels eines geeigneten Verfahrens wie vorstehend angeführt fest mit dem ersten Kolben **220** und mit einer Innenfläche des Körpers **210** verbunden werden. Ein Ende des ersten Stegs **252** ist fest mit dem eingezogenen Bereich **227** des ersten Kolbens **220** verbunden, während ein anderes Ende des zweiten Stegs **254** fest mit einer Innenfläche des Körpers **210** verbunden ist. In Fällen, in denen der Körper **210** von einteiliger Bauweise ist, kann das andere Ende direkt mit der Innenfläche des Körpers **210** fest verbunden sein. In Fällen, in denen der Körper **210** aus zwei oder mehr miteinander verbundenen Teilen besteht, ist das andere Ende des zweiten Stegs **254** vorzugsweise fest mit entweder einem oder den anderen Bereichen verbunden, bevor die Bereiche, aus denen der Körper **210** ausgebildet wird, mittels eines geeigneten Verfahrens fest miteinander verbunden werden.

[0034] Die Feder **260** ist zwischen der Endkappe **214** und dem zweiten Kolben **240** eingeschlossen. Da der zweite Kolben **240** relativ zur Endkappe **214** beweglich ist, wird durch die Betätigung der Feder **260** der zweite Kolben **240** gegen die flexible Membran **250** gedrückt. Der zweite Kolben **240** trifft auf die flexible Membran **250** auf, die daraufhin eine zweite Arbeitsfläche mit einer Oberflächengröße ausbildet, die kleiner als die Oberflächengröße der ersten Arbeitsfläche ist. Weil die dritte Fläche **242** auf die flexible Membran **250** auftrifft, kann man sich die zweite Arbeitsfläche mit im Wesentlichen derselben Oberflächengröße wie die dritte Fläche **242** vorstellen.

[0035] Dies erzeugt einen Druckanstieg im Fluid **36** im zweiten Fluidvolumenbereich **33**. In einem Anfangszustand wird Hydraulikfluid **36** unter Druck ge-

setzt als Funktion des Produkts aus der Federkraft und der Oberflächengröße der zweiten Arbeitsfläche. Vor einer Ausdehnung des Fluids im ersten Volumenbereich **32** wird der erste Volumenbereich vorgespannt, um ein scheibenförmiges hydraulisches Medium zu erzeugen. Vorzugsweise beträgt die Federkraft der Feder **260** ca. 30 Newton bis 70 Newton.

[0036] Das Fluid **36**, das ein Volumen des scheibenförmigen hydraulischen Mediums bildet, neigt dazu, sich aufgrund eines Anstiegs der Temperatur in der und um die Vorrichtung zum thermischen Ausgleich auszudehnen. Die Volumenzunahme des scheibenförmigen Mediums wirkt direkt auf die erste Außenfläche oder erste Fläche **222** des ersten Kolbens ein. Da die erste Fläche **222** eine größere Oberflächengröße als die zweite Arbeitsfläche aufweist, neigt der erste Kolben dazu, sich zum Stapel oder zum Ventilschließelement **40** hin zu bewegen. Der Kraftvektor (d. h. er hat eine Richtung und eine Größe) „ F_{Aus} “ des ersten Kolbens **220**, der sich zum Stapel hin bewegt, ist folgendermaßen definiert:

$$F_{\text{Aus}} = (A_{\text{scheibenf. Medium}} \cdot p_{\text{scheibenf. Medium}}) - F_{\text{Feder}}$$

wobei:

F_{Aus} = einwirkende Kraft (auf den Piezostapel)
 F_{Feder} = Federkraft gesamt
 $A_{\text{scheibenf. Medium}}$ = $(\pi/4) \cdot Pd^2$ oder Fläche über dem Kolben, wobei Pd der Durchmesser des ersten Kolbens ist

[0037] Im Ruhezustand haben die jeweiligen Drücke des scheibenförmigen hydraulischen Mediums und des zweiten Fluidvolumenbereichs die Tendenz, im Allgemeinen gleich zu sein. Wenn jedoch der Festkörperaktor erregt wird, steigt der Druck im scheibenförmigen hydraulischen Medium, weil das Fluid **36** inkompressibel ist, wenn sich der Stapel ausdehnt. Dies ermöglicht, dass der Stapel **100** eine steife Reaktionsbasis aufweist, in der das Ventilschließelement **40** betätigt werden kann, um Kraftstoff durch die Kraftstoffaustrittsöffnung **62** auszustößen.

[0038] Vorzugsweise ist die Feder **260** eine Schraubenfeder. Hier ist der Druck in den Fluidvolumenbereichen mindestens von einer Federcharakteristik jeder der Schraubenfedern abhängig. Wie durchgängig in dieser Offenbarung verwendet, kann die mindestens eine Federcharakteristik zum Beispiel die Federkonstante, die freie Federlänge und den Elastizitätsmodul der Feder umfassen. Jede der Federcharakteristiken kann in verschiedenen Kombinationen mit einer oder mehreren weiteren Federcharakteristiken gewählt werden, um eine gewünschte Reaktion der Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** zu erzielen.

[0039] Es wird auf [Abb. 2B](#) Bezug genommen; der zweite Kolben **240'** ist in einer „ineinander angeordneten“ Anordnung einer Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200'**, **300** montiert, die von der Kolbenanordnung der Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** in [Abb. 2A](#) abweicht. In [Abb. 2B](#) setzt die ineinander angeordnete Anordnung voraus, dass der erste Kolben **220'** ein ausreichend groß bemessenes Kolbenhemd **221** umfasst, um zu ermöglichen, dass eine Feder **260'** und der zweite Kolben **240'** in einem Hohlraum angebracht werden können, der durch das Kolbenhemd **221** definiert wird. Die axiale Abmessung des Kolbenhemds **221** entlang der Längsachse A-A sollte von ausreichender Länge sein, um zu ermöglichen, dass eine Feder **262** zusammengedrückt und im Kolbenhemd **221** montiert werden kann, ohne sich zwischen den Federn oder anderen Bauteilen der Kolben zu verhaken oder dort zu stören. Der erste Kolben **220'** umfasst ferner einen lang gestreckten Bereich **223**, der ermöglicht, dass der erste Kolben **220'** mittels einer geeigneten Verbindung mit dem Fortsatzbereich **230'** verbunden wird. Der lang gestreckte Bereich **223** wirkt ferner mit dem Hemd **221** zusammen, um einen Hohlraum zur Aufnahme der Feder **262** zu definieren. Die Feder **262** dient dazu, den zweiten Kolben **240'** gegen eine flexible Membran **250'** zu drücken. Die flexible Membran **250'** wird mittels eines beliebigen geeigneten Verfahrens (wie etwa den in Bezug auf die flexible Membran **250** beschriebenen), fest mit dem ersten Kolben **220'** und der Endkappe **214'** verbunden. Vorzugsweise ist die flexible Membran **250'** in einteiliger Bauweise ausgeführt. Zu bemerken ist, dass, obwohl die Ausgleichsvorrichtung **200'**, **300** ähnlich arbeitet wie die Ausgleichsvorrichtung **200**, einer der vielen Aspekte, in denen sich die Ausführungsform der [Abb. 2B](#) von denen der Ausführungsform der [Abb. 2A](#) unterscheidet, die Richtung ist, in die sich der zweite Kolben (**240** in [Abb. 2A](#) und **240'** in [Abb. 2B](#)) aufgrund der Federkraft bewegt. In [Abb. 2A](#) führt die Federkraft dazu, dass der Kolben sich in Richtung des Eintrittsendes des Kraftstoffeinspritzventils bewegt, wohingegen in [Abb. 2B](#) die Federkraft dazu führt, dass der zweite Kolben **240'** sich in Richtung des Austrittsendes bewegt. Wie der zweite Kolben **220** in [Abb. 2A](#) ist der zweite Kolben **220'** in [Abb. 2B](#) vorzugsweise nicht in körperlichem Kontakt mit dem Fluid **36**. Durch Auftreffen seiner Fläche **229'** gegen die flexible Membran **250'** (die in körperlichem Kontakt mit dem Fluid **36** ist) bewirkt der zweite Kolben **220'**, dass die flexible Membran **250'** die Federkraft über eine zweite Arbeitsfläche der Membran **250'** an das Fluid **36** überträgt. Ein weiterer Aspekt der Ausgleichsvorrichtung **200'**, **300** betrifft eine axiale Gesamtlänge, die kürzer als die der Ausgleichsvorrichtung **200** ist.

[0040] Die Ausgleichsvorrichtung **200'** gemäß [Abb. 2B](#) kann vereinfacht werden, indem das druckempfindliche Ventil und der Fluidkanal, der durch den

ersten Kolben verläuft, weggelassen werden.

[0041] Diese Vereinfachung führt zu einer weiteren bevorzugten Ausführungsform, hier in [Abb. 4](#) dargestellt, in Form einer Vorrichtung zum thermischen Ausgleich **300**. Die Vorrichtung **300** zum thermischen Ausgleich umfasst einen Körper **310**, der einen ersten Kolben **320** umgibt, der ein Kolbenhemd **324** aufweist. Das Kolbenhemd **324** ist in einer gegenüberliegenden Anordnung zu einer Innenfläche **312** des Körpers **310** angeordnet, die einen Spalt **326** zwischen diesen ergibt. Ein zweiter Kolben **340** ist zumindest teilweise im Kolbenhemd **324** angeordnet. Der zweite Kolben **340** umfasst eine Arbeitsfläche **342** und einen Fortsatz **344**, der durch eine Öffnung **316** der Endkappe **314** verläuft. Um allgemein zu verhindern, dass Fluid **36** in den Hohlraum zwischen den ineinander angeordneten Kolben eintritt, ist ein Dichtelement **352** in einer Nut angeordnet, die entweder auf dem Hemd des ersten Kolbens oder auf einem äußeren Bereich des zweiten Kolbens angeordnet ist, auf dem aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine Seite des Dichtelements **352** dargestellt ist. Das Dichtelement kann eine Membran sein, die mit dem Hemd **324** und dem zweiten Kolben **340** oder dessen Fortsatzbereich **344** verbunden ist. Vorzugsweise ist das Dichtelement **352** ein O-Ring, der in einer Nut angeordnet ist, die auf dem zweiten Kolben ausgebildet ist. Um allgemein zu verhindern, dass Fluid aus einem zweiten Volumenbereich **33** entweicht, kann eine Dichtung **318** zwischen der Endkappe **314** und dem Fortsatzbereich **344** des zweiten Kolbens **340** ausgebildet sein. Insbesondere kann eine Nut in entweder der Endkappe **314** oder dem Fortsatzbereich **344** ausgebildet sein. Der O-Ring **318** wird dann in der Nut angebracht. Vorzugsweise ist die Nut **319** auf einer Außenfläche der Endkappe **314** ausgebildet, die der Längsachse A-A gegenüberliegt.

[0042] Ein erster Fluidvolumenbereich **32** ist zwischen einer Fläche **322** und einem Endelement **28** ausgebildet. Ein zweiter Fluidvolumenbereich **33** ist zwischen der Arbeitsfläche **342** und dem Körper ausgebildet. Der erste Fluidvolumenbereich **32** steht über einen definierten Abstand oder Spalt **326** in Fluidverbindung mit dem zweiten Fluidvolumenbereich **33**. Vorzugsweise sollte der Spalt **326** ein geeignetes Spiel haben, um einen definierten Spalt zu bilden, der eine Schmierung des Kolbens und des Körpers ermöglicht, zugleich jedoch eine hydraulische Dichtung ausbildet, die die Menge des Fluidleckstroms durch den Abstand bzw. Spalt **326** definiert.

[0043] Ein innerer Füllkanal **332** (mit einem ähnlichen Funktionsprinzip wie der innere Kanal **232** in [Abb. 2B](#)) verläuft zwischen einem ersten Kanal **332a** und einem zweiten Kanal **332b**. Eine Dichtung **350** wird ausgebildet, um den Eintritt oder Austritt von Fluid in den ersten Volumenbereich **32** auszuschließen, wenn eine Fläche **350a** des ersten Kolbens **320** eine

Fläche **350b** des Fortsatzbereichs **330** berührt. Mindestens eine Feder **360** ist in einem innen liegenden Hohlraum des ersten Kolbens **320** angeordnet. Die mindestens eine Feder **360** drückt den zweiten Kolben **340** weg vom ersten Kolben **320**. Dadurch wirkt eine Kraft auf das Fluid **36** ein über eine Oberflächengröße der Arbeitsfläche **342**, was zu einem ersten Druck führt, der auf die erste Fläche **322** des ersten Kolbens **320** übertragen wird. Der erste Druck kann als ein Druck bezeichnet werden, der ermöglicht, dass der erste Volumenbereich als eine scheibenförmige hydraulische Membran fungiert. Nachfolgende Volumenänderungen des Fluids **36** (aufgrund von Temperaturänderungen) im ersten oder zweiten Volumenbereich würden dazu führen, dass der erste Kolben sich entlang der Längsachse bewegt. Es wird davon ausgegangen, dass der Festkörperaktor dadurch in einer festen räumlichen Beziehung zu verschiedenen Bauteilen des Kraftstoffeinspritzventils gehalten werden kann.

[0044] Die Kraft F_{Aus} , die auf den Aktorstapel **100** der Ausführungsform einwirkt, die in [Abb. 4](#) dargestellt ist, ist folgendermaßen definiert:

$$F_{\text{Aus}} = [(F_{\text{Feder360}} \pm F_{\text{Dichtung352}} \pm F_{\text{Dichtung318}}) \cdot (A_{\text{scheibenf. Medium}} / A_{\text{Volumenbereich33}})] - F_{\text{Feder}} \pm F_{\text{Dichtung352}}$$

wobei:

| | |
|--------------------------------|---|
| F_{Aus} | = auf den Stapel 100 einwirkende Kraft |
| F_{Feder360} | = Kraft der Feder 360 |
| $F_{\text{Dichtung352}}$ | = Reibungskraft der Dichtung 352 |
| $F_{\text{Dichtung318}}$ | = Reibungskraft der Dichtung 318 |
| $A_{\text{scheibenf. Medium}}$ | = $(\pi/4) \cdot Pd^2$ oder Fläche über dem Kolben, wobei Pd der Durchmesser des ersten Kolbens ist |
| $A_{\text{Volumenbereich33}}$ | = Fläche des zweiten Volumenbereichs 33 |

[0045] Es wird wieder auf [Abb. 1](#) Bezug genommen; während des Betriebs des Kraftstoffeinspritzventils **10** wird Kraftstoff von einer Kraftstoffversorgung (nicht dargestellt) an einem Kraftstoffeintritt **24** eingeleitet. Kraftstoff am Kraftstoffeintritt **24** tritt durch einen Kraftstofffilter **16**, durch einen Kanal **18**, durch einen Kanal **20**, durch einen Kraftstoffkanal **22** und durch eine Kraftstoffaustrittsöffnung **62** aus, wenn das Ventilschließelement **40** in die Position „geöffnet“ bewegt wird.

[0046] Damit Kraftstoff aus der Kraftstoffaustrittsöffnung **62** austreten kann, wird der Festkörperaktorstapel **100** mit Spannung versorgt, was dazu führt, dass er sich ausdehnt. Die Ausdehnung des Festkörperaktorstapels **100** führt dazu, dass das Bodenelement **44** gegen das Ventilschließelement **40** drückt, was ermöglicht, dass Kraftstoff aus der Kraftstoffaustrittsöffnung **62** austritt. Nachdem Kraftstoff durch die Kraft-

stoffaustrittsöffnung **62** eingespritzt worden ist, wird die Spannungsversorgung zum Festkörperaktorstapel **100** unterbrochen und das Ventilschließelement **40** wird unter der Vorspannung der Feder **48** zurückgeschoben, um die Kraftstoffaustrittsöffnung **62** zu schließen. Insbesondere zieht der Festkörperaktorstapel **100** sich zusammen, wenn die Spannungsversorgung unterbrochen wird, und die Vorspannung der Feder **48**, die das Ventilschließelement **40** in ständigem Kontakt mit dem Bodenelement **44** hält, spannt auch das Ventilschließelement **40** in die Position "geschlossen" vor.

[0047] Wenn bei laufendem Motor die Temperatur im Motor steigt, erfahren das Eintrittsanschlussstück **12**, das Einspritzventilgehäuse **14** und der Ventilkörper **17** eine thermische Ausdehnung aufgrund des Temperaturanstiegs, während der Festkörperaktorstapel eine allgemein unbedeutende thermische Ausdehnung erfährt. Zugleich kühlt der Kraftstoff, der durch den Kraftstoffkanal **22** und hinaus durch die Kraftstoffaustrittsöffnung **62** fließt, die innen liegenden Teile der Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **10** und führt zu einer thermischen Kontraktion des Ventilschließelements **40**. Es wird auf [Abb. 1](#) Bezug genommen; wenn das Ventilschließelement **40** sich zusammenzieht, neigt das Bodenelement **44** dazu, sich von seinem Kontaktpunkt am Ventilschließelement **40** abzuheben.

[0048] Festkörperaktorstapel **100**, der auf eine ein Zusammenwirken ermöglichende Weise mit der Bodenfläche des ersten Kolbens **220** (bzw. **220'**) verbunden ist, wird nach unten gedrückt. Der Temperaturanstieg bewirkt, dass Eintrittsanschlussstück **12**, Einspritzventilgehäuse **14** und Ventilkörper **17** sich relativ zum piezoelektrischen Stapel **100** ausdehnen aufgrund des allgemein größeren thermischen Volumenausdehnungskoeffizienten β der Kraftstoffeinspritzventilbauteile im Vergleich zu demjenigen des piezoelektrischen Stapels. Da das Fluid sich in diesem Fall ausdehnt, muss der Druck im ersten Fluidvolumenbereich in der Folge steigen. Weil das Fluid praktisch inkompressibel ist und wegen der kleineren Oberflächengröße der zweiten Arbeitsfläche wird der erste Kolben **220** (bzw. **220'**) relativ zum zweiten Kolben **240** (bzw. **240'**) in Richtung des Austrittsendes des Einspritzventils **10** gedrückt. Diese Bewegung des ersten Kolbens **220** (bzw. **220'**) wird auf den piezoelektrischen Stapel **100** übertragen durch den Fortsatzbereich **230** (bzw. **230'**), wobei davon ausgegangen wird, dass dessen Bewegung die Position des piezoelektrischen Stapels in Relation zu anderen Bauteilen des Kraftstoffeinspritzventils konstant hält wie etwa dem Eintrittsanschlussstück **12**, dem Einspritzventilgehäuse **14** und dem Ventilkörper **17**. Zu bemerken ist, dass bei den bevorzugten Ausführungsformen der thermische Ausdehnungskoeffizient β des Hydraulikfluids **36** größer als der thermische Ausdehnungskoeffizient β des piezoelektrischen Sta-

pels ist. Hier kann die Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200** (bzw. **200'**, **300**) variiert werden, indem zumindest ein Hydraulikfluid mit einem gewünschten Koeffizienten β gewählt wird und ein vorgegebenes Fluidvolumen im ersten Volumenbereich gewählt wird, so dass ein Unterschied in der Ausdehnungsgröße des Gehäuses des Kraftstoffeinspritzventils und des piezoelektrischen Stapels **100** durch die Ausdehnung des Hydraulikfluids **36** im ersten Volumenbereich ausgeglichen werden kann.

[0049] Während nachfolgender Temperaturschwankungen um die Kraftstoffeinspritzventilbaugruppe **100** führt jede weitere Ausdehnung des Eintrittsanschlussstücks **12**, des Einspritzventilgehäuses **14** oder des Ventilkörpers **17** dazu, dass das Fluid **36** sich im ersten Volumenbereich ausdehnt oder zusammenzieht. In dem Fall, dass das Fluid sich ausdehnt, wird der erste Kolben **220** (bzw. **220'**) zwangsläufig in Richtung des Austrittsendes des Kraftstoffeinspritzventils bewegt, weil die erste Fläche **222** (bzw. **222'**) einen größeren Oberflächenbereich als die zweite Arbeitsfläche aufweist. Andererseits würde jede Kontraktion der Kraftstoffeinspritzventilbauteile dazu führen, dass das Hydraulikfluid **36** im ersten Volumenbereich **32** (bzw. **32'**) einer Volumenkontraktion unterliegt, wodurch der erste Kolben **220** (**220'**) in Richtung des Eintrittsendes des Kraftstoffeinspritzventils **10** zurückgezogen wird.

[0050] Wenn der Aktor **100** erregt wird, steigt der Druck im ersten Volumenbereich **32** schnell, was dazu führt, dass die Platte **270** dicht gegen die erste Fläche **222** schließt. Dies hindert das Hydraulikfluid **36** daran, aus dem ersten Fluidvolumenbereich zum Kanal **226** zu fließen. Es ist darauf hinzuweisen, dass das Volumen des scheibenförmigen Mediums während der Erregung des Stapels **100** zu ungefähr dem Zeitpunkt in Relation zum Volumen des Hydraulikfluids des ersten Volumenbereichs steht, zu dem der Aktor **100** erregt wird. Weil das Fluid praktisch inkompressibel ist, entspricht das Fluid **36** im ersten Volumenbereich **32** näherungsweise einer steifen Reaktionsbasis, d. h. einem scheibenförmigen Medium, gegen das der Aktor **100** reagieren kann. Es wird davon ausgegangen, dass die Steifigkeit des scheibenförmigen Mediums teilweise daher rührt, dass das Fluid praktisch inkompressibel ist und dass der Austritt aus dem ersten Volumenbereich **32** durch die Platte **270** blockiert wird. Hier dehnt sie sich um etwa 60 μm aus, wenn der Aktorstapel **100** in nicht vorgespanntem Zustand betätigt wird. Bei einer bevorzugten Ausführungsform, bei der dies umgesetzt wird, wird die eine Hälfte des Ausdehnungsbetrags (ca. 30 μm) von verschiedenen Bauteilen des Kraftstoffeinspritzventils aufgenommen. Die verbleibende Hälfte der Gesamtausdehnung des Stapels **100** (ca. 30 μm) wird genutzt, um das Schließelement **40** auszulenken. Somit wird davon ausgegangen, dass die Auslenkung des Aktorstapels **100** konstant ist, wenn dieser wiederholt

erregt wird, wodurch ermöglicht wird, dass die Öffnungsweite des Kraftstoffeinspritzventils gleichbleibend ist.

[0051] Wenn der Aktor **100** nicht erregt wird, fließt Fluid **36** zwischen dem ersten Fluidvolumenbereich und dem zweiten Fluidvolumenbereich, wobei dieselbe Vorspannungskraft F_{Aus} aufrechterhalten wird. Die Kraft F_{Aus} ist eine Funktion der Feder **260** (bzw. **262**) und der Oberflächengröße des jeweiligen Kolbens. Somit wird davon ausgegangen, dass das Bodenelement **44** des Aktorstapels **100** unabhängig von der Ausdehnung oder dem Zusammenziehen der Bauteile des Kraftstoffeinspritzventils in ständigem Kontakt mit der Kontaktfläche des Ventilschließendes **42** gehalten wird.

[0052] Obwohl die Ausgleichsvorrichtungsbaugruppe **200**, **200'** bzw. **300** zusammen mit einem Festkörperaktor für ein Kraftstoffeinspritzventil dargestellt wird, versteht es sich von selbst, dass ein beliebiger, sich in der Länge ändernder Aktor wie zum Beispiel ein Aktor auf Basis einer elektrischen oder magnetischen Drossel oder ein Festkörperaktor zusammen mit der Vorrichtungsbaugruppe zum thermischen Ausgleich **200**, **200'** bzw. **300** verwendet werden könnte. Hier kann der sich in der Länge ändernde Aktor auch ein im Ruhezustand stromlos geschalteter Aktor sein, dessen Länge vergrößert wird, sobald der Aktor erregt wird. Umgekehrt kann der sich in der Länge ändernde Aktor auch in Fällen eingesetzt werden, in denen der Aktor im Ruhezustand erregt und stromlos geschaltet wird, um eine Kontraktion (statt einer Ausdehnung) der Länge zu bewirken. Darüber hinaus ist zu betonen, dass die Vorrichtungsbaugruppe zum thermischen Ausgleich **200**, **200'** bzw. **300** und der sich in der Länge ändernde Aktor nicht auf Anwendungen beschränkt sind, bei denen es um Kraftstoffeinspritzventile geht, sondern auch für andere Anwendungen eingesetzt werden können, die einen entsprechend genauen Aktor erfordern, wie etwa, um einige zu nennen, Schalter, optische Les-/Schreibaktor- oder medizinische Fluidabgabevorrichtungen.

[0053] Obwohl die vorliegende Erfindung in Bezug auf bestimmte bevorzugte Ausführungsformen offenbart wurde, sind zahlreiche Modifikationen, Varianten oder Änderungen der beschriebenen Ausführungsformen möglich, ohne die Aufgabenstellung und den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung gemäß der Definition in den beigefügten Ansprüchen zu verlassen. Dementsprechend ist beabsichtigt, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist, sondern sich auf den uneingeschränkten Schutzbereich erstreckt, der durch den Wortlaut der folgenden Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Hydraulische Ausgleichsvorrichtung (**200**) zum Bewegen eines sich in der Länge ändernden Aktors (**100**) relativ zu einem Gehäuse (**14**), wobei das Gehäuse ein Endelement (**28**) aufweist, wobei die hydraulische Ausgleichsvorrichtung umfasst:
einen Körper (**210**) mit einem ersten Körperende (**210a**) und einem zweiten Körperende (**210b**), die entlang einer Längsachse verlaufen, wobei der Körper eine Innenfläche (**213**) aufweist, die der Längsachse gegenüberliegt;
einen ersten Kolben (**220**), der mit dem sich in der Länge ändernden Aktor verbunden ist und der im Körper in der Nähe von entweder dem ersten Körperende oder dem zweiten Körperende angeordnet ist, wobei der erste Kolben eine erste Außenfläche (**222**) und eine erste Arbeitsfläche (**224**) mit einem Abstand zur ersten Außenfläche aufweist, wobei die erste Außenfläche mit dem Endelement des Gehäuses des Kraftstoffeinspritzventils zusammenwirkt, um einen ersten Fluidvolumenbereich (**32**) im Körper zu definieren;
einen zweiten Kolben (**240**), der im Körper in der Nähe des ersten Kolbens angeordnet ist, wobei der zweite Kolben eine zweite Außenfläche aufweist, die mit einem Abstand zu einer zweiten Arbeitsfläche (**242**) angeordnet ist, die der ersten Arbeitsfläche (**224**) des ersten Kolbens gegenüberliegt;
einen zweiten Fluidvolumenbereich (**33**), der zwischen der ersten Arbeitsfläche (**224**) und der zweiten Arbeitsfläche (**242**) angeordnet ist;
einen Verbindungskanal (**226**), der zwischen dem ersten Fluidvolumenbereich und dem zweiten Fluidvolumenbereich angeordnet ist; und
einen Fortsatzbereich (**230**), der entweder mit dem ersten Kolben oder mit dem zweiten Kolben verbunden ist, wobei der Fortsatzbereich einen Füllkanal (**232**) umfasst, der im Fortsatzbereich angeordnet ist, um den Verbindungskanal (**226**) und den ersten sowie den zweiten Fluidvolumenbereich mit Hydraulikfluid zu versorgen.

2. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 1, die ferner ein Ventil (**270**) umfasst, das in entweder dem ersten oder dem zweiten Fluidvolumenbereich angeordnet ist, wobei das Ventil entweder auf einen ersten Fluiddruck im ersten Fluidvolumenbereich oder auf einen zweiten Fluiddruck im zweiten Fluidvolumenbereich reagiert, um einen Fluidstrom von entweder dem ersten oder dem zweiten Fluidvolumenbereich zum jeweils anderen, d. h. entweder dem ersten oder dem zweiten Fluidvolumenbereich, zu ermöglichen.

3. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der zweite Kolben ein ringförmiges Element umfasst, das um die Längsachse angeordnet ist, wobei das ringförmige Element eine erste Fläche umfasst, die nahe der Längsachse ist, und eine zweite Fläche, die in einem Abstand zur Längsachse ange-

ordnet ist.

4. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, die ferner ein Federelement (260) umfasst, dass im Körper angeordnet ist, und eine veränderliche Fluidbarriere (250), die entweder mit dem ersten oder dem zweiten Kolben und mit der Körperinnenfläche (213) verbunden ist, um den zweiten Fluidvolumenbereich zu definieren.

5. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 4, wobei der erste Kolben eine erste Oberflächengröße (222) umfasst, die in Kontakt mit dem Fluid ist, und die veränderliche Fluidbarriere die zweite Arbeitsfläche umfasst, wobei die zweite Arbeitsfläche eine zweite Oberflächengröße aufweist, die in Kontakt mit dem Fluid ist, so dass eine resultierende Kraft eine Funktion der Summe der Kraft des Federelements (360) und eines Verhältnisses der ersten Oberflächengröße zur zweiten ist.

6. Ausgleichsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die veränderliche Fluidbarriere einen ersten Steg (252) umfasst, der hermetisch gegenüber einem Bereich der ersten Arbeitsfläche abgedichtet ist, und einen zweiten Steg (254), der hermetisch gegenüber einem Bereich der Körperinnenfläche abgedichtet ist, wobei der erste und der zweite Steg zwischen der ersten Arbeitsfläche (224) des ersten Kolbens und der zweiten Arbeitsfläche (242) des zweiten Kolbens angeordnet sind.

7. Ausgleichsvorrichtung nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei der erste Kolben ein Kolbenhemd (221) umfasst, das von der ersten Außenfläche (222) entlang der Längsachse verläuft, wobei das Kolbenhemd eine äußere Hülse (221) und eine innere Hülse (223) umfasst, wobei die innere Hülse (223) mit dem Fortsatzbereich (230) verbunden ist.

8. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei der zweite Kolben ein ringförmiges Element umfasst, das eine erste Fläche und eine zweite Fläche entlang der Längsachse aufweist, wobei die erste Fläche des ringförmigen Elements dem Fortsatzbereich (230) gegenüberliegt, wobei die zweite Fläche der äußeren Hülse (221) des Kolbenhemds gegenüberliegt, wobei das ringförmige Element in die äußere Hülse des Kolbenhemds hinein- und aus ihr hinausbewegt werden kann.

9. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, wobei die veränderliche Fluidbarriere ein Element (250') umfasst, das ein erstes Ende aufweist, das mit der äußeren Hülse (221) des Kolbenhemds verbunden ist, und ein zweites Ende, das mit einem Endkapfenbereich (214') verbunden ist, wobei der Endkapfenbereich von der Innenfläche des Körpers zur Längsachse des Körpers hin verläuft.

10. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei der erste Kolben eine Vielzahl von Taschen (228a, 228a') aufweist, die auf der ersten Außenfläche (222, 222') des ersten Kolbens um die Längsachse angeordnet sind.

11. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 10, wobei das Ventil eine Platte (270) umfasst, wobei die Platte eine Vielzahl von darauf ausgebildeten Öffnungen (272a, 272b) umfasst, und wobei die Platte so am ersten Fluidvolumenbereich (32, 32') angeordnet ist, dass die Platte über entweder die erste oder die zweite Außenfläche übersteht, und wobei deren Dicke ungefähr $1/94$ der Quadratwurzel der Oberflächengröße von einer Seite der Platte ist.

12. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 11, wobei die besagten Öffnungen in der Platte in einer gegenüberliegenden Anordnung zur Vielzahl von Taschen auf der ersten Außenfläche des ersten Kolbens angeordnet sind.

13. Ausgleichsvorrichtung nach Anspruch 6, wobei der erste Kolben eine äußere erste Kolbenfläche (228) aufweist, die in Kontakt mit der Körperinnenfläche angeordnet ist, um einen Hydraulikfluidleckstrom zwischen dem ersten und dem zweiten Fluidvolumenbereich zu ermöglichen.

14. Kraftstoffeinspritzventil, wobei das Kraftstoffeinspritzventil umfasst:

ein Gehäuse (14) mit einem ersten Gehäuseende und einem zweiten Gehäuseende, die entlang einer Längsachse verlaufen, wobei das Gehäuse ein Endelement (28) aufweist, das zwischen dem ersten Gehäuseende und dem zweiten Gehäuseende angeordnet ist;

einen sich in der Länge ändernden Aktor (100), der im Gehäuse entlang der Längsachse angeordnet ist; ein Schließelement (40), das mit dem Aktor verbunden ist, wobei das Schließelement beweglich ist zwischen einer ersten Position, die das Einspritzen von Kraftstoff ermöglicht, und einer zweiten Position, die das Einspritzen von Kraftstoff verhindert; und eine hydraulische Ausgleichsvorrichtung nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei der Fortsatzbereich ein erstes Fortsatzende aufweist, das entweder mit dem ersten Kolben oder dem zweiten Kolben verbunden ist, und ein zweites Fortsatzende, das mit dem sich in der Länge ändernden Aktor verbunden ist;

wodurch das Kraftstoffeinspritzventil ermöglicht, dass der sich in der Länge ändernde Aktor sich in Reaktion auf Temperaturänderungen relativ zum Gehäuse bewegt.

15. Verfahren zum Ausgleich von thermischem Verzug eines Kraftstoffeinspritzventils, wobei das Kraftstoffeinspritzventil umfasst: ein Gehäuse (14) mit einem Endelement (28); einen Körper (310), wo-

bei der Körper eine Innenfläche (313) aufweist, die gegenüber der Längsachse angeordnet ist; einen ersten Kolben (320), der mit dem sich in der Länge ändernden Aktor verbunden und im Körper angeordnet ist, wobei der erste Kolben eine erste Außenfläche (322) und eine erste Arbeitsfläche aufweist, die mit einem Abstand zur ersten Außenfläche angeordnet ist, wobei die erste Außenfläche mit dem Endelement (28) des Gehäuses des Kraftstoffeinspritzventils zusammenwirkt, um einen ersten Fluidvolumenbereich (32) im Körper zu definieren, wobei der erste Kolben ein Kolbenhemd (324) aufweist, das von der Außenfläche (322) entlang der Längsachse verläuft, wobei ein zweiter Kolben (340) im Körper in der Nähe des ersten Kolbens angeordnet ist; einen zweiten Fluidvolumenbereich (33), der zwischen der ersten Arbeitsfläche und der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist; einen Verbindungskanal (326), der zwischen dem ersten Fluidvolumenbereich und dem zweiten Fluidvolumenbereich angeordnet ist; und einen Fortsatzbereich (330), der entweder mit dem ersten Kolben oder dem zweiten Kolben verbunden ist, wobei der Fortsatzbereich einen Füllkanal (332) umfasst, der im Fortsatzbereich angeordnet ist, um den Verbindungskanal (326) sowie den ersten und den zweiten Fluidvolumenbereich mit Hydraulikfluid zu versorgen.

wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Anordnen einer Fläche des ersten Kolbens (320) und des Kolbenhemds (324) gegenüber einer Innenfläche des Körpers, um einen definierten Spalt (326) zwischen dem ersten Kolben und der Körperinnenfläche auszubilden;

Verbinden einer veränderlichen Fluidbarriere (352) derart zwischen dem ersten Kolben und dem zweiten Kolben, dass der zweite Kolben und die veränderliche Fluidbarriere den zweiten Fluidvolumenbereich ausbilden;

Vorspannen des zweiten Kolbens, wenn er zumindest teilweise im Kolbenhemd angeordnet ist, um einen hydraulischen Druck im ersten und zweiten Hydraulikvolumenbereich zu erzeugen; und

Vorspannen des sich in der Länge ändernden Aktors mit einem vorgegebenen Vektor, der auf Änderungen des Volumens des Hydraulikfluids beruht, das sich im ersten Fluidvolumenbereich befindet, als Funktion der Temperatur.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Vorspannen des sich in der Länge ändernden Aktors das Bewegen des sich in der Länge ändernden Aktors in einer ersten Richtung entlang der Längsachse umfasst, wenn die Temperatur über einer vorgegebenen Temperatur liegt.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei das Vorspannen des sich in der Länge ändernden Aktors das Bewegen des sich in der Länge ändernden Aktors in einer zweiten Richtung umfasst, die zur ersten Richtung entgegengesetzt ist, wenn die Tem-

peratur unter einer vorgegebenen Temperatur liegt.

18. Verfahren nach Anspruch 15, 16 oder 17, wobei das Vorspannen des sich in der Länge ändernden Aktors ferner das Verhindern eines Austauschs von Hydraulikfluid zwischen dem ersten und dem zweiten Fluidvolumenbereich während der Erregung des sich in der Länge ändernden Aktors umfasst, um ein Hydraulikfluidvolumen in entweder dem ersten oder dem zweiten Fluidvolumenbereich zu halten.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Verhindern eines Austauschs ferner das Abgeben eines Teils des Hydraulikfluids in den einen Fluidvolumenbereich umfasst, um eine Position des Schließelements und einen Teil des sich in der Länge ändernden Aktors relativ zueinander konstant zu halten, wenn der sich in der Länge ändernde Aktor nicht erregt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

10

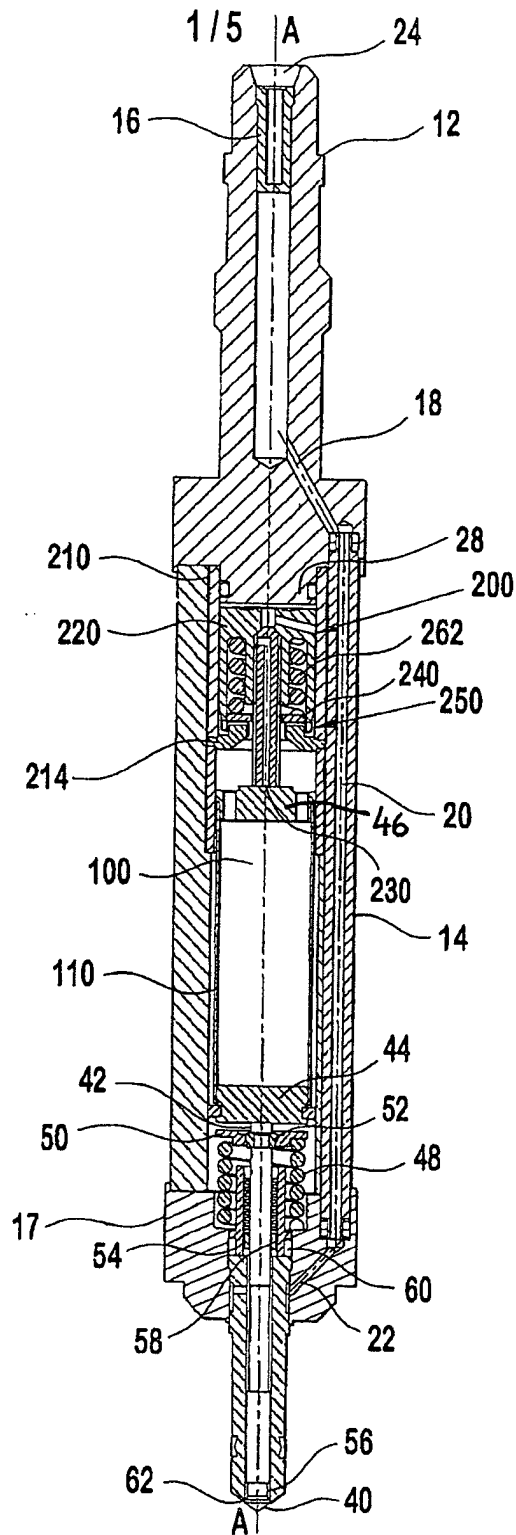


FIG. 2A

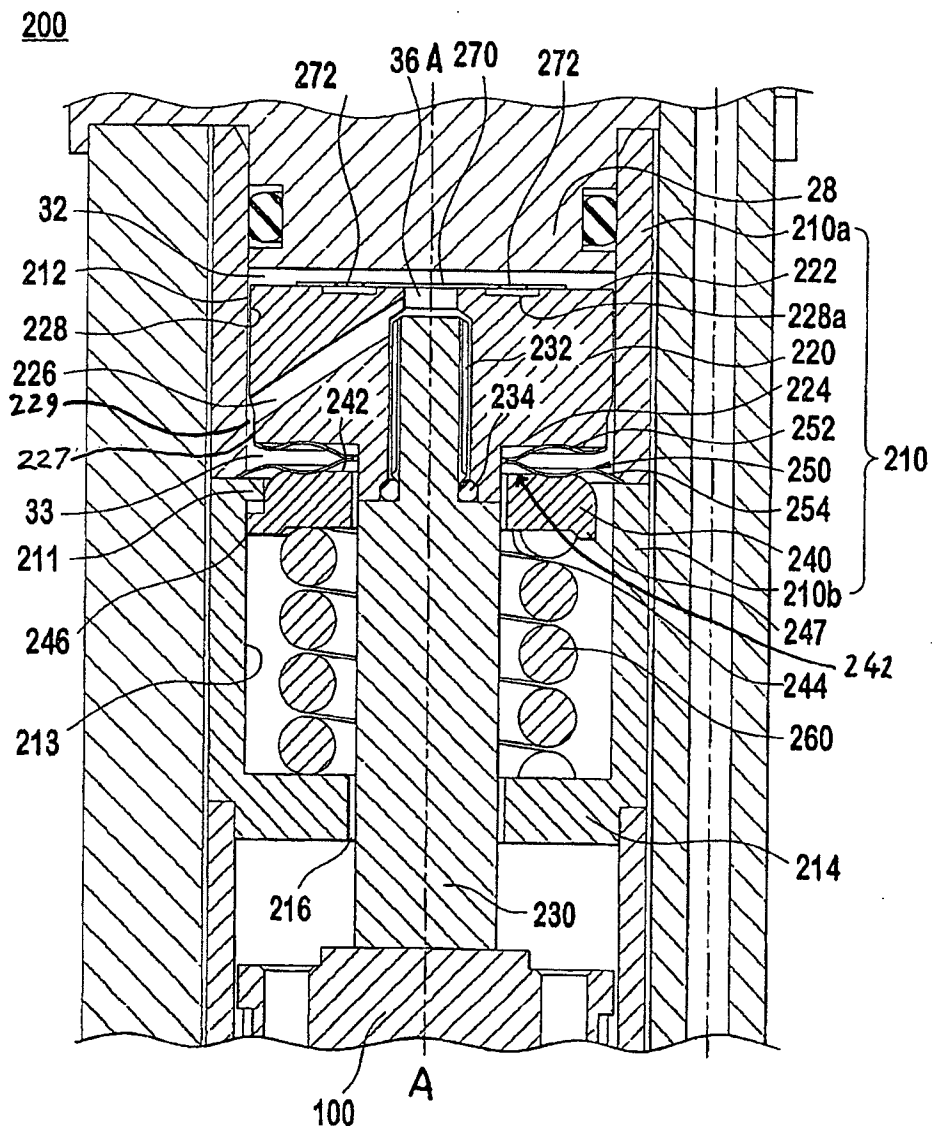


FIG. 2B

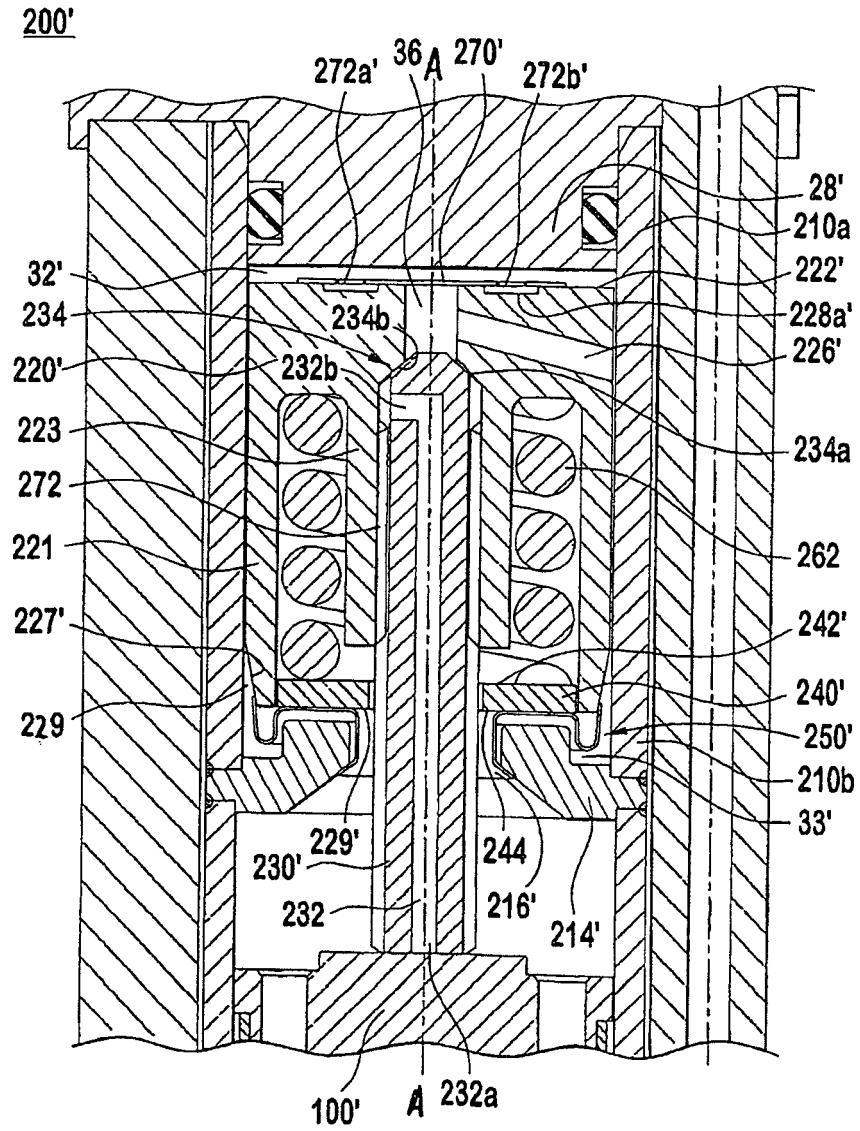


FIG. 3

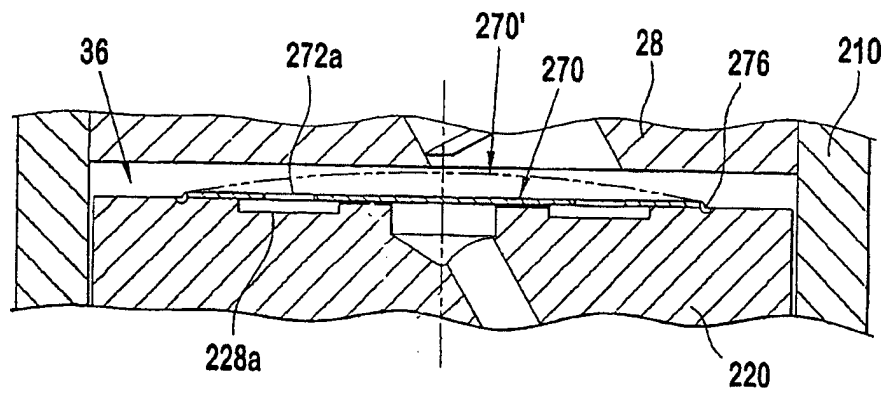


FIG. 4

