



(11)

EP 3 347 584 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.09.2019 Patentblatt 2019/37

(51) Int Cl.:
F02D 41/20 ^(2006.01) **F02D 41/24** ^(2006.01)
F02M 51/06 ^(2006.01) **F02M 57/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16741260.0**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2016/066021

(22) Anmeldetag: **06.07.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/041923 (16.03.2017 Gazette 2017/11)

(54) **ERFASSUNGSVERFAHREN ZUM ERFASSEN EINER SPALTGRÖSSE EINES SPALTES ZWISCHEN EINER INJEKTORVENTILBAUGRUPPE UND EINEM PIEZOSTAPEL SOWIE ANSTEUERUNGSVERFAHREN ZUM ANSTEUERN EINER AKTOREINHEIT IN EINEM PIEZOSTAPEL**

DETECTION METHOD FOR DETECTING A GAP SIZE OF A GAP BETWEEN AN INJECTOR VALVE ASSEMBLY AND PIEZO STACK, AND ACTUATION METHOD FOR ACTUATING AN ACTUATOR UNIT IN A PIEZO STACK

PROCÉDÉ DE DÉTECTION POUR LA DÉTECTION D'UNE DIMENSION D'UN INTERSTICE ENTRE UN MODULE DE SOUPAPE D'INJECTION ET UN EMPILEMENT PIÉZOÉLECTRIQUE, AINSI QUE PROCÉDÉ DE COMMANDE POUR LA COMMANDE D'UNE UNITÉ D'ACTIONNEUR DANS UN EMPILEMENT PIÉZOÉLECTRIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **09.09.2015 DE 102015217193**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.07.2018 Patentblatt 2018/29

(73) Patentinhaber: **Continental Automotive GmbH**
30165 Hannover (DE)

(72) Erfinder:
• **ZUMSTRULL, Claus**
93128 Regenstauf (DE)
• **KRÜGER, Grit**
93105 Tegernheim (DE)
• **RICHTER, Thomas**
93051 Regensburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 19 901 711 DE-A1-102008 023 373
DE-A1-102011 004 613 DE-A1-102011 005 285

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Erfassungsverfahren zum Erfassen einer Spaltgröße eines Spaltes zwischen einer Injektorventilbaugruppe und einem Piezostapel sowie Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern einer Aktoreinheit in einem Piezostapel.

[0002] Die Erfindung betrifft ein Erfassungsverfahren zum Erfassen einer Spaltgröße eines Spaltes zwischen einer Injektorventilbaugruppe und einem Piezostapel, der dazu vorgesehen ist, die Injektorventilbaugruppe zu betätigen. Weiter betrifft die Erfindung ein Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern einer Aktoreinheit in dem Piezostapel, der zum Betätigen der Injektorventilbaugruppe verwendet wird.

[0003] Eine Aktoreinheit in einem Piezostapel, der zum Betätigen einer Injektorventilbaugruppe in einer Brennkraftmaschine verwendet wird, umfasst typischerweise ein als Stapel ausgebildetes Bauelement, das eine Mehrzahl von Elektrodenschichten sowie eine Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten aufweist. Dabei ist jede Werkstoffschicht zwischen zwei der Elektrodenschichten angeordnet. Wenn ein elektrisches Feld über die Elektrodenschichten an die Aktoreinheit angelegt wird, reagieren die Werkstoffschichten, indem sie sich ausdehnen, sodass sich die Aktoreinheit insgesamt entlang einer Aktoreinheitlängsachse verlängert. Diese Auslenkung kann dann auf weitere Bauelemente übertragen werden, beispielsweise auf eine Injektorventilbaugruppe einer Brennkraftmaschine, um eine Injektornadel von einem Nadelsitz abzuheben und dadurch Kraftstoff in Brennräume der Brennkraftmaschine einzuspritzen.

[0004] Das Öffnen und Schließen der Injektornadel in der Injektorventilbaugruppe erfolgt durch direkte oder indirekte Übertragung der Längsausdehnung der Aktoreinheit auf die Injektorventilbaugruppe, wobei zum Übertragen der Längsausdehnung an irgendeinem Punkt zwischen dem Piezostapel, der die Aktoreinheit aufweist, und der Injektorventilbaugruppe ein Kraftschluss erfolgt.

[0005] Aus DE 10 2013 206 933 A1 ist es bekannt, einen Piezostapel modular aufzubauen, sodass der Piezostapel neben der beschriebenen Aktoreinheit auch eine Sensoreinheit aufweist, die kraftschlüssig mit der Aktoreinheit gekoppelt ist. Die Sensoreinheit weist dabei wenigstens eine keramische Werkstoffschicht mit jeweils zwei Elektrodenschichten auf. Dadurch können Kraftänderungen, die durch das Öffnen bzw. Schließen der Injektornadel auf den Piezostapel übertragen werden, erfasst werden, sodass Öffnungs- und Schließzeitpunkte der Injektornadel detektiert werden können.

[0006] Im eingebauten Zustand ist zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe ein Spalt vorhanden, der sich über die Lebensdauer der beiden Elemente aufgrund beispielsweise von Verschleiß bzw. Abrieb an den beiden Elementen bzw. einer Depolarisation der Aktoreinheit verändert.

[0007] Mit zunehmenden Anforderungen an Emission

und Verbrauch steigen die Anforderungen an die Einspritzung des Kraftstoffes in die Brennräume, wobei höhere Drücke, höhere Temperaturen, sowie Mehrfacheinspritzungen eine höhere Genauigkeit bei der Zumessung des eingespritzten Kraftstoffes erfordern. Um die geforderten Genauigkeiten zu erreichen, ist es nicht hinreichend, einen Injektor in Stellbetrieb zu fahren, sondern eine Regelung ist unumgänglich. Unter anderem ist es bei dieser Regelung auch wichtig, den Spalt zwischen Injektorventilbaugruppe und Piezostapel kompensieren zu können, wozu die Kenntnis der Spaltgröße, vor allem auch der sich über Lebensdauer ändernden Spaltgröße, notwendig ist.

[0008] Die DE 10 2011 005 285 A1 offenbart ein Verfahren zum Erfassen der Spaltgröße eines Spaltes (Leerhub) eines Piezoinjektors, der einen Piezoaktor und eine vom Piezoaktor direkt betätigte Düsenadel aufweist, wobei an den Piezoaktor ein Testpuls angelegt wird, der eine stetige Zunahme des Piezohubs bewirkt. Es wird die Zeitspanne gemessen, die zwischen dem Start des Testpulses und dem Zeitpunkt des Überwindens des Leerhubs vergeht. Aus der gemessenen Zeitspanne wird der Leerhub des Piezoaktors ermittelt. Gemessen werden dabei elektrische Signale des Piezoaktors, die durch mechanische Beeinflussungen hervorgerufen werden.

[0009] Die DE 10 2008 023 373 A1 offenbart ein Verfahren zum Steuern eines piezoelektrisch betätigten Einspritzventils. Das Verfahren beruht darauf, dass die vom Piezo-Aktor ausgeübte Kraft von der am Piezo-Aktor anliegenden Spannung und der durch den Piezo-Aktor verschobenen Ladung abhängt und die Lage des Maximums des Kraftverlaufs korreliert ist mit einem Zeitpunkt, zu dem das Schließelement tatsächlich öffnet und das Einspritzventil einen Weg für eine Kraftstoffeinspritzung freigibt. Die Bestimmung der Lage des Maximums des Kraftverlaufs der vom Piezo-Aktor ausgeübten Kraft erlaubt einen Rückschluss auf den Zeitpunkt der tatsächlichen Öffnung des Einspritzventils.

[0010] Die DE 10 2011 004 613 A1 offenbart ein Verfahren zur Überwachung des Zustandes eines Piezoinjektors eines Kraftstoffeinspritzsystems. In einem Teilhubbetrieb wird der Verlauf eines elektrischen Parameters über der Zeit erfasst, um daraus Rückschlüsse auf den Zustand des Piezoinjektors zu ziehen.

[0011] Die DE 199 01 711 A1 offenbart ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffeinspritzventils mit piezoelektrischem Aktor. Abhängig von einer temperaturabhängigen Längenausdehnung wird der Aktor mit einer ersten Betätigungsspannung beaufschlagt, die derart bemessen ist, dass ein in einem nicht erregten Ruhezustand des Aktors in der Betätigungsstrecke ausgebildeter Spalt verschwindet oder reduziert wird. Mit einer zweiten Betätigungsspannung wird das Brennstoffeinspritzventil geöffnet.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Erfassungsverfahren zum Erfassen dieser Spaltgröße vorzuschlagen.

[0013] Diese Aufgabe wird mit einem Erfassungsver-

fahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

[0014] Eine weitere Aufgabe ist es, ein Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern der Aktoreinheit vorzuschlagen, mit der die Spaltgröße kompensiert werden kann.

[0015] Ein Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern einer Aktoreinheit in einem Piezostapel ist Gegenstand des nebeneordneten Anspruches.

[0016] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0017] Ein Erfassungsverfahren zum Erfassen einer Spaltgröße eines Spaltes zwischen einer Injektorventilbaugruppe einer Brennkraftmaschine und einem Piezostapel zum Betätigen der Injektorventilbaugruppe weist die folgenden Schritte auf:

- Bereitstellen eines Piezostapels mit einer Aktoreinheit und einer Sensoreinheit, die kraftschlüssig miteinander gekoppelt sind, wobei die Sensoreinheit zum Erfassen von an der Aktoreinheit wirkenden Kräftegradienten ausgebildet ist;
- Bereitstellen einer Injektorventilbaugruppe, die im Betrieb über die Aktoreinheit betätigt wird, wobei die Injektorventilbaugruppe und der Piezostapel über einen Spalt mit unbekannter Spaltgröße voneinander beabstandet angeordnet sind;
- Erfassen eines Spannungssignals der Sensoreinheit;
- Beaufschlagen der Aktoreinheit mit einem definierten Spannungspuls, sodass sich die Aktoreinheit unter Verringerung des Spaltes entlang einer Aktoreinheitlängsachse auslenkt;
- Erfassen einer Zeitdauer der Spannungspulsbeaufschlagung der Aktoreinheit ausgehend von einem ersten Zeitpunkt, in dem die Spannungspulsbeaufschlagung beginnt, bis zu einem zweiten Zeitpunkt, in dem in dem erfassten Spannungssignal der Sensoreinheit ein Spannungsgradient auftritt;
- Ermitteln der Spaltgröße des Spaltes aus der erfassten Zeitdauer und dem definierten Spannungspuls.

[0018] Erfindungsgemäß wird in einem dritten Zeitpunkt, in dem eine Injektornadel der Injektorventilbaugruppe von einem Nadelsitz abhebt, ein zweiter Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst. Dabei wird ein negativer Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst. In einem vierten Zeitpunkt, in dem die Injektornadel in Kraftschluss mit dem Nadelsitz kommt, wird ein dritter Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst, wobei zwischen dem vierten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt der dritte Zeitpunkt liegt. In dem vierten Zeitpunkt wird ein positiver Spannungsgradient erfasst.

[0019] Bei dem Erfassungsverfahren wird die Erkenntnis genutzt, dass ein Kraftschluss zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe zu einem Kraftstoß in dem Piezostapel führt. Der Kraftstoß entspricht einem Kräftegradienten, der eine Ladung in der gene-

riert, sodass beispielsweise eine Spannung von außen abgreifbar ist. Der Kraftschluss und somit der Kräftegradient treten in dem Moment auf, in dem der Spalt zwischen Piezostapel und Injektorventilbaugruppe überwunden ist. Da die Spannung, mit der die Aktoreinheit zum Ausdehnen beaufschlagt wird, bekannt ist, kann über eine gemessene Zeitdauer, bis die Sensoreinheit den Kraftschluss mit der Injektorventilbaugruppe erfasst, auf die Spaltgröße des Spaltes zurückgeschlossen werden.

[0020] Dazu wird vorteilhaft ein zuvor ermitteltes Kennfeld hinterlegt, das für vordefinierte Spannungspulse eine Spaltgröße des Spaltes in Abhängigkeit einer Zeitdauer der Spannungspulsbeaufschlagung setzt.

[0021] Um später die Spaltgröße des Spaltes beispielsweise über eine Regelung kompensieren zu können, ist es nötig, definierte Messgrößen aus dem System zu ermitteln, um daraus die entsprechenden Regelgrößen zu berechnen. Vorliegend wird vorteilhaft der modulare Aufbau des Piezostapels aus einer Aktoreinheit und einer Sensoreinheit verwendet, um die Spaltgröße zu ermitteln. Daher ist es nicht nötig, weitere Sensoren vorzusehen, über die die Spaltgröße ermittelt werden soll, da bereits die vorhandene Sensoreinheit verwendet wird. Die Sensoreinheit detektiert dabei einen Kraftanstieg in dem zweiten Zeitpunkt, in dem der Piezostapel einen Kraftschluss zu der Injektorventilbaugruppe erreicht.

[0022] Dadurch, dass in dem dritten Zeitpunkt, in dem eine Injektornadel der Injektorventilbaugruppe von einem Nadelsitz abhebt, ein zweiter Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst wird, kann vorteilhaft exakt der Zeitpunkt erfasst werden, in dem ein Injektor zum Einspritzen von Kraftstoff öffnet. Insbesondere wird dabei ein negativer Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst. Über die Vorzeichen kann demgemäß erfasst werden, ob ein Kräftegradient in dem Piezostapel dadurch verursacht wurde, dass ein Kraftschluss zwischen Piezostapel und Injektorventilbaugruppe erfolgt ist, oder dadurch, dass sich die Injektornadel von dem Nadelsitz abgehoben hat.

[0023] Auch durch das Schließen des Injektors und somit das Beenden der Kraftstoffeinspritzung tritt ein Kräftegradient in dem Piezostapel auf, der über die Sensoreinheit durch einen Spannungsgradienten erfasst werden kann. Daher kann über die Sensoreinheit nun exakt erfasst werden, wann ein Kraftschluss mit der Injektorventilbaugruppe vorliegt, wann sich die Injektornadel öffnet, und auch wann sich die Injektornadel wieder schließt. Somit kann der eingespritzte Kraftstoff exakt dem jeweiligen Brennraum zugemessen werden. Aus den gemessenen Daten ist es auch möglich, eine Regelung vorzusehen, die Alterungserscheinungen kompensieren kann, sodass weiterhin eine exakte Einspritzung des Kraftstoffes in den jeweiligen Brennraum möglich bleibt.

[0024] Vorzugsweise wird die Spaltgröße des Spaltes zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbau-

gruppe bei jedem Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe erfasst. So ist es möglich, weitere Daten über Alterungserscheinungen der Elemente zu erfassen, beispielsweise eine Depolarisation der Aktoreinheit oder Verschleiß bzw. Abrieberscheinungen der Elemente, die sich in der sich über die Lebensdauer verändernden Spaltgröße widerspiegeln.

[0025] In vorteilhafter Ausgestaltung wird in dem zweiten Zeitpunkt ein positiver Spannungsgradient in dem Spannungssignal der Sensoreinheit erfasst. Ist demgemäß das Signal der Sensoreinheit, das den Spannungsgradienten darstellt, positiv, kann sofort erkannt werden, dass der zweite Zeitpunkt vorliegt.

[0026] In einem Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern einer Aktoreinheit in einem Piezostapel zum Betätigen einer Injektorventilbaugruppe in einer Brennkraftmaschine wird die Aktoreinheit mit einem vorbestimmten Öffnungsspannungspuls zum Abheben einer Injektornadel der Injektorventilbaugruppe von einem Nadelsitz beaufschlagt. Vor der Beaufschlagung der Aktoreinheit mit dem Öffnungsspannungspuls werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Durchführen des oben beschriebenen Erfassungsverfahrens, um eine Spaltgröße eines Spaltes zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe zu erfassen;
- Beaufschlagen der Aktoreinheit mit einem Prä-Spannungspuls zum Schließen des Spaltes zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe.

[0027] Dadurch, dass die Spaltgröße nun bekannt ist, ist es möglich, den Spalt durch Nachregelung der Aktoreinheit zu kompensieren, indem ein Prä-Spannungspuls auf die Aktoreinheit aufgebracht wird, sodass sich diese auslenkt und den Spalt überwindet.

[0028] Dazu ist es vorteilhaft, wenn ein weiteres Kennfeld hinterlegt wird, aus dem eine für das Schließen des Spaltes notwendige Größe des Prä-Spannungspulses ausgelesen werden kann.

[0029] Die Aktoreinheit kann daher basierend auf der hochgenauen Messung in dem Erfassungsverfahren mit dem genannten Prä-Spannungspuls betrieben werden, sodass zum jeweiligen Zeitpunkt, zu dem die Einspritzung starten soll, ein reproduzierbarer spaltfreier Zustand zwischen Piezostapel und Injektorventilbaugruppe erreicht ist. Die Einspritzansteuerung kann somit völlig unabhängig von einer Absolutlänge des Piezostapels, von Verschleißerscheinungen usw. sein. Dadurch können negative Störgrößen wie die Absolutlängenveränderung des Piezostapels und Verschleißerscheinungen, insbesondere an dem Nadelsitz, eliminiert werden, und es ergibt sich ein reproduzierbares Öffnungs- und Schließverhalten der Injektornadel.

[0030] Gleichzeitig kann durch den benötigten Prä-Spannungspuls auch erfasst werden, wann der Spalt durch Beaufschlagung mit dem Prä-Spannungspuls

nicht mehr kompensiert werden kann, sodass eine Wartung nötig ist. In diesem Fall kann ein Signal als Verschleißanzeiger nach außen abgegeben werden.

[0031] Vorzugsweise wird der Prä-Spannungspuls aus der mit dem Erfassungsverfahren ermittelten Spaltgröße bestimmt, wobei der Prä-Spannungspuls insbesondere bei jedem Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe neu bestimmt wird. So kann auch die sich über die Lebensdauer verändernde Spaltgröße kontinuierlich über die Lebensdauer der Anordnung kompensiert werden.

[0032] Vorzugsweise wird das Erfassungsverfahren in einem ersten Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe durchgeführt, wobei das Beaufschlagen der Aktoreinheit mit dem Prä-Spannungspuls zu einem dem ersten Betätigungszyklus zeitlich nachgelagerten zweiten Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe durchgeführt wird. Daher wird vorteilhaft mit dem Erfassungsverfahren zunächst erfasst, wie groß die Spaltgröße derzeit ist, sodass der nötige Prä-Spannungspuls ermittelt werden kann. Erst in dem nächsten Betätigungszyklus wird dieser Prä-Spannungspuls verwendet, um den Spalt zu kompensieren.

[0033] Dabei ist es vorteilhaft, wenn der Prä-Spannungspuls so früh an die Aktoreinheit gegeben wird, dass ein Spannungspuls zum Öffnen der Injektornadel ohne Zeitverzögerung wie vorgesehen an die Aktoreinheit ausgegeben werden kann. Beispielsweise kann der Prä-Spannungspuls auch bereits sofort nach Durchführung des Erfassungsverfahrens gegeben werden, auch wenn die eigentliche nachfolgende Einspritzung erst zeitlich deutlich später erfolgen soll.

[0034] Es ist vorteilhaft, wenn der erste Betätigungszyklus und der zweite Betätigungszyklus zeitlich unmittelbar aufeinander folgen.

[0035] Insgesamt umfasst ein Gesamt-Injektor einen Aktor, eine Ventilbaugruppe mit einem Ventilsitz und mit einem Ventilkolben, sowie eine Düse mit einem Düsen-sitz und einer Nadel.

[0036] Eine Injektoreinheit zum Einspritzen von Kraftstoff in eine Brennkammer einer Brennkraftmaschine weist eine Injektorventilbaugruppe mit einer Injektornadel auf, wobei die Injektornadel mit einem Nadelsitz ein Injektorventil bildet. Weiter weist die Injektoreinheit einen Piezostapel mit einer Aktoreinheit und einer Sensoreinheit auf, die kraftschlüssig miteinander gekoppelt sind. Die Sensoreinheit ist dabei zum Erfassen von an der Aktoreinheit wirkenden Kräftegradienten ausgebildet, und die Aktoreinheit ist zum Betätigen der Injektorventilbaugruppe ausgebildet. Zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe ist ein Spalt mit einer unbekannten Spaltgröße ausgebildet. Weiter ist eine Steuereinheit vorgesehen, die zum Erfassen eines Spannungssignals der Sensoreinheit und zum Beaufschlagen der Aktoreinheit mit einem Spannungspuls ausgebildet ist. Die Steuereinheit ist dabei zum Ausführen des oben beschriebenen Erfassungsverfahrens bzw. zum Ausführen des oben beschriebenen Ansteuerungsverfahrens ausgebildet.

[0037] Dazu weist die Steuereinheit beispielsweise die beiden genannten Kennfelder auf, sowie Mittel, um Spannungsgradienten des Spannungssignals der Sensoreinheit zu erfassen. Weiter weist die Steuereinheit vorteilhaft Elemente auf, mit denen aus verschiedenen Parametern die Spaltgröße des Spaltes und die nötige Größe des Prä-Spannungspulses zum Schließen des Spaltes ermittelt werden können. Zusätzlich weist die Steuereinheit vorteilhaft eine Ausgabeeinrichtung auf, um Spannungspulse an die Aktoreinheit auszugeben, sodass diese sich in ihrer Länge entlang der Aktoreinheitlängsachse verändern kann.

[0038] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer Injektoreinheit mit einem Piezostapel und einer Injektorventilbaugruppe, wobei die Injektoreinheit gemäß dem direkt betriebenen Funktionsprinzip funktioniert;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer Injektoreinheit mit einem Piezostapel und einer Injektorventilbaugruppe, wobei die Injektoreinheit gemäß dem Funktionsprinzip des Servobetriebes funktioniert;

Fig. 3 eine schematische Längsschnittdarstellung durch den Piezostapel aus Fig. 1 und Fig. 2 in größerem Detail;

Fig. 4 ein Flussdiagramm, das ein Erfassungsverfahren zum Erfassen einer Spaltgröße eines Spaltes zwischen dem Piezostapel und der Injektorventilbaugruppe in Fig. 1 und Fig. 2 darstellt;

Fig. 5 ein Flussdiagramm, das ein Ansteuerungsverfahren einer Aktoreinheit in dem Piezostapel aus den Fig. 1 - Fig. 3 zum Überwinden des gemäß Fig. 4 erfassten Spaltes darstellt, und

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Steuereinheit, die zum Ausführen des Erfassungsverfahrens gemäß Fig. 4 bzw. des Ansteuerungsverfahrens gemäß Fig. 5 ausgebildet ist.

[0039] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen jeweils schematische Darstellungen einer Injektoreinheit 10, die zum Einspritzen von Kraftstoff in eine Brennkammer einer Brennkraftmaschine verwendet wird. Die Injektoreinheit 10 weist eine Injektorventilbaugruppe 12 sowie einen Piezostapel 14 auf, mit dem die Injektorventilbaugruppe 12 betätigt werden kann. In der Injektorventilbaugruppe 12 ist eine Injektornadel 16 angeordnet, die mit einem Nadelsitz 18 so zusammenwirkt, dass sich ein Injektorventil 20 bildet.

Hebt sich die Injektornadel 16 von dem Nadelsitz 18 ab, wird das Injektorventil 20 geöffnet, und es kann Kraftstoff in die jeweilige Brennkammer, die mit der Injektoreinheit 10 verbunden ist, eingespritzt werden. Kommt die Injektornadel 16 jedoch wieder in Kraftschluss mit dem Nadelsitz 18, ist das Injektorventil 20 verschlossen, und die Einspritzung von Kraftstoff ist beendet.

[0040] Der Piezostapel 14 weist, wie später anhand von Fig. 3 genauer erläutert wird, eine Aktoreinheit 22 und eine Sensoreinheit 24 auf. Diese sind entlang einer Aktoreinheitlängsachse 26 übereinander in dem Piezostapel 14 angeordnet, wobei die Sensoreinheit 24 über der Aktoreinheit 22 (vgl. Fig. 3) oder auch unter der Aktoreinheit 22 angeordnet sein kann.

[0041] Der Piezostapel 14 ist mit einer Steuereinheit 28 verbunden, die einerseits Spannungssignale von der Sensoreinheit 24 erfassen kann, andererseits aber auch Spannungspulse an die Aktoreinheit 22 ausgeben kann, sodass diese sich entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 ausdehnt.

[0042] Eine solche Ausdehnung entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 führt dazu, dass sich der Piezostapel 14, beispielsweise über einen daran befestigten Pin 30, auf die Injektorventilbaugruppe 12 zu bewegt. Dabei wird ein Spalt 32 überwunden, der im eingebauten Zustand der Injektorventilbaugruppe 12 bzw. des Piezostapels 14 immer vorhanden ist, und sich auch über die Lebensdauer der einzelnen Elemente in seiner Spaltgröße 34 verändert. Ist der Spalt 32 überwunden, und lenkt sich die Aktoreinheit 22 weiter entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 aus, wird über eine Betriebseinheit 36 durch die von dem Piezostapel 14 auf die Betriebseinheit 36 wirkende Kraft die Injektornadel 16 aus dem Nadelsitz 18 gehoben. Wird die Spannungsbeaufschlagung der Aktoreinheit 22 beendet, zieht diese sich wieder entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 zusammen, sodass der Kontakt zwischen Injektorventilbaugruppe 12 und Piezostapel 14 beendet wird, und die Injektornadel 16 wieder in den Nadelsitz 18 zurückkehren kann.

[0043] In Fig. 1 ist dabei ein direkt betriebenes Funktionssystem gezeigt, bei dem die Betriebseinheit 36 die Injektornadel 16 bei einer Kraftbeaufschlagung von dem Piezostapel 14 her über Hebel 38 aus dem Nadelsitz 18 hebt.

[0044] Fig. 2 zeigt eine alternative Ausgestaltung, bei der die Injektoreinheit 10 über einen Servobetrieb funktioniert, wobei die Betriebseinheit 36 eine flüssigkeitsgefüllte Steuerkammer 40 aufweist, die eine Schließkraft durch den in der Steuerkammer 40 vorhandenen Flüssigkeitsdruck auf die Injektornadel 16 ausübt, und diese so in dem Nadelsitz 18 hält. Bei Kontakt des Piezostapels 14 über den Pin 30 mit einem Ventilelement 42 der Betriebseinheit 36 wird ein Flüssigkeitsdruck in der Steuerkammer 40 abgebaut, sodass sich die Injektornadel 16 aus dem Nadelsitz 18 heben kann.

[0045] Fig. 3 zeigt eine schematische Längsschnittdarstellung des Piezostapels 14 aus Fig. 1 und Fig. 2 in größerem Detail.

[0046] Der Piezostapel 14 weist die Aktoreinheit 22 und die Sensoreinheit 24 auf, die entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 in dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel übereinander angeordnet sind, und zwar derart, dass die Sensoreinheit 24 auf der Seite der Aktoreinheit 22 angeordnet ist, die der Injektorventilbaugruppe 12 abgewandt ist. Es ist jedoch auch eine umgekehrte Anordnung von Aktoreinheit 22 und Sensoreinheit 24 möglich.

[0047] Die Aktoreinheit 22 umfasst eine Mehrzahl an Elektroden und eine Mehrzahl an auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten, die entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 abwechselnd übereinander gestapelt angeordnet sind. Die Elektroden und die Werkstoffschichten sind in Fig. 3 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die elektrische Kontaktierung der Elektroden erfolgt über Außenelektroden 44, welche über elektrische Leiter 46 mit den Elektroden elektrisch verbunden sind. Eine Kontaktierung der Außenelektrode 44 kann jedoch auch anders erfolgen. Die Außenelektroden 44 sind mit der Steuereinheit 28 verbunden, die über die Außenelektroden 44 Spannungspulse an die Aktoreinheit 22 abgeben kann, sodass diese sich entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 ausdehnt. Die Aktoreinheit 22 ist kraftschlüssig mit der Sensoreinheit 24 verbunden. Auch die Sensoreinheit 24 weist vorteilhaft einen Sensorkörper 48 auf, der beispielsweise aus dem gleichen Werkstoff, der auch die Werkstoffschichten der Aktoreinheit 22 bildet, gebildet ist. An dem Sensorkörper 48 sind Elektroden 50 angeordnet, und zwar insbesondere an zwei sich gegenüberliegenden Seitenflächen 52, die entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 angeordnet sind. Die Elektroden 50 sind mit einer Spannungsmesseinrichtung 54 verbunden, die ein Spannungssignal der Sensoreinheit 24 an die Steuereinheit 28 weiterleitet.

[0048] Dadurch, dass die Steuereinheit 28 Spannungssignale der Sensoreinheit 24, vermittelt über die Spannungsmesseinrichtung 54, erfassen kann, können sämtliche Kräftegradienten, die innerhalb des Piezostapels 14 auftreten, von der Steuereinheit 28 erfasst werden.

[0049] Dadurch ist es möglich, mit der Steuereinheit 28 auch ein Erfassungsverfahren durchzuführen, mit dem die Spaltgröße 34 des Spaltes 32 zwischen der Injektorventilbaugruppe 12 und dem Piezostapel 14 zuverlässig erfasst werden kann.

[0050] Ein Flussdiagramm zum Erfassen dieser Spaltgröße 34 ist dazu in Fig. 4 dargestellt.

[0051] Zunächst wird dabei ein erster Zeitpunkt t_1 erfasst, zu dem die Beaufschlagung der Aktoreinheit 22 mit einem Spannungspuls ausgehend von der Steuereinheit 24 erfolgt. Danach wird erfasst, wann zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 in einem Spannungssignal, das von der Sensoreinheit 24 zu der Steuereinheit 28 gemeldet wird, ein Spannungsgradient dU auftritt. Aus den beiden Zeitpunkten t_1 , t_2 kann dann die Zeitdauer Δt erfasst wer-

den, die bis zum Auftreten des Spannungsgradienten dU vergangen ist. Unter Heranziehung eines ersten Kennfeldes K_1 , das die Spaltgröße 34 in Abhängigkeit der Zeitdauer Δt setzt, kann dann die zum aktuellen Zeitpunkt vorliegende Spaltgröße 34 ermittelt werden. Gleichzeitig wird das Spannungssignal der Sensoreinheit 24 weiter von der Steuereinheit 28 erfasst, sodass ein dritter Zeitpunkt t_3 ermittelt werden kann, zu dem ein weiterer Spannungsgradient dU auftritt, nämlich dann, wenn sich die Injektornadel 16 von dem Nadelsitz 18 abhebt. Um den zweiten Zeitpunkt t_2 von dem dritten Zeitpunkt t_3 unterscheiden zu können, wird das Vorzeichen des Spannungsgradienten herangezogen, der zum Zeitpunkt t_2 positiv, und zum Zeitpunkt t_3 negativ ist. Im weiteren Verlauf kann vor allem bei direkt angetriebenen Injektoreinheiten auch in einem vierten Zeitpunkt t_4 ein weiterer Spannungsgradient dU erfasst, der ein positives Vorzeichen hat, was auf ein Schließen der Injektornadel 16 zurückzuführen ist. In Fig. 5 ist ein Flussdiagramm dargestellt, das ein Ansteuerungsverfahren schematisch zeigt, mit dem die Aktoreinheit 22 über die Steuereinheit 28 angesteuert werden kann. Dabei wird zunächst, wie mit Bezug auf Fig. 4 beschrieben, die Spaltgröße 34 des Spaltes 32 zwischen der Injektorventilbaugruppe 12 und dem Piezostapel 14 ermittelt. Aus einem zweiten Kennfeld K_2 , das eine Größe eines notwendigen Prä-Spannungspulses zum Schließen des Spaltes 32 in Abhängigkeit der ermittelten Spaltgröße 34 setzt, wird dann die Größe des Prä-Spannungspulses ermittelt, die notwendig ist, um den Spalt 32 zu schließen.

[0052] In einem nachfolgenden Schritt wird dann die Aktoreinheit 22 mit diesem Prä-Spannungspuls beaufschlagt. Nachfolgend wird dann die Aktoreinheit 22 mit einem Öffnungspuls beaufschlagt, um die Injektornadel 16 von dem Nadelsitz 18 abzuheben.

[0053] Die Steuereinheit 28 ist ausgebildet, sowohl das in Fig. 4 dargestellte Ermittlungsverfahren als auch das in Fig. 5 dargestellte Ansteuerungsverfahren durchzuführen. Dazu weist die Steuereinheit 28, wie in Fig. 6 schematisch dargestellt ist, die Kennfelder K_1 und K_2 auf. Weiter ist eine Erfassungseinrichtung 56 zum Erfassen eines Spannungsgradienten dU in dem Spannungssignal von der Sensoreinheit 24 vorgesehen. Zusätzlich umfasst die Steuereinheit 28 eine Zeitmesseinrichtung 58 und eine Ausgabeeinrichtung 60, die eine Öffnungspulsausgabeeinrichtung 62 umfasst, von welcher ein Öffnungspuls an die Aktoreinheit 22 zum Öffnen der Injektornadel 16 ausgegeben wird. Die Öffnungspulsausgabeeinrichtung 62 gibt ein Signal an die Zeitmesseinrichtung 58, wenn sie einen Öffnungspuls an die Aktoreinheit 22 ausgegeben hat. Die Erfassungseinrichtung 56 gibt ein Signal an die Zeitmesseinrichtung 58, wenn über die Sensoreinheit 24 ein Spannungsgradient dU ermittelt worden ist. Daraus kann die Zeitmesseinrichtung 58 die Zeitdauer Δt bestimmen.

[0054] In der Steuereinheit 28 ist weiter eine Ermittlungseinheit 64 vorgesehen, die die Spaltgröße 34 ermitteln kann. Dazu wird ihr aus der Zeitmesseinrichtung

58 die erfasste Zeitdauer Δt sowie das Kennfeld K_1 und die Größe des Öffnungspulses zugeführt. Aus diesen Daten ist es möglich, die Spaltgröße 34 zu ermitteln, da das Kennfeld K_1 die Spaltgröße 34 in Abhängigkeit setzt von der Zeitdauer Δt und der Größe des Öffnungspulses.

[0055] Weiter ist in der Steuereinheit 28 eine Bestimmungseinheit 66 vorgesehen, um die Größe des Prä-Spannungspulses zu bestimmen, und zwar anhand der ermittelten Spaltgröße 34 und des zweiten Kennfeldes K_2 , das den notwendigen Prä-Spannungspuls zum Schließen des Spaltes 32 in Abhängigkeit setzt zu der ermittelten Spaltgröße 34. Die Ausgabeeinrichtung 60 umfasst neben der Öffnungspulsausgabeeinrichtung 62 auch eine Prä-Spannungspulsausgabeeinrichtung 68, der der bestimmte Prä-Spannungspuls aus der Bestimmungseinheit 66 zugeführt wird. Die Prä-Spannungspulsausgabeeinrichtung 68 gibt dann ein Signal an die Aktoreinheit 22 aus, die dem bestimmten Prä-Spannungspuls entspricht, sodass die Aktoreinheit 22 sich derart entlang der Aktoreinheitlängsachse 26 ausdehnen kann, dass der Spalt 32 verschwindet.

Patentansprüche

1. Erfassungsverfahren zum Erfassen einer Spaltgröße eines Spaltes zwischen einer Injektorventilbaugruppe (12) einer Brennkraftmaschine und einem Piezostapel (14) zum Betätigen der Injektorventilbaugruppe (12), aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen eines Piezostapels (14) mit einer Aktoreinheit (22) und einer Sensoreinheit (24), die kraftschlüssig miteinander gekoppelt sind, wobei die Sensoreinheit (24) zum Erfassen von an der Aktoreinheit (22) wirkenden Kräftegradienten ausgebildet ist;
- Bereitstellen einer Injektorventilbaugruppe (12), die im Betrieb über die Aktoreinheit (22) betätigt wird, wobei die Injektorventilbaugruppe (12) und der Piezostapel (14) über einen Spalt (32) mit unbekannter Spaltgröße (34) voneinander beabstandet angeordnet sind;
- Erfassen eines Spannungssignals der Sensoreinheit (24);
- Beaufschlagen der Aktoreinheit (22) mit einem definierten Spannungspuls, sodass sich die Aktoreinheit (22) unter Verringerung des Spaltes (32) entlang einer Aktoreinheitlängsachse (26) auslenkt;
- Erfassen einer Zeitdauer (Δt) der Spannungspulsbeaufschlagung der Aktoreinheit ausgehend von einem ersten Zeitpunkt (t_1), in dem die Spannungspulsbeaufschlagung beginnt, bis zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2), in dem in dem erfassten Spannungssignal der Sensoreinheit (24) ein Spannungsgradient (dU) auftritt;
- Ermitteln der Spaltgröße (34) des Spaltes (32)

aus der erfassten Zeitdauer (Δt) und dem definierten Spannungspuls; **dadurch gekennzeichnet, dass**

- in einem dritten Zeitpunkt (t_3), in dem eine Injektornadel (16) der Injektorventilbaugruppe (12) von einem Nadelsitz (18) abhebt, ein zweiter Spannungsgradient (dU) in dem Spannungssignal der Sensoreinheit (24) erfasst wird, wobei ein negativer Spannungsgradient (dU) in dem Spannungssignal der Sensoreinheit (24) erfasst wird, und
- in einem vierten Zeitpunkt (t_4), in dem die Injektornadel (16) in Kraftschluss mit dem Nadelsitz (18) kommt, ein dritter Spannungsgradient (dU) in dem Spannungssignal der Sensoreinheit (24) erfasst wird, wobei zwischen dem vierten Zeitpunkt (t_4) und dem zweiten Zeitpunkt (t_2) der dritte Zeitpunkt (t_3) liegt, wobei in dem vierten Zeitpunkt (t_4) ein positiver Spannungsgradient (dU) in dem Spannungssignal der Sensoreinheit (24) erfasst wird.

2. Erfassungsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass die Spaltgröße (34) des Spaltes (32) zwischen dem Piezostapel (14) und der Injektorventilbaugruppe (12) bei jedem Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe (12) erfasst wird.

3. Erfassungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass in dem zweiten Zeitpunkt (t_2) ein positiver Spannungsgradient (dU) in dem Spannungssignal der Sensoreinheit (24) erfasst wird.

4. Ansteuerungsverfahren zum Ansteuern einer Aktoreinheit (22) in einem Piezostapel (14) zum Betätigen einer Injektorventilbaugruppe (12) in einer Brennkraftmaschine, wobei die Aktoreinheit (22) mit einem vorbestimmten Öffnungsspannungspuls zum Abheben einer Injektornadel (16) der Injektorventilbaugruppe (12) von einem Nadelsitz (18) beaufschlagt wird, wobei vor der Beaufschlagung der Aktoreinheit (22) mit dem Öffnungsspannungspuls die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- Durchführen des Erfassungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zum Erfassen einer Spaltgröße (34) eines Spaltes (32) zwischen dem Piezostapel (14) und der Injektorventilbaugruppe (12);
- Beaufschlagen der Aktoreinheit (22) mit einem Prä-Spannungspuls zum Schließen des Spaltes (32) zwischen der Aktoreinheit (22) und der Injektorventilbaugruppe (12).

5. Ansteuerungsverfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass der Prä-Spannungspuls aus der mit dem Erfassungsverfahren ermittelten Spaltgröße (34) bestimmt wird, wobei der Prä-Spannungspuls insbesondere bei jedem Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe (12) neu bestimmt wird.

6. Ansteuerungsverfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5,

dadurch gekennzeichnet, dass das Erfassungsverfahren in einem ersten Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe (12) durchgeführt wird, und dass das Beaufschlagen der Aktoreinheit (22) mit dem Prä-Spannungspuls zu einem dem ersten Betätigungszyklus zeitlich nachgelagerten zweiten Betätigungszyklus der Injektorventilbaugruppe (12) durchgeführt wird.

7. Ansteuerungsverfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, dass der erste Betätigungszyklus und der zweite Betätigungszyklus zeitlich unmittelbar aufeinander folgen.

8. Injektoreinheit (10) zum Einspritzen von Kraftstoff in eine Brennkammer einer Brennkraftmaschine, aufweisend:

- eine Injektorventilbaugruppe (12) mit einer Injektornadel (16), wobei die Injektornadel (16) mit einem Nadelsitz (18) ein Injektorventil (20) bildet;

- einen Piezostapel (14) mit einer Aktoreinheit (22) und einer Sensoreinheit (24), die kraftschlüssig miteinander gekoppelt sind, wobei die Sensoreinheit (24) zum Erfassen von an der Aktoreinheit (22) wirkenden Kräftegradienten ausgebildet ist, und wobei die Aktoreinheit (22) zum Betätigen der Injektorventilbaugruppe (12) ausgebildet ist;

wobei zwischen dem Piezostapel (14) und der Injektorventilbaugruppe (12) ein Spalt (32) mit einer unbekannten Spaltgröße (34) ausgebildet ist;

- eine Steuereinheit (28), die zum Erfassen eines Spannungssignals der Sensoreinheit (24) und zum Beaufschlagen der Aktoreinheit (22) mit einem Spannungspuls ausgebildet ist, wobei die Steuereinheit (28) zum Ausführen des Erfassungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 und/oder zum Ausführen des Ansteuerungsverfahrens nach einem der Ansprüche 4 bis 7 ausgebildet ist.

Claims

1. Detection method for detecting a gap size of a gap between an injector valve assembly (12) of an inter-

nal combustion engine and a piezo stack (14) for activating the injector valve assembly (12), having the steps of:

- providing a piezo stack (14) having an actuator unit (22) and a sensor unit (24) that are coupled to one another with a force fit, wherein the sensor unit (24) is configured to detect force gradients acting on the actuator unit (22);
- providing an injector valve assembly (12) that is activated during operation by means of the actuator unit (22), wherein the injector valve assembly (12) and the piezo stack (14) are arranged at a distance from one another across a gap (32) having an unknown gap size (34);
- detecting a voltage signal of the sensor unit (24);
- applying a defined voltage pulse to the actuator unit (22), so that the actuator unit (22) deflects along an actuator unit longitudinal axis (26) while decreasing the gap (32);
- detecting a period (Δt) for which the voltage pulse is applied to the actuator unit starting from a first time (t_1), at which the voltage pulse begins to be applied, up to a second time (t_2), at which a voltage gradient (dU) occurs in the detected voltage signal of the sensor unit (24);
- ascertaining the gap size (34) of the gap (32) from the detected period (Δt) and the defined voltage pulse; **characterized in that**
- a second voltage gradient (dU) is detected in the voltage signal of the sensor unit (24) at a third time (t_3), at which an injector needle (16) of the injector valve assembly (12) lifts off from a needle seat (18), wherein a negative voltage gradient (dU) is detected in the voltage signal of the sensor unit (24), and
- a third voltage gradient (dU) is detected in the voltage signal of the sensor unit (24) at a fourth time (t_4), at which the injector needle (16) comes into force-fitting contact with the needle seat (18), the fourth time (t_4) and the second time (t_2) enclosing the third time (t_3), wherein a positive voltage gradient (dU) is detected in the voltage signal of the sensor unit (24) at the fourth time (t_4).

2. Detection method according to Claim 1, **characterized in that** the gap size (34) of the gap (32) between the piezo stack (14) and the injector valve assembly (12) is detected for every activation cycle of the injector valve assembly (12).

3. Detection method according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** a positive voltage gradient (dU) is detected in the voltage signal of the sensor unit (24) at the second time (t_2).

4. Actuation method for actuating an actuator unit (22) in a piezo stack (14) for activating an injector valve assembly (12) in an internal combustion engine, wherein the actuator unit (22) has a predetermined opening voltage pulse applied to it to lift off an injector needle (16) of the injector valve assembly (12) from a needle seat (18), wherein the application of the opening voltage pulse to the actuator unit (22) is preceded by the following steps being performed:
- performing the detection method according to one of Claims 1 to 3 to detect a gap size (34) of a gap (32) between the piezo stack (14) and the injector valve assembly (12);
 - applying a preliminary voltage pulse to the actuator unit (22) to close the gap (32) between the actuator unit (22) and the injector valve assembly (12).
5. Actuation method according to Claim 4, **characterized in that** the preliminary voltage pulse is determined from the gap size (34) ascertained using the detection method, wherein the preliminary voltage pulse is particularly determined afresh for each activation cycle of the injector valve assembly (12).
6. Actuation method according to either of Claims 4 and 5, **characterized in that** the detection method is performed in a first activation cycle of the injector valve assembly (12), and **in that** the application of the preliminary voltage pulse to the actuator unit (22) is performed for a second activation cycle of the injector valve assembly (12) that occurs at a time after the first activation cycle.
7. Actuation method according to Claim 6, **characterized in that** the first activation cycle and the second activation cycle succeed one another directly in time.
8. Injector unit (10) for injecting fuel into a combustion chamber of an internal combustion engine, having:
- an injector valve assembly (12) having an injector needle (16), wherein the injector needle (16) and a needle seat (18) form an injector valve (20);
 - a piezo stack (14) having an actuator unit (22) and a sensor unit (24) that are coupled to one another with a force fit, wherein the sensor unit (24) is configured to detect force gradients acting on the actuator unit (22), and wherein the actuator unit (22) is configured to activate the injector valve assembly (12);
- wherein the piezo stack (14) and the injector valve assembly (12) have a gap (32) having an

unknown gap size (34) formed between them;

- a control unit (28) that is configured to detect a voltage signal of the sensor unit (24) and to apply a voltage pulse to the actuator unit (22), wherein the control unit (28) is configured to carry out the detection method according to one of Claims 1 to 3 and/or to carry out the actuation method according to one of Claims 4 to 7.

Revendications

1. Procédé de détection pour la détection d'une dimension d'interstice d'un interstice entre un module de soupape d'injection (12) d'un moteur à combustion interne et un empilement piézoélectrique (14) destiné à l'actionnement d'un module de soupape d'injection (12), comprenant les étapes consistant à :
 - fournir un empilement piézoélectrique (14) comportant une unité d'actionneur (22) et une unité de capteur (24) qui sont couplées l'une à l'autre par complémentarité de force, dans lequel l'unité de capteur (24) est conçue pour détecter des gradients de force agissant sur l'unité d'actionneur (22) ;
 - fournir un module de soupape d'injection (12) qui est actionné pendant le fonctionnement par l'intermédiaire de l'unité d'actionneur (22), dans lequel le module de soupape d'injection (12) et l'empilement piézoélectrique (14) sont disposés de manière espacée l'un de l'autre par un interstice (32) ayant une dimension d'interstice (34) inconnue ;
 - détecter un signal de tension de l'unité de capteur (24) ;
 - appliquer une impulsion de tension définie à l'unité d'actionneur (22) de manière à ce que l'unité d'actionneur (22) s'écarte le long d'un axe longitudinal (26) de l'unité d'actionneur tout en réduisant l'interstice (32) ;
 - détecter une durée (Δt) de l'application de l'impulsion de tension à l'unité d'actionneur depuis un premier instant (t_1) où l'application de l'impulsion de tension commence jusqu'à un deuxième instant (t_2) où un gradient de tension (dU) apparaît dans le signal de tension détecté de l'unité de capteur (24) ;
 - déterminer la dimension d'interstice (34) de l'interstice (32) à partir de la durée (Δt) détectée et de l'impulsion de tension définie ;**caractérisé en ce que**
 - à un troisième instant (t_3) où un pointeau d'injecteur (16) du module de soupape d'injection (12) se soulève par rapport à un siège de pointeau (18), un deuxième gradient de tension (dU) est détecté dans le signal de tension de l'unité de capteur (24), dans lequel un gradient de ten-

- sion négatif (dU) est détecté dans le signal de tension de l'unité de capteur (24), et
 - à un quatrième instant (t_4) où le pointeau d'injecteur (16) s'engage par frottement sur le siège de pointeau (18), un troisième gradient de tension (dU) est détecté dans le signal de tension de l'unité de capteur (24), dans lequel le troisième instant (t_3) se situe entre le quatrième instant (t_4) et le deuxième instant (t_2), dans lequel un gradient de tension positif (dU) est détecté au quatrième instant (t_4) dans le signal de tension de l'unité de capteur (24).
2. Procédé de détection selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la dimension d'interstice (34) de l'interstice (32) entre l'empilement piézoélectrique (14) et le module de soupape d'injection (12) est déterminée lors de chaque cycle d'actionnement du module de soupape d'injection (12).
3. Procédé de détection selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** un gradient de tension positif (dU) est détecté au second instant (t_2) dans le signal de tension de l'unité de capteur (24).
4. Procédé de commande pour la commande d'une unité d'actionneur (22) dans un empilement piézoélectrique (14) destiné à l'actionnement d'un module de soupape d'injection (12) dans un moteur à combustion interne, dans lequel une impulsion de tension d'ouverture prédéterminée est appliquée à l'unité d'actionneur (22) pour soulever un pointeau d'injecteur (16) du module de soupape d'injection (12) par rapport à un siège de pointeau (18), dans lequel les étapes suivantes sont effectuées avant que l'impulsion de tension d'ouverture soit appliquée à l'unité d'actionneur (22) :
- mettre en oeuvre le procédé de détection selon l'une des revendications 1 à 3 pour détecter une dimension d'interstice (34) d'un interstice (32) entre l'empilement piézoélectrique (14) et le module de soupape d'injection (12) ;
 - appliquer une pré-impulsion de tension à l'unité d'actionneur (22) pour fermer l'interstice (32) entre l'unité d'actionneur (22) et le module de soupape d'injection (12).
5. Procédé de commande selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la pré-impulsion de tension est déterminée à partir de la dimension d'interstice (34) déterminée au moyen du procédé de détection, dans lequel la pré-impulsion de tension est déterminée à nouveau, en particulier lors de chaque cycle d'actionnement du module de soupape d'injection (12).
6. Procédé de commande selon l'une des revendications 4 ou 5, **caractérisé en ce que** le procédé de
- détection est mis en oeuvre au cours d'un premier cycle d'actionnement du module de soupape d'injection (12), et **en ce que** l'application de la pré-impulsion de tension à l'unité d'actionneur (22) est effectuée lors d'un deuxième cycle d'actionnement du module de soupape d'injection (12) qui suit dans le temps le premier cycle d'actionnement.
7. Procédé de commande selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le premier cycle d'actionnement et le deuxième cycle d'actionnement se suivent immédiatement dans le temps.
8. Unité d'injection (10) pour l'injection de carburant dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, comprenant :
- un module de soupape d'injection (12) comportant un pointeau d'injecteur (16), dans laquelle le pointeau d'injecteur (16) forme une soupape d'injection (20) avec un siège de pointeau (18) ;
 - un empilement piézoélectrique (14) comportant une unité d'actionneur (22) et une unité de capteur (24) qui sont couplées l'une à l'autre par complémentarité de force, dans laquelle l'unité de capteur (24) est conçue pour détecter des gradients de force agissant sur l'unité d'actionneur (22) et dans laquelle l'unité d'actionneur (22) est conçue pour actionner le module de soupape d'injection (12) ;
 - dans laquelle un interstice (32) ayant une dimension d'interstice (34) inconnue est formé entre l'empilement piézoélectrique (14) et le module de soupape d'injection (12) ;
 - une unité de commande (28) qui est conçue pour détecter un signal de tension de l'unité de capteur (24) et pour appliquer une impulsion de tension à l'unité de commande (22), dans laquelle l'unité de commande (28) est conçue pour mettre en oeuvre le procédé de détection selon l'une des revendications 1 à 3 et/ou pour mettre en oeuvre le procédé de commande selon l'une des revendications 4 à 7.

FIG 1

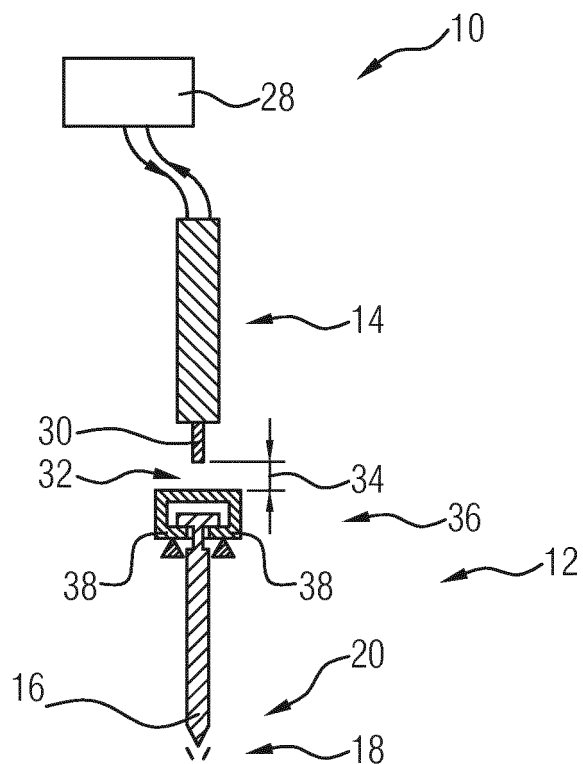


FIG 2

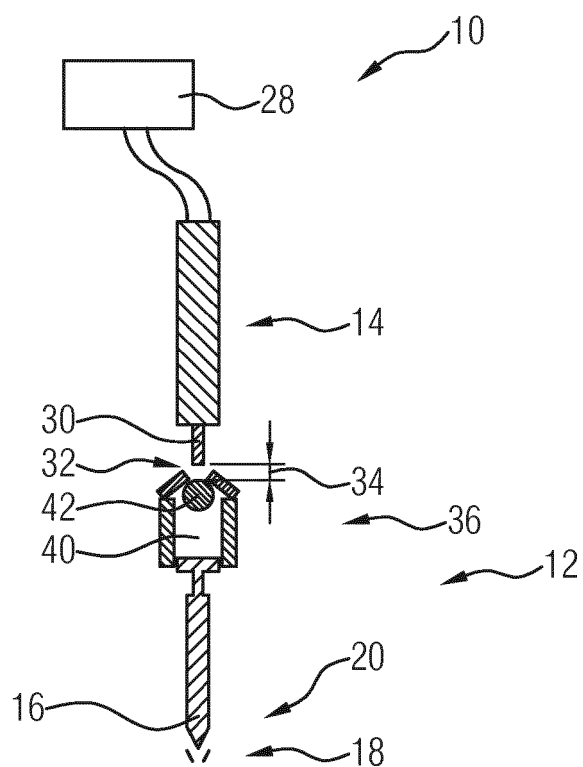


FIG 3

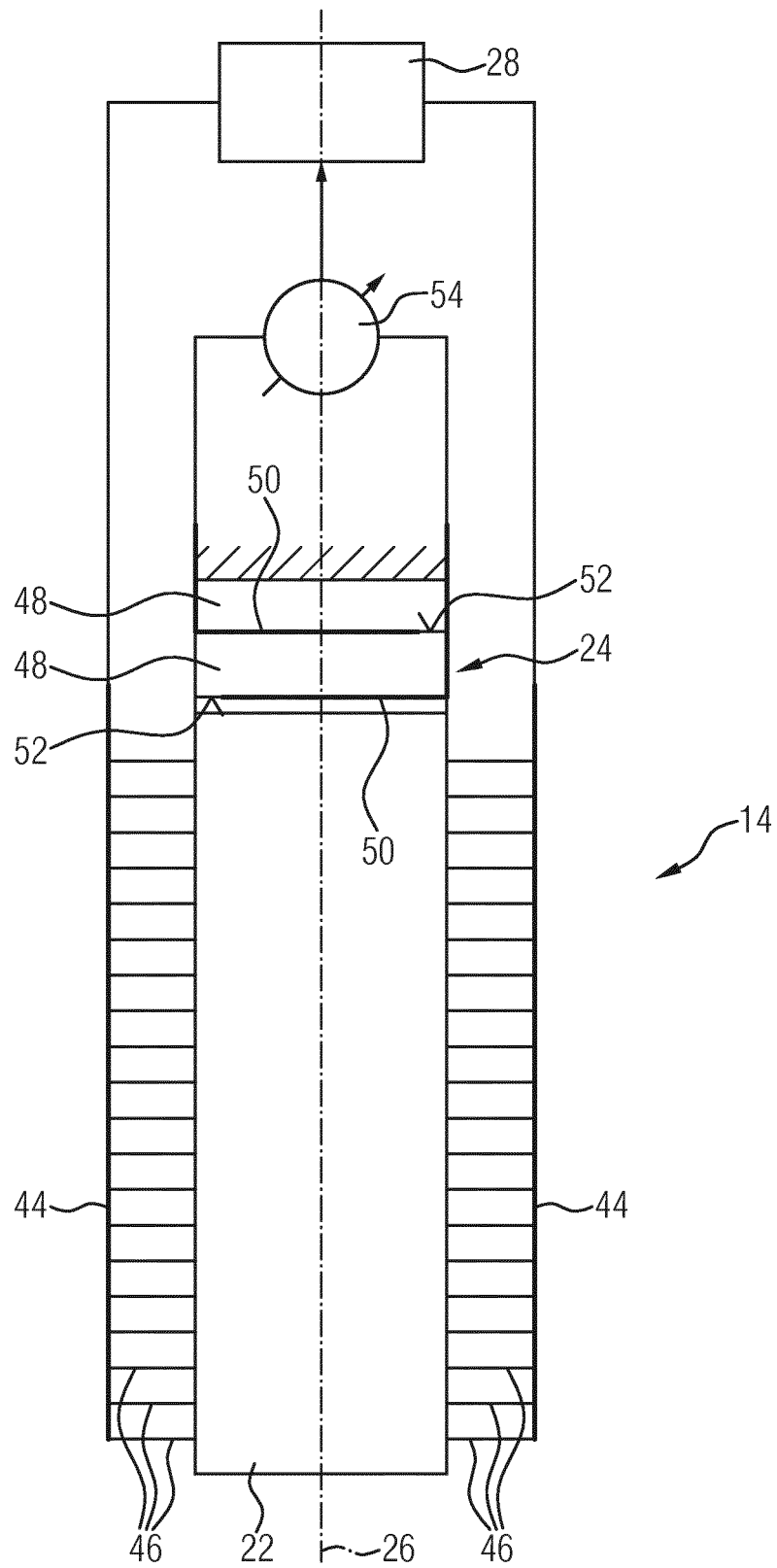


FIG 4

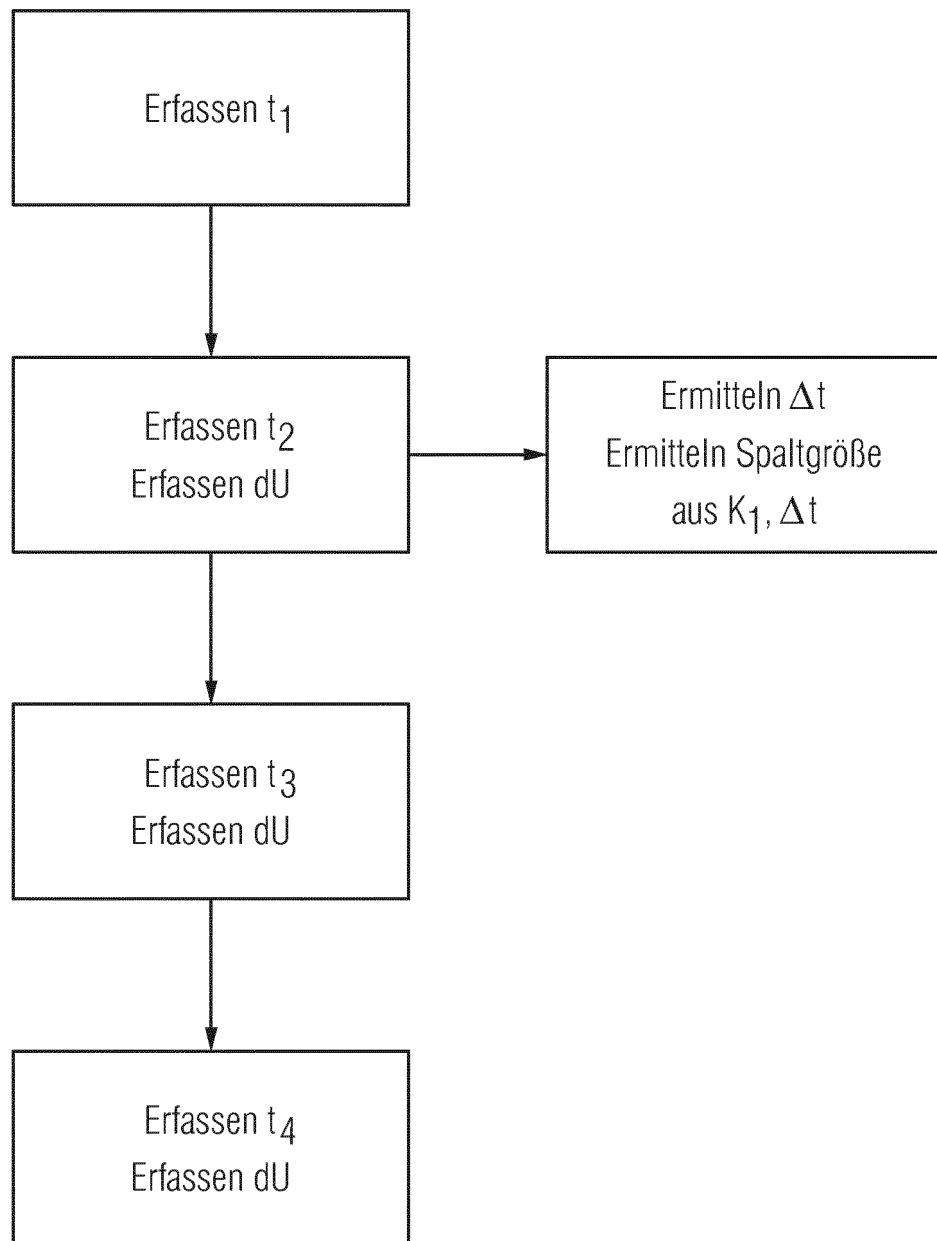


FIG 5

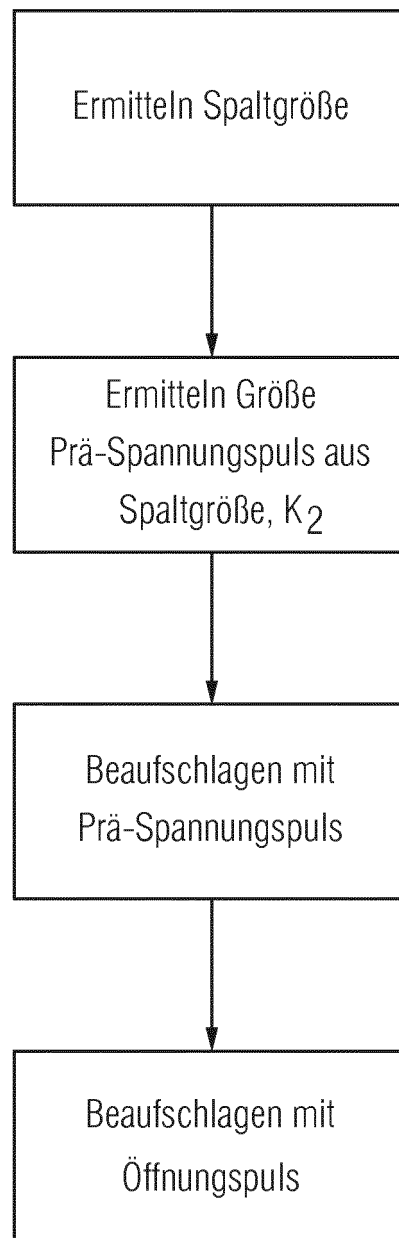
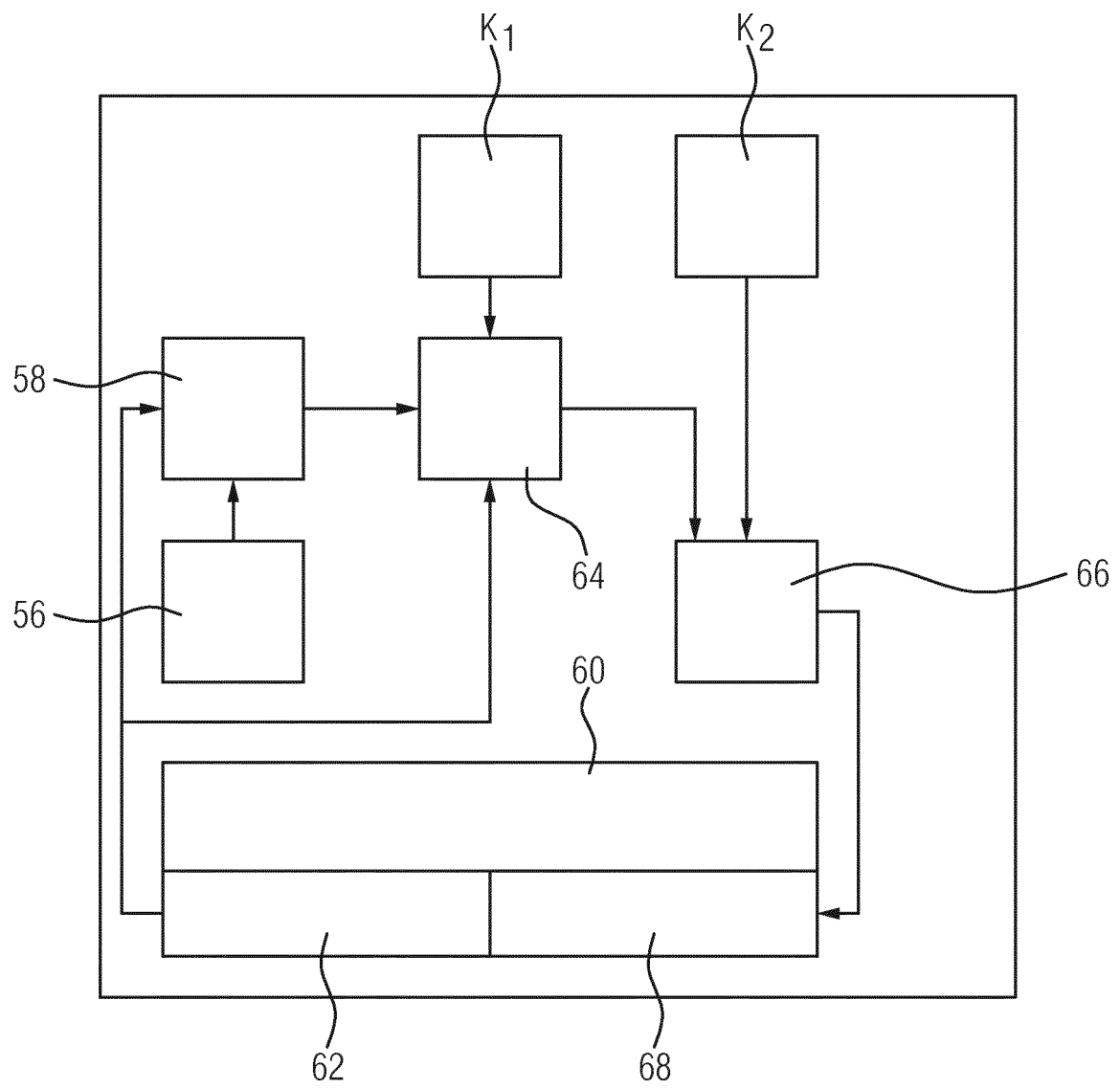


FIG 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102013206933 A1 **[0005]**
- DE 102011005285 A1 **[0008]**
- DE 102008023373 A1 **[0009]**
- DE 102011004613 A1 **[0010]**
- DE 19901711 A1 **[0011]**