

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 488 089 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
21.12.2005 Patentblatt 2005/51

(51) Int Cl.7: **F02D 41/20**, H01L 41/04,
F02M 57/02, F02M 59/36

(21) Anmeldenummer: **03727149.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2003/000956

(22) Anmeldetag: **21.03.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2003/083278 (09.10.2003 Gazette 2003/41)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ANSTEUERUNG DES PIEZO-AKTUATORS EINES
PIEZO-STEUERVENTILS EINER PUMPE-DÜSE-EINHEIT**

METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING THE PIEZO-ACTUATOR OF A PIEZO-CONTROL
VALVE OF A PUMP NOZZLE UNIT

PROCEDE ET DISPOSITIF DE COMMANDE DE L'ACTIONNEUR PIEZOELECTRIQUE DE LA
SOUPAPE DE DISTRIBUTION PIEZOELECTRIQUE D'UNE UNITE DE POMPE D'INJECTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **28.03.2002 DE 10214206**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
22.12.2004 Patentblatt 2004/52

(73) Patentinhaber: **Volkswagen Mechatronic GmbH &
Co. KG**
09366 Stollberg (DE)

(72) Erfinder:
• **MAROHN, Ralf**
38106 Braunschweig (DE)

- **PIRKL, Richard**
93047 Regensburg (DE)
- **SCHROD, Walter**
93057 Regensburg (DE)
- **VOIGT, Peter**
93047 Regensburg (DE)

(74) Vertreter:
Patentanwaltskanzlei WILHELM & BECK
Nymphenburger Strasse 139
80636 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 19 921 456 **US-A- 5 057 734**

EP 1 488 089 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils einer Pumpe-Düse-Einheit.

[0002] Pumpe-Düse-Einheiten dienen zum Zuführen von Kraftstoff in einen Verbrennungsraum einer Brennkraftmaschine. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Pumpe-Düse-Einheit mit einer Steuer- und/oder regelbaren Kraftstoffpumpe, einer Kraftstoffeinspritzdüse, die eine zwischen einer Schließstellung und einer Öffnungsstellung hin und her bewegliche Düsennadel aufweist, einem ersten Druckraum, der von der Kraftstoffpumpe mit unter einem ersten Druck stehenden Kraftstoff befüllbar ist, einem zweiten Druckraum, wobei in dem zweiten Druckraum unter einem zweiten Druck stehender Kraftstoff eine Schließkraft auf die Düsennadel ausübt, und einen dritten Druckraum, der mit dem ersten Druckraum kommuniziert, wobei in dem dritten Druckraum unter einem dritten Druck stehender Kraftstoff eine Öffnungskraft auf die Düsennadel ausübt, handeln.

[0003] Pumpe-Düse-Einheiten werden insbesondere im Zusammenhang mit druckgesteuerten Einspritzsystemen verwendet. Ein wesentliches Merkmal eines druckgesteuerten Einspritzsystems besteht darin, dass die Kraftstoffeinspritzdüse öffnet, sobald eine zumindest vom aktuell herrschenden Drücken beeinflusste Öffnungskraft auf die Düsennadel ausgeübt wird. Derartige druckgesteuerte Einspritzsysteme dienen der Kraftstoffdosierung, der Kraftstoffaufbereitung, der Formung des Einspritzverlaufs und einer Abdichtung der Kraftstoffzuführung gegen den Verbrennungsraum der Brennkraftmaschine. Mit druckgesteuerten Einspritzsystemen lässt sich der zeitliche Verlauf des Mengenstroms während der Einspritzung in vorteilhafter Weise steuern. Damit kann ein positiver Einfluss auf die Leistung, den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemission des Motors genommen werden.

[0004] Bei Pumpe-Düse-Einheiten sind die Kraftstoffpumpe und die Kraftstoffeinspritzdüse in der Regel als integriertes Bauteil ausgebildet. Für jeden Verbrennungsraum der Brennkraftmaschine wird zumindest eine Pumpe-Düse-Einheit vorgesehen, die in der Regel in den Zylinderkopf eingebaut wird. Die Kraftstoffpumpe umfasst dabei typischerweise einen in einem Kraftstoffpumpenzylinder hin und her beweglichen Kraftstoffpumpenkolben, der entweder direkt über einen Stößel oder indirekt über Kipphebel von einer Nockenwelle der Brennkraftmaschine angetrieben wird. Der üblicherweise den ersten Druckraum bildende Abschnitt des Kraftstoffpumpenzylinders ist über ein Steuerventil mit einem Kraftstoff-Niederdruckbereich verbindbar, wobei bei geöffnetem Steuerventil Kraftstoff von dem Kraftstoff-Niederdruckbereich in den ersten Druckraum angesaugt und bei weiterhin geöffnetem Steuerventil von dem ersten Druckraum in den Kraftstoff-Niederdruckbereich

zurückgedrückt wird. Sobald das Steuerventil geschlossen wird, erfolgt durch den Kraftstoffpumpenkolben eine Komprimierung des in dem ersten Druckraum befindlichen Kraftstoffs und somit ein Druckaufbau. Es ist bekannt, das Steuerventil in Form eines Magnetventils vorzusehen. Magnetventile weisen jedoch üblicherweise eine relativ lange Ansprechzeit auf, was insbesondere dadurch bedingt ist, dass der Magnetanker eines Magnetventils aufgrund der von seiner Masse abhängigen Massenträgheitskräfte nicht beliebig schnell beschleunigt werden kann. Weiterhin erfordert auch der Aufbau des Magnetfeldes zur Erzeugung der Anzugskraft Zeit. Eine mit einem Magnetventil ausgestattete Pumpe-Düse-Einheit ist beispielsweise aus der EP 0 277 939 B1 bekannt.

[0005] Um die durch die Verwendung von Magnetventilen hervorgerufenen Probleme zu vermeiden, ist es weiterhin bereits bekannt, Pumpe-Düse-Einheiten mit einem Steuerventil auszustatten, das piezoelektrisch betrieben wird. Eine derartige Pumpe-Düse-Einheit ist beispielsweise aus der DE 198 35 494 A1 bekannt.

[0006] Um bei einem Einspritzvorgang neben einer Haupteinspritzmenge eine zusätzliche Voreinspritzmenge und/oder eine zusätzliche Nacheinspritzmenge in den Verbrennungsraum einzubringen, ist es weiterhin bekannt, während eines Einspritzzyklus mehrere in kurzen Zeitabständen aufeinanderfolgende Einspritzimpulse auszulösen.

[0007] Es ist bekannt, den Piezo-Aktuator beim Schließvorgang des Piezo-Steuerventils mit einem Einpulsstrompaket anzusteuern. Das Einpulsstrompaket kann dabei durch eine Sinushalbwelle oder mehrere unmittelbar aufeinander folgende gepulste Strompakete gebildet sein. Diese bekannte Ansteuerung des Piezo-aktuators kann beim Schließvorgang des Piezo-Steuerventils, sobald die Ventildüse den Ventilsitz erreicht, zu einem sogenannten Preller führen. Ein derartiger Preller kann zu einem oder mehreren der folgenden Funktionsprobleme führen:

- Risiko des Wiederöffnens des Piezo-Steuerventils (Funktionsstörung mit möglichem Ausfall der Einspritzung);
- Druckschwingungen im Verlauf des Elementarumdrucks, beispielsweise mit einem negativen Einfluss auf das Mengenkennfeld einer Voreinspritzung;
- Abreißen der Flüssigkeitssäule und somit Auftreten einer ausgeprägten Kavitation, wobei es bei der Re-Kompression der Kavitation ebenfalls zu einem ungewollten Öffnen des Piezo-Steuerventils kommen kann.

[0008] Aus US 5,057,734 A ist ein Verfahren zur Ansteuerung eines Piezo-Aktors beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils einer Pumpe-Düse-Einheit be-

kannt, wobei die Ansteuerung des Piezo-Aktors durch einen ersten Stromimpuls durch Entladung eines ersten Kondensators und einen diesem mit zeitlichen Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls durch Entladung eines zweiten Kondensators umfasst. Bei der Aufladung des piezoelektrischen Aktors in zwei Stufen werden zwei Thyristoren verwendet, die jeweils einen Kondensator über einen LC-Schwingkreis mit dem piezoelektrischen Aktor verbinden. Der Spannungsverlauf am piezoelektrischen Aktor weist aufgrund der abrupten Steuerung der Bestromung durch die Thyristoren einen unstetigen Verlauf auf. Aufgrund der unstetigen Bestromung weist ebenfalls die Kraft, die vom piezoelektrischen Aktor auf das Schließglied ausgeübt wird, ebenfalls einen unstetigen Verlauf auf. Aufgrund des unstetigen Kraftverlaufes wird der piezoelektrische Aktor und das Steuerventil einer relativ großen Beanspruchung ausgesetzt.

[0009] Aus DE 199 21 456 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors bekannt, das ebenfalls abrupte Änderungen im Kurvenverlauf der Stromimpulse bei der Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors verwendet. Die Aufladung des piezoelektrischen Aktors wird mit sich abrupt ändernden Stromstärken durchgeführt, so dass keine stetige Stromkurve erreicht wird. Eine stetige Stromkurve ist auch aufgrund der digitalen Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors nicht möglich.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die gattungsgemäßen Verfahren und Vorrichtungen derart weiterzubilden, dass ungewollte Preller beim Schließen eines Piezo-Steuerventils vermieden oder zumindest verringert werden.

[0011] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass die Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls umfasst. Dabei wird die Ventilmadel des Piezo-Steuerventils mit dem ersten Stromimpuls in Bewegung gesetzt. Der dem ersten Stromimpuls mit einem zeitlichen Abstand nachfolgende zweite Stromimpuls, der vorzugsweise bis zum Anschlagen der Ventilmadel am Ventilsitz andauert, dient dazu, einen schnellen Dichtkraftaufbau zu gewährleisten. Der Kurvenverlauf der Stromimpulse wird mit einer analogen Ansteuerung durchgeführt und weist einen stetigen Verlauf auf. Durch die erfindungsgemäße Ansteuerung wird ein Prellen der Ventilmadel nach dem Erreichen des Ventilsitzes vermieden oder zumindest verringert, wodurch sich geringere Druckschwingungen im Elementraum sowie eine geringere Kavitation im Absteuer- und Aktorraum ergeben. Unter dem Begriff Ansteuerung ist im vorliegenden Zusammenhang insbe-

sondere die Aufladung des Piezo-Aktuators zu verstehen. Eine derartige Aufladung wird erfindungsgemäß in zumindest zwei Ladungspakete unterteilt, wobei unterschiedliche Ladungsinhalte möglich sind.

[0014] Bei einigen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann weiterhin vorgesehen sein, dass zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau aufrechterhalten wird. Die Höhe des Teilstromniveaus kann dabei für unterschiedliche Betriebszustände variieren. Weiterhin kann sie, ebenso wie der Verlauf des ersten Stromimpulses und/oder des zweiten Stromimpulses, zur Anpassung der Ansteuerung an unterschiedliche Piezo-Steuerventiltypen herangezogen werden.

[0015] Besonders gute Ergebnisse werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt, wenn vorgesehen ist, dass die Ansteuerung durch Schaltungseinrichtungen erfolgt, die zumindest einen analogen Verstärker umfassen. Durch analoge Schaltungseinrichtungen, insbesondere durch analoge Verstärker, lassen sich stetige Piezostromverläufe erzielen.

[0016] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann jedoch ebenfalls vorgesehen sein, dass die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert erfolgt, insbesondere transformatorgestützt. Eine derartige Ansteuerung, die auch als CC-Ansteuerung (CC = Current Control / Stromsteuerung) bezeichnet wird, kann insbesondere dazu führen, dass sowohl der erste Stromimpuls als auch der zweite Stromimpuls (und gegebenenfalls ein zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls aufrechterhaltenes Teilstromniveau) jeweils durch eine Mehrzahl von unmittelbar aufeinander folgenden Stromimpulsen gebildet wird. Der Einsatz einer CC-Endstufe ist insbesondere hinsichtlich der Kosten vorteilhaft.

[0017] Die erfindungsgemäße Vorrichtung baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass sie zur Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls erzeugt. Zur Ansteuerung wird ein analoger Verstärker verwendet, der einen stetigen Kurvenverlauf der Stromimpulse verwirklicht. Dadurch ergeben sich die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläuterten Vorteile in gleicher oder ähnlicher Weise, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen auf die entsprechenden Ausführungen verwiesen wird.

[0018] Gleiches gilt sinngemäß für die folgenden bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei auch diesbezüglich auf die entsprechenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen wird.

[0019] Bei einigen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann vorgesehen sein, dass sie zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau aufrechterhält.

[0020] Weiterhin kann bei der erfindungsgemäßen

Vorrichtung vorgesehen sein, dass sie zumindest einen analogen Verstärker aufweist.

[0021] Ähnlich wie bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann auch bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen sein, dass sie die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert durchführt, insbesondere transformatorgestützt.

[0022] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass über die elektrische Ansteuerung des Piezo-Aktuators die Bewegung der gekoppelten Ventilmechanik modelliert werden kann. Beispielsweise kann dabei elektrisch auf den Ventilmadelverlauf eingewirkt werden, insbesondere zur Auslenkung und zum Sitzkraftaufbau.

[0023] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.

[0024] Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Ausführungsform einer Pumpe-Düse-Einheit bei beziehungsweise mit der das erfindungsgemäße Verfahren beziehungsweise die erfindungsgemäße Vorrichtung angewendet werden können;

Figur 2a eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils, das in Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann;

Figur 2b eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils, das entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und ebenfalls mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann;

Figur 3 ein Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß dem Stand der Technik, bei analoger Ansteuerung;

Figur 4 ein zweites Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß dem Stand der Technik, bei CC-Ansteuerung;

Figur 5 ein Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß der vorliegenden Erfindung, bei analoger Ansteuerung;

Figur 6 ein zweites Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß der vorliegenden Erfindung, bei CC-Ansteuerung;

Figur 7 einen Graph, der den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms, der Piezo-Spannung, des Ventilmadelhubs, des Hochdruckraumdrucks und des Drucks im Auslassbereich der Pumpe-Düse-Einheit für eine Ansteuerung gemäß dem Stand der Technik und zwei erfindungsgemäße Ansteuerungsvarianten veranschaulicht;

Figur 8 einen zeitlichen Ausschnitt der Kurvenverläufe von Figur 7; und

Figur 9 einen Graph, der den Verlauf der Piezo-Spannung, des Ventilmadelhubs und des Absterraumdrucks bei einem ungewollten Öffnen des Piezo-Steuerventils beziehungsweise der Ventilmadel veranschaulicht, wobei ein derartiges ungewolltes Öffnen des Piezo-Steuerventils durch die Erfindung vermieden oder zumindest verringert werden kann.

[0025] Figur 1 zeigt schematisch eine Pumpe-Düse-Einheit. Die dargestellte Pumpe-Düse-Einheit zum Zuführen von Kraftstoff 10 in einen Verbrennungsraum 12 einer Brennkraftmaschine weist eine Kraftstoffpumpe 14-22 auf. Dabei ist ein Kraftstoffpumpenkolben 14 in einem Kraftstoffpumpenzylinder 16 hin und her bewegbar. Der Kraftstoffpumpenkolben 14 wird direkt oder indirekt über eine nicht dargestellte Nockenwelle der Brennkraftmaschine angetrieben. Der Kompressionsraum des Kraftstoffpumpenzylinders 16 bildet einen ersten Druckraum 28. Der erste Druckraum 28 ist über eine Kraftstoffleitung 20 mit einem Piezo-Steuerventil 22 verbunden. Das Piezo-Steuerventil 22 dient dazu, die Kraftstoffleitung 20 entweder zu verschließen oder mit einem Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 zu verbinden, aus dem Kraftstoff 10 angesaugt werden kann. In der geöffneten Ruhestellung des Piezo-Steuerventils 22 wird bei einer bezogen auf Figur 1 nach oben gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 Kraftstoff 10 aus dem Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 in den ersten Druckraum 28 angesaugt. Sofern das Piezo-Steuerventil 22 sich bei einer bezogen auf Figur 1 nach unten gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 noch in seiner geöffneten Ruhestellung befindet, kann vorher in den ersten Druckraum 28 angesaugter Kraftstoff 10 wieder zurück in den Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 gedrückt werden. Bei einer geeigneten Ansteuerung des Piezo-Steuerventils 22 verschließt dieses die Kraftstoffleitung 20. Dadurch wird der in den ersten Druckraum 28 angesaugte Kraftstoff 10 bei einer nach unten gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 komprimiert, wodurch ein erster Druck p_{28} in dem ersten Druckraum 28 erzeugt wird. Die dargestellte Pumpe-Düse-Einheit umfasst weiterhin eine insgesamt mit 24 bezeichnete Kraftstoffeinspritzdüse, die eine zwischen einer Schließstellung und einer Öff-

nungsstellung hin und her bewegliche Düsennadel 46 aufweist. Ein Druckstift 26 kann, bezogen auf die Darstellung von Figur 1, insbesondere eine nach unten gerichtete Kraft auf die Düsennadel 46 ausüben. Am oberen Ende des Druckstifts 26 ist eine Einstellscheibe 40 vorgesehen, die in einem zweiten Druckraum 30 geführt ist, wobei in dem zweiten Druckraum 30 unter einem zweiten Druck p_{30} stehender Kraftstoff 10 über den Druckstift 26 eine bezogen auf die Darstellung von Figur 1 nach unten gerichtete Schließkraft auf die Düsennadel 46 ausübt. Die Einstellscheibe 40 ist dabei vorzugsweise gegenüber dem zweiten Druckraum 30 nur so stark abgedichtet, dass der zweite Druck p_{30} vor Beginn eines neuen Einspritzzyklus bereits wieder abgebaut ist. Eine ebenfalls nach unten gerichtete weitere Schließkraft wird durch eine erste Feder 36 auf den Druckstift 26 und somit die Düsennadel 46 ausgeübt, wobei die erste Feder 36 in dem zweiten Druckraum 30 angeordnet ist und sich mit ihrem hinteren Ende an der Einstellscheibe 40 abstützt. Ein eine Schulter 44 aufweisender Abschnitt der Düsennadel 46 ist von einem dritten Druckraum 32 umgeben, der mit dem ersten Druckraum 28 über eine Verbindungsleitung 42 kommuniziert. In Abhängigkeit von der Drosselwirkung der Verbindungsleitung 42 und gegebenenfalls weiterer nicht dargestellter Drossleinrichtungen wird in Abhängigkeit von dem in dem ersten Druckraum 28 herrschenden ersten Druck p_{28} in dem dritten Druckraum 32 ein dritter Druck p_{32} aufgebaut. Der in dem dritten Druckraum 32 unter dem dritten Druck p_{32} stehende Kraftstoff 10 übt eine bezogen auf die Darstellung von Figur 1 nach oben gerichtete Öffnungskraft auf die Düsennadel 46 aus. Die Düsennadel 46 nimmt ihre Öffnungsstellung ein, solange eine Differenz zwischen der durch den dritten Druck p_{32} verursachten Öffnungskraft und der Summe aus der durch den zweiten Druck p_{30} erzeugten Schließkraft und der durch die erste Feder 36 erzeugten Schließkraft einen vorgegebenen Wert überschreitet. Über den zweiten Druck p_{30} in dem zweiten Druckraum 30 kann somit der Düsenöffnungsdruck beeinflusst werden. Um den zweiten Druck p_{30} im zweiten Druckraum 30 auf jeweils geeignete Werte zu begrenzen und zu halten kann beispielsweise ein Druckbegrenzungs- und -halteventil 34 zwischen dem ersten Druckraum 28 und dem zweiten Druckraum 30 vorgesehen sein. Die Ankopplung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 80 an das anhand von den Figuren 2a und 2b näher erläuterte Piezo-Steuerventil 22 ist in Figur 1 ebenfalls dargestellt.

[0026] Figur 2a zeigt eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils 22, das in Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann. Das dargestellte Piezo-Steuerventil 22 weist eine Ventilmadel 48 auf, die zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 in die dargestellte erste Endstellung und zum vollständigen Öffnen des Piezo-Steuerventils 22 in eine zweite Endstellung

bewegt werden kann, die bezogen auf die Darstellung nach rechts verschoben ist. Wenn sich die Ventilmadel 48 in ihrer dargestellten ersten Endstellung befindet, wirkt ein an der Ventilmadel 48 vorgesehener Ventilteller 64 mit einem gehäuseseitigen Ventilsitz 62 zusammen. Dadurch wird der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 gegenüber einer Hochdruckkammer 38 verschlossen, die mit der in Figur 1 dargestellten Kraftstoffleitung 20 in Verbindung steht. Das Piezo-Steuerventil 22 weist einen Piezo-Aktuator beziehungsweise ein Piezoelement 76 auf. Bei geeigneter Ansteuerung des Piezoelementes 76 übt dieses über eine Stirnfläche 78 eine Kraft auf ein Druckstück 54 aus. Das Druckstück 54 überträgt die von dem Piezoelement 76 erzeugte Kraft seinerseits auf einen ersten Hebel 56 und einen zweiten Hebel 58, wobei der erste Hebel 56 und der zweite Hebel 58 dazu vorgesehen sind, eine Kraftübersetzung zu bewirken. Der erste Hebel 56 und der zweite Hebel 58 liegen an einer zweiten axialen Endfläche 72 der Ventilmadel 48 an, um die von dem Piezoelement 76 erzeugte, übersetzte Kraft auf die Ventilmadel 48 zu übertragen. Die von dem geeignet angesteuerten Piezoelement 76 erzeugte, übersetzte Kraft, die auf die Ventilmadel 48 wirkt, ist größer als eine entgegengesetzte Kraft, die von einer zweiten Feder 66 erzeugt und über ein Federdruckstück 68 auf eine erste axiale Endfläche 70 der Ventilmadel 48 ausgeübt wird. Der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 steht mit einem Absteuerraum 50 in Verbindung, der über eine Ausgleichsbohrung 52 weiterhin mit einem vor dem Piezoelement 76 befindlichen Aktorraum 74 in Verbindung steht. Dieser Aktorraum 74 steht mit einem Rücklauf 60 in Verbindung, über den Kraftstoff aus dem Aktorraum 74 zurückströmen kann.

[0027] Figur 2b zeigt eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils 22, das entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und ebenfalls mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steuerventil 22 entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt, gewährleistet dieses Piezo-Steuerventil 22 eine höhere Sicherheit gegen ein mögliches Verklemmen. Auch das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steuerventil 22 weist eine Ventilmadel 48 auf, die zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 in die dargestellte erste Endstellung und zum vollständigen Öffnen des Piezo-Steuerventils 22 in eine zweite Endstellung bewegt werden kann, die bezogen auf die Darstellung von Figur 2b nach rechts verschoben ist. Wenn sich die Ventilmadel 48 in ihrer dargestellten ersten Endstellung befindet, wirkt wieder ein an der Ventilmadel 48 vorgesehener Ventilteller 64 mit einem gehäuseseitigen Ventilsitz 62 zusammen. Dadurch wird der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 beziehungsweise der Absteuerraum 50 gegenüber einer Hochdruckkammer 38 verschlossen, die mit der in Figur 1 dargestellten Kraftstoffleitung 20 in Verbindung steht. Das Piezo-Steuerventil 22 weist

wieder einen Piezo-Aktuator beziehungsweise ein Piezo-
element 76 auf, das über eine Stirnfläche 78 und ein
Druckstück 54 eine Kraft auf eine zweite axiale Endflä-
che 72 der Ventilmadel 48 ausübt. Die von dem geeignet
angesteuerten Piezo-
element 76 erzeugte, übersetzte Kraft, die auf die Ventilmadel 48 wirkt, ist größer als eine
entgegengesetzte Kraft, die auch bei dieser Ausführ-
ungsform von einer zweiten Feder 66 erzeugt und auf
eine erste axiale Endfläche 70 der Ventilmadel 48 aus-
geübt wird. Da das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steu-
erventil 22 im Gegensatz zu dem in Figur 2a dargestell-
ten Piezo-Steuerventil 22 in Strömungsrichtung vom
Hochdruckbereich 38 zum Niederdruckbereich 18 be-
ziehungsweise zum Absteuerraum 50 öffnet, übt ein in
der Hochdruckkammer 38 vorhandener hoher Druck eine
Öffnungskraft auf die Ventilmadel 48 aus, so dass ein
unerwünschtes Verkleben dieser Ventilmadel 48 be-
sonders sicher vermieden werden kann.

[0028] Figur 3 zeigt ein Beispiel für den Verlauf des
Piezo-Ansteuerstroms $i(t)$ zum Schließen des Piezo-
Steuerventils 22 gemäß dem Stand der Technik, bei
analoger Ansteuerung, und Figur 4 zeigt ein zweites
Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms $i(t)$
zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 gemäß dem
Stand der Technik, bei CC-Ansteuerung. Wenn das Pie-
zoelement beziehungsweise der Piezo-Aktuator 76 von
den Figuren 2a und 2b zum Schließen des Piezo-Steu-
erventils 22 mit einem der in den Figuren 3 oder 4 dar-
gestellten Piezo-Ansteuerstromprofilen angesteuert
wird, kann es beim Auftreffen der Ventilmadel 48 auf den
Ventilsitz 62 zu dem eingangs erläuterten Preller und
den damit verbunden Problemen kommen.

[0029] Figur 5 zeigt eine erste Ausführungsform der
erfindungsgemäßen Ansteuerung des Piezo-Aktuators
76 zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22. Der in
Figur 5 dargestellte Stromverlauf $i(t)$ weist einen ersten
Stromimpuls I_1 und einen von diesem zeitlich beabstan-
deten nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2 auf. Zwi-
schen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten
Stromimpuls I_2 wird ein Teilstromniveau I_T aufrechtge-
halten. Der in Figur 5 dargestellte stetige Kurvenverlauf
kann insbesondere durch eine analoge Ansteuerung
verwirklicht werden. Durch den ersten Stromimpuls I_1 ,
den zweiten Stromimpuls I_2 und das Teilstromniveau I_T
wird der Aufladevorgang des Piezo-Aktuators somit in
Ladungspakete unterteilt, die unterschiedliche La-
dungsinhalte aufweisen.

[0030] Figur 6 zeigt eine zweite Ausführungsform der
erfindungsgemäßen Ansteuerung des Piezo-Aktuators
76 zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22. Auch der
in Figur 6 dargestellte Stromverlauf $i(t)$ weist einen er-
sten Stromimpuls I_1 und einen diesem zeitlich beab-
standet nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2 auf. Bei
der in Figur 6 dargestellten Ausführungsform wird zwi-
schen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten
Stromimpuls I_2 kein Teilstromniveau aufrechterhalten.
Weiterhin sind der erste Stromimpuls I_1 und der zweite
Stromimpuls I_2 jeweils durch eine Mehrzahl von unmit-

telbar aufeinanderfolgenden kurzen Stromimpulsen zu-
sammengesetzt, wie dies insbesondere bei einer
CC-Ansteuerung der Fall ist.

[0031] Wenn der Piezo-Aktuator 76 zum Schließen
des Piezo-Steuerventils 22 entsprechend dem Kurven-
verlauf von Figur 5 oder 6 angesteuert wird, kann ein
Preller beim Auftreffen der Ventilmadel 48 auf den Ven-
tilsitz 62 vermieden oder zumindest verringert werden.

[0032] Figur 7 zeigt einen Graph, der den Verlauf des
Piezo-Ansteuerstroms $i(t)$, der Piezo-Spannung $u(t)$,
des Ventilmadelhubs $h(t)$, des Hochdruckraumdrucks p_{38}
(t) und des Drucks im Auslassbereich der Pumpe-Düse-
Einheit für eine Ansteuerung gemäß dem Stand der
Technik und zwei erfindungsgemäße Ansteuerungs-
varianten veranschaulicht, wobei Figur 8 einen zeitlichen
Ausschnitt der Kurvenverläufe von Figur 7 zeigt. In den
Figuren 7 und 8 sind die Kurven, die sich bei einer dem
Stand der Technik entsprechenden Ansteuerung erge-
ben, jeweils mit a bezeichnet, wobei der Piezo-Ansteu-
erstrom $i(t)$ in diesem Fall invertiert dargestellt ist. Die
Kurven, die sich für eine erste Ausführungsform der er-
findungsgemäßen Ansteuerung ergeben, sind mit b be-
zeichnet, während die Kurven, die sich für eine zweite
Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung
ergeben, mit c bezeichnet sind. Wie dies insbesondere
Figur 8 zu entnehmen ist, weist die Kurve b des Piezo-
Ansteuerstroms $i(t)$ ein etwas höheres Teilstromniveau
 I_T auf als die Kurve c. Durch den ersten Stromimpuls I_1
wird das System zu Beginn stark beschleunigt. Im mitt-
leren Bereich, zu dem das Teilstromniveau I_T aufrecht-
erhalten wird, ist keine weitere Energie erforderlich. Um
eine hohe Schließkraft zu erzeugen, wird die Energie
zum Ende hin durch den zweiten Stromimpuls I_2 wieder
erhöht (siehe Bereich A von Figur 7). Durch eine An-
steuerung entsprechend den Kurvenverläufen b oder c
ergeben sich geringere Druckimpulse (siehe Bereich B
von Figur 7). Im weiteren Verlauf wird die Kavitationszeit
verringert beziehungsweise eine starke Re-Kompressi-
on sowie ein damit verbundenes Wiederöffnen des Pie-
zo-Steuerventils wird sogar vermieden (siehe Bereich
C von Figur 7).

[0033] Dem in Figur 8 dargestellten Verlauf des Ven-
tilmadelhubs $h(t)$ ist besonders deutlich zu entnehmen,
dass ein Preller durch ein sanftes Schließen der Ventilm-
adel 48 deutlich verringert wird, wodurch der Druckab-
fall des Hochdruckkammerdrucks $p_{38}(t)$ verringert wird
(siehe Bereich D von Figur 8). Zum Zeitpunkt des
Schließens (bei 0 μ s) ist noch ein Überschuss an Strom
 $i(t)$ und Spannung $u(t)$ vorhanden, so dass eine größere
Kraft zum Dichten der Ventilmadel 48 bereitsteht (siehe
Bereich E von Figur 8).

[0034] Figur 9 zeigt einen Graph, der den Verlauf der
Piezospannung $u(t)$, des Ventilmadelhubs $h(t)$ und des
Absteuerraumdrucks $p_{50}(t)$ bei einem ungewollten Öff-
nen des Piezo-Steuerventils 22 beziehungsweise der
Ventilmadel 48 veranschaulicht. Diese Probleme kön-
nen durch die erfindungsgemäße Ansteuerung vermie-
den oder zumindest verringert werden.

[0035] Die Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen: Zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 einer Pumpe-Düse-Einheit wird der Piezo-Aktuator 76 anstelle eines Einpulsstrompaketes mit zumindest einem ersten Stromimpuls I_1 und einem diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2 angesteuert. Dadurch kann ein Preller beim Auftreffen der Ventalnadel 48 auf den Ventilsitz 62 vermieden oder zumindest verringert werden. Gegebenenfalls wird zwischen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten Stromimpuls I_2 ein Teilstromniveau I_T aufrechterhalten.

[0036] Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators (76) beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils (22) einer Pumpe-Düse-Einheit, wobei die Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls (I_1) und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls (I_2) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kurvenverlauf der Stromimpulse durch eine analoge Ansteuerung einen stetigen Verlauf aufweist.
2. verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem ersten Stromimpuls (I_1) und dem zweiten Stromimpuls (I_2) ein Teilstromniveau (I_T) aufrechterhalten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerung durch Schaltungseinrichtungen erfolgt, die zumindest einen analogen Verstärker umfassen.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert erfolgt, insbesondere transformatorgestützt.
5. Vorrichtung zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators (76) beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils (22) einer Pumpe-Düse-Einheit, wobei die Vorrichtung zur Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls (I_1) und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls (I_2) erzeugt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein analoger Ver-

stärker vorgesehen ist, der einen stetigen Kurvenverlauf der Stromimpulse (I_1 , I_2) verwirklicht.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau (I_T) aufrechterhält.

Claims

1. Method for actuating the piezo-actuator (76) during the closing process of a piezo-control valve (22) of a pump-nozzle unit, the actuation comprising at least one current pulse (I_1) and a second current pulse (I_2) which follows the latter at a time interval, **characterized in that** the curve profile of the current pulses has a continuous profile by virtue of analogue actuation.
2. Method according to Claim 1 **characterized in that** a partial current level (I_T) is maintained between the first current pulse (I_1) and the second current pulse (I_2).
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the actuation is carried out by means of switching devices which comprise at least one analogue amplifier.
4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the actuation is carried out with a closed-loop and/or open-loop current control, in particular with transformer support.
5. Device for actuating the piezo-actuator (76) during the closing process of a piezo-control valve (22) of a pump-nozzle unit, the actuation device comprising at least a first current pulse (I_1) and a second current pulse (I_2) which follows the latter at a time interval, **characterized in that** an analogue amplifier is provided and it implements a continuous curve profile of the current pulses (I_1 , I_2).
6. Device according to Claim 5, **characterized in that** it maintains a partial current level (I_T) between the first current pulse and the second current pulse.

Revendications

1. Procédé d'activation d'un actionneur piézoélectrique (76) lors du processus de fermeture d'une soupape de commande piézoélectrique (22) d'un ensemble unitaire à pompe et à buse, l'activation englobant au moins une première impulsion de courant (I_1) et une seconde impulsion de

courant (I_2) succédant à cette dernière avec temporisation,

caractérisé par le fait que l'allure des courbes des impulsions de courant présente une allure constante sous l'effet d'une activation analogique.

5

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé par le fait

qu'un niveau de courant partiel (I_T) est entretenu entre la première impulsion de courant (I_1) et la seconde impulsion de courant (I_2).

10

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,

caractérisé par le fait

que l'activation a lieu par l'intermédiaire de dispositifs de branchement renfermant au moins un amplificateur analogique.

15

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

20

caractérisé par le fait

que l'activation a lieu avec régulation et/ou commande de courant, notamment avec l'assistance d'un transformateur.

25

5. Dispositif d'activation d'un actionneur piézoélectrique (76) lors du processus de fermeture d'une soupape de commande piézoélectrique (22) d'un ensemble unitaire à pompe et à buse, ledit dispositif générant, en vue de l'activation, au moins une première impulsion de courant (I_1) et une seconde impulsion de courant (I_2) succédant à cette dernière avec temporisation,

30

caractérisé par le fait qu'il est prévu un amplificateur analogique provoquant une allure de courbes constante des impulsions de courant (I_1 , I_2).

35

6. Dispositif selon la revendication 5,

caractérisé par le fait

qu'il entretient un niveau de courant partiel (I_T) entre la première impulsion de courant et la seconde impulsion de courant.

40

45

50

55

FIG. 1

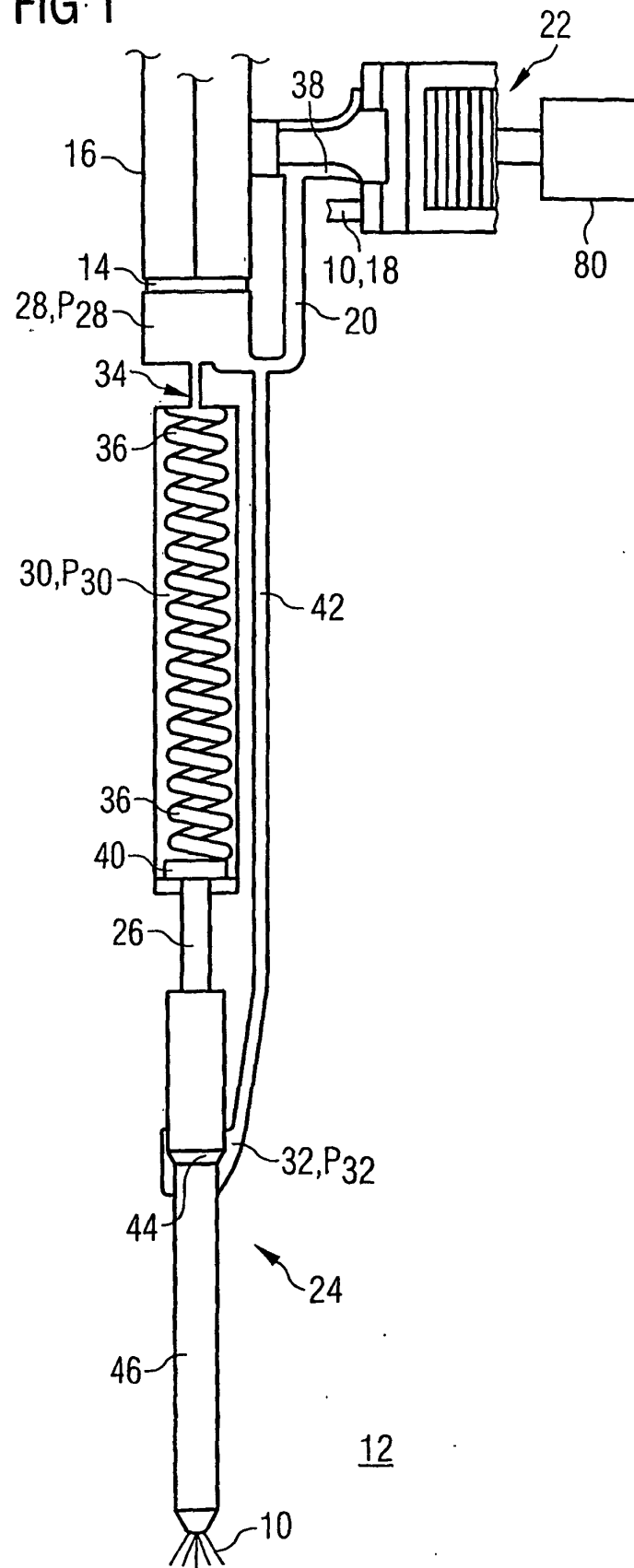
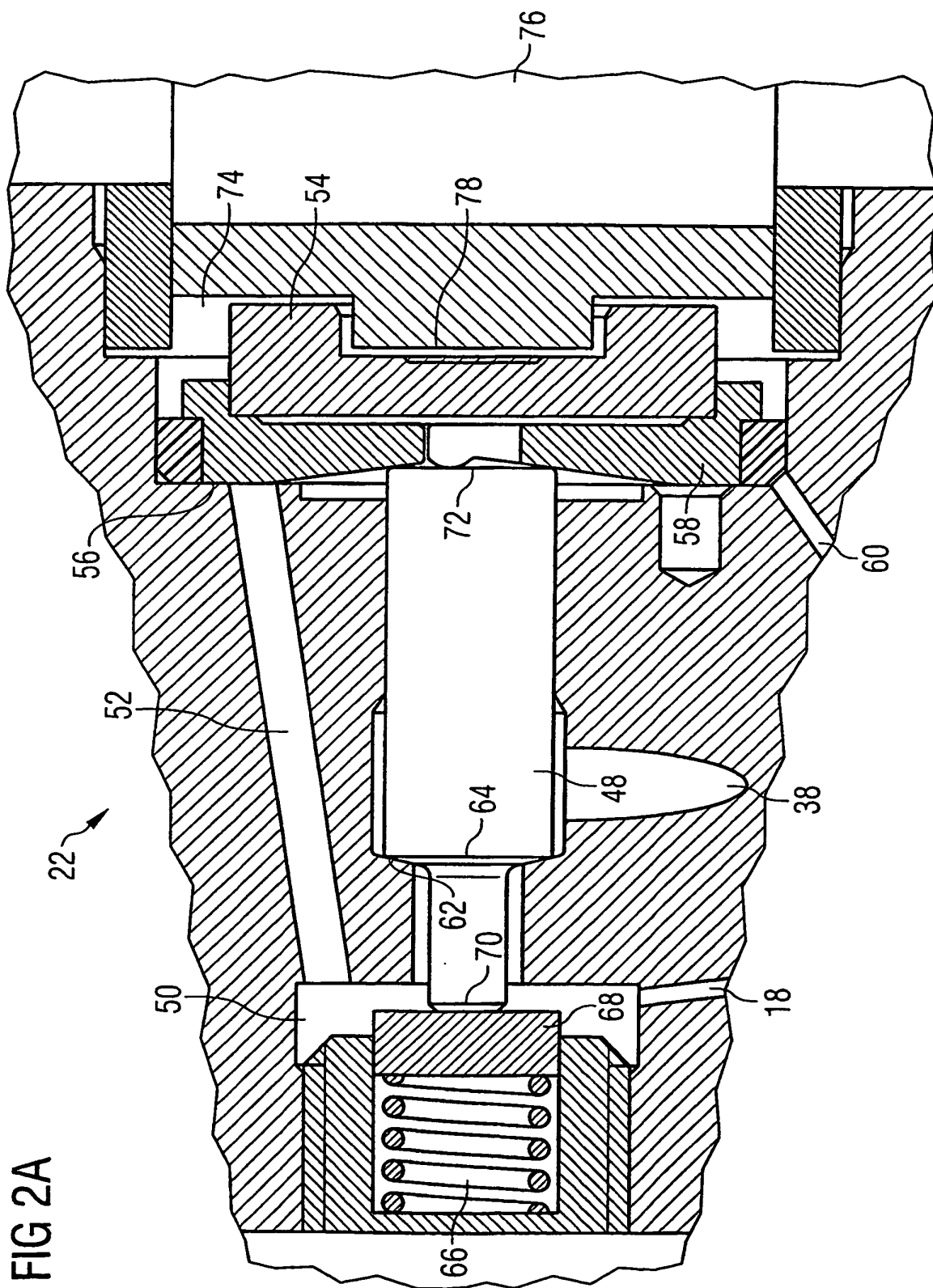


FIG 2A



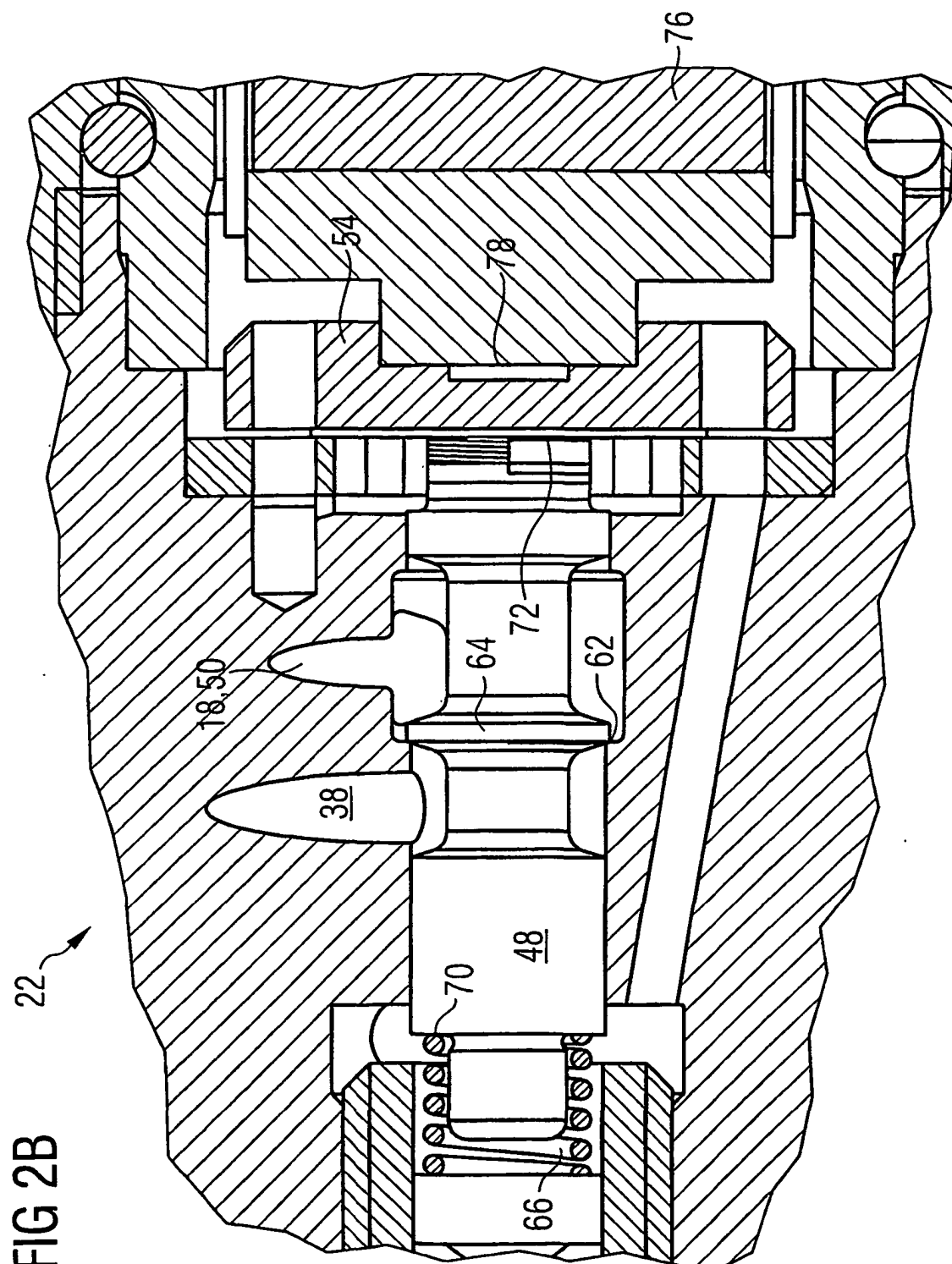


FIG 3
Stand der Technik

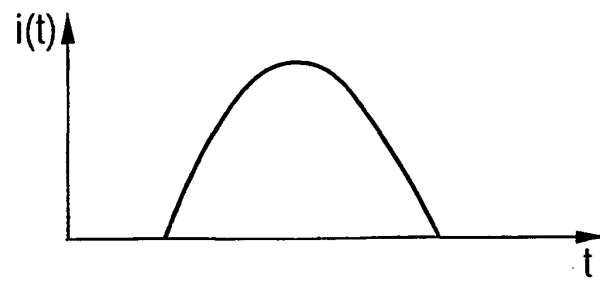


FIG 4
Stand der Technik

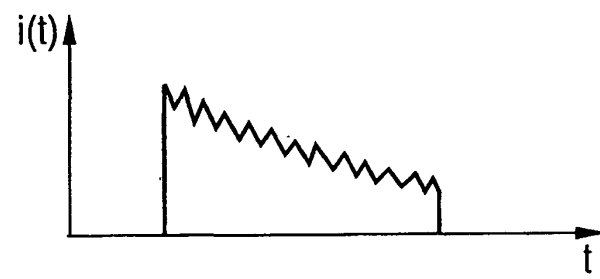


FIG 5

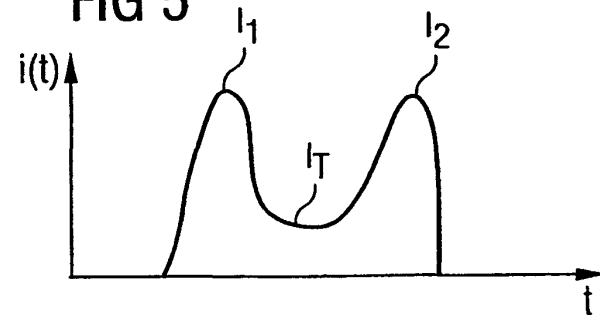


FIG 6

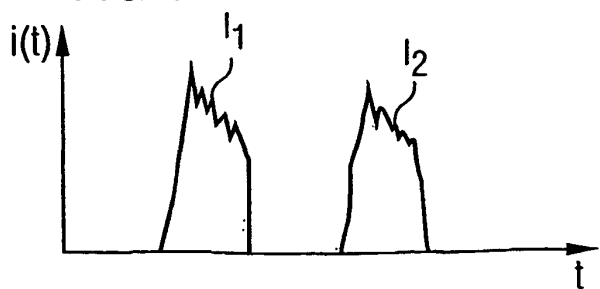


FIG 7

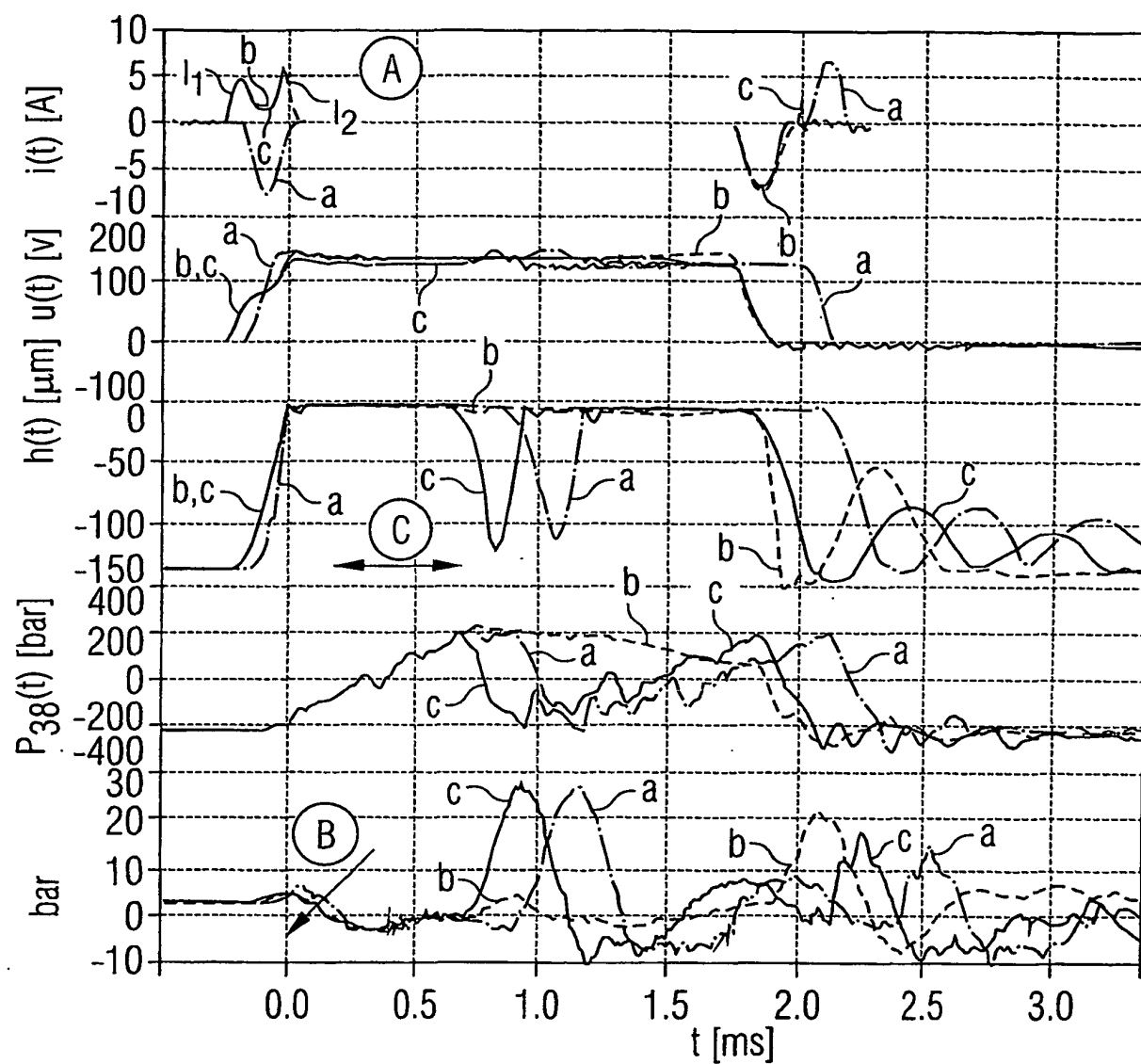


FIG 8

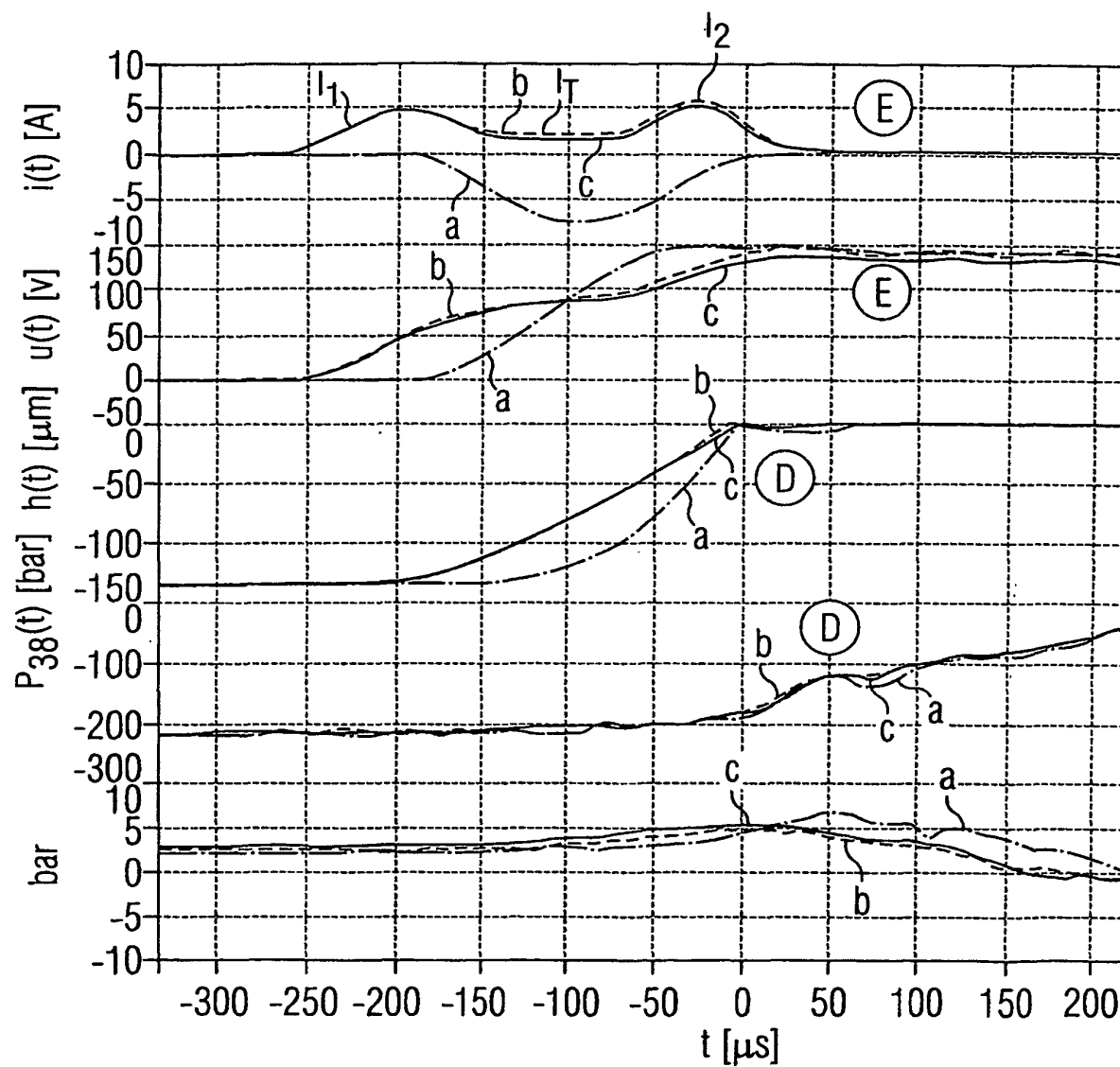


FIG 9

Stand der Technik

