



(11) **EP 1 999 359 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.02.2012 Patentblatt 2012/09

(21) Anmeldenummer: **07712521.9**

(22) Anmeldetag: **14.03.2007**

(51) Int Cl.:
F02D 41/20^(2006.01) F02D 41/24^(2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/052378

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/107484 (27.09.2007 Gazette 2007/39)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER ÖFFNUNGSSPANNUNG EINES PIEZOELEKTRISCHEN INJEKTORS**

METHOD OF DETERMINING AN OPENING VOLTAGE OF A PIEZOELECTRIC INJECTOR

PROCEDE DE DETERMINATION DE LA TENSION D'OUVERTURE D'UN INJECTEUR PIEZOELECTRIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **22.03.2006 DE 102006013166**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.12.2008 Patentblatt 2008/50

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **BREITBACH, Thomas**
70499 Stuttgart (DE)
• **BECKER, Oliver**
69198 Schriessheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 541 840 WO-A-01/63121
WO-A-2005/119038 DE-A1- 10 024 662
DE-A1- 19 930 309

EP 1 999 359 B1

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

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung einer Öffnungsspannung eines Injektors mit einem Piezo-Aktor, insbesondere eines Injektors einer Brennkraftmaschine, wobei im geschlossenen Zustand des Injektors eine Ausgangsspannung an den Piezo-Aktor angelegt wird und die Spannung zum Öffnen des Injektors durch Bestromung des Piezo-Aktors abgesenkt wird, sowie ein Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Düsennadeln von Kraftstoffinjektoren (Injektoren) für moderne Diesel- und Ottomotoren werden aufgrund der hohen dynamischen Anforderungen häufig direkt oder indirekt über piezoelektrische Elemente (piezoelektrische Aktoren oder Piezoaktoren) betätigt.

[0003] Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser piezoelektrischen Elemente bleiben über die Lebensdauer nicht konstant. Sowohl der Aktorhub als auch die Aktorkapazität und -steifigkeit ändern sich über die Lebensdauer. Diese Änderungen können im Betrieb ohne aufwendige Messtechnik nicht direkt erfasst und damit auch nicht kompensiert werden. Die Folge sind Fehler der eingespritzten Kraftstoffmenge.

[0004] Aus der WO 01/63121 ist bekannt, dass der Gradient der Spannung an dem Piezoaktor bei dessen Entladen geringer wird, sobald der Injektor öffnet.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren sowie ein Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, mit denen die zuvor genannten Alterungserscheinungen erfasst und kompensiert werden können.

[0006] Dieses Problem wird gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung einer Öffnungsspannung eines Injektors einer Brennkraftmaschine mit einem Piezo-Aktor, wobei im geschlossenen Zustand des Injektors eine Ausgangsspannung an den Piezo-Aktor angelegt wird und die Spannung zum Öffnen des Injektors durch Entladen des Piezo-Aktors abgesenkt wird, wobei die Entladung bei einer Haltespannung unterbrochen wird und danach die an dem Piezo-Aktor anliegende Spannungsänderung über der Zeit gemessen wird, wobei die Haltespannung von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg nach Unterbrechung der Entladung einen Mindestwert unterschreitet, und wobei bei einem Spannungsanstieg um den Mindestwert darauf erkannt wird, dass die Haltespannung der Öffnungsspannung entspricht.

[0007] In einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Haltespannung von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg nach Unterbrechung der Bestromung einen Mindestgradienten unterschreitet.

[0008] Das Verfahren wird vorzugsweise im regulären Betrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt. Damit ist gemeint, dass das Verfahren keine zusätzlichen Steuergeräte oder Prüfgeräte beispielsweise in einer Werkstatt bedarf, sondern mit den in einem Fahrzeug vorhandenen Mitteln durchgeführt wird. Das Verfahren wird vorzugsweise nach Ablauf eines Intervalls einer Betriebszeit oder Ablauf einer Zeitspanne automatisch von einem Steuergerät programmgesteuert durchgeführt.

[0009] In einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Haltespannung eines Injektors variiert wird und ein Integrator einer Mengen-Ausgleichs-Regelung beobachtet wird. In einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass auf das Erreichen der Öffnungsspannung erkannt wird, wenn die Ansteuerzeiten und/oder Ansteuerspannungen des Injektors durch die Mengen-Ausgleichs-Regelung so verändert werden, dass eine größere Einspritzmenge bewirkt wird.

[0010] Das eingangs genannte Problem wird auch gelöst durch ein Steuergerät mit Mitteln zur Bestimmung einer Öffnungsspannung eines Injektors einer Brennkraftmaschine mit einem Piezo-Aktor, wobei im geschlossenen Zustand des Injektors eine Ausgangsspannung an den Piezo-Aktor angelegt wird und die Spannung zum Öffnen des Injektors durch Entladen des Piezo-Aktors abgesenkt wird, wobei die Entladung bei einer Haltespannung unterbrochen wird und danach die an dem Piezo-Aktor anliegende Spannungsänderung über der Zeit gemessen wird, wobei die Haltespannung von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg nach Unterbrechung der Entladung einen Mindestwert unterschreitet, und wobei bei einem Spannungsanstieg um den Mindestwert darauf erkannt wird, dass die Haltespannung der Öffnungsspannung entspricht.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0011] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 das technische Umfeld der Erfindung;

Fig. 2 ein Beispiel der Einspritzmenge eines piezoelektrischen Injektors über die anliegende Maximalspannung;

Fig. 3 ein Beispiel eines Spannungsverlaufs an einem Piezoelement eines piezoelektrischen Injektors bei Unterbrechung der Bestromung;

Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung des Bereiches X in Fig. 3;

Fig. 5 ein Ablaufdiagramm des Verfahrens.

Ausführungsform der Erfindung

[0012] Figur 1 zeigt ein Speichereinspritzsystem 10, das einen Injektor (Einspritzventil) 12, ein Steuergerät 14, einen Kraftstoff-Hochdruckspeicher 16, einen Kraftstofftank 18, eine Hochdruckpumpe 20, sowie einen Drucksensor 22 und ein Druckregelventil 24 aufweist. Der Injektor 12 ist über eine Hochdruckleitung 26 mit dem Hochdruckspeicher 16 verbunden, so dass in seinem Inneren statisch der gleiche Druck herrscht wie im Hochdruckspeicher 16. Im Inneren des Injektors 12 ist ein Piezo-Aktor 28 angeordnet, der als Stapel aus n Schichten piezoelektrischen Materials realisiert ist, die jeweils elektrisch zwischen einem ersten Anschluss 30 und einem zweiten Anschluss 32 liegen.

[0013] Der Piezo-Aktor 28 ist über einen hydraulischen Koppler 34 mit einer Düsenadel 36 verbunden und wird von dem Steuergerät 14 gesteuert, das dazu eine Leistungs- und Messelektronik 38 und ein Steuerteil 40 aufweist. Der Koppler 34 weist eine Drossel 42 auf. Die Drossel 42 erlaubt einen langsam erfolgenden Ausgleich der Drücke innerhalb und außerhalb des Kopplers 34, so dass nur schnelle Längenänderungen des Piezo-Aktors 28 auf die Düsenadel 36 übertragen werden, langsame, thermisch induzierte Volumenänderungen aber ausgeglichen werden.

[0014] Der Steuereingriff auf die Leistungs- und Messelektronik 38 wird in der Figur 1 durch den Pfeil 44 repräsentiert. Der Pfeil 46 repräsentiert eine Übergabe einer von der Leistungs- und Messelektronik 38 erfassten Spannung U an das Steuerteil 40. Die Ladung und Entladung des Piezo-Aktors 28 erfolgt über die Anschlüsse 30 und 32. Der Kraftstoffdruck p im Kraftstoff-Hochdruckspeicher 16 oder einem anderen unter Hochdruck stehenden Kraftstoff führenden Teil des Speichereinspritzsystems 10 wird von dem Drucksensor 22 erfasst und an das Steuergerät 14 übermittelt.

[0015] Wie in der Figur 1 prinzipiell dargestellt ist, wirkt der Piezo-Aktor 28 mit einer Längenänderung über den hydraulischen Koppler 34 direkt auf die Düsenadel 36 ein. Die Düsenadel 36 sitzt fest auf ihrem Sitz, wenn der Piezo-Aktor 28 geladen und damit ausgedehnt ist. Die Schließkraft wird dabei durch den Druck im Kopplerraum erzeugt. Wird der Piezo-Aktor 28 entladen, so zieht er sich zusammen und entlastet über den mit Kraftstoff gefüllten hydraulischen Koppler 34 die Düsenadel 36. Der an einer Druckschulter 49 der Düsenadel 36 herrschende Einspritzdruck erzeugt permanent eine auf die Düsenadel 36 wirkende Öffnungskraft. Beim Entladen des Piezo-Aktors 28 sinkt der Druck im Koppler 34 unter den Betrag der Öffnungskraft ab, was zu einem Abheben der Düsenadel 36 von ihrem Sitz und damit zu einer Einspritzung von Kraftstoff führt.

[0016] Fig.2 zeigt ein Beispiel einer Einspritzmenge Q eines piezoelektrischen Injektors 12 über der an dem Piezo-Aktors 28 anliegenden Ausgangsspannung U_A . Über die Abszisse ist dabei die am Piezo-Aktor 28 anliegende Ausgangsspannung U_A aufgetragen, über die Ordinate

ist die Einspritzmenge Q in Kubikmillimeter aufgetragen. Die Kurvenschar in Fig. 2 ist für unterschiedliche Raildrücke, wie in der Legende dargestellt, zwischen 200 und 2000 bar aufgezeichnet. Deutlich zu erkennen ist, dass ab einer bestimmten Ausgangsspannung U_A , abhängig vom Raildruck eine starke Erhöhung der Einspritzmenge Q auftritt. In Fig. 2 wird dabei davon ausgegangen, dass eine Spannungsabsenkung von der Ausgangsspannung U_A am Aktor auf eine Öffnungsspannung U_{OE} von etwa 0 Volt stattfindet, dass also das Piezoelement vollständig entladen wird. Die minimal erforderliche Ausgangsspannung U_A am Aktor ist in Fig. 2 jeweils mit $U_{A\text{Min}}$ (Raildruck) aufgetragen, die minimal erforderliche Ausgangsspannung U_A an dem Piezoelement für eine sichere Einspritzung bei einem Einspritzdruck bzw. Raildruck von 2000 bar ist also als $U_{A\text{Min}}(2000)$ bezeichnet. Wird der Piezo-Aktor 28 bei einem Raildruck von 2000 bar also beispielsweise mit einer Ausgangsspannung U_A von 120 Volt betrieben, so öffnet der Injektor 12 bei einer Spannungsabsenkung auf 0 Volt nicht. Bei einer Ausgangsspannung U_A von etwa 125 Volt bei einem Raildruck von 2000 bar wird demgegenüber bei einer Spannungsabsenkung auf 0 Volt beispielsweise eine Einspritzmenge Q von 30 mm³ erzielt, bei einer weiteren Erhöhung der Schließspannung erfolgt nur ein geringerer Anstieg der Einspritzmenge, bei 200 Volt Schließspannung und einem Raildruck von 2000 bar wird eine Einspritzmenge von etwa 44 mm³ erreicht. Ein Betrieb des piezoelektrischen Injektors 12 erfolgt oberhalb der Spannung $U_{A\text{Min}}$ für den jeweiligen Raildruck. Der Piezo-Aktor 28 verhält sich im Wesentlichen wie ein Kondensator, im geschlossenen Zustand des Injektors liegt dabei eine Ausgangsspannung U_A an, die im Ausführungsbeispiel beispielsweise 180 Volt beträgt. Zum Öffnen des Injektors wird das Piezoelement entladen, wobei ein Verschiebestrom fließt. Im einfachsten Fall kann man sich hier als Ersatzschaltbild einen zwischen den Klemmen des Piezoelementes angeordneten, schaltbaren Ohmschen Widerstand für das Schaltbild vorstellen, über den das Piezoelement entladen wird. Wird der Schalter geschlossen, so entlädt sich das Piezoelement, wird dieser geöffnet, so wird die Entladung unterbrochen.

[0017] Fig. 3 zeigt den Spannungsverlauf an dem Piezo-Aktor 28 bei einem Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens. In diesem Beispiel beträgt die Ausgangsspannung $U_A=180$ V. Um eine Einspritzung abzusetzen wird der Piezo-Aktor 28 entladen, wobei ein Verschiebestrom fließt. In Fig. 3 sind Entladekurven dargestellt für drei Ladungsphasen, zunächst wird in einer ersten Entladungsphase A der Piezo-Aktor 28 entladen, wobei die Entladung bei einer Haltespannung U_H unterbrochen wird. Diese Unterbrechung wird als Bestromungspause Δt bezeichnet und dauert von Zeitpunkt t_{1n} bis zu Zeitpunkt t_{2n} . Der Index n bezeichnet die Kurven 1, 2 und 3. Ab dem Zeitpunkt t_{2n} wird die Entladung in der zweiten Entladungsphase B wieder fortgesetzt. In Fig. 3 dargestellt ist eine Kurvenschar für die Entladung eines Piezo-Aktors 28 bis auf unterschiedliche Halte-

spannungen U_{H1} , U_{H2} und U_{H3} . In Fig. 4 ist der mit einem Kreis X versehene Bereich in Fig. 3 vergrößert dargestellt. Die Indizes werden der leichteren Lesbarkeit halber nachfolgen unterdrückt. Die Entladung des Piezo-Aktors 28 wird bei einer Haltespannung U_H zu einer Zeit t_1 bis zu einer Zeit t_2 unterbrochen. Die Zeitspanne zwischen t_1 und t_2 wird hier als Bestromungspause Δt bezeichnet. Eingezeichnet in Fig. 3 sind mehrere Spannungsverläufe als Kurven 1, 2 und 3 für unterschiedliche Haltespannungen U_{Hn} , nämlich eine Kurve 1 für eine Haltespannung U_{H1} , eine Kurve 2 für eine Haltespannung U_{H2} sowie eine Kurve 3 für eine Haltespannung U_{H3} . Die Zeiten t_1 , t_2 und so fort sind jeweils mit einem Index t_{1n} , t_{2n} , t_{3n} , t_{4n} ... versehen, wobei n dem Index der Haltespannungen U_H entspricht, als beispielsweise t_{11} , t_{21} und Δt_1 für die Kurve 1 zur Haltespannung U_{H1} . Die Haltezeiten Δt_n sind dabei jeweils identisch gewählt. Nach Ende der Haltezeit Δt wird das Piezoelement weiter bestromt, so dass die Spannung an dem Piezo-Aktor 28 weiter abfällt.

[0018] In Fig. 4 sind die Spannungsverläufe jeweils zwischen den Zeiten t_{1n} und t_{2n} zu erkennen. Der Spannungsverlauf wird nachfolgend anhand der Kurve 1 erläutert. Die Spannung U über dem Piezo-Aktor 28 fällt nach Ende der Bestromungsphase zum Zeitpunkt t_{11} zunächst weiter ab bis zu einem Zeitpunkt t_{31} , wobei diese ein lokales Minimum erreicht und steigt danach bis zu einem Zeitpunkt t_{41} wieder an. Zwischen dem Zeitpunkt t_{41} und dem Wiedereinsetzen der Bestromung des Piezoelements zum Zeitpunkt t_{21} , fällt die Spannung U über dem Piezoelement wieder ab. Die Spannung ΔU zwischen dem Minimalwert zum Zeitpunkt t_{31} und dem Maximalwert zum Zeitpunkt t_{41} innerhalb der Bestromungspause beträgt hier etwa 3 Volt.

[0019] Wird die Entladung erst bei der Haltespannung U_{H3} von etwa 65 Volt unterbrochen, dies ist bei einer Zeit t_{31} der Fall, so sinkt zunächst die Spannung weiter ab, bis zu einem Zeitpunkt t_{33} und steigt danach wieder an. Der Anstieg erfolgt praktisch bis zum Wiedereinsetzen der Bestromung zum Zeitpunkt der Bestromung t_{23} und umfasst einen Spannungshub ΔU_3 von etwa 5 V. Der Spannungshub ist hier also größer als bei der Haltespannung U_{H1} von etwa 85 Volt und weist kein ausgeprägtes lokales Maximum auf, wie dies zum Zeitpunkt t_{31} bei der Haltespannung U_{H1} von 85 Volt der Fall ist. Der deutliche Anstieg der Spannung U über dem Piezoelement in der Bestromungspause bei der Haltespannung U_{H1} von 65 V ist darauf zurückzuführen, dass der Injektor 12 öffnet.

[0020] Je höher der Spannungshub des Piezo-Aktors 28, umso stärker wird die Nadel durch eine Druckabsenkung hydraulischen Koppler 34 entlastet. Ab einem gewissen Spannungshub wird die Nadel so weit aus dem Sitz gehoben, dass sie durch eine Druckunterwanderung schlagartig nach oben schnappt, bis ein Kräftegleichgewicht über den steigenden Druck im hydraulischen Koppler 34 zwischen Aktorkraft und Nadelkraft hergestellt ist. Der zuvor gedehnte Verbund bestehend aus Aktor, Nadel und der Kopplung von Koppler und Nadel wird dabei wieder gestaucht. Durch diese Stauchung wird über den

piezoelektrischen Effekt in dem piezoelektrischen Aktor eine elektrische Spannung in dem Piezo-Aktor 28 induziert, die in der Entladepause Δt sichtbar wird.

[0021] Wird in der Entladepause Δt ein Spannungsanstieg mit stets positivem Gradienten ab Erreichen des Minimalwertes bei t_{3n} beobachtet, so hat der Injektor 12 geöffnet. Wird eine Spannungsanhebung oberhalb eines Minimalwertes ΔU_{\min} , im vorliegenden Beispiel der Fig. 3 und 4 oberhalb eines Wertes von etwa 3 Volt, beobachtet, so kann ebenfalls auf das Öffnen des Injektors 12 geschlossen werden.

[0022] Auf ein Öffnen des Injektors 12 kann ebenfalls geschlossen werden, wenn der Spannungsgradient $\Delta U/\Delta t$ einen Mindestwert erreicht. Hier kann beispielsweise der Gradient kurz vor Wiedereinsetzen der Bestromung im Zeitpunkt t_{2n} betrachtet werden. Ist dieser deutlich positiv, so kann von einer erfolgten Einspritzung ausgegangen werden. Der Gradient im Bereich kurz nach Erreichen des lokalen Minimums bei der Zeit t_{3n} ist stets positiv und eignet sich nicht für diese Betrachtung.

[0023] Mit dem zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, im Betrieb einer Brennkraftmaschine festzustellen, bei welchem Spannungshub oder ausgehend von einer konstanten Schließspannung bei welcher Öffnungsspannung ein Injektor 12 öffnet. Das Verfahren kann im regulären Betrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt werden, indem der Spannungshub schrittweise bei aufeinander folgenden Einspritzungen verringert wird. Sobald in der Entladepause Δt (Bestromungspause) ein negativer Spannungsgradient, wie beispielsweise in Kurve 1 der Fig. 4 zu erkennen ist, eintritt, hat der Injektor 12 nicht geöffnet. Gleiches gilt, wenn die Spannungsdifferenz ΔU in der Bestromungspause unter einen Schwellenwert ΔU_s fällt, im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 liegt dieser Schwellenwert bei etwa 3 Volt. Wird das erfindungsgemäße Verfahren im mittleren Drehzahlbereich einer Brennkraftmaschine durchgeführt, so beeinträchtigen nicht ausgeführte Einspritzungen bei Erreichen eines Spannungshubes, der das Injektor 12 nicht geöffnet, die Laufruhe und den Fahrkomfort der Brennkraftmaschine nur unwesentlich. Zudem kann das Verfahren zeitgesteuert oder betriebszeitgesteuert in großen Abständen durchgeführt werden, beispielsweise monatlich oder halbjährlich oder nach Ablauf einer bestimmten Zeit von Betriebsstunden der Brennkraftmaschine.

[0024] Zur Durchführung des Verfahrens können in einem Ausführungsbeispiel während des Fahrzeugbetriebes die Ansteuerspannungen einzelner Injektoren 12 wie zuvor beschrieben variiert werden und dabei die Integritäten der Mengen-Ausgleichs-Regelung (MAR) beobachtet werden. Die Mengen-Ausgleichs-Regelung sorgt für eine Gleichstellung der einzelnen Zylinder, dass also von den einzelnen Zylindern ein möglichst gleicher Anteil am Gesamtdrehmoment der Brennkraftmaschine beigesteuert wird, was in der Regel auf gleiche Einspritzmengen hinausläuft. Die Mengen-Ausgleichs-Regelung wird bei einer Veränderung des Spannungshubes eines In-

jektors 12 und damit einhergehender Verringerung der Einspritzmenge die Ansteuerzeiten bzw. Ansteuerspannungen so verändern, dass eine größere Einspritzmenge bewirkt wird. Sobald bei einer Veränderung des Spannungshubes wie zuvor beschrieben der Integrator des zu überprüfenden Injektors 12 steil nach oben verläuft, ist die kritische Ansteuerspannung bzw. der kritische Spannungshub erreicht, wobei die eingespritzte Kraftstoffmenge schlagartig abfällt.

[0025] Fig. 5 zeigt ein Ablaufdiagramm des Verfahrens. Mit Schritt 101 wird der Piezo-Aktor 28 bei anliegender Ausgangsspannung U_A bestromt, sodass die Spannung U an dem Piezo-Aktor 28 abfällt. Bei der Haltespannung U_H wird die Bestromung des Piezo-Aktors 28 in Schritt 102 unterbrochen. Die Unterbrechung dauert in Schritt 103 für den Zeitraum Δt an. Während des Zeitraumes Δt wird die an den Piezo-Aktor 28 anliegende Spannung U gemessen. Dabei wird die Spannungsänderung ΔU über der Zeit gemessen. In Schritt 104 wird die Spannungsänderung ΔU , wie oben beschrieben, ausgewertet. In Schritt 105 wird geprüft, ob die so ermittelte Spannung die Öffnungsspannung des Injektors ist. Ist dies der Fall, wo wird das Verfahren in Schritt 107 beendet (Fall N), ist dies nicht der Fall (J), so wird in Schritt 106 verzweigt. In Schritt 106 wird sodann die Haltespannung U_H erhöht, dies ist hier angedeutet durch ein $++U_H$, woraufhin auf Schritt 101 zurückverzweigt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Öffnungsspannung eines Injektors (12) einer Brennkraftmaschine mit einem Piezo-Aktor (28), wobei im geschlossenen Zustand des Injektors (12) eine Ausgangsspannung (U_A) an den Piezo-Aktor (28) angelegt wird und die Spannung (U) zum Öffnen des Injektors (12) durch Entladen des Piezo-Aktors (28) abgesenkt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entladung bei einer Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) unterbrochen wird und danach die an dem Piezo-Aktor (28) anliegende Spannungsänderung (ΔU) über der Zeit gemessen wird, wobei die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg nach Unterbrechung der Entladung einen Mindestwert (ΔU_{\min}) unterschreitet, und wobei bei einem Spannungsanstieg um den Mindestwert (ΔU_{\min}) darauf erkannt wird, dass die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) der Öffnungsspannung (U_{OE}) entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg (ΔU_{\min}) nach Unterbrechung der Bestromung einen Mindestgradienten ($\Delta U_{\min}/\Delta t$) unterschreitet.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieses im Betrieb der Brennkraftmaschine erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieses nach Ablauf eines Intervalls einer Betriebszeit oder Ablauf einer Zeitspanne erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) eines Injektors (12) variiert wird und ein Integrator einer Mengenausgleichs-Regelung beobachtet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf das Erreichen der Öffnungsspannung (U_{OE}) erkannt wird, wenn die Ansteuerzeiten und/oder Ansteuerspannungen des Injektors (12) durch die Mengen-Ausgleichs-Regelung so verändert werden, dass eine größere Einspritzmenge bewirkt wird.
7. Steuergerät mit Mitteln zur Bestimmung einer Öffnungsspannung eines Injektors (12) einer Brennkraftmaschine mit einem Piezo-Aktor (28), wobei im geschlossenen Zustand des Injektors (12) eine Ausgangsspannung (U_A) an den Piezo-Aktor (28) angelegt wird und die Spannung (U) zum Öffnen des Injektors (12) durch Entladen des Piezo-Aktors (28) abgesenkt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entladung bei einer Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) unterbrochen wird und danach die an dem Piezo-Aktor (28) anliegende Spannungsänderung (ΔU) über der Zeit gemessen wird, wobei die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) von Einspritzung zu Einspritzung schrittweise erhöht wird bis der Spannungsanstieg nach Unterbrechung der Entladung einen Mindestwert (ΔU_{\min}) unterschreitet, und wobei bei einem Spannungsanstieg um den Mindestwert (ΔU_{\min}) darauf erkannt wird, dass die Haltespannung (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) der Öffnungsspannung (U_{OE}) entspricht.

Claims

1. Method of determining an opening voltage of an injector (12) of an internal combustion engine having a piezo-actuator (28), wherein in the closed state of the injector (12) an output voltage (U_A) is applied to the piezo-actuator (28) and the voltage (U_A) is lowered in order to open the injector (12) while discharging the piezo-actuator (28), **characterized in that** the discharge is interrupted when there is holding voltage (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}), and afterwards the voltage change (ΔU), and afterwards the voltage change (ΔU) which is applied to the piezo-actuator

- (28) is measured over time, wherein the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) is increased incrementally from injection to injection until the increase in voltage drops below a minimum value (ΔU_{\min}) after an interruption of the discharge, and wherein, when there is an increase in voltage by the minimum value (ΔU_{\min}), it is detected that the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) corresponds to the opening voltage (U_{OE}).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) is increased incrementally from injection to injection until the voltage increase (ΔU_{\min}) drops below a minimum gradient ($\Delta_{\min}/\Delta t$) after interruption of the energization.
 3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** this takes place during operation of the internal combustion engine.
 4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** this takes place after expiry of an interval of an operating time or expiry of a time period.
 5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) of an injector (12) is varied, and an integrator of a quantity compensation control system is observed.
 6. Method according to Claim 5, **characterized in that** it is detected that the opening voltage (U_{OE}) has been reached when the actuation times and/or actuation voltages of the injector (12) are changed by the quantity compensation control system in such a way that a relatively large injection quantity is brought about.
 7. Control device having means for determining an opening voltage of an injector (12) of an internal combustion engine having a piezo-actuator (28), wherein in the closed state of the injector (12) an output voltage (U_A) is applied to the piezo-actuator (28) and the voltage (U) is lowered in order to open the injector (12) by discharging the piezo-actuator (28), **characterized in that** the discharge is interrupted when there is holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$), and afterwards the voltage change (ΔU) which is applied to the piezo-actuator (28) is measured over time, wherein the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) is increased incrementally from injection to injection until the increase in voltage drops below a minimum value (ΔU_{\min}) after an interruption of the discharge, and wherein, when there is an increase in voltage by the minimum value (ΔU_{\min}), it is detected that the holding voltage ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$), corresponds to the opening voltage (U_{OE}).

Revendications

1. Procédé de détermination de la tension d'ouverture d'un injecteur (12) d'un moteur à combustion interne doté d'un actionneur piézoélectrique (28), une tension de sortie (U_A) étant appliquée à l'actionneur piézoélectrique (28) à l'état fermé de l'injecteur (12) et la tension (U) étant abaissée en déchargeant l'actionneur piézoélectrique (28) pour ouvrir l'injecteur (12), **caractérisé en ce que** la décharge est interrompue en présence d'une tension de maintien ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) et que la variation de tension (ΔU) appliquée à l'actionneur piézoélectrique (28) est ensuite mesurée en fonction du temps, la tension de maintien ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) étant augmentée par paliers d'injection en injection jusqu'à ce que la hausse de tension passe en dessous d'une valeur minimale (ΔU_{\min}) après interruption de la décharge, ceci entraînant le constat, en présence d'une hausse de tension correspondant à la valeur minimale (ΔU_{\min}), que la tension de maintien ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) correspond à la tension d'ouverture (U_{OE}).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la tension de maintien ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) est augmentée par paliers d'injection en injection jusqu'à ce que la hausse de tension (ΔU_{\min}) passe en dessous d'un gradient minimal ($\Delta U_{\min}/\Delta t$) après interruption du courant.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** celui-ci se produit en situation de fonctionnement du moteur à combustion interne.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** celui-ci se produit après écoulement d'un intervalle de temps de fonctionnement ou écoulement d'un intervalle de temps.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on fait varier la tension de maintien ($U_{H1}, U_{H2}, U_{H3}, \dots U_{Hn}$) d'un injecteur (12) et que l'on observe la réaction d'un intégrateur de régulation de la compensation de quantités.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on reconnaît quand la tension d'ouverture (U_{OE}) a été atteinte lorsque les temps d'excitation et/ou les tensions d'excitation de l'injecteur (12) sont modifiés par la régulation de la compensation de quantités de façon à entraîner une quantité d'injection plus importante.
7. Appareil de commande doté de moyens de comman-

de d'une tension d'ouverture d'un injecteur (12) d'un
moteur à combustion interne doté d'un actionneur
piézoélectrique (28), une tension de sortie (U_A) étant
appliquée à l'actionneur piézoélectrique (28) à l'état
fermé de l'injecteur (12) et la tension (U) étant abais- 5
sée en déchargeant l'actionneur piézoélectrique
(28) pour ouvrir l'injecteur (12), **caractérisé en ce
que** la décharge est interrompue en présence d'une
tension de maintien (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) et que 10
la variation de tension (ΔU) appliquée à l'actionneur
piézoélectrique (28) est ensuite mesurée en fonction
du temps, la tension de maintien (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ...
 U_{Hn}) étant augmentée par paliers d'injection en in-
jection jusqu'à ce que la hausse de tension passe 15
en dessous d'une valeur minimale (ΔU_{\min}) après in-
terruption de la décharge, ceci entraînant le constat,
en présence d'une hausse de tension correspondant
à la valeur minimale (ΔU_{\min}), que la tension de main-
tien (U_{H1} , U_{H2} , U_{H3} , ... U_{Hn}) correspond à la tension 20
d'ouverture (U_{OE}).

25

30

35

40

45

50

55

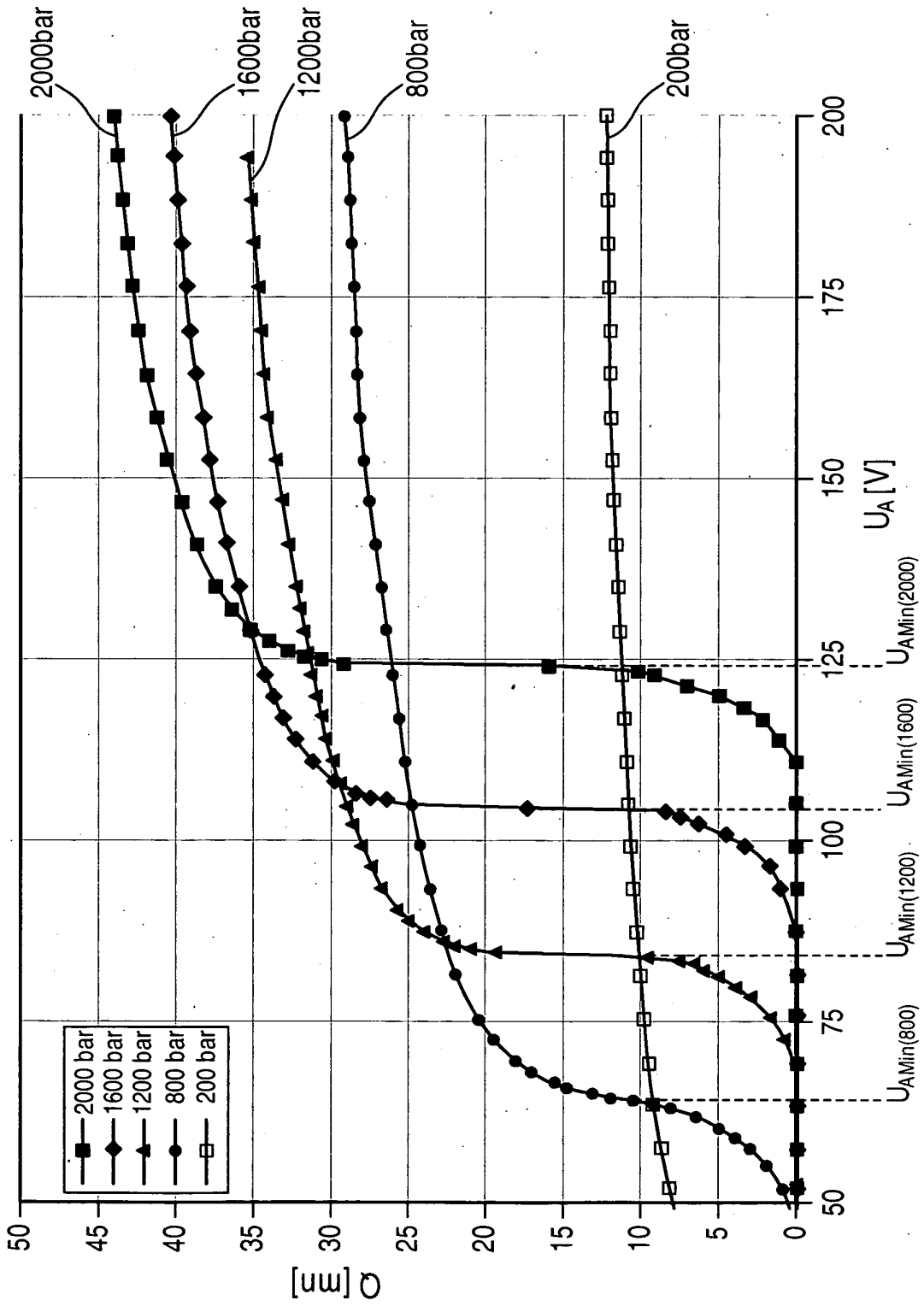


Fig. 2

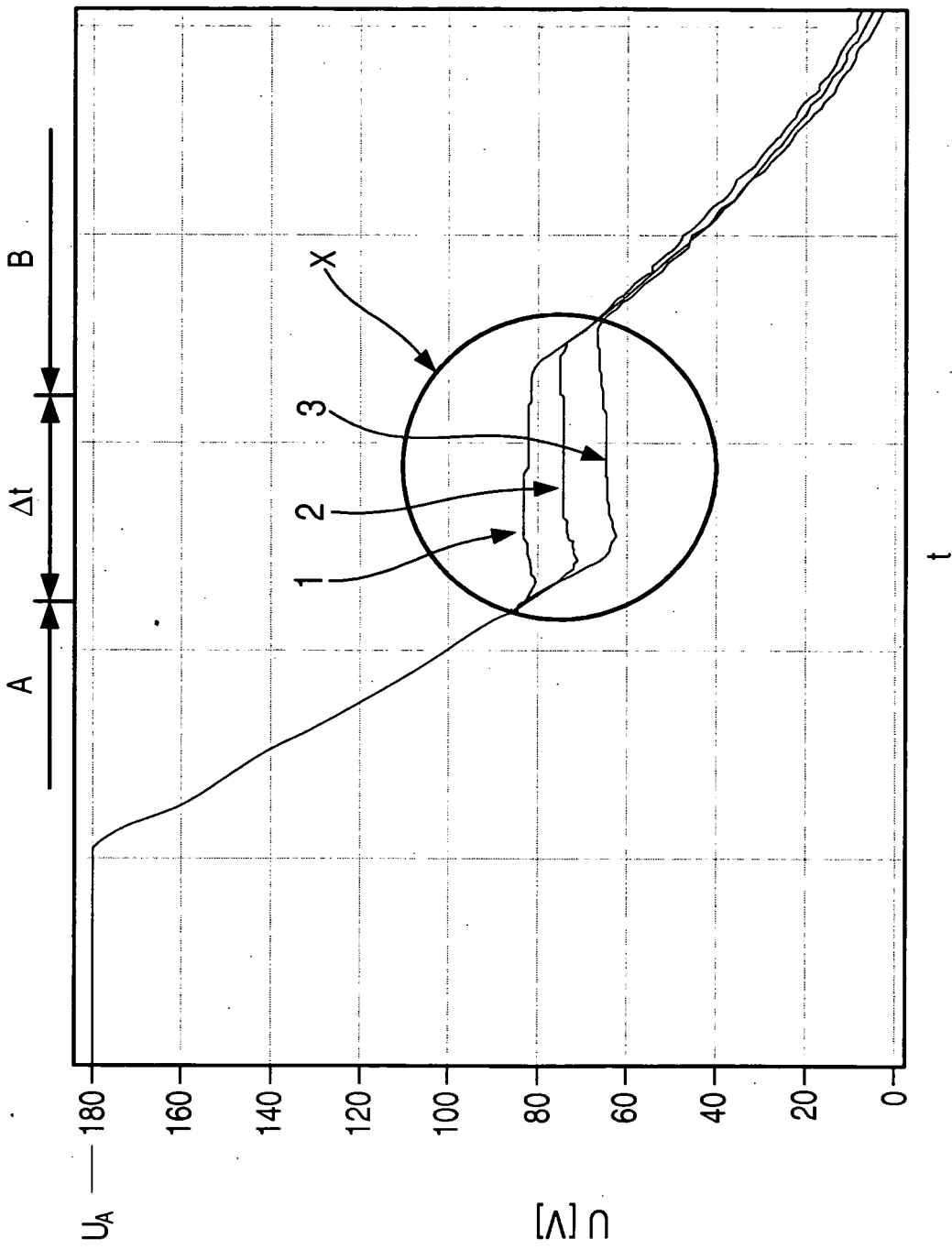


Fig. 3

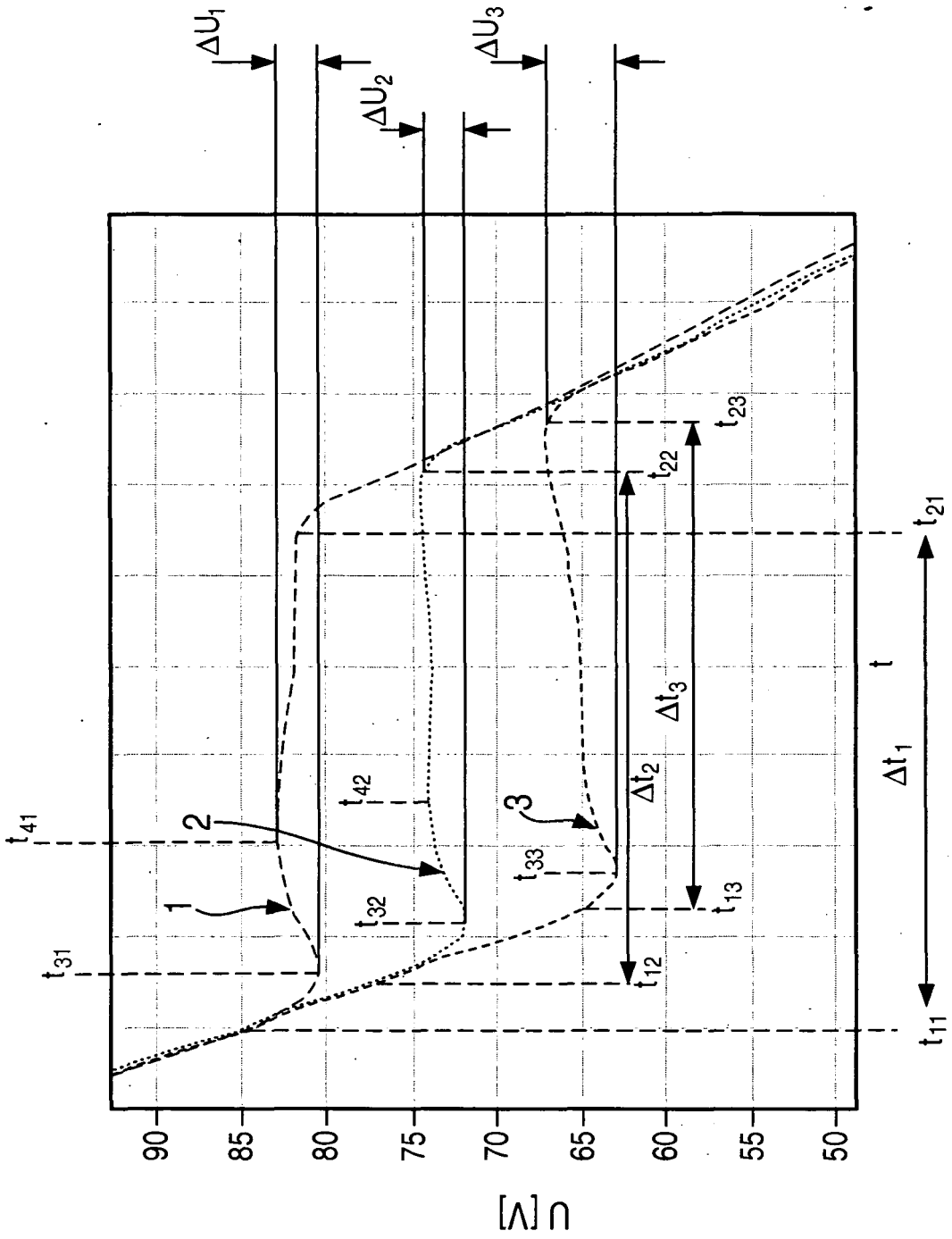
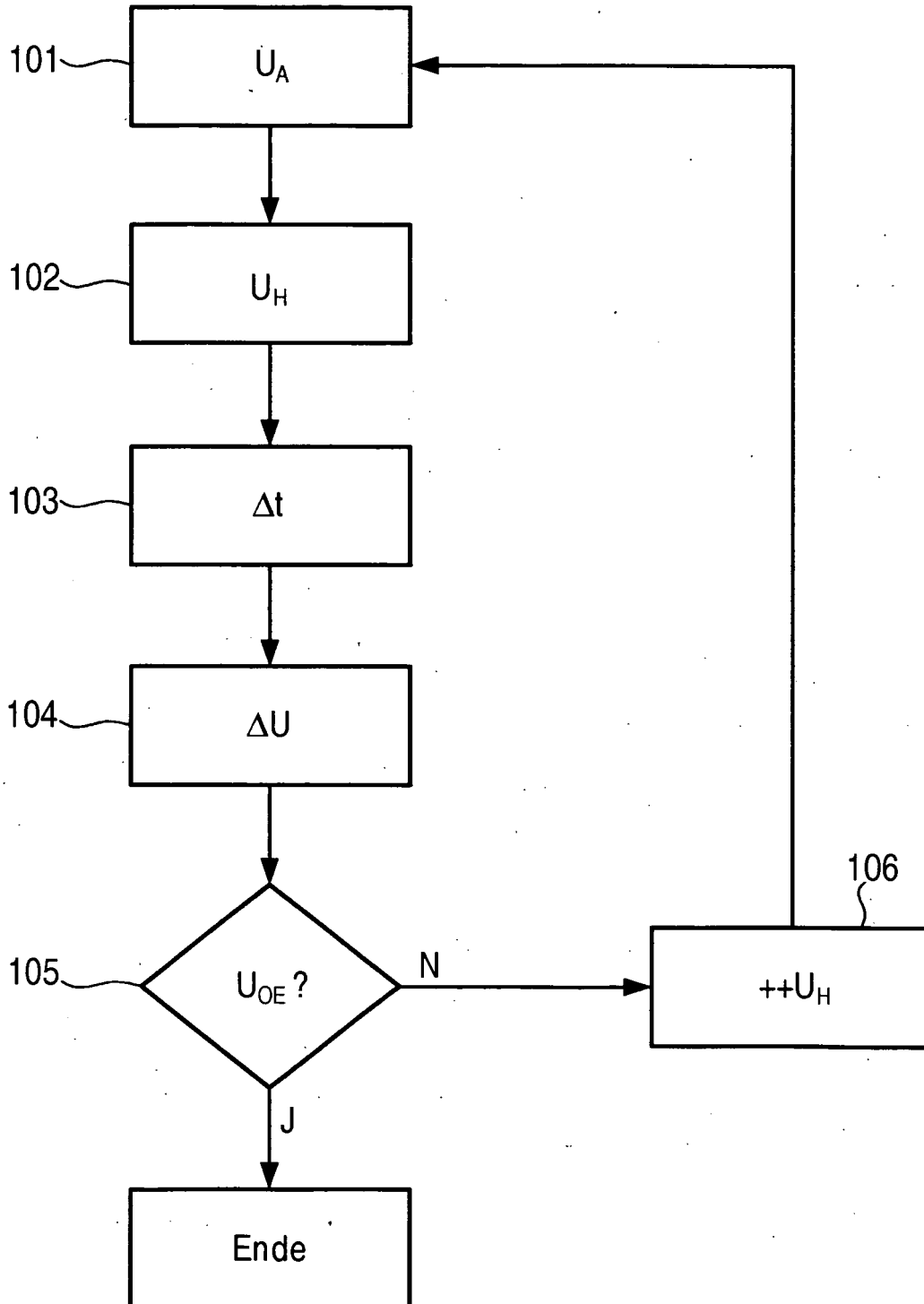


Fig. 4

Fig. 5



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

- WO 0163121 A [0004]