



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 439 297 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.07.2004 Patentblatt 2004/30

(51) Int Cl.7: **F02D 41/20**

(21) Anmeldenummer: **03104715.2**

(22) Anmeldetag: **16.12.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH
70442 Stuttgart (DE)**
Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **20.01.2003 DE 10301822**

(72) Erfinder: **Rueger, Johannes-Joerg
1130, Wien (AT)**

(54) **Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors**

(57) Bei einem Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors (2) eines Kraftstoffeinspritzventils (1) einer Brennkraftmaschine sowie der auf diesen während eines Einspritzvorgangs wirkenden Kraft wird in wenigstens einem Be-

triebspunkt des Aktors (2) die auf den Aktor (2) aufgebraachte Ladungsmenge und die am Aktor (2) anliegende Spannung ermittelt werden und hieraus auf die Längenausdehnung (s_x) des Aktors (2) und die auf den Aktor (2) wirkende Kraft (F_x) geschlossen.

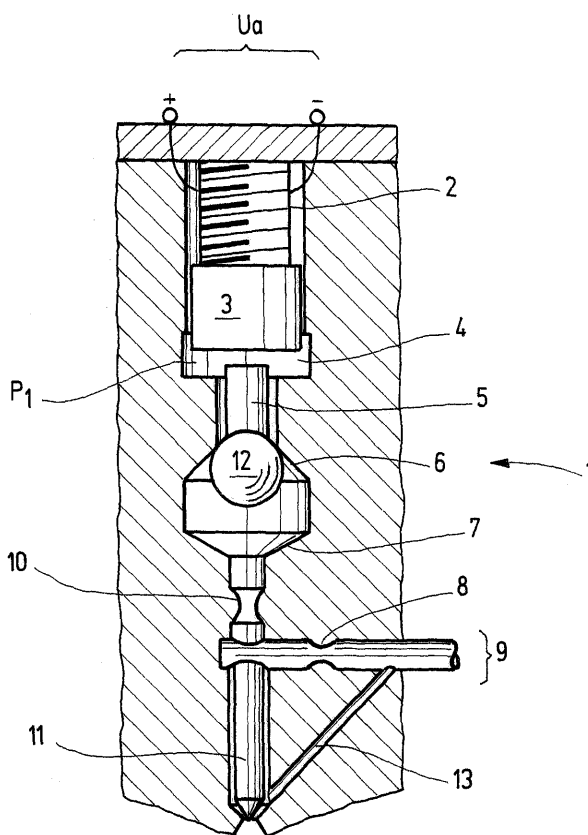


Fig.1 Stand der Technik

EP 1 439 297 A2

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine nach der Gattung des Hauptanspruchs.

[0002] Aus der DE 100 32 022 A1 sowie der DE 197 32 802 A1 ist ein Einspritzventil für die Kraftstoffeinspritzung in den Verbrennungsraum eines Verbrennungsmotors mit einem Hochdrucksystem (Common-Rail-System) bekannt. Dieses Einspritzventil weist zwei Ventilsitze auf, gegen die ein Ventilschließglied bei Betätigung durch einen Piezo-Antrieb bewegt wird. Befindet sich das Ventilschließglied anfänglich in einer Schließstellung an dem ersten Ventilsitz, kann es mit Hilfe des Piezo-Antriebs in eine Zwischenstellung zwischen den Ventilsitzen und dann in eine zweite Schließstellung am zweiten Ventilsitz gelangen. Hierzu wird der piezoelektrische Aktor auf eine Ansteuerspannung geladen, die vom Druck im Common-Rail-System abhängt. Aufgrund der angelegten Spannung dehnt sich der Aktor in Längsrichtung aus und bewegt dadurch das Schließglied in Richtung des zweiten Ventilsitzes. Zur Umkehrung der Bewegung des Ventilschließgliedes in Richtung des ersten Ventilsitzes wird der Aktor wieder entladen.

[0003] Durch den Bewegungsablauf des Ventilschließgliedes vom einen zum anderen Ventilsitz wird eine kurzzeitige Entlastung eines unter Hochdruck stehenden Ventilsteuerraums erreicht, über dessen Druckniveau die Steuerung einer Ventilnadel in eine Öffnungs- bzw. Schließstellung erfolgt. Befindet sich das Ventilschließglied in einer Zwischenstellung zwischen den beiden Ventilsitzen, erfolgt eine Kraftstoffeinspritzung. Auf diese Weise kann durch ein einmaliges Auf- und Entladen auch eine zweifache Kraftstoffeinspritzung, z.B. eine Voreinspritzung und eine Haupteinspritzung realisiert werden. Die Ansteuerung des Ventilschließgliedes erfolgt bei diesen Einspritzventilen mittels einer hydraulischen Übersetzung in einem hydraulischen Koppler.

[0004] Neben dieser indirekten Kopplung über den hydraulischen Koppler existieren auch Systeme, beispielsweise Benzindirekteinspritzsysteme bei denen eine Düsenadel direkt über einen Piezo-Aktor bewegt wird, um eine gewünschte Einspritzmenge zu dosieren.

[0005] In jedem Falle wird der piezoelektrische Aktor auf eine gewisse Spannung aufgeladen. Die mit einer hohen Kraft verbundene Längendehnung des Aktors hängt dabei näherungsweise linear von der angelegten Spannung ab. Eine ordnungsgemäße Funktion eines mit piezoelektrischen Aktoren betätigten Kraftstoffeinspritzsystems hängt nun wesentlich von der Längenausdehnung der piezoelektrischen Aktoren ab. Entsprechendes gilt auch für die auf den Aktor wirkende bzw. von diesem aufgebrachte Kraft. Es ist nun problema-

tisch die Längenausdehnung wie auch die auf den Aktor einwirkende oder die von diesem ausgeübte Kraft zu bestimmen.

[0006] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu vermitteln, welches mit vertretbarem Aufwand eine Bestimmung der Längenausdehnung der Aktoren sowie die von diesem aufgebrachte Kraft zu ermitteln.

10 Vorteile der Erfindung

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors eines Einspritzventils hat den Vorteil, daß die Längenausdehnung des Aktors sowie die auf ihn wirkende Kraft bestimmt werden können, ohne daß hierfür zusätzliche Sensoren benötigt werden. Die Erfassung der Aktorspannung sowie der Aktorladung erfolgt nämlich ohnehin z.B. für die Spannungsregelung bzw. die Bestimmung der an dem Aktor herrschenden Temperatur. Diese Werte liegen daher bereits in einem Motorsteuergerät vor.

[0008] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. So wird vorteilhafterweise die Längenausdehnung und die auf den Aktor wirkende Kraft mit vorgebbaren Schwellwerten verglichen und dann, wenn die ermittelte Kraft von dem Schwellwert für die Kraft und die ermittelte Längenausdehnung von dem Schwellwert für die Längenausdehnung abweichen, auf eine Fehlfunktion des Einspritzventils geschlossen.

[0009] Eine solche Fehlfunktion kann beispielsweise bei einem einen hydraulischen Koppler aufweisenden Einspritzventil dann vorliegen, wenn der hydraulische Koppler nur unzureichend befüllt ist. In diesem Falle sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens vor, daß auf eine Fehlfunktion des Hydraulikkopplers dann geschlossen wird, wenn die auf den Aktor wirkende Kraft kleiner als der Schwellwert für die Kraft und gleichzeitig die Längenausdehnung des Aktors größer als der Schwellwert für die Längenausdehnung des Aktors ist. Die Spannung und die auf den Aktor aufgebrachte Ladungsmenge werden vorzugsweise unmittelbar vor einer Entladung des Aktors bestimmt. Hierzu wird beispielsweise geprüft, ob in einem Motorsteuergerät ein Entladebefehl vorliegt. Wenn dies der Fall ist, werden die Spannung und die Ladung gemessen.

[0010] Die Bestimmung der Ladung erfolgt vorzugsweise durch Integration des Ladestroms.

55 Zeichnung

[0011] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung so-

wie der zeichnerischen Darstellung von Ausführungsbeispielen der Erfindung.

[0012] Es zeigen:

- Fig. 1 den schematischen Aufbau eines aus dem Stand der Technik bekannten Einspritzventils;
- Fig. 2 schematisch die Beziehung zwischen Ladungsmenge und Spannung und Kraft und Aktorhub eines Aktors;
- Fig. 3 ein Flußdiagramm des Verfahrensablaufs gemäß der Erfindung;
- Fig. 4 schematisch die an dem Piezo-Aktor anliegende Spannung, den Strom und die Ladung über der Zeit und
- Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel zur Auswertung der Kraft und des Aktorhubs.

Beschreibung

[0013] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein aus dem Stand der Technik bekanntes Einspritzventil 1 mit einer zentralen Bohrung. Im oberen Teil ist ein Stellkolben 3 mit einem piezoelektrischen Aktor 2 in die zentrale Bohrung eingebracht, wobei der Stellkolben 3 mit dem Aktor 2 fest verbunden ist. Der Stellkolben 3 schließt nach oben hin einen hydraulischen Koppler 4 ab, während nach unten eine Öffnung mit einem Verbindungskanal zu einem ersten Sitz 6 vorgesehen ist, in dem ein Kolben 5 mit einem Ventilschließglied 12 angeordnet ist. Das Ventilschließglied 12 ist als doppelt schließendes Steuerventil ausgebildet. Es verschließt den ersten Sitz 6, wenn der Aktor 2 in Ruhephase ist. Bei Betätigung des Aktors 2, das heißt beim Anlegen einer Ansteuerspannung U_a an den Klemmen +, -, betätigt der Aktor 2 den Stellkolben 3 und drückt über den hydraulischen Koppler 4 den Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf einen zweiten Sitz 7. Unterhalb des zweiten Sitzes ist in einem entsprechenden Kanal eine Düsenadel 11 angeordnet, die den Auslauf in einem Hochdruckkanal (Common-Rail-Druck) 13 schließt oder öffnet, je nachdem, welche Ansteuerspannung U_a anliegt. Der Hochdruck wird durch das einzuspritzende Medium, beispielsweise Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor, über einen Zulauf 9 zugeführt, über eine Zulaufdrossel 8 und eine Ablaufdrossel 10 wird die Zuflußmenge des Mediums in Richtung auf die Düsenadel 11 und den hydraulischen Koppler 4 gesteuert. Der hydraulische Koppler 4 hat dabei die Aufgabe, einerseits den Hub des Kolbens 5 zu verstärken und andererseits das Steuerventil von der statischen Temperaturdehnung des Aktors 2 zu entkoppeln. Die Wiederbefüllung des Kopplers 4 ist hier nicht dargestellt.

[0014] Nachfolgend wird die Funktionsweise dieses Einspritzventils näher erläutert. Bei jeder Ansteuerung des Aktors 2 wird der Stellkolben 3 in Richtung des hydraulischen Kopplers 4 bewegt. Dabei bewegt sich auch der Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf den zweiten Sitz 7 zu. Über Leckspalte wird dabei ein

Teil des im hydraulischen Kopplers 4 befindlichen Mediums, beispielsweise der Kraftstoff, herausgedrückt. Zwischen zwei Einspritzungen muß daher der hydraulische Koppler 4 wiederbefüllt werden, um seine Funktionssicherheit zu erhalten.

[0015] Über den Zulaufkanal 9 herrscht ein hoher Druck, der beim Common-Rail-System beispielsweise zwischen 200 und 2000 bar betragen kann. Dieser Druck wirkt gegen die Düsenadel 11 und hält sie geschlossen, so daß kein Kraftstoff austreten kann. Wird nun infolge der Ansteuerspannung U_a der Aktor 2 betätigt und damit das Verschließglied 12 in Richtung des zweiten Sitzes bewegt wird, baut sich der Druck im Hochdruckbereich ab und die Düsenadel 11 gibt den Einspritzkanal frei. Mit P_1 ist der sogenannte Kopplerdruck bezeichnet, wie er im hydraulischen Koppler 4 gemessen wird. Im Koppler stellt sich ohne Ansteuerung U_a ein stationärer Druck P_1 ein, der beispielsweise 1/10 des Drucks im Hochdruckteil ist. Nach dem Entladen des Aktors 2 ist der Kopplerdruck P_1 näherungsweise 0 und wird durch Wiederbefüllung wieder angehoben.

[0016] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist es nun, die Längendehnung des Aktors 2 und somit die auf ihn wirkende Kraft F abzuschätzen, ohne hierfür zusätzliche Sensormittel einzusetzen.

[0017] Die Erfindung nutzt dabei aus, daß der Aktor 2 durch die beiden Parameter Spannung und aufgebrachte Ladungsmenge charakterisiert werden kann. Wie in Fig. 2 schematisch dargestellt, wird der Aktor zunächst auf eine Zielspannung U_1 aufgeladen und anschließend elektrisch isoliert (Punkt P1). Damit wird in der ersten Phase eine gewisse Ladungsmenge Q auf den Aktor 2 aufgebracht, die sich in der zweiten Phase nicht mehr ändert, also konstant bleibt. Der Aktor 2 ist allerdings wechselnden Kräften ausgesetzt, beispielsweise dadurch, daß sich der hydraulische Koppler 4 aufgrund der Leckspalte in einem gewissen Maße entleert und damit die Kraft F auf den Aktor 2 abnimmt, so daß die Spannung U_a am Aktor 2 nicht konstant bleibt, sondern in der Regel aufgrund zurückgehender Kräfte auf den Aktor 2 auf einen Wert U_2 absinkt (Punkt P2). Wie in Fig. 4 schematisch dargestellt, dehnt sich dabei der Aktor 2 in dem Maße aus, wie die Kraft F auf ihn zurückgeht. Wird nun die Ladungsmenge, die auf den Aktor aufgebracht wurde, gemessen, so ist die Kennlinie $Q=\text{const.}$ bekannt. Nicht bekannt hingegen ist, wie groß die auf den Aktor 2 wirkende Kraft F_x und damit seine Ausdehnung s_x sind. Diese Ausdehnung wird durch Messung der Aktorspannung U ermittelt. Wenn nämlich gleichzeitig die Aktorspannung U gemessen wird, so erhält man eine zweite Kennlinie $U=\text{const.}$, die das Aktorverhalten charakterisiert. Der Schnittpunkt der beiden Kennlinien gibt nun an, wie groß die auf den Aktor wirkende Kraft, beziehungsweise die von ihm aufgebrachte Kraft F_x und seine Ausdehnung s_x sind. Auf diese Weise kann auf besonders vorteilhafte Weise daher die Aktordehnung während seines Betriebs abgeschätzt werden und damit auf eine korrekte Funktion des Ein-

spritzsystems geschlossen werden.

[0018] Ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird nachfolgend in Verbindung mit den Figuren 3, 4 und 5 näher erläutert. In einem Schritt S 10 erfolgt ein Ladebefehl. In einem Schritt S15 wird der Ladestrom integriert. Es wird sodann in Schritt S20 geprüft, ob eine Sollspannung erreicht ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wird der Ladestrom weiter integriert. Wenn die Sollspannung erreicht wird, werden der Ladevorgang und die Integration in Schritt S25 beendet.

[0019] Nach Beendigung des Ladevorgangs liegt am Aktor 2 eine zur Ladungsmenge proportionale Spannung U an, die in Fig. 4 schematisch dargestellt ist. In Schritt S30 erfolgt nun ein Warten auf einen Entladebefehl. Ob ein solcher Entladebefehl vorliegt, wird in Schritt S35 geprüft. Liegt er nicht vor, wird weiter gewartet (Schritt S30). Liegt er dagegen vor, werden eine vorgebbare Zeit t_1 vor dem erneuten Entladen die an dem Aktor 2 anliegende Spannung U sowie die Ladung Q gemessen (Schritt S40). Die Berechnung der auf das Steuerventil wirkenden Kraft und die Aktordehnung aus den so gemessenen Werten der Spannung U sowie der Ladung Q erfolgt in Schritt S45. In Schritt S50 wird dann die Auswertung der Werte für die Kraft F_x sowie den Hub s_x vorgenommen, die nachfolgend in Verbindung mit Fig. 5 näher beschrieben wird.

[0020] In einer Schaltungseinheit 70 wird der so bestimmte Aktorhub s_x mit einem Schwellwert für den Aktorhub s_{schwell} verglichen. Des weiteren wird in einer Schaltungseinheit 80 der Wert der auf das Ventil wirkenden Kraft F_x mit einem Schwellwert für die Kraft F_{schwell} verglichen, wobei geprüft wird, ob die auf das Ventil wirkende Kraft F_x kleiner ist als der Schwellwert für die Kraft F_{schwell} . Wenn sowohl die auf das Ventil wirkende Kraft F_x kleiner ist als der Schwellwert für die Kraft F_{schwell} und der Aktorhub s_x größer ist als der Schwellwert für den Aktorhub s_{schwell} , was in einer Schaltungseinheit 90 geprüft wird, wird eine Fehlermeldung ausgegeben, beispielsweise die Fehlermeldung, daß der hydraulische Koppler 4 unzureichend befüllt ist. Dieser Fehler liegt nämlich immer dann vor, wenn die Kraft F_x kleiner als der zugehörige Schwellwert für die Kraft ist, der Hub s_x jedoch größer. In diesem Fall hat der Aktor 2 eine im Vergleich zum korrekten Betrieb zu geringe Gegenkraft erfahren und dehnt sich daher stärker aus. Aus der Bestimmung der Spannung allein ließe sich ein solcher Fehler nicht bestimmen, da die Spannung geregelt wird. Durch Hinzunahme der Ladungsmessung gelingt eine eindeutige Fehlerzuordnung.

Betriebspunkt des Aktors (2) die auf den Aktor (2) aufgebrauchte Ladungsmenge und die am Aktor (2) anliegende Spannung ermittelt werden und hieraus auf die Längenausdehnung (s_x) des Aktors (2) und die auf den Aktor (2) wirkende Kraft (F_x) geschlossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Längenausdehnung (s_x) des Aktors (2) und die auf den Aktor (2) wirkende Kraft (F_x) mit vorgebbaren Schwellwerten (s_{schwell} , F_{schwell}) verglichen werden und auf eine Fehlfunktion des Einspritzventils geschlossen wird, wenn die auf den Aktor (2) wirkende Kraft (F_x) von dem Schwellwert für die Kraft (F_{schwell}) und die Längenausdehnung des Aktors (2) von dem Schwellwert für die Längenausdehnung (s_{schwell}) abweichen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Einspritzventil mit einem Hydraulikkoppler (4) auf eine Fehlfunktion des Hydraulikkopplers (4) geschlossen wird, wenn die auf den Aktor (2) wirkende Kraft (F_x) kleiner als der Schwellwert für die Kraft (F_{schwell}) und die Längenausdehnung des Aktors (2) größer als der Schwellwert für die Längenausdehnung (s_{schwell}) des Aktors (2) ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die an dem Aktor (2) anliegende Spannung (U_a) und die auf den Aktor (2) aufgebrauchte Ladung (Q) unmittelbar vor einer Entladung des Aktors (2) bestimmt, insbesondere gemessen werden.
5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die auf den Aktor (2) aufgebrauchte Ladung (Q) durch Integration des Ladestroms bestimmt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Längenausdehnung eines piezoelektrischen Aktors (2) eines Kraftstoffeinspritzventils (1) einer Brennkraftmaschine sowie der auf diesen während eines Einspritzvorgangs wirkenden Kraft, wobei in wenigstens einem

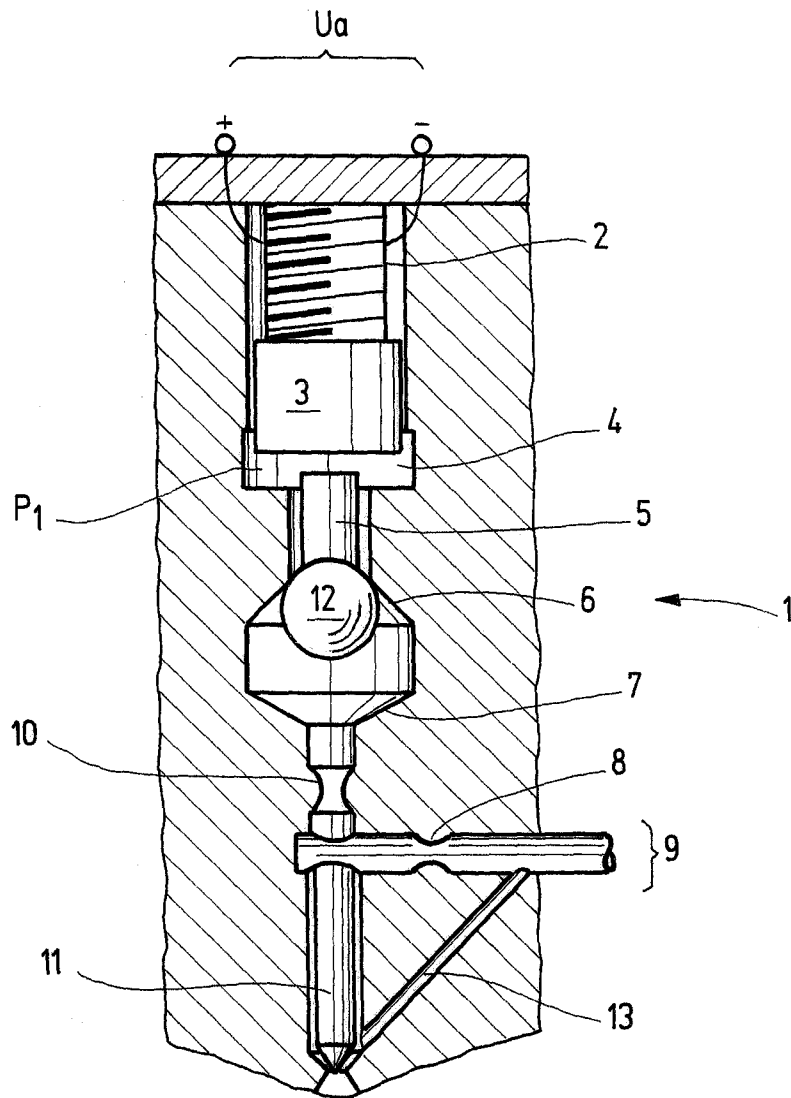


Fig.1 Stand der Technik

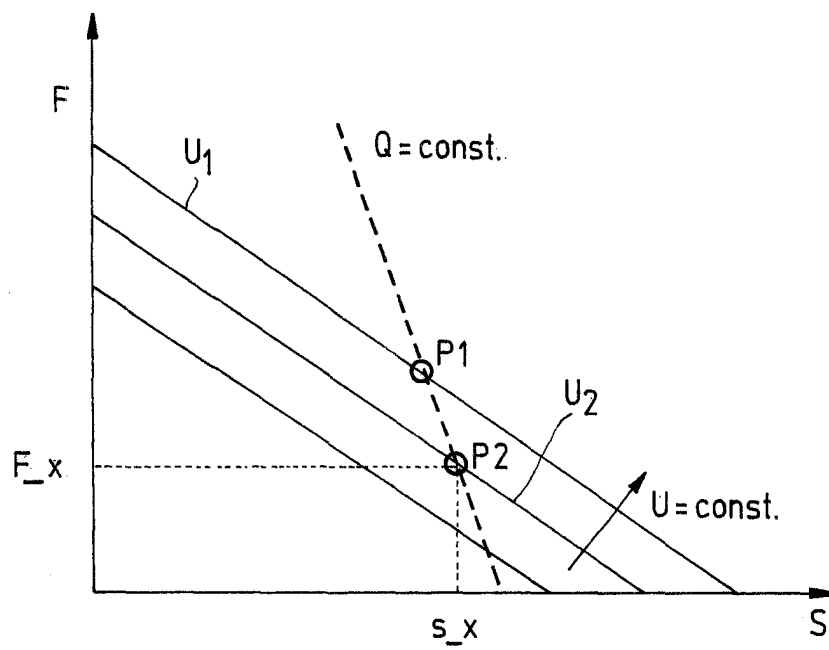


Fig.2.

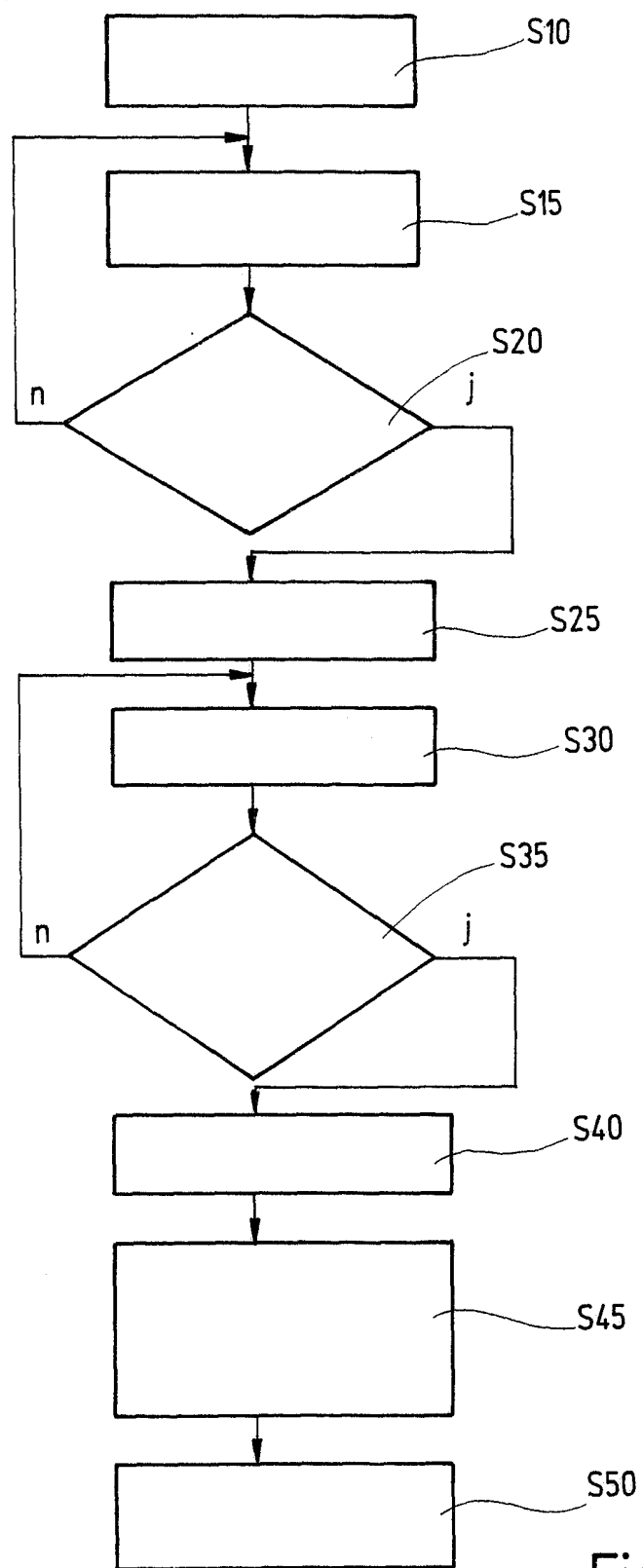


Fig.3

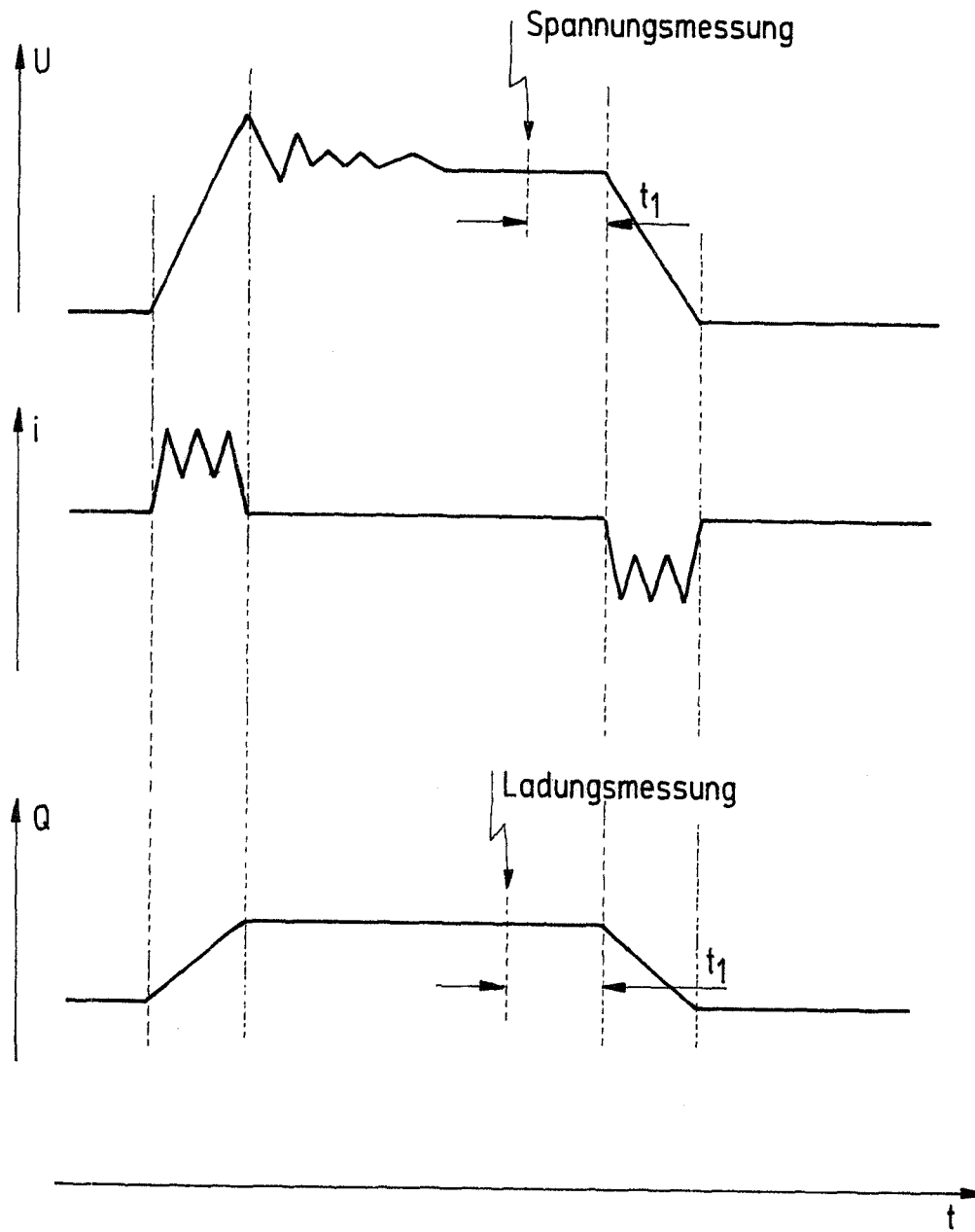


Fig.4

