

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 823 017 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

11.08.1999 Patentblatt 1999/32

(51) Int Cl.⁶: **F02D 41/20, H01F 7/18**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP96/01716

(21) Anmeldenummer: **96914114.2**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 96/34192 (31.10.1996 Gazette 1996/48)

(22) Anmeldetag: **24.04.1996**

(54) **VERFAHREN ZUM ANSTEUERN DER ERREGERSPULE EINER ELEKTROMAGNETISCH ANGETRIEBENEN HUBKOLBENPUMPE**

PROCESS FOR DRIVING THE EXCITING COIL OF AN ELECTROMAGNETICALLY DRIVEN RECIPROCATING PISTON PUMP

PROCEDE DE PILOTAGE DE LA BOBINE D'EXCITATION D'UNE POMPE A PISTON ALTERNATIF ET A COMMANDE ELECTROMAGNETIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE DE ES FR GB IT SE

• **BARTSCH, Knut**

D-85560 Ebersberg (DE)

(30) Priorität: **28.04.1995 DE 19515775**

(74) Vertreter: **Solf, Alexander, Dr.**

Patentanwälte

Dr. Solf & Zapf

Candidplatz 15

81543 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

11.02.1998 Patentblatt 1998/07

(73) Patentinhaber: **Ficht GmbH & Co. KG**

85614 Kirchseeon (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 067 937

WO-A-93/18290

(72) Erfinder:

• **HEIMBERG, Wolfgang**

D-85560 Ebersberg (DE)

EP 0 823 017 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 zum Ansteuern einer Erregerspule einer elektromagnetisch angetriebenen Hubkolbenpumpe nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Ein derartiges Verfahren zum Ansteuern einer Erregerspule einer elektromagnetisch angetriebenen Hubkolbenpumpe ist aus der WO-A-93 18290 bekannt. Bei diesem Verfahren wird eine Stromsteuerschaltung verwendet, die in Abhängigkeit eines Stromsollwerts in Form eines Vorgabestroms bzw. einer Vorgabespannung den durch die Erregerspule 600 (Fig. 1) fließenden Erregerstrom steuert. Die Erregerspule 600 ist an einen Leistungstransistor 601 angeschlossen, der über einen Meßwiderstand 602 an Masse anliegt, wobei an den Steuereingang des Transistors 601, beispielsweise an die Transistorbasis, ein Komparator 603 mit seinem Ausgang angelegt ist. Der nicht invertierende Eingang des Komparators 603 wird von dem Stromsollwert beaufschlagt, der beispielsweise mittels eines Mikrocomputers gewonnen wird. Der invertierende Eingang des Komparators 603 ist an der Seite eines Widerstandes angeschlossen, der mit dem Transistor 601 verbunden ist. Diese Schaltung ist eine Zweipunktsteuerung, die den maximalen Strom durch die Erregerspule in Abhängigkeit vom angelegten Stromsollwert begrenzt, wobei im Steuerbereich der Strom durch die Erregerspule durch das abwechselnde Ein- und Ausschalten des Leistungstransistors 601 etwa dreiecksförmig getaktet ist.

[0003] Bei dem hier angewandten Verfahren wird der Stromsollwert in Form von rechteckförmigen Pulsen an den Komparator 603 angelegt, wobei die Länge der Pulse die Dauer des entsprechenden Erregerpulses und die Amplitude der Pulse den maximalen durch die Erregerspule fließenden Strom bestimmt.

[0004] Mit diesem Verfahren können differenzierbare Kraftstoffmengen mit der Hubkolbenpumpe dosiert werden, wobei die Hubkolbenpumpe weitgehend unabhängig von der Spulenerwärmung und von Schwankungen der Versorgungsspannung arbeitet.

[0005] Aus der DE 28 41 781 C2 ist eine Einrichtung zum Betrieb von elektromagnetischen Verbrauchern bei Brennkraftmaschinen, insbesondere Elektromagnetventilen in Kraftstoffversorgungssystemen bekannt. Diese Einrichtung steuert den Stromverlauf eines Einspritzsignals zu Beginn des Einspritzpulses auf einen überhöhten Wert, wodurch sichergestellt wird, daß das Magnetventil geöffnet wird und hält den Stromwert konstant auf einem Wert etwas unterhalb des zu Beginn erreichten Spitzenwertes.

[0006] In der DE 37 22 527 A1 ist ein Verfahren zur Ansteuerung eines Einspritzventils für eine Brennkraftmaschine beschrieben, bei dem die Magnetspule des Einspritzventils in ähnlicher Weise wie bei dem in der DE 28 41 781 C2 beschriebenen Verfahren angesteuert wird, wobei jedoch am Ende des Einspritzpulses von einer getakteten Stromregelung, bei der der Stromwert

zwischen zwei Schwellwerten schwingt, auf eine Stromregelung mit konstantem Stromwert übergegangen wird, so daß das Einspritzventil beim Ausschalten, d.h. am Ende des Strompulses, zu einem exakt vorbestimmten Zeitpunkt geschlossen wird.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, das eingangs genannte Verfahren derart weiterzubilden, daß eine pro Einspritzpuls injizierte Kraftstoffmenge sehr exakt dosiert werden kann, und dies unabhängig von der Spulenerwärmung oder von Schwankungen der Versorgungsspannung erreicht wird.

[0008] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0009] Die Erfindung beruht auf folgender Erkenntnis:

[0010] Aufgrund der Eigeninduktion in der Erregerspule steigt der Erregerstrom nicht unmittelbar auf die maximale Stromstärke an, sondern jeder Erregerstrompuls 94 weist eine Anstiegsflanke 95 auf, die proportional zu einer e-Funktion verläuft (Fig. 2). Die Steilheit der Anstiegsflanke bzw. die Stromänderung in der Erregerspule hängt unmittelbar von der an der Spule anliegenden Spannung ab, die in Kraftfahrzeugen bekannterweise stark von Lasteinflüssen abhängen kann. Zudem ändert sich der Widerstand an der Erregerspule in Abhängigkeit von Temperatureinflüssen, so daß die tatsächlich auftretenden Anstiegsflanken unterschiedlich steil sind.

[0011] Das Integral über einen solchen Erregerstromimpuls ist in etwa proportional zu der mit der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung pro Einspritzpuls eingespritzten Kraftstoffmenge, wobei die Anstiegsflanken einen bedeutenden Einfluß auf die pro Einspritzpuls injizierte Kraftstoffmenge hat, so daß die unterschiedlichen Anstiegsflanken sich erheblich unterscheidende Kraftstoffeinspritzmengen bewirken.

[0012] Anhand der Zeichnung wird die Erfindung im folgenden beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 das Schaltbild einer Stromsteuerschaltung,

Fig. 2 einen Pulsverlauf des Erregerspulenstroms gemäß dem aus der WO-A-93 18290 bekannten Verfahren,

Fig. 3 beispielhaft eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung,

Fig. 4 ein Diagramm, in dem schematisch der Erregerstrom i_{sp} , der Ankerhub s und der Einspritzdruck p über die Zeit t aufgetragen sind,

Fig. 5 ein Diagramm, das die von einem von der Erregerspule angetriebenen Anker ausgeübte Kraft F in Ab-

- hängigkeit von einem Arbeits-Luftspalt 1 an der elektromagnetisch angetriebenen Kraftstoff-Einspritzvorrichtung zeigt,
- Fig. 6 einen Pulsverlauf des Erregerstroms gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren,
- Fig. 7 einen Pulsverlauf des Erregerstroms, der an die Eigenschaften der in Fig. 3 dargestellten Kraftstoff-Einspritzvorrichtung angepaßt ist,
- Fig. 8 ein Schaltbild einer erfindungsgemäßen Schaltung zum Erzeugen einer Strom-Sollwert-Kurve für eine Stromsteuerschaltung,
- Fig. 9a und 9b Diagramme, die die mit der in Fig. 8 gezeigten Schaltungen erzielte Strom-Sollwert-Kurve darstellen.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Stromsteuerschaltung verwendet, wie sie beispielsweise aus der PCT/EP 93 00494 (Fig. 1) bekannt ist, um den Strom in einer Erregerspule einer elektromagnetisch angetriebenen, als Kraftstoff-Einspritzvorrichtung verwendeten Hubkolbenpumpe zu steuern. Die Erregerspule wird pulsförmig mit hoher Frequenz erregt, wobei jeder Puls eine Stoßbewegung eines durch die Erregerspule getriebenen Ankers bewirkt. Die Stromsteuerschaltung steuert den Erregerstrom in Abhängigkeit von einem pulsförmig zugeführten Stromsollwert.

[0014] Erfindungsgemäß wird jeder Puls des Stromsollwerts mit einer allmählich ansteigenden Anstiegsflanke angesteuert, der eine entsprechend allmählich ansteigende Anstiegsflanke am Puls des Erregerstroms in der Erregerspule bewirkt, wobei sich der Erregerstrom nicht schneller ändert, als die aufgrund der Gegeninduktion in der Erregerspule begrenzte maximale Stromänderung zuläßt, die bei der minimalen zur Verfügung stehenden Spannung möglich ist.

[0015] Die maximale Stromänderung bei der minimal zur Verfügung stehenden Spannung ist die Stromänderung, die sich ergibt, wenn die aufgrund der Last- und Temperaturschwankungen minimal zur Verfügung stehende Spannung unmittelbar an die Erregerspule angelegt werden würde, und der Stromanstieg in der Erregerspule nur durch die Gegeninduktion aufgrund der Induktivität der Erregerspule begrenzt sein würde.

[0016] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird somit eine Strom-Sollwert Kurve 90 am Eingang der Stromsteuerschaltung vorgegeben, die in der Erregerspule einen entsprechenden Erregerstrom 91 bewirkt (Fig. 6). Der Verlauf der Strom-Sollwert-Kurve 90 wird so gewählt, daß der hierbei erzielte Erregerstrom 91 im-

mer im Regelbereich der Stromsteuerschaltung liegt, d. h. die Steigung der Strom-Sollwert-Kurve 90 kleiner als die maximale Stromänderung bei der an der Erregerspule zur Verfügung stehenden minimalen Spannung ist. Diese Spannung kann, wie oben dargelegt, in Abhängigkeit von der Temperatur und von der Motorlast stark variieren.

[0017] Vorzugsweise verläuft die Strom-Sollwert-Kurve 90 möglichst nahe unterhalb einer entsprechenden Stromkurve 92 mit maximalem Anstieg bei der minimalen an der Erregerspule zur Verfügung stehenden Spannung. Da die Stromkurve 92 aufgrund der Gegeninduktivität der Erregerspule 9, 600 einer e-Funktion folgt, ist es zweckmäßig, wenn die Strom-Sollwert-Kurve 90 als Anstiegsflanke einen Verlauf aufweist, der etwa auch einer solchen e-Funktion entspricht und mit folgenden Gleichungen dargestellt werden kann:

$$i_{\text{soll}} = I_0 - e^{-at} I_0 \quad (1)$$

$$U_{\text{soll}} = U_0 - e^{-at} U_0 \quad (2)$$

wobei I_0 bzw. U_0 jeweils Basiswerte sind und a ein zu bestimmender Parameter ist.

[0018] Vorzugsweise wird die Motordrehzahl und/oder die an der Erregerspule vorliegende Temperatur erfaßt, so daß die an der Erregerspule zur Verfügung stehende Spannung bestimmt bzw. die minimale zur Verfügung stehende Spannung abgeschätzt werden kann, so daß die Strom-Sollwert-Kurve 90 an die tatsächlich vorliegenden Spannungsverhältnisse angepaßt wird. Eine derartige Anpassung erfolgt beispielsweise durch Ändern der Basiswerte bzw. des Parameters a .

[0019] Bei der Anpassung der Strom-Sollwert-Kurve an die Motorzustände ist zu berücksichtigen, daß bei niedrigen Drehzahlen vom Generator nur eine geringe Spannung geliefert wird, aber die Einspritzvorgänge zeitlich weit voneinander beabstandet sind, so daß der Einspritzvorgang mit relativ langen Pulsen bei niedrigem Strom gesteuert werden kann. Bei hohen Motordrehzahlen hingegen wird die für den Einspritzvorgang verfügbare Zeit immer kürzer, weshalb die Pulse verkürzt werden müssen, wobei jedoch aufgrund einer höheren zur Verfügung stehenden minimalen Spannung ein größerer Strom an die Erregerspule angelegt werden kann.

[0020] Die Strom-Sollwert-Kurve kann mittels eines Mikroprozessors beispielsweise in Abhängigkeit von der Kurbelwellenwinkelposition berechnet und durch einen Digital/Analogwandler oder mittels Puls-Weiten-Modulation als Vorgabestrom bzw. als Vorgabespannung an den Eingang der Stromsteuerschaltung angelegt werden.

[0021] Dieses Verfahren wird vorzugsweise an einer

PDS-Einspritzvorrichtung angewandt, wie sie beispielsweise aus der DD-PS 120 514, der DD-PS 213 472, der DE-OS 23 07 435 oder der EP 0 629 265 bekannt ist.

[0022] Eine solche PDS-Einspritzvorrichtung, die auf dem Festkörper-Energiespeicherprinzip beruht, ist in Fig. 3 dargestellt. Bei dieser Kraftstoff-Einspritzvorrichtung ist ein anfänglicher Teilhub des Förderelements der Einspritzpumpe vorgesehen, bei dem die Verdrängung des Kraftstoffes keinen Druckaufbau zur Folge hat, wobei der der Energiespeicherung dienende Förderelement-Teilhub zweckmäßigerweise durch ein Speichervolumen, z.B. in Form eines Leervolumens, und ein Anschlagelement bestimmt wird, die unterschiedlich gestaltet sein können und die auf einem Hubweg "X" des Förderelements der Hubkolbenpumpe die Verdrängung von Kraftstoff zulassen. Erst dann, wenn das Verdrängen des Kraftstoffes abrupt unterbrochen wird, wird ein schlagartiger Druckaufbau im Kraftstoff erzeugt, so daß eine Verdrängung des Kraftstoffes in Richtung Einspritzdüse bewirkt wird.

[0023] Die Einspritzvorrichtung nach Fig. 3 weist eine elektromagnetisch angetriebene Hubkolbenpumpe 1 auf, die über eine Förderleitung 2 an eine Einspritzdüseneinrichtung 3 angeschlossen ist. Von der Förderleitung 2 zweigt eine Ansaugleitung 4 ab, die mit einem Kraftstoff-Vorratsbehälter 5 (Tank) in Verbindung steht. Zudem ist an die Förderleitung 2 etwa im Bereich des Anschlusses der Ansaugleitung 4 ein Volumenspeicherelement 6 über eine Leitung 7 angeschlossen.

[0024] Die Pumpe 1 ist als Kolbenpumpe ausgebildet und hat ein Gehäuse 8, in dem eine Magnetspule 9 lagert, einen im Bereich des Spulendurchgangs angeordneten Anker 10, der als zylindrischer Körper, beispielsweise als Vollkörper, ausgebildet und in einer Gehäusebohrung 11 geführt ist, die sich im Bereich der Zentralängsachse der Ringspule 9 befindet, wo er mittels einer Druckfeder 12 in eine Ausgangsstellung gedrückt wird, in welcher er am Boden 11a der Gehäusebohrung 11 anliegt. Abgestützt ist die Druckfeder 12 an der einspritzdüsenseitigen Stirnfläche des Ankers 10 und einer dieser Stirnfläche gegenüberliegenden Ringstufe 13 der Gehäusebohrung 11. Die Feder 12 umfaßt mit Spiel einen Förderkolben 14, der mit dem Anker 10 an der von der Feder 12 beaufschlagten Ankerstirnfläche fest, z.B. einstückig, verbunden ist. Der Förderkolben 14 taucht relativ tief in einen zylindrischen Kraftstoffförderraum 15 ein, der coaxial in axialer Verlängerung der Gehäusebohrung 11 im Pumpgehäuse 8 ausgebildet ist und in Übertragungsverbindung mit der Druckleitung 2 steht. Aufgrund der Eintauchtiefe können Druckverlust während des schlagartigen Druckanstiegs vermieden werden, wobei die Fertigungstoleranzen zwischen Kolben 14 und Zylinder 15 sogar relativ groß sein können, z.B. lediglich im Hundertstel-Millimeterbereich, zu liegen brauchen, so daß der Herstellungsaufwand gering ist.

[0025] In der Ansaugleitung 4 ist ein Rückschlagventil 16 angeordnet. Im Gehäuse 17 des Ventils 16 ist als

Ventilelement beispielsweise eine Kugel 18 angeordnet, die in ihrer Ruhestellung durch eine Feder 19 gegen ihren Ventilsitz 20 am vorratsbehälterseitigen Ende des Ventilgehäuses 17 gedrückt wird. Zu diesem Zweck ist die Feder 19 einerseits abgestützt an der Kugel 18 und andererseits an der dem Ventilsitz 20 gegenüberliegenden Wandung des Gehäuses 17 im Bereich der Mündung 21 der Ansaugleitung 4.

[0026] Das Speicherelement 6 weist ein z.B. zweiteilig ausgebildetes Gehäuse 22 auf, in dessen Hohlraum als zu verdrängendes Organ eine Membran 23 gespannt ist, die von dem Hohlraum einen druckleitungsseitigen, mit Kraftstoff gefüllten Raum abtrennt und die im entspannten Zustand den Hohlraum in zwei Hälften teilt, die durch die Membran gegeneinander abgedichtet sind. An der der Leitung 7 abgewandten Seite der Membran 23 greift in einen Leerraum, dem Speichervolumen, eine dieser beaufschlagende Federkraft, z.B. eine Feder 24, an, die als Rückstellfeder für die Membran 23 eingerichtet ist. Die Feder 24 ist mit ihrem der Membran gegenüberliegenden Ende an eine Wandung des zylindrisch erweiterten Hohlraums gelagert. Der leere Hohlraum des Gehäuses 22 ist durch eine gewölbeförmige Wandung begrenzt, die eine Anschlagfläche 22a für die Membran 23 ausbildet.

[0027] Die Spule 9 der Pumpe 1 ist an eine Steuereinrichtung 26 angeschlossen, die als elektronische Steuerung für die Einspritzvorrichtung dient.

[0028] Im stromlosen Zustand der Spule 9 befindet sich der Anker 10 der Pumpe 1 durch die Vorspannung der Feder 12 am Boden 11a. Das Kraftstoffzulaufventil 16 ist dabei geschlossen und die Speichermembran 23 wird durch die Feder 24 in ihrer von der Anschlagfläche 22a abgerückten Stellung im Gehäusehohlraum gehalten.

[0029] Bei Ansteuerung der Spule 9 über die Steuereinrichtung 26 wird der Anker 10 mit Kolben 14 gegen die Kraft der Feder 12 in Richtung Einspritzventil 3 bewegt. Dabei verdrängt der mit dem Anker 10 in Verbindung stehende Förderkolben 14 aus dem Förderzylinder 15 Kraftstoff in den Raum des Speicherelements 6. Die Federkräfte der Federn 12, 24 sind relativ weich ausgebildet, so daß durch den Förderkolben 14 verdrängter Kraftstoff während des ersten Teilhubs des Förderkolbens 14 nahezu ohne Widerstand die Speichermembran 23 in den Leerraum drückt. Dadurch kann der Anker 10 zunächst fast widerstandsfrei beschleunigt werden, bis das Speichervolumen bzw. Leerraumvolumen des Speicherelements 6 durch Auftreffen der Membran 23 auf die Gewölbewandung 22a erschöpft ist. Die Verdrängung des Kraftstoffes wird dadurch plötzlich gestoppt, und der Kraftstoff infolge der bereits hohen kinetischen Energie des Förderkolbens 14 schlagartig verdichtet.

[0030] Die kinetische Energie des Ankers 10 mit Förderkolben 14 wirkt auf die Flüssigkeit ein. Dabei entsteht ein Druckstoß, der durch die Druckleitung 2 zur Düse 3 wandert und dort zum Abspritzen von Kraftstoff führt.

[0031] Für das Förderende wird die Spule 9 stromlos geschaltet. Der Anker 10 wird durch die Feder 12 zum Boden 11a zurückbewegt. Dabei wird die in der Speichereinrichtung 6 gespeicherte Flüssigkeitsmenge über die Leitungen 7 und 2 in den Förderzylinder 15 zurückgesaugt, und die Membran 23 in Folge der Wirkung der Feder 24 in ihre Ausgangsstellung zurückgedrückt. Gleichzeitig öffnet das Kraftstoffzulaufventil 16, so daß Kraftstoff aus dem Tank 5 nachgesaugt wird.

[0032] Zweckmäßigerweise ist in der Druckleitung 2 zwischen dem Einspritzventil 3 und den Abzweigungen 4, 7 ein Ventil 16a angeordnet, das in dem einspritzventilseitigen Raum einen Standdruck aufrechterhält, der z. B. höher ist als der Dampfdruck der Flüssigkeit bei maximal auftretender Temperatur, so daß Blasenbildung verhindert wird. Das Standdruckventil kann z.B. wie das Ventil 16 ausgebildet sein.

[0033] Der Erreger- bzw. Spulenstrom i_{sp} durch die Erregerspule 9 bewirkt einen Hub s des Ankers 10 bzw. des Förderkolbens 14, der bezüglich des Einsetzens des Erregerstroms zeitlich versetzt ist. Der Druckaufbau des Einspritzdrucks p erfolgt wiederum zeitlich versetzt bezüglich des Hubes s , nämlich erst dann, wenn die Verdrängung des Kraftstoffes plötzlich gestoppt wird, und der Kraftstoff infolge der bereits hohen kinetischen Energie des Förderkolbens 14 schlagartig verdichtet wird (Fig. 4).

[0034] Das Integral des Erregerstrom i_{sp} über die Zeit ist etwa proportional zu der pro Einspritzpuls abgespritzten Kraftstoffmenge, wobei die Anstiegsflanke 95 des Erregerstroms i_{sp} auf das Einsetzen des Einspritzdruckes p einen beträchtlichen Einfluß hat, denn die Anstiegsflanke 95 initiiert die Beschleunigung des Ankers 10 bzw. des Förderkolbens 14. Bei den eingangs geschilderten Schwankungen der Anstiegsflanken der Erregerstrompulse 94 bei bekannten Verfahren zum Ansteuern der Erregerspule, insbesondere eines PDS-Systems, ergeben sich somit beträchtliche Unterschiede in der pro Einspritzpuls abgegebenen Kraftstoffmenge bei identischer Pulslänge und gleicher maximaler Stromstärke der Strom-Sollwert-Kurve.

[0035] Ferner hängt die vom Anker ausgeübte Kraft bei einem vorbestimmten konstanten Erregerstrom i_{sp} von dem sogenannten Arbeits-Luftspalt ab , der proportional zum Arbeitshub des Ankers ist. Die Funktionsverläufe der vom Anker ausgeübten Kraft in Abhängigkeit vom Arbeits-Luftspalt 1 unterscheiden sich je nach Geometrie der verwendeten Hubkolbenpumpe, insbesondere des Ankers, der Spule bzw. deren Ummantelung stark. In Fig. 5 ist mit I eine Funktion der vom Anker ausgeübten Kraft F in Abhängigkeit vom Arbeits-Luftspalt 1 gekennzeichnet, die typisch für die in Fig. 3 dargestellte Kraftstoff-Einspritzvorrichtung ist. Diese Funktion kann jedoch auch einen völlig anderen Verlauf aufweisen, z. B. einen allmählich ansteigenden Verlauf, der in Fig. 5 mit II gekennzeichnet ist.

[0036] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann eine Strom-Sollwert-Kurve vorgegeben werden, die an

solche speziellen Rahmenbedingungen, wie sie beispielsweise durch die F-1-Abhängigkeit vorgegeben sind, angepaßt werden (Fig. 7), wobei die Strom-Sollwert-Kurve eine Anstiegsflanke 100 aufweist, die allmählich ansteigt, ein bogenförmiges Maximum 101 und eine allmählich abfallende Flanke 102. Die abfallende Flanke 102 kann ab einem gewissen Zeitpunkt 103 schlagartig abfallen. Wesentlich ist, daß die Kurve nur Änderungen des Erregerstroms i_{sp} bewirkt, die im Steuerbereich der verwendeten Stromsteuerschaltung liegen, so daß gewährleistet ist, daß der Erregerstrom der vorgegebenen Strom-Sollwert-Kurve folgt. Die allmählich abfallende Flanke 102 in dem in Fig. 7 dargestellten beispielhaften Pulsverlauf ist an die in Fig. 5 mit I gekennzeichnete Kraft(F)-Arbeits-Luftspalt(1)-Abhängigkeit angepaßt, da ab einem gewissen Arbeitshub des Ankers 10 bzw. ab einem gewissen Arbeits-Luftspalt 1 ein hoher Strom nur eine unwesentliche Beschleunigung am Anker hervorruft, so daß ein hoher Strom zu einem wenig genutzten Energieeintrag führen würde, der im wesentlichen in Wärmeenergie gewandelt würde. Der Verlauf der Strom-Sollwert-Kurve ist jedoch nicht auf diese spezielle, in etwa glockenartige Form beschränkt, sondern ist individuell an die jeweils verwendete Hubkolbenpumpe und deren Geometrie anzupassen. Er kann jeweils so gewählt werden, daß bei minimalem elektrischen Energieeintrag eine maximale Förderleistung bzw. maximale Fördermenge pro Einspritzpuls erreicht wird.

[0037] Die Erzeugung der Strom-Sollwert-Kurve 90 mit einem Mikroprozessor kann insbesondere bei hohen Drehzahlen einen erheblichen Rechenaufwand verursachen. Deshalb kann es zweckmäßig sein, eine analoge Sollwertsteuerschaltung (Fig. 8) vorzusehen, die beispielsweise in Abhängigkeit eines Rechteck-Pulssignals 110 und einer Referenzspannung 111 eine pulsförmige Strom-Sollwert-Kurve mit vorbestimmtem Verlauf, vorzugsweise in Form einer e-Funktion, erzeugt. Eine solche Schaltung umfaßt beispielsweise einen Widerstand 112 und einen Kondensator 113 und einen Schalter 114, der im allgemeinen durch einen Transistor realisiert wird. Am Widerstand 112 liegt an einer Seite (Punkt B) die Referenzspannung 111 an, und die andere Seite des Widerstandes 112 ist mit einer Seite des Kondensators 113 verbunden. Der Kondensator 113 ist mit seiner von dem Widerstand 112 entfernten Seite geerdet. Der Schalter 114 ist parallel zum Kondensator 113 angeordnet, wobei er mit der Verbindungsleitung zwischen dem Widerstand 112 und dem Kondensator 113 verbunden ist, so daß er im geschlossenen Zustand den Kondensator 113 kurzschließt. An dem Schalter 114 liegt das Rechteck-Pulssignal 110 (Punkt A) zum Ein- und Ausschalten desselben an. Die Strom-Sollwert-Kurve der Vorgabespannung wird an der Verbindungsleitung zwischen dem Widerstand 112, dem Kondensator 113 und dem Schalter 114 am Punkt C abgegriffen. Der Punkt C wird mit der Stromsteuerschaltung verbun-

den, beispielsweise mit dem nicht invertierenden Eingang des Komparators 603, der in Fig. 1 gezeigten Schaltung.

[0038] Wird bei dieser Sollwertsteuerschaltung der Schalter 114 geschlossen, so entlädt sich der Kondensator 113 schlagartig, und am Punkt C liegt keine Spannung an. Beim Öffnen des Schalters 114 lädt sich der Kondensator 113 allmählich über den Widerstand 112 auf, wobei diese Ladespannung am Punkt C als Strom-Sollwert-Kurve (Vorgabespannung) abgegriffen wird. Der Verlauf des Spannungsanstiegs ist durch das RC-Glied 112, 113 als e-Funktion bestimmt. Die Anstiegsrate bzw. die Steigung der am Punkt C abgegriffenen Strom-Sollwert-Kurve ist proportional zur Höhe der am Punkt B angelegten Referenzspannung, die den Basiswert U_0 in der Gleichung (2) bildet. Die Pulslänge wird alleine durch die Breite der Pulse des Rechteck-Pulssignals 110 bestimmt, wobei die Länge des Pulses der Strom-Sollwert-Kurve durch das Ausschalten des Schalters 114 bestimmt wird, da im ausgeschalteten Zustand des Schalters 114 am Punkt C die Vorgabespannung für die Strom-Sollwert-Kurve abgegriffen wird. Die Länge der Ausschaltpulse des Rechteck-Steuerpulssignals 110 bestimmt somit die Länge des Erregerstrompulses.

[0039] Mit dieser Sollwertsteuerschaltung wird auf einfache Weise eine Strom-Sollwert-Kurve mit Pulsen in der Form einer e-Funktion erzeugt, deren Pulslänge und deren Anstiegsverhalten voneinander unabhängig gesteuert werden können. Hierbei entspricht der gesamte Pulsverlauf der Strom-Sollwert-Kurve der e-Funktion. Die Strom-Sollwert-Kurve kann an die Erregerspulenstromkurve 92 angepaßt werden, die den aufgrund der Gegeninduktion begrenzten maximalen Stromanstieg bei der minimalen an der Erregerspule zur Verfügung stehenden Spannung aufweist, so daß die Strom-Sollwert-Kurve sich im Steuerbereich der Stromsteuerschaltung befindet und eine maximale Kraftstoffmenge exakt dosiert eingespritzt werden kann.

[0040] Die entsprechende Anpassung, die im allgemeinen durch die Referenzspannung 111 (U_0) ausgeführt wird, muß nicht permanent nachgestellt werden, sondern kann beispielsweise in zeitlichen Abständen, die einer Motorumdrehung entsprechen, an die sich geänderten Motorzustände angepaßt werden. Dies bedeutet für die zu verwendende Steuereinrichtung eine erhebliche Erleichterung.

[0041] Die Vorgabe-Stromsteuerschaltung ist nicht auf die in Fig. 8 dargestellte Ausführungsform beschränkt, sondern kann in der Anordnung oder in der Art der Bauteile variiert werden. So kann ein variabler Widerstand 112 bzw. ein variabler Kondensator 113 verwendet werden, so daß die Referenzspannung 111 konstant bleiben kann. Auch kann der Widerstand 112 bzw. der Kondensator 113 durch ein aktives Bauelement ersetzt werden. Die Vorgabespannung 111 kann auch durch einen Vorgabestrom, beispielsweise mittels eines RL-Gliedes, dargestellt werden, der über einen Wider-

stand abgegriffen wird.

[0042] Am Ende eines jeden Erregerstrompulses 94 fällt der Erregerstrom 91 und das durch ihn hervorgerufene Magnetfeld schlagartig ab, da der Stromkreis der Erregerspule geöffnet wird. Somit hat das Ende des Erregerstrompulses keine die Kraftstoffmenge pro Einspritzpuls wesentlich beeinflussende Auswirkung.

[0043] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht allein die Kraftstoffmenge dosiert, sondern es wird sichergestellt, daß eine abgespritzte Kraftstoffmenge reproduzierbar und unabhängig von äußeren Einflußgrößen wie Spannung und Temperatur zur Verfügung gestellt wird. Die Kraftstoffmenge wird grundsätzlich bei einem bestimmten Sollwertverlauf der Ansteuerungskurve über die Zeitdauer des Stromimpulses eingestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern einer Erregerspule einer elektromagnetisch angetriebenen, als Kraftstoff-Einspritzvorrichtung verwendeten Hubkolbenpumpe, wobei die Erregerspule über eine Stromsteuerschaltung pulsförmig mit hoher Frequenz mit einem Erregerstrom erregt wird und jeder Puls eine Stoßbewegung eines durch die Erregerspule getriebenen Ankers bewirkt, und die Stromsteuerschaltung in Abhängigkeit einer Strom-Sollwert-Kurve den durch die Erregerspule fließenden Erregerstrom steuert, dadurch **gekennzeichnet**, daß jeder Puls der Strom-Sollwert-Kurve eine allmählich ansteigende Anstiegsflanke aufweist, die eine entsprechend allmählich ansteigende Anstiegsflanke des Pulses des Erregerstroms in der Erregerspule bewirkt, wobei die Strom-Sollwert-Kurve so gesteuert wird, daß sich der Erregerstrom nicht schneller als die aufgrund der Gegeninduktion begrenzte maximale Stromänderung ändert, die bei der minimalen an der Erregerspule zur Verfügung stehenden Spannung möglich ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch **gekennzeichnet**, daß die allmählich ansteigende Anstiegsflanke der Strom-Sollwert-Kurve mit einem einer e-Funktion entsprechenden Verlauf gesteuert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch **gekennzeichnet**, daß eine Motordrehzahl und/oder eine an der Erregerspule vorliegende Temperatur erfaßt wird, um die Strom-Sollwert-Kurve an die an der Erregerspule zur Verfügung stehende Spannung anzupassen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**,

daß die Strom-Sollwert-Kurve von einem Mikroprozessor berechnet wird und beispielsweise mit einem Digital/Analogwandler an die Stromsteuerschaltung angelegt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß jeder Puls der Strom-Sollwert-Kurve über seinen gesamten Pulsverlauf einer e-Funktion entspricht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Strom-Sollwert-Kurve an eine spezielle Geometrie der Hubkolbenpumpe, insbesondere an eine Kraft(F)-Arbeits-Luftspalt (1)-Abhängigkeit, angepaßt wird und beispielsweise eine glockenartige Form aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Verlauf der Strom-Sollwert-Kurve mittels einer Sollwertsteuerschaltung erzeugt wird, wobei die Sollwertsteuerschaltung ein RC-Glied mit einem Widerstand (112) und einem Kondensator (113) aufweist, wobei der Kondensator (113) über den Widerstand (112) in regelmäßigen Zeitabständen aufgeladen wird und so eine einer e-Funktion entsprechende pulsförmige Strom-Sollwert-Kurve erzeugt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Pulslänge und das Anstiegsverhalten der Pulse der Strom-Sollwert-Kurve unabhängig voneinander gesteuert werden, indem ein Rechteck-Pulssignal (111) an einen Schalter (114) anliegt, der den Kondensator (113) kurzschließt, und eine Referenzspannung (111) an den Kondensator (113) über dem Widerstand (112) anliegt, deren Betrag veränderbar ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß als Kraftstoff-Einspritzvorrichtung eine nach dem Festkörper-Speicher-Prinzip arbeitende PDS-Kraftstoff-Einspritzvorrichtung verwendet wird.

Claims

1. Process for the control of an energizing coil of an electromagnetically driven reciprocating piston pump used as a fuel injection device, in which the energizing coil is energized in pulses at high frequency by an energizing current controlled by a current control circuit and each pulse gives rise to a stroke movement of an armature driven by the en-

ergizing coil, and the current control circuit controls the energizing current flowing through the energizing coil in accordance with a nominal current curve, **characterised in that** each pulse of the nominal current curve has a gradually rising ascending flank which produces a corresponding gradually rising ascending flank of the energizing current pulse in the energizing coil, and the nominal current curve is controlled such that the energizing current does not change more rapidly than the maximum current change rate, limited by virtue of back-induction, possible at the minimum voltage available at the energizing coil.

2. Process according to Claim 1, **characterised in that** the gradually rising ascending flank of the nominal current curve is controlled to have a shape corresponding to an e-function.

3. Process according to Claim 1 or 2, **characterised in that** an engine speed and/or a temperature at the energizing coil is/are detected and used to adapt the nominal current curve to the voltage available at the energizing coil.

4. Process according to any of the Claims 1 to 3, **characterised in that** the nominal current curve is calculated by a microprocessor and, for example, applied to the current control circuit by a digital/analog converter.

5. Process according to any of Claims 1 to 4, **characterised in that** each pulse of the nominal current curve corresponds over its entire pulse width to an e-function.

6. Process according to any of Claims 1 to 5, **characterised in that** the nominal current curve is adapted to a special geometry of the reciprocating piston pump, in particular to a force (F) - work - air-gap (1) relationship, and for example, is bell-shaped.

7. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterised in that** the shape of the nominal current curve is produced by a nominal value control circuit, such that the said nominal value control circuit comprises an RC section with a resistor (112) and a capacitor (113), and the capacitor (113) is charged via the resistor (112) at regular time intervals so that a pulse-shaped nominal current curve corresponding to an e-function is produced.

8. Process according to any of Claims 1 to 7, **characterised in that** the pulse length and the ascent behaviour of the nominal current curve pulse are controlled independently of one another, in that a rectangular pulse signal (111) is applied to a switch (114), which short-circuits the capacitor (113), and

a reference voltage (111) is applied to the capacitor (113) via the resistor (112), whose size is variable.

9. Process according to any of Claims 1 to 8, **characterised in that** as the fuel injection device, a PDC (pump nozzle system), fuel injection device operating on the solid-body energy storage principle is used.

Revendications

1. Procédé de commande d'une bobine d'excitation d'une pompe à piston alternatif à entraînement magnétique utilisée comme dispositif d'injection de carburant, dans lequel la bobine d'excitation est excitée par un courant d'excitation en forme d'impulsions à haute fréquence par l'intermédiaire d'un circuit de commande du courant, et chaque impulsion produit un a-coup de déplacement d'un induit entraîné par la bobine d'excitation, et le circuit de commande du courant commande le courant d'excitation passant dans la bobine d'excitation en fonction d'une courbe de la valeur de consigne du courant, caractérisé en ce que

chaque impulsion de la courbe de la valeur de consigne du courant présente un flanc montant, progressivement croissant qui produit un flanc montant, progressivement croissant, correspondant, de l'impulsion de courant d'excitation dans la bobine d'excitation, la courbe de la valeur de consigne du courant étant commandée de telle sorte que le courant d'excitation ne varie pas plus rapidement que la modification maximale du courant, limitée à cause de la contre-induction, qui est possible à la tension minimale disponible sur la bobine d'excitation.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le flanc montant, progressivement croissant de la courbe de la valeur de consigne du courant est commandé pour évoluer à la manière d'une fonction exponentielle.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on détecte une vitesse de rotation du moteur et/ou une température régnant dans la bobine d'excitation pour adapter la courbe de la valeur de consigne du courant à la tension disponible sur la bobine d'excitation.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la courbe de la valeur de consigne du courant est calculée par un microprocesseur et est par exemple appliquée au circuit de commande du courant à l'aide d'un convertisseur numérique/analogique.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, ca-

ractérisé en ce que chaque impulsion de la courbe de la valeur de consigne du courant correspond à une fonction exponentielle sur l'ensemble de son évolution.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la courbe de la valeur de consigne du courant est adaptée à une géométrie spéciale de la pompe à piston alternatif, en particulier à une dépendance de la force (F) vis-à-vis de l'interstice d'air de travail (1), et présente par exemple une forme en cloche.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'évolution de la courbe de la valeur de consigne du courant est produite au moyen d'un circuit de commande de la valeur de consigne, dans lequel le circuit de commande de la valeur de consigne présente un élément RC doté d'une résistance (112) et d'un condensateur (113), le condensateur (113) est chargé à travers la résistance (112) à des intervalles de temps réguliers, et produit ainsi une courbe de la valeur de consigne du courant en forme d'impulsion correspondant à une fonction exponentielle.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la longueur des impulsions et l'évolution de la montée des impulsions de la courbe de la valeur de consigne du courant sont commandées de manière mutuellement indépendante, en appliquant un signal (111) en impulsions rectangulaires à un commutateur (114) qui court-circuite le condensateur (113), et en appliquant une tension de référence (111) au condensateur (113) à travers la résistance (112), dont la valeur peut être modifiée.

9. Procédé selon l'une des revendications i à 8, caractérisé en ce que l'on utilise comme dispositif d'injection de carburant un dispositif d'injection de carburant PDS travaillant suivant le principe de l'accumulateur à corps solide.

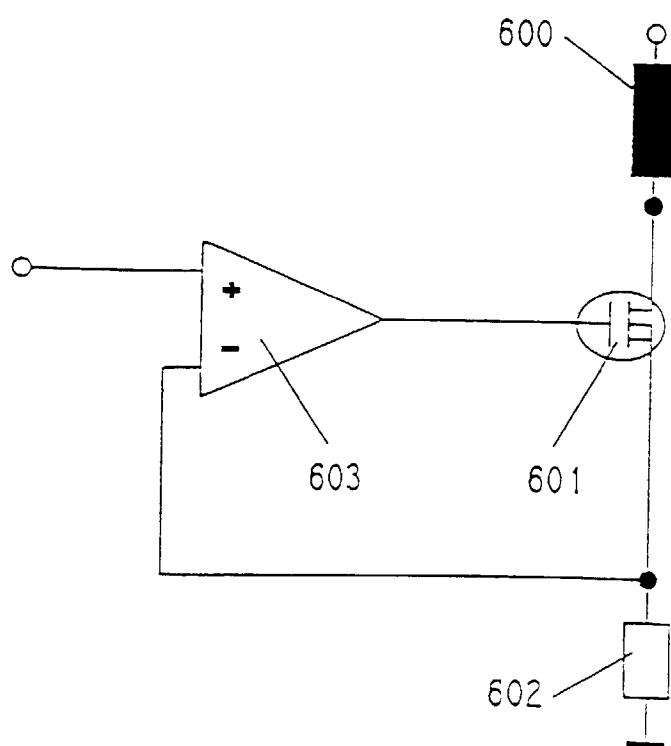


Fig. 1

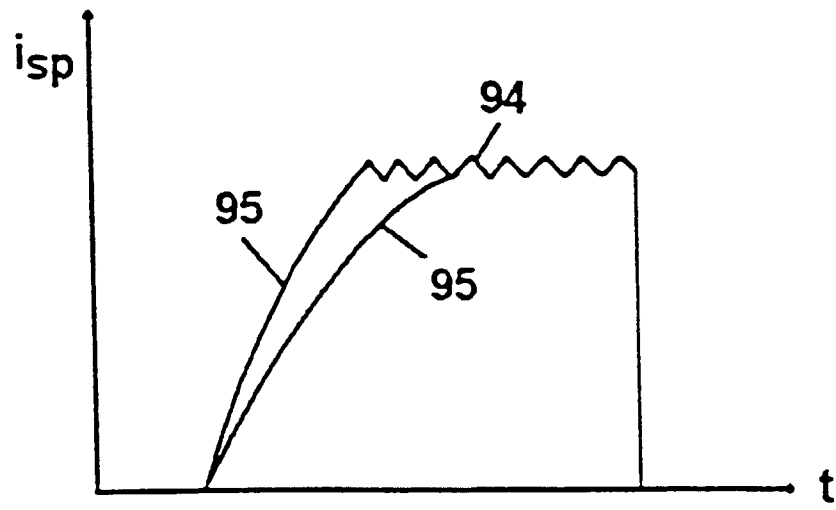


Fig.2

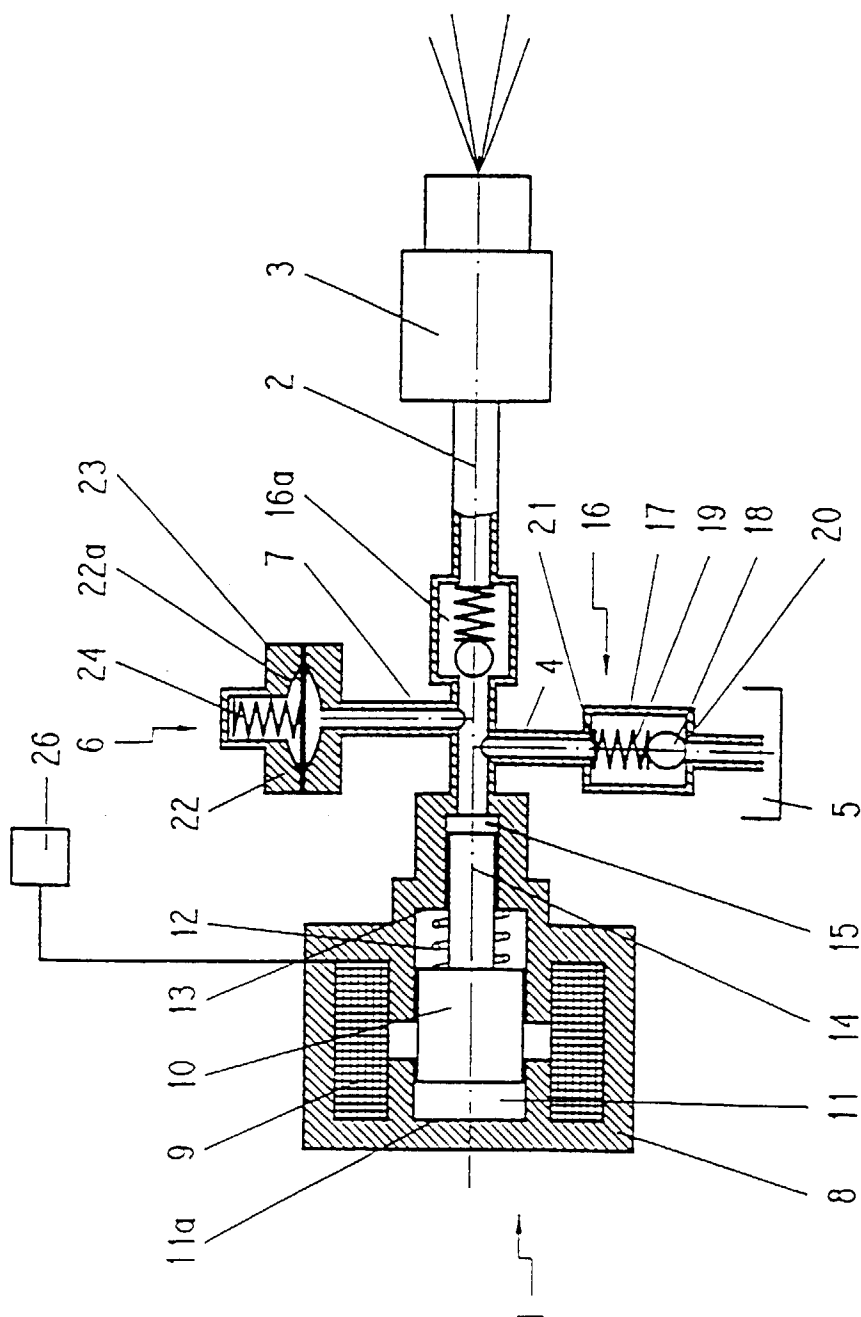


Fig. 3

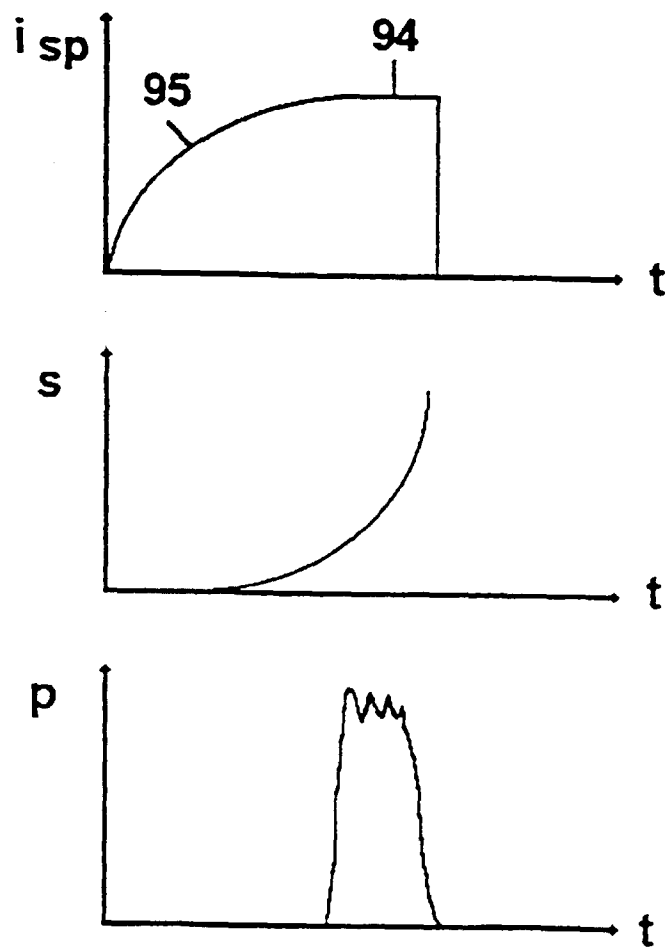


Fig.4

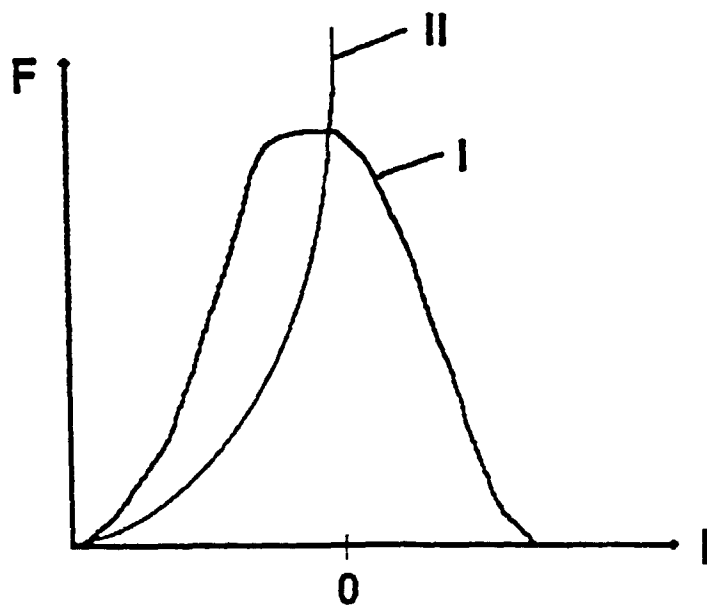


Fig.5

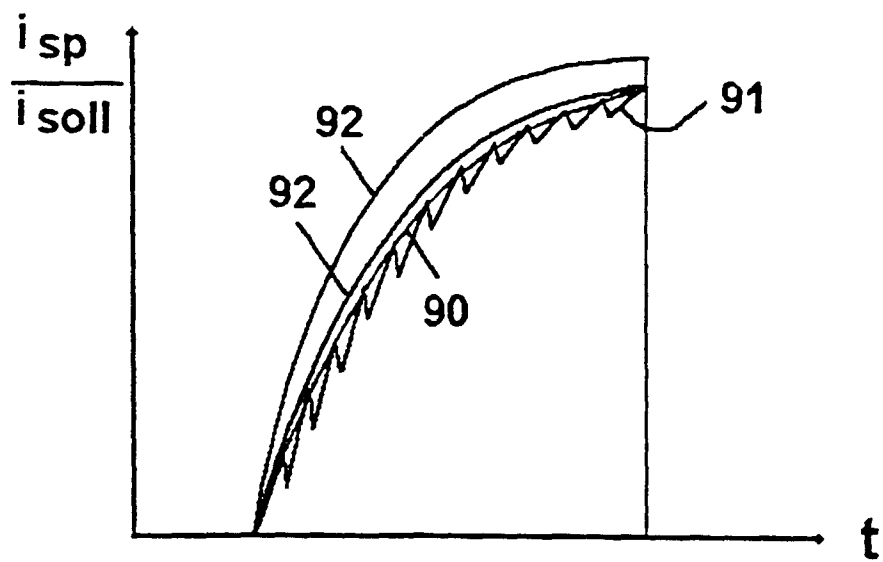


Fig.6

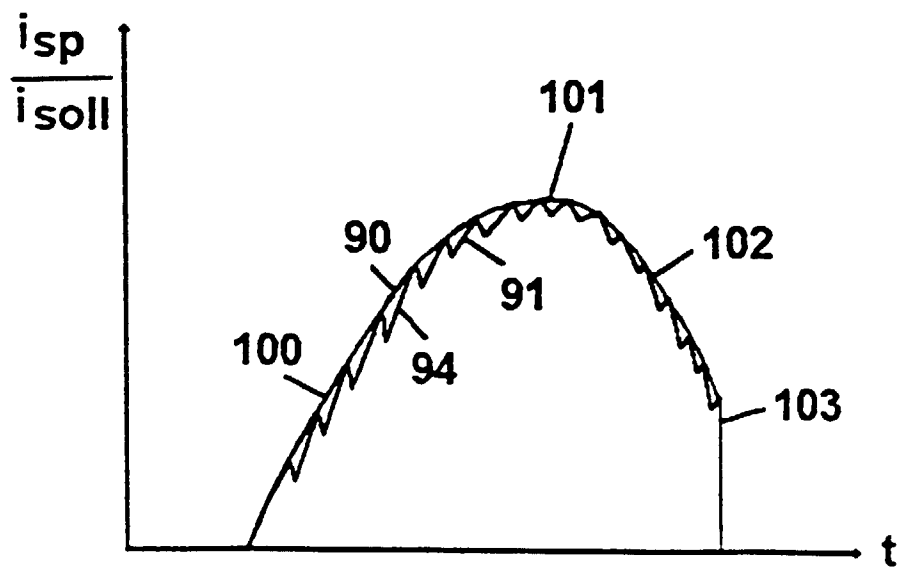


Fig.7

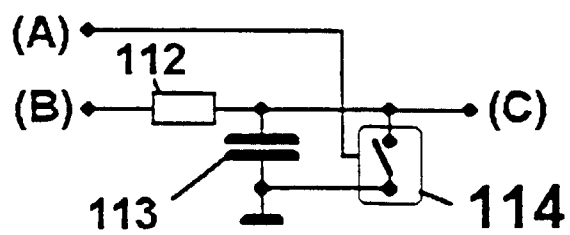


Fig.8

