



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.05.2001 Patentblatt 2001/20

(51) Int Cl.7: **F01L 9/04**

(21) Anmeldenummer: **00121922.9**

(22) Anmeldetag: **07.10.2000**

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

(71) Anmelder: **Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
80809 München (DE)**

(72) Erfinder: **Reif, Konrad, Dr.
85764 Oberschleissheim (DE)**

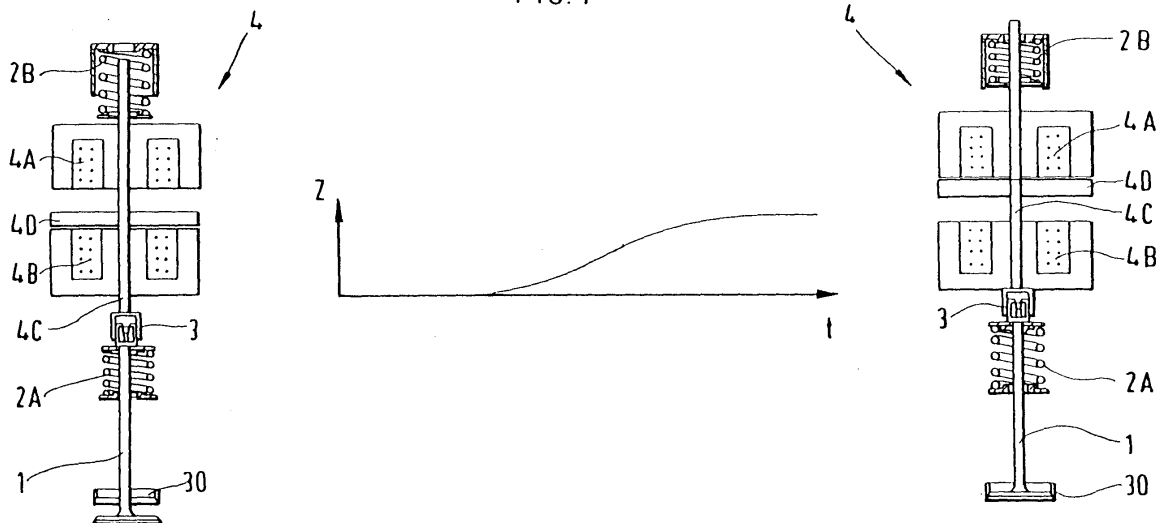
(30) Priorität: **12.11.1999 DE 19954416**

(54) **Verfahren zum Anschwingen eines elektromagnetischen Aktuators**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anschwingen eines ein Schaltelement, insbesondere ein Brennkraftmaschinen-Hubventil, betätigenden elektromagnetischen Aktuators, in welchem ein auf das Schaltelement einwirkender Anker oszillierend zwischen zwei Elektro-Magnetspulen jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen bewegt wird, so daß das Schaltelement mit dem Anker und den Rückstellfedern ein schwingungsfähiges Feder-Masse-System darstellt, und wobei ausgehend vom Ruhezustand des Systems, in welchem der Anker von den Rückstellfedern im wesentlichen in der Mitte zwischen diesen Ma-

gnetspulen gehalten wird, zum Anschwingen dieses Feder-Masse-Systemes die Elektro-Magnetspulen abwechselnd durch Beaufschlagung mit elektrischer Wechsel-Spannung von bestimmter Frequenz erregt werden. Erfindungsgemäß wird anstelle des bisher üblichen im wesentlichen rechteckförmigen Verlaufes der Wechsel-Spannung über der Zeit eine im wesentlichen sinusförmige Wechsel-Spannung an die Elektro-Magnetspulen angelegt, und zwar entweder in Form eines veränderbaren stetigen Spannungsverlaufes oder in Form eines entsprechenden veränderbaren pulsweitenmodulierten Spannungsverlaufes, da hiermit weitere Einflußfaktoren berücksichtigt werden können.

FIG.1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anschwingen eines ein Schaltelement, insbesondere ein Brennkraftmaschinen-Hubventil, betätigenden elektromagnetischen Aktuators, in welchem ein auf das Schaltelement einwirkender Anker oszillierend zwischen zwei Elektro-Magnetspulen jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen bewegt wird, so daß das Schaltelement mit dem Anker und den Rückstellfedern ein schwingungsfähiges Feder-Masse-System darstellt, und wobei ausgehend vom Ruhezustand des Systems, in welchem der Anker von den Rückstellfedern im wesentlichen in der Mitte zwischen diesen Magnetspulen gehalten wird, zum Anschwingen dieses Feder-Masse-Systemes die Elektro-Magnetspulen abwechselnd durch Beaufschlagung mit elektrischer Wechsel-Spannung von bestimmter Frequenz erregt werden. Zum technischen Umfeld wird neben der EP 0 118 591 B1 auf die DE 33 07 070 C2 verwiesen.

[0002] Ein bevorzugter Anwendungsfall für einen elektromagnetischen Aktuator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 ist der elektromagnetisch betätigte Ventiltrieb von Brennkraftmaschinen, d.h. die Gaswechsel-Hubventile einer Hubkolben-Brennkraftmaschine werden von derartigen Aktuatoren in gewünschter Weise betätigt, d.h. oszillierend geöffnet und geschlossen. Bei einem derartigen elektromechanischen Ventiltrieb werden die Hubventile einzeln oder auch in Gruppen über elektromechanische Stellglieder, die sog. Aktuatoren bewegt, wobei der Zeitpunkt für das Öffnen und das Schließen jedes Hubventiles im wesentlichen völlig frei gewählt werden kann. Hierdurch können die Ventilsteuerzeiten der Brennkraftmaschine optimal an den aktuellen Betriebszustand (dieser ist durch Drehzahl und Last definiert) sowie an die jeweiligen Anforderungen hinsichtlich Verbrauch, Drehmoment, Emissionen, Komfort und Ansprechverhalten eines von der Brennkraftmaschine angetriebenen Fahrzeuges angepaßt werden.

[0003] Die wesentlichen Bestandteile eines bekannten Aktuators zur Betätigung der Hubventile einer Brennkraftmaschine sind ein Anker sowie zwei Elektromagnete für das Halten des Ankers in der Position "Hubventil offen", bzw. "Hubventil geschlossen" mit den zugehörigen Elektromagnet-Spulen, und ferner Rückstellfedern für die Bewegung des Ankers zwischen den Positionen "Hubventil offen" und "Hubventil geschlossen". Hierzu wird auch auf die beigegefügte **Figur 1** verwiesen, die einen derartigen Aktuator mit zugeordnetem Hubventil in den beiden möglichen Endlagen des Hubventiles und Aktuator-Ankers zeigt, und wobei zwischen den beiden gezeigten Zuständen bzw. Positionen der Aktuator-Hubventil-Einheit der Verlauf des Ankerhubes z bzw. Ankerweges zwischen den beiden Elektromagnet-Spulen über der Zeit t vereinfacht dargestellt ist.

[0004] Wie ersichtlich ist in **Figur 1** der Schließvor-

gang eines Brennkraftmaschinen-Hubventiles dargestellt, welches mit der Bezugsziffer 1 bezeichnet ist und welches sich hierbei in Richtung auf seinen Ventilsitz 30 bewegt. Wie üblich greift an diesem Hubventil 1 eine Ventilschließfeder bzw. erste Rückstellfeder 2a an, ferner wirkt auf den Schaft des Hubventiles 1 - hier unter Zwischenschaltung eines (nicht unbedingt erforderlichen) hydraulischen Ventilspielausgleichselementes 3 - der in seiner Gesamtheit mit 4 bezeichnete Aktuator ein. Dieser besteht neben zwei Elektromagnet-Spulen 4a, 4b aus einer auf den Schaft des Hubventiles 1 einwirkenden Stößelstange 4c, die einen Anker 4d trägt, der zwischen den Elektromagnet-Spulen 4a, 4b oszillierend längsverschiebbar geführt ist. Am dem Schaft des Hubventiles 1 abgewandten Ende der Stößelstange 4c greift ferner eine Ventilöffnungsfeder bzw. zweite Rückstellfeder 2b an.

[0005] Hierbei handelt es sich somit um ein schwingungsfähiges Feder-Masse-System, für welches die Ventilschließfeder 2a und die Ventilöffnungsfeder 2b eine erste sowie eine zweite Rückstellfeder bilden, für welche folglich im weiteren ebenfalls die Bezugsziffern 2a, 2b verwendet werden. Linksseitig ist in Figur 1 die erste Endposition dieses schwingungsfähigen Systems dargestellt, in welcher das Hubventil 1 vollständig geöffnet ist und der Anker 4d an der unteren Elektromagnet-Spule 4b anliegt. Rechtsseitig ist in Figur 1 die zweite Endposition des schwingungsfähigen Systems dargestellt, in welcher das Hubventil 1 vollständig geschlossen ist und der Anker 4d an der oberen Elektromagnet-Spule 4a anliegt. In diese beiden Endpositionen wird dabei der Anker 4d durch geeignete Anregung bzw. Entregung der jeweiligen Magnetspulen 4a, 4b bewegt.

[0006] Im Ruhezustand des Systems, d.h. wenn keine der Magnetspulen 4a, 4b erregt ist, befindet sich der Anker 4d im wesentlichen in der Mitte zwischen den beiden Magnetspulen 4a, 4b und wird in dieser Position durch die geeignet ausgelegten Rückstellfedern 2a, 2b gehalten. Ausgehend von dieser Ruheposition muß für einen gewünschten Betrieb dieses Systems, d.h. für eine gewünschte oszillierende Betätigung des Hubventiles 1 das gesamte Feder-Masse-System angeschwungen werden.

[0007] Ein mögliches Verfahren zum Anschwingen dieses Feder-Masse-Systemes ist in der eingangs zweitgenannten DE 33 07 070 C2 beschrieben. Auch dort wird der elektromagnetische Aktuator mit dem Hubventil sowie mit den Rückstellfedern als ein mechanisches Feder-Masse-System aufgefaßt und es werden die beiden Elektro-Magnetspulen mit periodischen Stromimpulsen beaufschlagt, wobei für die Frequenz der erregenden periodischen Stromimpulse die Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Feder-Masse-Systemes gewählt wird.

[0008] Auf diesen bekannten Stand der Technik aufbauend wird in der eingangs erstgenannten EP 0 118 591 B1 vorgeschlagen, die erregende Frequenz über einem längeren Zeitraum betrachtet zunächst höher als

die Resonanzfrequenz des Systems zu wählen und so dann langsam abnehmen zu lassen. Dabei soll diese Frequenzänderung langsam erfolgen, so daß das Hubventil bei Erreichen der Resonanzfrequenz ausreichend lange erregt wird, damit der Anker nacheinander in seine beiden Endlagen schwingen kann.

[0009] Ein genereller Nachteil dieses soweit bekannten Standes der Technik ist, daß aufgrund der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen dem elektromagnetischen Teil des Aktuators und dem mechanischen Feder-Masse-System die soweit praktizierte entkoppelte Betrachtungsweise dieser beiden Teilsysteme den wahren Sachverhalt nur relativ ungenau wiedergibt. Bei dieser bisherigen Betrachtungsweise wird nämlich den hochgradig nichtlinearen elektromagnetischen Eigenschaften des Aktuators keine Rechnung getragen. Als Folge hiervon ergeben sich zumeist unnötig viele Anschlagperioden der erregenden Stromimpulse und damit ein überhöhter Leistungsbedarf des elektromagnetischen Aktuators. Besonders krass zeigt sich diese Problematik im Stand der Technik nach der eingangs erstgenannten EP 0 118 591 B1, da gerade die dort vorgeschlagene langsame Veränderung der Erregerfrequenz bewirkt, daß einer schnellen Änderung der Resonanzfrequenz aufgrund nichtlinearer Effekte keine Rechnung getragen werden kann.

[0010] Eine Abhilfemaßnahme für diese geschilderte Problematik aufzuzeigen, ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung.

Die Lösung dieser Aufgabe ist dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des bisher üblichen im wesentlichen rechteckförmigen Verlaufes der Wechsel-Spannung über der Zeit eine im wesentlichen sinusförmige oder einer solchen ähnliche Wechsel-Spannung an die Elektro-Magnetspulen angelegt wird, und zwar entweder in Form eines veränderbaren stetigen Spannungsverlaufes oder in Form eines entsprechenden veränderbaren pulsweitenmodulierten Spannungsverlaufs. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

[0011] Erfindungsgemäß wird der Spannungsverlauf der anregenden, d.h. abwechselnd mit einer bestimmten Frequenz an die beiden Elektromagnetspulen angelegten Wechselspannung gegenüber dem bekannten Stand der Technik verändert bzw. veränderbar gemacht, da hiermit weitere Einflußfaktoren berücksichtigt werden können. Im bekannten Stand der Technik wurde bislang nämlich lediglich ein im wesentlichen rechteckförmiger Verlauf der angelegten Wechsel-Spannung U über der Zeit t realisiert, so wie er beispielhaft in **Figur 3** dargestellt ist. Demgegenüber wird mit der vorliegenden Erfindung ein im wesentlichen sinusförmiger oder einem solchen ähnlicher Verlauf der angelegten Wechsel-Spannung U vorgeschlagen so wie er beispielhaft in **Figur 2a** über der Zeit t dargestellt ist. Dabei kann es sich um einen stetigen Spannungsverlauf (wie **Figur 2a**) handeln, alternativ aber auch um einen entsprechenden pulsweitenmodulierten, getakteten Spannungsverlauf, so wie er beispielhaft in **Figur 2b** dargestellt ist, und was

im Endergebnis dem Verlauf nach **Figur 2a** direkt vergleichbar ist. Dabei ist dieser Spannungsverlauf auch veränderbar, so daß für dessen Bestimmung ein realistischeres Modell als bislang üblich verwendet werden kann.

[0012] Somit ist es möglich, nicht nur das schwingungsfähige Feder-Masse-System zu betrachten, sondern den gesamten Aktuator, der wie erläutert aus dem mechanischen Feder-Masse-System und dem damit verkoppelten elektromagnetischen Teilsystem besteht. Dieser gesamte Aktuator stellt ein nichtlineares System dar, das nach der Theorie der anharmonischen Schwingungen (vgl. bspw. L.D.Landau und E.M.Lifschitz, Lehrbuch der theoretischen Physik, Band I: Mechanik, Kapitel V, §§ 28,29, S. 103 - 106) typische nichtlineare Effekte aufweist. So ist die Resonanzfrequenz des gesamten Aktuatorsystems gegenüber der Eigenfrequenz des linearen Feder-Masse-Schwingers verschoben. Ferner hat der Orts- und Geschwindigkeitsverlauf des schwingenden Elementes, hier des Ankers, im allgemeinen keinen exakt sinusförmigen Verlauf. Ferner hängt die Schwingungsfrequenz von der Schwingungsamplitude ab.

[0013] Ausgehend hiervon wird nun - wie bereits erläutert - vorgeschlagen, einen elektromagnetischen Aktuator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 nicht mehr mit periodischen rechteckigen Spannungsimpulsen und auch nicht mehr unbedingt mit der Eigenfrequenz des Feder-Masse-Systemes anzuregen, sondern ein geeignetes Eingangssignal mit einem dem nichtlinearen Schwingungssystem angepaßten periodischen Verlauf - im wesentlichen einem sinusförmigen oder diesem ähnlichen Verlauf, der veränderbar ist - zum Anschwingen zu benutzen. Die Amplitude oder das Pulsweiten-Tastverhältnis des jeweils gewählten Verlaufes der Wechsel-Spannung ergibt sich dabei aus der Theorie der anharmonischen Schwingungen (und stimmt im allgemeinen nicht mit der Eigenfrequenz des Feder-Masse-Systemes überein).

[0014] Dabei kann Berücksichtigung finden, daß die Frequenz des Gesamtsystemes im allgemeinen von der Schwingungsamplitude abhängt, so daß demzufolge die Frequenz der Wechselspannung in Abhängigkeit von der Schwingungsamplitude des Ankers verändert werden kann.

[0015] Weiterhin wurde erkannt, daß die Dämpfung des im gesamten Aktuator enthaltenen Feder-Masse-Schwingers temperaturabhängig sein kann, insbesondere wenn Viskositätsbeeinflüsse eines mit einem Teil des Gesamtsystems in Kontakt kommenden Schmieröls eine Rolle spielen. Hieraus resultiert eine Verschiebung der System-Resonanzfrequenz, was zur Folge hat, daß der elektromagnetische Aktuator bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen mit unterschiedlicher Frequenz angeschwungen werden muß bzw. nur mit unterschiedlicher Frequenz angeschwungen werden kann. Bei der Bestimmung der Frequenz der vorgeschlagenen periodischen, im wesentlichen sinusförmigen

Wechselspannung können daher derartige Temperatureinflüsse berücksichtigt werden. Damit wird ein unnötig hoher Energieverbrauch des elektromagnetischen Aktuators vermieden. Beispielsweise bei einem Kaltstart einer mit derartigen elektromagnetischen Aktuatoren 5 ausgestatteten Brennkraftmaschine muß dann nämlich nicht mehr - wie in der eingangs erstgenannten EP 0 118 591 B1 vorgeschlagen - die Erregerfrequenz über eine extrem lange Zeitspanne verringert werden, bis sie sich endlich in der Größenordnung der aufgrund der 10 temperaturabhängig bzw. kältebeeinflusst erhöhten Dämpfung reduzierten Eigenfrequenz des Systems befindet. Vielmehr kann sofort die Wechsel-Spannung mit geeigneter Frequenz an die Elektro-Magnetspulen angelegt werden, wodurch ein schnelles Anschwingen erreicht wird, so daß kein unnötig hoher Energieverbrauch erfolgt.

[0016] Schließlich kann mit der veränderbaren, im wesentlichen sinusförmigen oder ähnlichen anregenden Wechsel-Spannung dem folgenden weiteren Gedanken Rechnung getragen werden. Es ist nämlich selbst bei Zugrundelegung des linearen Feder-Masse-Systemes wünschenswert, daß beim Anschwingen mit einem dem schwingungsfähigen System angepaßten periodischen Kraftverlauf erregt wird. Der bereits genannte und in Figur 3 dargestellte bisherige rechteckförmige Verlauf der Wechselspannung besitzt entsprechend einer Fourier-Analyse nämlich einen relativ hohen Oberwellenanteil, so daß insbesondere auch an einem realen Aktuator, der wie bereits erläutert ein stark nichtlineares System darstellt, unter Umständen unerwünschte Oberschwingungen im Aktuator erregt werden, so daß auch hierdurch der Energieverbrauch unnötig hoch ist. Zur Behebung dieser Problematik wird nun vorgeschlagen, die Wellenform oder Sinusform der 25 erregenden Spannung derart zu wählen, daß alleine die Grundschiwingung, nicht jedoch eine Oberschwingung des Feder-Masse-Systemes angeregt wird.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich somit insbesondere durch einen geringeren Energieverbrauch und somit einen geringeren Bedarf an elektrischer Leistung aus. Vorteilhafterweise werden zum Anschwingen des Aktuators weniger Amplituden benötigt, wobei noch darauf hingewiesen sei, daß selbstverständlich Details bspw. des tatsächlich verwendeten Aktuators abweichend von der obigen Beschreibung bzw. von der vereinfachten Figurendarstellung sein können, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen.

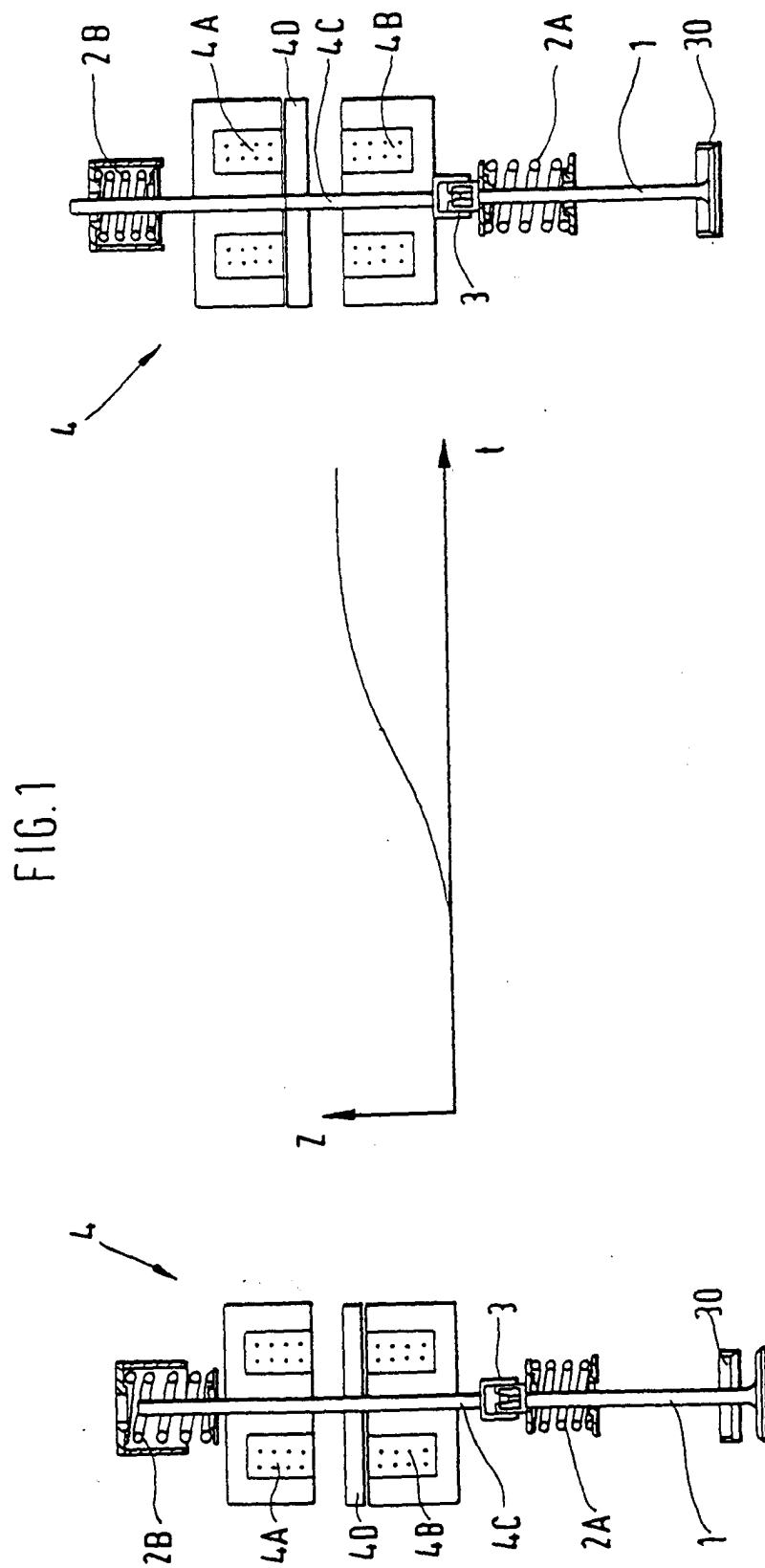
Patentansprüche

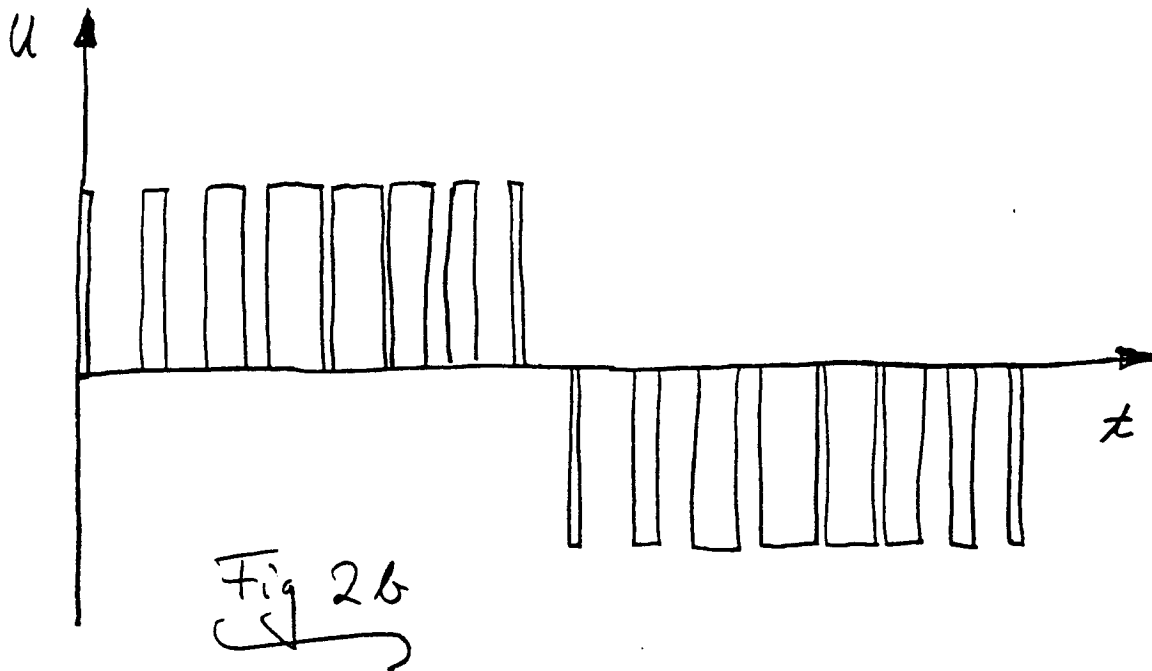
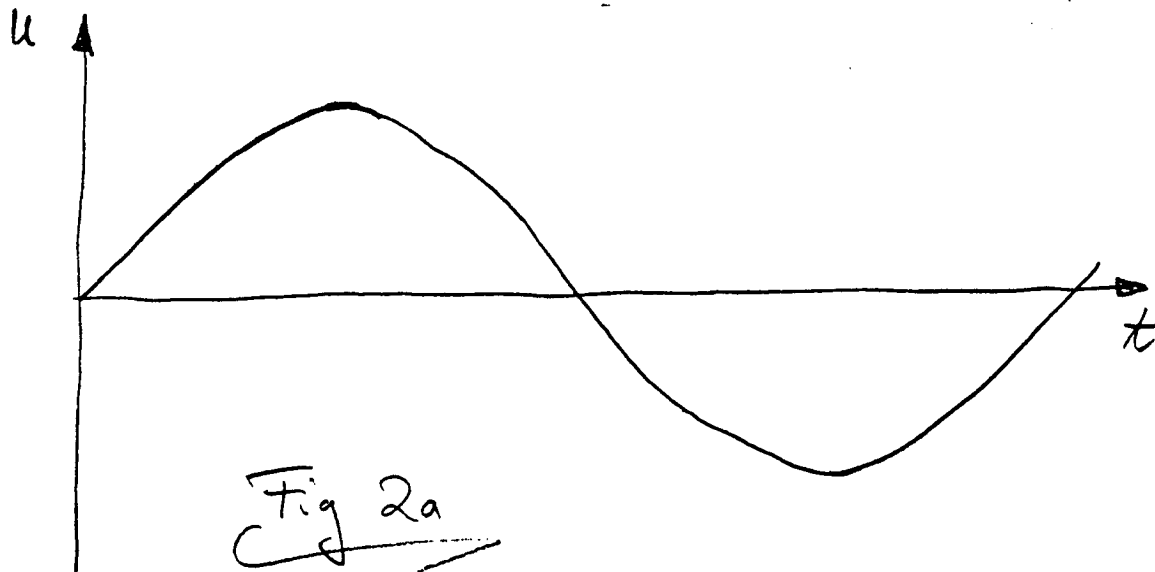
1. Verfahren zum Anschwingen eines ein Schaltelement, insbesondere ein Brennkraftmaschinen-Hubventil (1) betätigenden elektromagnetischen Aktuators (4), in welchem ein auf das Schaltelement einwirkender Anker (4d) oszillierend zwischen 55

zwei Elektro-Magnetspulen (4a, 4b) jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder (2a, 2b) durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen (4a, 4b) bewegt wird, so daß das Schaltelement mit dem Anker (4d) und den Rückstellfedern (2a, 2b) ein schwingungsfähiges Feder-Masse-System darstellt,

und wobei ausgehend vom Ruhezustand des Systems, in welchem der Anker (4d) von den Rückstellfedern (2a, 2b) im wesentlichen in der Mitte zwischen diesen Magnetspulen (4a, 4b) gehalten wird, zum Anschwingen dieses Feder-Masse-Systemes die Elektro-Magnetspulen (4a, 4b) abwechselnd durch Beaufschlagung mit elektrischer Wechsel-Spannung von bestimmter Frequenz erregt werden, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des bisher üblichen im wesentlichen rechteckförmigen Verlaufes der Wechsel-Spannung (U) über der Zeit (t) eine im wesentlichen sinusförmige Wechsel-Spannung (U) an die Elektro-Magnetspulen (4a, 4b) angelegt wird, und zwar entweder in Form eines veränderbaren stetigen Spannungsverlaufes oder in Form eines entsprechenden veränderbaren pulswertenmodulierten Spannungsverlaufes.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Frequenz der Wechsel-Spannung aus der Theorie der anharmonischen Schwingungen ergibt und im allgemeinen nicht mit der Eigenfrequenz des Feder-Masse-Systemes übereinstimmt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Wechselspannung in Abhängigkeit von der Schwingungsamplitude des Ankers verändert wird.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bestimmung der Frequenz der Wechsel-Spannung eine insbesondere temperaturabhängige Veränderung der Dämpfung des Feder-Masse-Systemes und damit von dessen Resonanzfrequenz berücksichtigt wird.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sinusform oder Wellenform der Wechsel-Spannung derart gewählt wird, das alleine die Grundschiwingung, nicht jedoch eine Oberschwingung des Feder-Masse-Systemes angeregt wird.





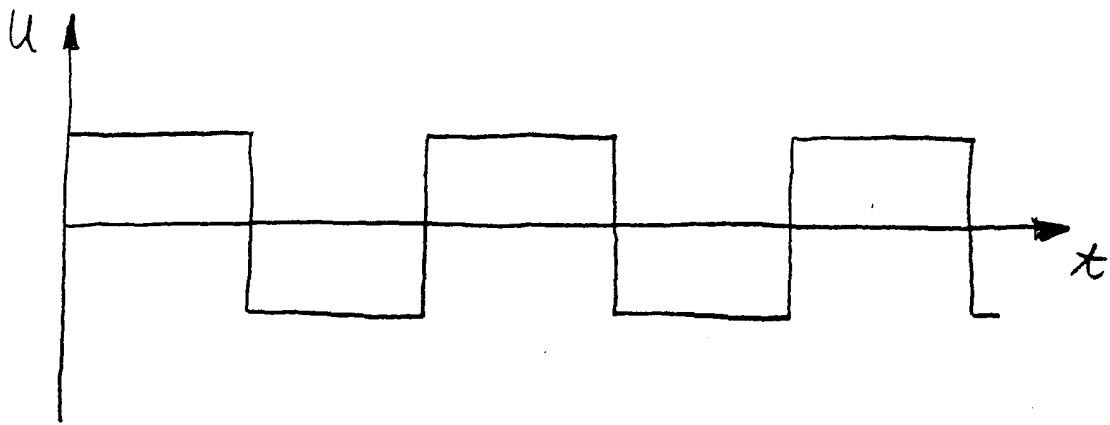


Fig. 3