



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2004 Patentblatt 2004/50

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

(21) Anmeldenummer: **04012426.5**

(22) Anmeldetag: **25.05.2004**

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

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

(72) Erfinder:
• **Reif, Konrad, Dr.**
88045 Friedrichshafen (DE)
• **Cosfeld, Ralf**
81375 München (DE)

(30) Priorität: **06.06.2003 DE 10325705**

(54) **Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Ankers eines elektromagnetischen Aktuators**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Ankers eines elektromagnetischen Aktuators, insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Hubventiles einer Brennkraftmaschine für ein Kraftfahrzeug, wobei der Anker oszillierend zwischen Polflächen zweier Elektromagnet-Spulen jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder durch Bestromung der mindestens einer Elektromagnet-Spule bewegt wird.

Um ein genaues Einhalten des Zeitpunktes zum Öffnen des Ventils durch einen elektromagnetischen

Aktuator bei wesentlich vermindertem Aufwand zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass als Ausgangspunkt für eine Regelung ein messbarer Effekt ausgenutzt wird, wonach sich der Anker des Aktuators insbesondere bei einem bestimmten Strom teilweise vom Joch löst. In einer wesentlichen Weiterbildung wird der Anker des Aktuators in einer Vorbereitungsphase von der Polfläche des Schließermagneten abgehoben und der Stößel des Aktuators mit sehr geringer Geschwindigkeit auf den Ventilschaft bewegt und knapp unterhalb einer Position des Schaftes in der Schwebe gehalten.

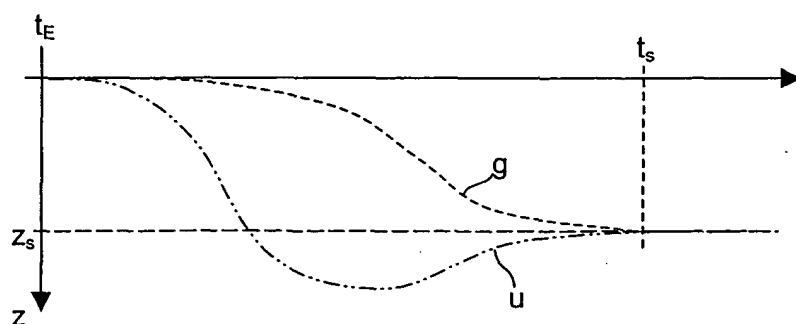


Fig. 7

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Ankers eines elektromagnetischen Aktuators, insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Ventils einer Brennkraftmaschine für ein Kraftfahrzeug, wobei der Anker oszillierend zwischen Polflächen zweier Elektromagnet-Spulen jeweils gegen die Kraft einer Rückstellfeder durch Bestromung der Elektromagnet-Spulen bewegt wird.

[0002] Ein bevorzugter Anwendungsfall für einen elektromagnetischen Aktuator mit Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 ist der elektromagnetisch betätigte Ventiltrieb von Brennkraftmaschinen. In Hubkolben-Brennkraftmaschinen werden Gaswechsel-Hubventile durch derartige Aktuatoren in gewünschter Weise betätigt, d. h. oszillierend geöffnet und geschlossen. Ein zu diesem Zweck eingesetzter bekannter Aktuator umfasst als wesentliche Bestandteile einen Anker, der zwischen Polflächen von zwei Elektromagneten axial verschieblich angeordnet ist und durch mindestens ein Federelement in einer Mittellage zwischen den beiden Polflächen gehalten wird. Der Antrieb des als Hubventil ausgebildeten Gaswechsel-Ventils erfolgt über einen Stößel, der mit dem Anker des Aktuators starr verbunden ist. In einer geschlossenen Stellung des Ventils befindet sich der Ventilteller in einem Ventilsitz, und der Anker des Aktuators befindet sich gegen die Rückstellkraft des Federelements in Anlage mit der Polfläche der Schließerspule. Zum Öffnen des Hubventils wird der Anker des Aktuators von der Schließerspule abgelöst und in Richtung auf die Öffnerspule zu bewegt. Hierbei wirkt der Stößel des Aktuators auf einen Ventilschaft des Hubventils zur Kraftübertragung ein.

[0003] Fertigungs- und Bauteiltoleranzen, unterschiedliche Wärmeausdehnung der beteiligten Bauteile sowie Alterungseinflüsse können zu erheblichen Abweichungen von einem jeweils vorgegebenen Hubwert führen. Als eine Ausgangsmaßnahme ist daher beispielsweise aus der DE 23 35 150 A bekannt, dass der Stößel des Aktuators und der Ventilschaft des Hubventils nicht einstückig miteinander verbunden sind.

[0004] Dieser mindestens zweiteilige Aufbau garantiert, dass im geschlossenen Zustand des Ventils sich einerseits der Ventilteller abdichtend in den Ventilsitz bewegt und andererseits auch der Stößel mit dem Anker in eine stationäre Ruhelage in Berührungskontakt mit der Polfläche des Schließermagneten tritt. Bei der Einleitung eines Ventilöffnungsvorganges verursacht der vorstehend beschriebene mechanische Ventilspielausgleich somit stets erst ein Ablösen des Ankers von der Polfläche des Schließermagneten, worauf erst der Stößel in Kontakt mit dem Ventilschaft tritt, um schließlich den Ventilteller gegen die Rückstellkraft der Rückstellfeder anzuheben. Ein punktgenaues Einhalten des Zeitpunktes zum Öffnen des Ventils erweist sich mithin als schwierig. Dabei wird eine Öffnungsphase des Ventils weiterhin durch eine Umpolung oder Abschaltung des Stromflusses durch den Haltemagneten eingeleitet. Daraufhin löst sich der Anker weit verzögert nach Überwinden einer Anhaftkraft des Ankers an der Polfläche des Haltemagneten und muss nun bis zur Einleitung der eigentlichen Ventilöffnung auch noch das mechanische Ventilspiel als freie Flugstrecke überwinden. Die Größe des Ventilspiels ist jedoch, wie vorstehend bereits angedeutet, derart bemessen, dass beispielsweise unterschiedliche Wärmeausdehnungen bei unterschiedlichen Betriebszuständen zu keinem Zeitpunkt dazu führen können, dass bei einem Halten des Ankers in Schließstellung der Stößel den Ventilschaft berührt oder aber das Ventil sogar aufdrückt und somit teilweise öffnet. Die Addition von Bauteiltoleranzen und unterschiedlichsten Temperatúrausdehnungen der beteiligten Bauteile sowie von Alterungseinflüssen führt jedoch dazu, dass das mechanische Ventilspiel in der Regel nicht exakt bekannt ist. Dadurch können Störungen in der Funktion des Ottomotors bezüglich Leistung, Verbrauch und Schadstoffemissionen auftreten.

[0005] Zur Ausgleich eines Ventilspiels sind diverse Ansätze bekannt, denen stets eine mechanische Kopplung von Ventilschaft und Stößel des Aktuators gemein ist. Das vordem freie Ventilspiel wird hierbei durch einen mehr oder weniger frei einstellbaren Stellmechanismus an jeweils aktuelle Gegebenheiten angepasst. Zu diesem Zweck offenbart die DE 199 47 848 A1 federelastisch-mechanische Mittel oder hydraulisch arbeitende Längenausgleichsmittel. Durch diese Mittel ist jedoch nur das vormalig freie Ventilspiel durch einen geregelten Ausgleich der vorstehend aufgeführten Längen- und Toleranzänderungen auf Kosten eines sehr hohen mechanischen Aufwandes ersetzt, da auf stark begrenztem Bauraum eine erforderliche Versorgung eines derartigen Ausgleichsmechanismus beispielsweise mit Hydraulikmedium und Zuleitungen etc. untergebracht werden muss. Zusätzliche Verluste durch Reibung und erhöhte bewegte Massen wirken sich jedoch äußerst negativ auf die Ventilhuberzeugung, auf deren Regelung und den Gesamt-Energiehaushalt des Systems aus.

[0006] Deutlich vorteilhafter ist es daher, wenn der elektromagnetische Aktuator die Funktion des Ventilspielausgleichs selber übernimmt. In der DE 198 32 198 ist ein Verfahren offenbart, in dem der Anker unter Verwendung eines geeigneten Regelungsverfahrens aus einer Ruheposition in Anlage an der Polfläche eines Haltemagneten heraus zunächst eine Zwischenposition anfährt. Diese Zwischenposition ist durch ein Aufsetzen eines Teils des Ankers auf dem als Hubventil ausgebildeten Gaswechselventil gekennzeichnet. Damit ist das Ventilspiel mit dem Erreichen dieser Zwischenposition das Ventilspiel im Zuge eines elektronisch geregelten Ventilspielausgleichs bereits überbrückt worden. Aus dieser Zwischenposition heraus wird dann der eigentliche Vorgang der Ventilöffnung betrieben. Dementsprechend wird bei einem Schließvorgang des Gaswechsel-Hubventils zunächst eine erste Endlage des Ankers angefahren, die dem Aufsetzen des Gaswechsel-Hubventils auf seinem Ventilsitz entspricht. Daran anschließend wird der Anker in eine zweite Endlage gefahren, die seiner eigenen mechanischen Endlage entspricht, also der vorstehend

beschriebenen Ruheposition in Anlage an der Polfläche des Haltemagneten bzw. Schließermagneten. Dieser letzte Teilhub entspricht wiederum dem Ventilspiel. Eine zuverlässige Implementierung eines derartigen Verfahrens insbesondere als Ventilspiel-Ausgleichsfunktion in einem elektromagnetischen Ventiltrieb einer Brennkraftmaschine macht es erforderlich, dass die Position des Ankers zwischen den Polflächen stets genau bestimmen werden kann und zudem

jede gewünschte Zwischenposition zwischen dem Öffnermagneten und dem Schließermagneten angefahren werden kann. Ein Regler nach der Lehre der DE 198 32 198 ist dazu geeignet, es ist aber auch darüber hinaus zwingend erforderlich, dass ein jeweils aktuelles Ventilspiel, das sich laufend zumindest geringfügig ändert, bekannt ist.

[0007] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ansätze zur Bestimmung eines jeweiligen Ventilspiels bekannt. In der DE 195 29 155 A1 ist beispielsweise ein Verfahren zur Messung des Ventilspiels bekannt, bei dem aus Unregelmäßigkeiten in einem zeitlichen Verlauf des Energieeinsatzes an dem Schließmagneten anhand einer Messung von Strom und/oder Spannung auf das Auftreffen des Ankers auf das Gaswechselventil zur Bestimmung der Größe des Ventilspiels schließt.

[0008] Aus der DE 195 31 437 A1 ist elektrisches Verfahren zur Messung des Ventilspiels an einem Gaswechselventil offenbart, das auf einer relativ genauen Bestimmung der Klebzeit sowie einer Vorabbestimmung einer Zeitspanne vom Loslösen bis zum Auftreffen des Ankers beruht. Dieses Verfahren setzt Vermessung verschiedener Differenzzeitgrößen auf, sodass sich Messungenauigkeiten sehr rasch aufsummieren können und im Endeffekt zu unsicheren Ergebnissen führen.

[0009] Als wesentlich zuverlässiger hat sich ein Verfahren gemäß der DE 198 34 545 A1 herausgestellt. Hier wird die Messung in einer Zeitspanne durchgeführt, in der sich bei geschlossenem Gaswechsel-Hubventil ein Kolben des zugehörigen Brennkraftmaschinen-Zylinders nahe seines oberen Totpunktes befindet. Durch den in dieser Phase im Zylinderinnern herrschenden hohen Druck wird während der Messung und auch durch eine Positionierung des Ankers in Anlage an dem Gaswechsel-Hubventil das Gaswechsel-Hubventil selber in keinem Fall geöffnet. Die Messung selber erfolgt als Auswertung der Unregelmäßigkeit in einem zeitlichen Bewegungsverlauf des Ankers. Es wird also im Gegensatz zu der Lehre der DE 195 31 437 A1 neben einem Positionssensor, der für eine stets erforderliche Positionsbestimmung immer vorhanden ist, kein weiterer Sensor zusätzlich benötigt. Die Messung erfolgt auf der Basis der Auswertung eines Geschwindigkeitssignals, das aus dem zeitlichen Bewegungsverlauf des Ankers gewonnen wird: Bei einem realen Ventilspiel wird der Anker aus der Halteposition an der Polfläche des Schließermagneten heraus beschleunigt. Sobald der Anker aber auf dem Gaswechselventil auftrifft, ändert sich sein zeitlicher Bewegungsablauf, da der Widerstand des ruhenden Gaswechselventils in der Ankergeschwindigkeit eine signifikante Abnahme hervorruft. Diese Änderung kann auch nach einer nur geringfügigen Beschleunigung und einer sehr kurzen Wegstrecke durch den Wegsensor detektiert werden, so dass auf dieser Grundlage das Ventilspiel festgestellt werden kann. Diese Messung wird gemäß der Lehre der DE 198 34 545 A1 periodisch oder stochastisch unter Zwischenschaltung mehrerer Arbeitsspiele der Brennkraftmaschine wiederholt.

[0010] Die Anmelderin hat in der nicht vorveröffentlichten Deutschen Patentanmeldung DE 102 06 031.2 ein Verfahren zum genauen Einhalten des Zeitpunktes zum Öffnen des Ventils durch einen elektromagnetischen Aktuator bei wesentlich vermindertem Aufwand offenbart. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Anker des Aktuators in einer Vorbereitungsphase von der Polfläche des Schließermagneten abgehoben wird und der Stößel des Aktuators mit sehr geringer Geschwindigkeit in einen Bereich des Ventilschaftes herangefahren und dort gehalten wird, ohne auf den Ventilschaft aufgesetzt zu werden.

[0011] Problematisch bleibt jedoch, dass vor oder bei Einstellung der Schwebephase ein Überspringen des Ankers auftreten kann. Ein Überspringen des Ankers kann jedoch ein kurzzeitiges Öffnen des Ventils bewirken, obwohl das Ventil geschlossen bleiben muss. So können neben starken Einbußen im Wirkungsgrad auch Beschädigungen des Ventils bis hin zu dessen Zerstörung auftreten.

[0012] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein genaues Einhalten des Zeitpunktes zum Öffnen des Ventils zu erreichen.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale von Anspruch 1 gelöst. Weiter ist eine Vorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 10 eine Lösung dieser Aufgabe. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0014] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zeichnet sich demnach dadurch aus, dass ein messbarer Effekt ausgenutzt und insbesondere ausgewertet oder überwacht wird, um ein partielles Ablösen des Ankers von einem jeweiligen Joch festzustellen. Als ein derartiger Effekt wurde beobachtet, dass sich der Anker eines Aktuators bei einem bestimmten Strom teilweise vom Joch löst. Erkennbar und überprüfbar ist dieser Zustand an einem von dem Wert Null verschiedenen Hubwert bei einer Geschwindigkeit von Null. Anhand einer derartigen Bestätigungsmessung kann für einen jeden Aktuator oder ein jeweiliges Modell eine spezielle Stromschränke nach Art einer Kenngröße gemessen werden.

[0015] Vorteilhafterweise setzt der Beginn der Regelung entlang der Sollkurve nach dem Erkennen des partiellen Ablösens des Ankers von dem Joch ein. In einer Ausführungsform der Erfindung dient eine Strommessung der Erkennung des partiellen Ablösens durch Auswertung einer Stromschränke I_s von $I_s = I_{\min} + \Delta I$ als Schwellwert, wobei $I_{\min}$ den minimalen Strom durch eine Elektromagnet-Spule des Aktuators bezeichnet und ΔI ungefähr einen Wert von 0,5A

hat.

[0016] Es wird in einer Ausführungsform der Erfindung zusätzlich ein Toleranzbereich für diese Strom-Schwelle definiert. Dieser Toleranzbereich kann zudem durch zyklisch wiederholte Kontrollmessungen nachgeführt werden, wie dies beispielsweise aus dem Bereich der lernenden und/oder selbstnachführenden Systeme bekannt ist.

[0017] Daran anschließend wird gemäß der Lehre der DE 102 06 031.2 verfahren, wonach der Anker des Aktuators in einer Vorbereitungsphase von der Polfläche des Schließermagneten abgehoben wird und der Stößel des Aktuators mit sehr geringer Geschwindigkeit in einen Bereich des Ventilschaftes herangefahren wird, ohne auf den Ventilschaft aufgesetzt zu werden. Die geringe Geschwindigkeit des Ankers von Anbeginn der Überführung in die Zwischenposition bewirkt, dass der Anker nun sicher ohne Überschwinger noch präziser angefahren werden kann, da vorab ein partielles Ablösen des Ankers von dem Joch des zugehörigen Elektromagneten bewirkt worden ist. Damit wird auch ohne stetig wiederholte Messung, die beispielsweise nach der Lehre der DE 198 34 545 A1 durchgeführt wird, sichergestellt, dass das Gaswechselventil nicht außerhalb einer jeweils vorgesehenen Zeit oder vorzeitig geöffnet wird. Auch gegen sonstige, sich langsam aufbauende Toleranzänderungen, aber auch gegen Vibrationen der Brennkraftmaschine selber oder eines durch die Brennkraftmaschine angetriebenen Fahrzeugs ist ein erfindungsgemäßes Verfahren bei vermindertem Mess- und Rechenaufwand ausreichend tolerant.

[0018] An diese Vorbereitungsphase anschließend erfolgt ein Öffnen des Hubventils durch zusätzliche Bestromung der Schließerspule quasi sofort. Durch die Ansteuerung des Aktuators aus dieser Bereitschaftslage gerade ohne Kontakt des Ventilschaftes mit dem Stößel des Aktuators heraus ist damit ein Startzeitpunkt der Ventilöffnung exakt festgelegt. Dadurch, dass der Ventilschaft mit dem Stößel bereits zu diesem Zeitpunkt fast in Anlage ist, treten bei Herstellung eines Kontakts bzw. einer Anlage von Stößel an dem Ventilschaft nur geringe Geräuschentwicklungen und auch auf Dauer gesehen sehr wenig Verschleiß auf. Es kann daher auch auf Dämpfungsmechanismen, wie sie nach dem Stand der Technik vorgesehen sein können, verzichtet werden.

[0019] In einer wesentlichen Weiterbildung der Erfindung wird zur Verbesserung der Eigenschaften eines erfindungsgemäßen Verfahrens ein Regler mit Sollwerten für Strom, Hub und Geschwindigkeit verwendet, der durch eine zusätzliche Regelgröße erweitert wird. Als Integral der Differenz zwischen einem Soll-Hub und einem Ist-Hub wird eine neue Regelgröße eingeführt, durch die auch sehr geringe dauerhafte Abweichungen erkannt und ausgeregelt werden. Insbesondere wird ein Klebenbleiben des Ankers auf der Polfläche bzw. dem Joch verhindert, ohne dass ein weiterer Sensor benötigt werden würde. Das aus dem Hubsignal abgeleitete Geschwindigkeitssignal kann vorzugsweise dadurch verbessert und insbesondere geglättet werden, dass der Regler unter Verwendung eines Zustandsschätzers oder Beobachters arbeitet. Hierdurch wird auch die Qualität des neuen Differenz-Integrals verbessert.

[0020] Zur Darstellung weiterer Vorteile wird nachfolgend eine Ausführungsform der Erfindung anhand der schematisierten Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

Figur 1: einen prinzipiellen Aufbau eines Gaswechselventils mit elektromagnetischem Aktuator-Antrieb in einer geöffneten Endstellung;

Figur 2: die Anordnung gemäß Figur 1 in einer geschlossenen Endstellung;

Figuren 3a bis 3c: ein Gaswechselventil bekannter Bauart mit Ventilspiel in drei unterschiedlichen Betriebszuständen;

Figur 4: ein zeitlicher Verlauf des Hubes des Ankers und des Ventildeckels;

Figur 5: ein Diagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Gesamtfederkraft aufgetragen über dem Ankerhub;

Figur 6: eine Gegenüberstellung von zwei Ablöseverhalten und

Figur 7: eine Gegenüberstellung von zwei Folgeverhalten beim Anfahren einer Zwischenposition als Vergrößerung eines Ausschnitts von Figur 4.

[0021] In der Abbildung von Figur 1 ist ein Aktuator 1 bekannter Bauart dargestellt, der über einen Ventilschaft 2 ein zugeordnetes Hubventil 3 antreibt. Figur 1 zeigt mit der geöffneten Endlage eine der beiden möglichen Endlagen des Hubventils 3 und des Aktuators 1. In dieser Position ist ein Ventilteller 5 von einem Ventilsitz 6 abgehoben, das Hubventil 3 ist also maximal geöffnet. Zum Überführen des Hubventils 3 in eine geschlossene Stellung wird der Ventilteller 5 in Richtung auf seinen Ventilsitz 6 bewegt.

[0022] Wie üblich greift an diesem Hubventil 3 eine Ventilschließfeder 7 an. Die Ventilschließfeder 7 ist jedoch so dimensioniert, dass sie das Hubventil 3 und mit ihm auch den Aktuator 1 nur in eine Neutrallage zurückbewegen kann.

Für die weitere Bewegung des Ventiltellers 5 auf den Ventilsitz 6 zu wird der Antrieb durch den Aktuator 1 benötigt. Der Aktuator 1 umfasst dazu neben zwei Elektromagnet-Spulen 8, 9 einen auf den Ventilschaft 2 des Hubventils 3 einwirkenden Stößel 10, der den Anker 4 trägt und zwischen den Elektromagnet-Spulen 8, 9 oszillierend längsver-

schiebbar geführt ist. Zum Antreiben des Hubventils 3 drückt der Stößel 10 des Aktuators 1 über den Ventilschaft 2 auf den Ventilschaft 2 des Hubventils 3. An dem Ende des Stößels 10, das dem Ventilschaft 2 des Hubventils 3 abge-
 wandt ist, greift ferner eine Ventil-Öffnungsfeder 11 an, die in der dargestellten geöffneten Endstellung entspannt ist.

[0023] Bei der dargestellten Anordnung handelt es sich somit um ein schwingungsfähiges System, für das die Ventilschließfeder 7 und die Ventilöffnungsfeder 11 eine erste sowie eine zweite Rückstellfeder bilden. Je nach Federkraft kann eine Feineinstellung über eine Länge Δl im Bereich der Ventilöffnungsfeder 11 vorgenommen werden. In der

dargestellten Endposition dieses schwingungsfähigen Systems ist das Hubventil 3 vollständig geöffnet, und der Anker 4 liegt an der unteren Elektromagnet-Spule 8 an, die im Folgenden auch als Öffner-Spule 8 bezeichnet wird, nachdem diese Spule 8 das Hubventil 3 in seiner geöffneten Position hält.

[0024] In einer in der Abbildung von Figur 2 dargestellten zweiten Endposition des schwingungsfähigen Systems ist das Hubventil 3 gegen eine Rückstellkraft der Feder 11 vollständig geschlossen, und der Anker 4 des Aktuators 1 liegt an einem Pol 13 der oberen Elektromagnet-Spule 9 an, die im folgenden auch als Schließer-Spule 9 bezeichnet wird, nachdem diese Spule 9 das Hubventil 3 in seiner geschlossenen Position hält.

[0025] Da in der vorliegenden Ausführungsform des Gaswechsel-Hubventils der Ventilschaft 2 und der Stößel 10 nicht einstückig miteinander verbunden sind, ist eine Länge L zwischen dem Anker 4 und dem Ventildeckel 5 besonders kritisch. Es ist bekannt, dass sich die Länge L während des Motorbetriebes aufgrund thermischer Ausdehnung oder sonstiger Art von Verschleiß ändert, so dass sich auch die Längenrelationen innerhalb der Anordnung aus Aktuator 1 und Hubventil 3 verändern. Um einen fehlerfreien Betrieb des Motors sicherzustellen, muss dieser Effekt einer relativen Änderung zum Sitz in einer geeigneten Weise kompensiert werden. In Motoren mit Nockenwellen wird üblicherweise ein hydraulischer Ventilspielausgleich verwendet. Neben dem komplizierten Aufbau dieser teuren und relativ störungs-

anfälligen Lösung wird als ein weiterer Nachteil erkauf, dass Öl in den Ventilraum austreten kann.
[0026] Zur Regelung des Aktuators bietet sich daher als weitere Lösungsmöglichkeit zum Ausgleich des eingangs beschriebenen Toleranzenproblems ein elektronisch geregelter Ventilspielausgleich an. Ein elektronischer Ventilspielausgleich weist als Vorteil eine wesentlich geringere Anzahl von Komponenten auf, den Verzicht auf eine Ölversorgung für einen hydraulischen Ventilspielausgleich und eine deutliche Vereinfachung der Systemdynamik. Der elektronische Ventilspielausgleich ist ein typisches Beispiel einer mechatronischen Implementierung und wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figurenfolge von Figur 3a bis Figur 3c beschrieben. Das Gesamtsystem setzt sich aus einem mechanischen sowie einem elektrischen und einem Software-Teil zusammen. Der mechanische Teil des Ventilspielausgleichs wird durch einen zusätzlichen freien Abstand V zwischen dem Schaft 2 des Ventils 3 sowie dem Stößel 10 des Aktuators 1 gebildet, siehe Figuren 2 und 3a. Dieser Abstand muss groß genug gewählt sein, sodass der volle Bereich einer Längenänderung ΔL der Länge L zwischen dem Anker 4 und dem Ventildeckel 5 aufgrund von Bauteil-

streuung, thermischer Ausdehnung und Verschleiß sicher kompensiert werden kann.
[0027] Zur Verdeutlichung der Aufgabe des Software-Teils eines elektronischen Ventilspielausgleichs wird ein Öffnungsvorgang des Hubventils 2 unter Einwirkung durch den Aktuator 1 anhand der Figurenfolge Figur 3a bis 3c und Hinzunahme der Abbildung von Figur 4 zur Darstellung einer Öffnungsbewegung verdeutlicht. Zu Beginn findet sich der Anker 4 in einer Schließstellung, in der sich der Anker 4 in flächiger Anlage mit der Polfläche 13 des Öffnermagneten 8 befindet. Zu einem Zeitpunkt t_E wird durch Abschalten des Haltestroms I_h die Haltephase des Ankers 4 in der geschlossenen Stellung beendet. Tatsächlich löst sich der Anker 4 jedoch nicht sofort von der Polfläche 13 des Schließermagneten 9. Das Ablösen des Ankers 4 geschieht in der Regel erst zu einem späteren Lösezeitpunkt t_L und damit zeitlich verzögert zu dem eigentlichen Einleitungszeitpunkt t_E . Diese Zeitverzögerung wird in der Literatur als sogenannte "Klebzeit" t_k bezeichnet. Sie ist in ihrer Größe auch innerhalb einer Baureihe von Aktuatoren 1 stets unterschiedlich und kann sich auch während des Betriebes in einem Aktuator 1 mit der Zeit verändern. Ihre Ursache hat diese Klebzeit t_k in der sich nur in endlicher Zeit nach dem Abschalten des Haltestroms I_h abbauenden Remanenzmagnetfeldstärke der Öffnermagneten 8, unterstützt durch die Haftreibung zwischen dem Anker 4 und der Polfläche 13 und eventuell noch verlängert durch einen Haftfilm aus Öl, Fett etc. an der Polfläche 13. Durch das Auftreten der Klebzeit t_k kann der Einleitungszeitpunkt t_E für die Regelung der Ventilöffnungszeit ΔT nicht als Startpunkt genutzt werden.

[0028] Unter der Wirkung der Rückstellkraft der Ventilöffnerfeder 11 wird der Aktuator 1 so lange bewegt, bis sich das Ventil 3 durch Abheben des Ventilkopfs 5 aus dem Ventilsitz 6 gehoben hat. Diese Bewegung wird in zwei Abschnitten durchlaufen, wobei erst der Stößel 10 durch den Anker 4 nach dem Überwinden der Verzögerung t_k zu dem Zeitpunkt t_s in eine Zwischenposition mit einem Hub z_s überführt wird. Dieser Hub z_s ist ein wenig kleiner als das Ventilspiel V, so dass der Stößel 10 des Aktuators 1 nicht mit dem Schaft 2 des Ventils 3 in Kontakt steht. Dieser Abschnitt der Bewegung ist in Figur 2 mit einem Pfeil P_1 gekennzeichnet worden, der auch in Figur 4 aufgenommen ist. Damit wird ein vorzeitiges Öffnen des Ventils 3 vermieden. Die eigentliche und nun sehr zeitgenaue Öffnung des Ventils 3 erfolgt im Zuge eines Bewegungsabschnitts P_2 , in dem der Stößel 10 auf den Schaft 2 gegen die Rückstellkraft

der Rückstell- und Schließfeder 7 drückt.

[0029] Mit dem Schließen des Ventils 3 wird die beschriebene Bewegungsfolge in umgekehrter Richtung durchlaufen, d.h. erst schließt das Ventil 3, Kurve a in Figur 4, und anschließend fährt der Anker 4 in seine Ruheposition. Dabei wird der Anker 4 in kurzer Distanz über der Polfläche 13 des Schließermagneten 9 in einer Position Z_s in Schwebe gehalten. In einem weiteren Abschnitt des Bewegungsablaufes wird der Anker 4 dann sanft, d. h. mit einer Beschleunigung $a = 0$ und einer Geschwindigkeit $v \approx 0$ auf der Polfläche 13 bei Z_0 abgesetzt bzw. an dieser zur Anlage gebracht, wie in der Kurve b von Figur 4 skizziert dargestellt.

[0030] Der Anker 4 wird im Zuge eines Regelungsvorganges bei geeigneter Bestromung mindestens eines der Magneten 8,9 gegen die Rückstellkraft der Ventilöffnerfeder 11 sanft in eine Zwischen-Hubposition z_s bewegt. Diese Zwischenposition z_s ist so gewählt worden, dass sie geringfügig kleiner als ein jeweiliges Ventilspiel V der Aktuator-Ventil-Einheit ist. Damit befindet sich der Anker 4 ab einem Zeitpunkt t_s in einem Schwebezustand, wobei der Stößel 10 fast an dem Ventilschaft 2 anliegt. Es ist in dieser Zwischenposition somit sichergestellt, dass das Ventil 3 selber zu diesem Zeitpunkt t_s in keinem Fall geöffnet wird, auch durch Regelabweichungen oder von außen aufgeprägte Vibrationen nicht.

[0031] Um den Anker über dem Joch bzw. der Polfläche 13 des Schließermagneten 9 in der Schwebe halten zu können, ist eine geeignete Regelung vorzusehen. Hier können durch den Fachmann in geeigneter Weise angepasste Regelungen beispielsweise basierend auf den Offenbarungen der Druckschriften EP 0 973 178 A2, DE 198 34 548 A1 und DE 100 12 988 A1 vorgestellten Methoden und Regelungsverfahren eingesetzt werden. Die wesentlichen Elemente einer derartigen Regelung sind eine vorgegebene Solltrajektorie und Regler. Der Begriff "Trajektorie" ist dem Fachmann aus der Regelungstechnik bekannt und beschreibt eine Bahnkurve eines mittels eines Reglers gesteuert zu bewegendes Objektes in einem Zustandsraum, im vorliegenden Fall eines Aktuators also die Bahnkurve $z(t)$ des Ankers 4 zwischen den Polflächen 12, 13 der beiden Elektromagnetspulen 8, 9.

[0032] Der Schwebe-Zustand ist in der Abbildung von Figur 3b skizziert dargestellt und kennzeichnet eine Bereitschaftsstellung, aus der heraus das Ventil 3 zu jedem beliebigen Zeitpunkt t_1 geöffnet werden kann. Damit ist sichergestellt, dass unter Anlegen einer geeigneten Bestromung nunmehr eine Öffnungsbewegung des Ventils 3 in definierter Weise und fast unmittelbar sofort stattfindet. Der neuartige Zwischenzustand kann damit frei zur Einstellung einer bestimmten Startzeit t_1 zum Beginn einer einstellbaren Ventilöffnungszeitspanne ΔT genutzt werden. Dabei entfallen durch die Umsetzung des beschriebenen Verfahrens in einer dementsprechenden Vorrichtung zahlreiche Probleme, wie Geräuschbelastung und Verschleiß durch kontinuierliches Aufschlagen des Stößels 10 an dem Ventilschaft 2. Dabei muss das Ventilspiel V selber in seiner Größe vorteilhafterweise nicht ganz genau bekannt sein, da nur eine Position Z_s angefahren wird. Ständige Messungen des Ventilspiels können damit erfallen, es reichen Überprüfungen nach eingangs unter Bezugnahme auf einschlägigen Stand der Technik beschriebenen Verfahren in weiten zeitlichen Intervallen aus.

[0033] Die Abbildung von Figur 5 zeigt den Verlauf einer insgesamt auf den Anker 4 einwirkenden Federkraft F_f über dem Hub z , hier symmetrisch zu einer neutralen Mittellage des Ankers zwischen den Polflächen 12, 13 der Elektromagneten 8, 9 dargestellt. Der Federkraftverlauf $F_f(z)$ stellt sich als im Wesentlichen linearer Zusammenhang über dem Ankerhub z dar. In Richtung auf den Öffnermagneten 8 weist die Kurve der Federgesamtkraft F_f jedoch einen deutlichen Kraftsprung an der markierten Stelle auf. Dieser Kraftsprung tritt zu dem Zeitpunkt an der Position des Ankerhubes z auf, an dem der mit dem Anker 4 starr verbundene Stößel 10 auf den Ventilschaft 2 auftritt und im Weiteren gegen die federnden Rückstellkräfte der Schließerseite wirken muss.

[0034] Dieser Kraftsprung kann gemäß der Lehre der DE 197 35 373 C1 durch zusätzliche Sensoren zur Bestimmung des Ventilspiels genutzt werden, oder zur Messung des Ventilspiels auf elektrischem Wege durch Messung von Strom und Spannung gemäß der Lehre der DE 195 31 437 A1. Hier wird jedoch vorzugsweise ohne zusätzliche Sensoren bearbeitet, also insbesondere nach der Lehre der DE 198 34 545 A1. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Hub z_s knapp vor einer Überwindung eines jeweiligen Ventilspiels V gezielt angefahren, wobei die beteiligten Elektromagneten 8, 9 jeweils zum Auf- bzw. Abbau eines magnetischen Flusses zur Überwindung dieses Kraftsprunges geeignet ausgebildet sind.

[0035] Das vorstehend beschriebene Verfahren baut darauf auf, dass der Anker 4 zuerst vollständig von der Polfläche 13 des Haltemagneten 9 abgelöst wird und danach sofort in einem geringen Abstand über der Polfläche 13 in der Schwebe gehalten wird. Dabei befindet sich der mit dem Anker 4 starr verbundene Stößel 10 nicht in Anlage an dem Ventilschaft 2. Um eine derartige Regelung zu ermöglichen, muss der magnetische Fluss in dem Haltemagneten 9 zuerst so weit abgebaut werden, dass die Federkraft größer als die Magnetkraft ist. Dadurch erst kann sich der Anker 4 überhaupt in Bewegung setzen bzw. von der Polfläche 13 des Haltemagneten 9 lösen.

[0036] Sobald die Bewegung des Ankers 4 einsetzt, muss sofort in geeigneter Weise gegengesteuert werden, insbesondere muss ein erforderlicher Fluss in dem Haltemagneten 9 aufgebaut werden, um den Anker 4 definiert in der Schwebe zu halten.

[0037] Durch mechanische Toleranzen, Verunreinigungen und den Einfluss von Öl auf der Grenzfläche zwischen Anker 4 und Polfläche 13 treten zusätzliche Adhäsions- und Reibungskräfte auf. Diese Kräfte sind in ihrer jeweiligen

Größe nicht vorhersagbar und unterliegen auch an ein und demselben Aktuator 1 starken Schwankungen. Daher ist auch der abzubauen Fluss aus dem vorstehenden Punkt nicht genau genug vorhersagbar.

[0038] Jede bisherig eingesetzte Regelung wird durch die vorstehend aufgeführten Störkräfte empfindlich beeinträchtigt. Die Zeiten bis zum Ablösen des Ankers 4 schwanken stark bis zu dem Fall hin, dass überhaupt kein Ablösen des Ankers 4 innerhalb einer jeweils verfügbaren Zeit mehr stattfindet. Der Anker 4 schwingt im Fall der vorstehend beschriebenen Störungen stark über oder kann gar nicht in der Schwebe gehalten werden.

[0039] Zur Abhilfe wird ein Regler mit Sollwerten für Strom, Hub und Geschwindigkeit genutzt, der durch eine zusätzliche Regelgröße erweitert wird. Als Integral der Differenz zwischen einem Soll-Hub Z_{soll} und einem Ist-Hub Z_{ist} wird eine Regelgröße y eingeführt als

$$\frac{d}{dt} y = z_{\text{soll}} - z_{\text{ist}}$$

[0040] Als Sollwerte werden ein konstanter Hub z_s als Schwebehöhe des Ankers 4 über der Polfläche 13 des Schließermagneten 9, eine Geschwindigkeit $v \approx 0$ und dazu ein konsistenter Wert für den Stromfluss I durch die Haltespule 9 vorgegeben. Dadurch, dass die Differenz zwischen Soll- und Istwerten $Z_{\text{soll}}, z_{\text{ist}}$ des Hubes z aufintegriert wird, werden auch sehr geringe dauerhafte Abweichungen erkannt und ausgeregelt. Ein Klebenbleiben des Ankers 4 auf der Polfläche 13 wird sicher verhindert, da das anwachsende Differenz-Integral einen wachsenden Stromfluss zur Folge hat. Nach kürzester Zeit werden damit Kräfte aufgebaut, die jedes bekannte Klebenbleiben des Ankers 4 auf der Polfläche 13 überwinden können. Vorteilhafterweise wird ein direkt nach dem Ablösen des Ankers 4 von der Polfläche 13 zu hoher Stromfluss in einer Weise durch die neue Regelgröße aus dem Differenz-Integral derart zurückgeführt, dass Pendelbewegungen unterdrückt oder sehr schnell ausgeregelt werden.

[0041] Der Regler ist nach dieser Ausführungsform der Erfindung ständig aktiv, d.h. von Beginn bei aufliegendem Anker bis zum Ende bei schwebendem Anker 4. So garantiert der Regler einen stets sicheren Betrieb des Aktuators 1.

[0042] Die Einregelung einer Zwischenposition z_s ist durch die vorstehend beschriebenen Maßnahmen soweit sichergestellt. In dem in der Abbildung von Figur 4 strichpunktiert dargestellten Bereich kann es jedoch vor dem Erreichen einer stabilisierten Schwebephase zu einem Überspringen des Ankers 4 kommen. Hierdurch kann auch dann ein kurzzeitiges Öffnen des Ventils 3 bewirkt werden, wenn das Ventil geschlossen bleiben muss. Ein Grund für derartige Überspringer liegt in einer zu hohen Anfangsbeschleunigung des Ankers, die zum Ablösen von dem jeweiligen Joch eingesetzt wird. Der Anker kann nach der Einwirkung dieser Anfangsbeschleunigung nicht schnell genug wieder abgebremst werden kann. Es können neben Überspringern auch Regelungsabweichungen aufgrund von Pendelbewegungen im Hubverlauf des Ankers 4 auftreten.

[0043] Abhilfe schafft hier die Auswertung eines messbaren Effektes, der Aufschluss über eine mindestens partielle Ablösung des Ankers 4 vom Joch eines jeweiligen Elektromagneten gibt. Es wurde bei Messungen eines Rückholvorganges beobachtet, dass sich der Anker 4 eines Aktuators 1 bei einem bestimmten Strom I teilweise vom Joch löste. Bild 6 gibt das Messergebnis in vereinfachter Form wieder: Ein Kurvenverlauf des Hubes $z(t)$ ist jeweils für einen Fall u mit und einen Fall g ohne partielles Abheben dargestellt. Die Kurve u läuft sehr schnell mit hoher Steigung aus der Nähe des Ursprungs heraus. Der Kurvenverlauf g zeichnet sich hingegen durch einen sehr schwach ausgeprägten, ungefähr rampenförmigen Anstieg aus, der erst ab einem vorgegebenen Zeitpunkt t_1 im Wesentlichen in den Verlauf der Kurve u übergeführt wird.

[0044] Dieser unterscheidende Abschnitt kennzeichnet ein partielles Ablösen des Ankers von dem Joch. Erkennbar und überprüfbar ist dieser besonders erwünschte Zustand anhand eines von dem Wert Null verschiedenen Hubwerts z bei einer Geschwindigkeit v von ungefähr Null. Anhand einer derartigen Bestätigungsmessung kann für einen jeden Aktuator 1 oder ein jeweiliges Modell eine spezielle Stromschränke I_s nach Art einer Kenngröße eingemessen werden. In der Praxis wurde festgestellt, dass die Stromschränke I_s sich in Abhängigkeit eines minimalen Stroms I_{min} , der durch eine Elektromagnet-Spule des Aktuators fließen muss, darstellen lässt als $I_s = I_{\text{min}} + \Delta I$. Dabei weist die Größe ΔI ungefähr einen Wert von 0,5A auf.

[0045] Eine Strommessung in Form einer einfachen Schwellwerkerkennung dient der Erkennung des partiellen Ablösens durch Auswertung einer Stromschränke I_s . Der Beginn der Regelung entlang einer Sollkurve setzt nach dem Erkennen des partiellen Ablösens des Ankers 4 von dem Joch 12, 13 ein. Die nach dem Ablösen gegenüber dem Stand der Technik wesentlich geringere Geschwindigkeit des Ankers 4 von Anbeginn der Überführung in die Zwischenposition bewirkt, dass der Anker nun sicher ohne Überspringer noch präziser angefahren werden kann. Die nach bekannten Verfahren aufgewandte Kraft zum Ablösen des Ankers und eine direkt nach dem Ablösen auftretende überschüssige Beschleunigung des Ankers entfallen, da bereits vorab ein partielles Ablösen des Ankers von dem Joch des zugehörigen Elektromagnetes bewirkt worden ist. Hierdurch wird Strom eingespart.

[0046] Neben einer einfachen Schwellwerkerkennung unter Auswertung der Stromschränke I_s wird in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zusätzlich ein Toleranzbereich für diese Strom-Schwelle definiert. Es ergibt sich damit eine Regelkurve mit Hysterese, deren Breite als Stromtoleranz mit in die Regelung eingeht. Dieser Toleranzbereich

kann im Weiteren dadurch sehr gering gehalten und die Regelungsgenauigkeit erhöht werden, dass zyklisch wiederholte Kontrollmessungen durchgeführt werden. Hierdurch kann neben einer Bestimmung des Ventilspiels V auch die Größe der Stromschränke I_s nachgeführt werden, wie dies beispielsweise aus dem Bereich der lernenden und/oder selbstnachführenden Systeme vom Prinzip her allgemein bekannt ist.

[0047] Die praktische Auswirkung dieses Verfahrens unter gezielter Nutzung einer partiellen Ablösung des Ankers von dem Joch ist in Figur 7 skizziert: Die Anfangsbeschleunigung bzw. die Anfangssteigung des Hubverlaufes nach Kurve u ist so groß, dass es zu einem Überspringen um die Hubposition z_s kommt. Dagegen wird der Kurvenverlauf g dieser Zielhub-Position in asymptotischer Weise angenähert, also energieoptimiert und unter der Garantie, dass keine auch noch so kleine und kurzfristige Ventilöffnung bewirkt wird. Hier ist aufgrund der hohen Sicherheit auch im Grenzfall die Wahl $z_s = V$ möglich, so dass als Zwischenposition ein jeweiliges Ventilspiel eingestellt werden kann.

[0048] Damit kann ein relativ punktgenaues Öffnen von Gaswechsel-Hubventilen 3 und mithin eine einwandfreie Motorfunktion durch exakte Ventilsteuerung bei gemindertem Aufwand sichergestellt werden. Vorteilhafterweise umfasst eine derartige Einheit für einen elektromagnetischen Ventiltrieb eine vergleichsweise geringe Anzahl von Komponenten und Einzelteilen und verzichtet insbesondere auf eine Ölversorgung eines hydraulischen Ventilspielausgleichs. Unter Verlagerung zusätzlicher Erfordernisse in dem Bereich der Regelung sowie der Aufbereitung von elektrischen Messsignalen ohne den Einsatz weiterer Sensoren etc. wird insgesamt eine Vereinfachung der Systemdynamik erreicht.

Bezugszeichenliste

[0049]

1	Aktuator
2	Ventilschaft
3	Hubventil
4	Anker
5	Ventilteller
6	Ventilsitz
7	Ventilschließfeder
8	Elektromagnet-Spule
9	Elektromagnet-Spule
10	Stößel
11	Ventil-Öffnungsfeder
12	Polfläche
13	Polfläche
I_s	Stromschränke
$I_{\min}$	minimaler Strom durch eine Elektromagnet-Spule 8,9
Δl	Längenänderung zur Federeinstellung
L	Länge zwischen Anker 4 und dem Ventil 5
t	Zeit
t_k	Klebzeit
t_L	Lösezeitpunkt
t_1	Startzeitpunkt einer Ventilöffnung
t_s	Zeitpunkt, zu dem Zwischenposition z_s erreicht wird
Δt	Zeitdifferenz zwischen Lösezeitpunkt und Startzeit der Ventilöffnung
ΔT	einstellbare Ventilöffnungszeitspanne
V	Ventilspiel
z	Wegkoordinate des Ankers 4 / Hub
z_0	Startwert / Hub in Schließstellung
z_e	Endwert / maximale Öffnungsstellung
z_s	Zwischenposition

Patentansprüche

- Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Ankers (4) eines elektromagnetischen Aktuators (1), insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Hubventiles (3) einer Brennkraftmaschine für ein Kraftfahrzeug, wobei der Anker (4) oszillierend zwischen Polflächen (12, 13) zweier Elektromagnet-Spulen (8, 9) jeweils gegen die Kraft zumindest

einer Rückstellfeder (7, 11) durch Bestromung mindestens einer Elektromagnet-Spule (8, 9) bewegt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

als Ausgangspunkt für eine Regelung ein messbarer Effekt ausgenutzt wird, wonach sich der Anker (4) des Aktuators (1) insbesondere bei einem bestimmten Strom (I_s) teilweise vom Joch (12, 13) löst.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der Beginn der Regelung entlang der Sollkurve nach dem Erkennen des partiellen Ablösens des Ankers (4) von dem Joch (12, 13) einsetzt.

3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Strommessung der Erkennung des partiellen Ablösens durch Auswertung einer Stromschranke (I_s) von $I_s = I_{\min} + \Delta I$ dient, wobei der additive Term (ΔI) ungefähr einen Wert von 0,5A hat.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (4) des Aktuators (1) in einer Vorbereitungsphase von der Polfläche (13) des Schließermagneten (9) abgehoben wird und der Stößel (10) des Aktuators (1) mit sehr geringer Geschwindigkeit auf den Ventilschaft (2) knapp unterhalb einer Position des Schaftes (2) gefahren und dort in der Schwebe gehalten wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Ansteuerung des Aktuators (1) aus dieser Bereitschaftslage (z_s) in Kontakt des Ventilschaftes (2) mit dem Stößel (10) des Aktuators (1) heraus ein Startzeitpunkt (t_1) einer Ventilöffnung festgelegt wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass in weiten zeitlichen Intervallen ein jeweiliges Ventilspiel (V) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass ein Regler mit Sollwerten für Strom (I), Hub (z) und Geschwindigkeit (v) verwendet wird, der durch eine zusätzliche Regelgröße (y) erweitert wird, die aus bereits vorhandenen Regelgrößen abgeleitet wird.

8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zusätzliche Regelgröße (y) als zeitliches Integral der Differenz zwischen einem Soll-Hub (z_{soll}) und einem Ist-Hub (z_{ist}) bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regler unter Verwendung eines Zustandsschätzers arbeitet.

10. Vorrichtung zur Steuerung der Bewegung eines Ankers (4) in einem elektromagnetischen Aktuator (1), der einen axial zwischen Polflächen (12, 13) von zwei Elektromagneten (8, 9) aufweist, zwischen denen der Anker verschieblich ist, wobei der Aktuator (1) insbesondere zum Antrieb eines Hubventils (3) ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist.

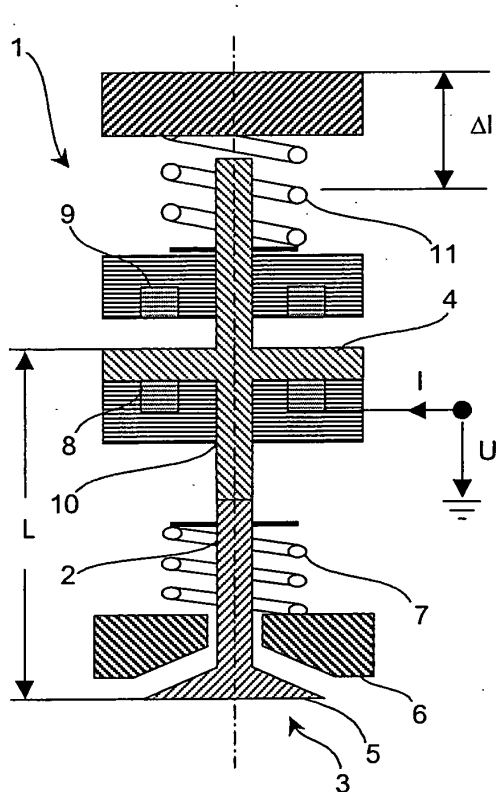


Fig. 1

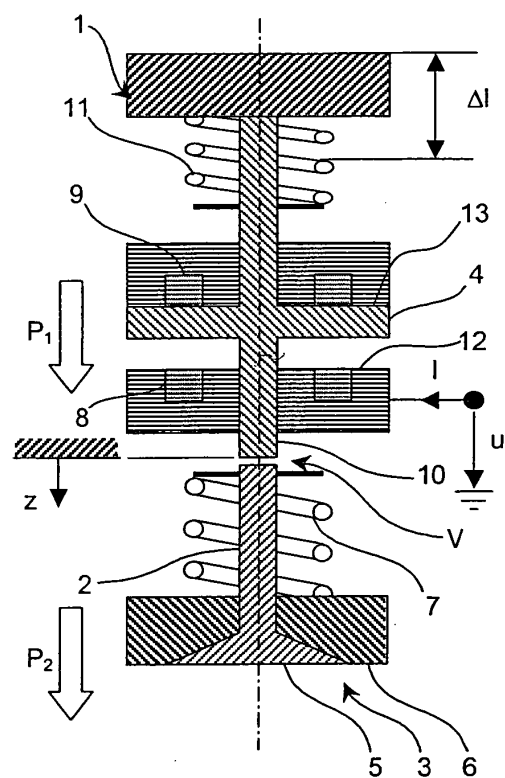


Fig. 2

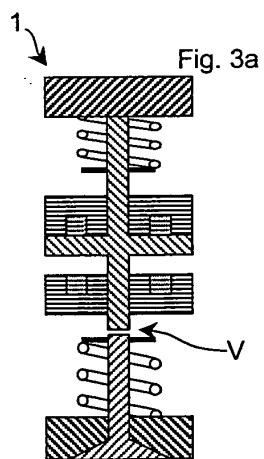


Fig. 3a

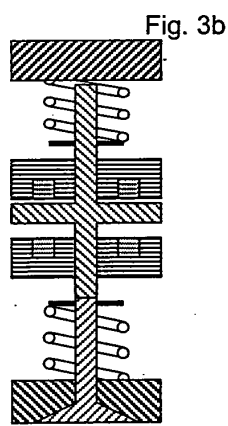


Fig. 3b

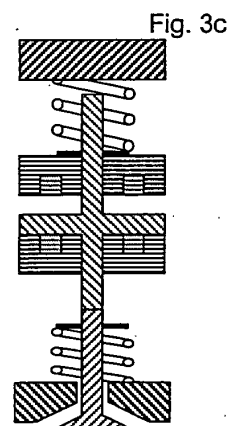


Fig. 3c

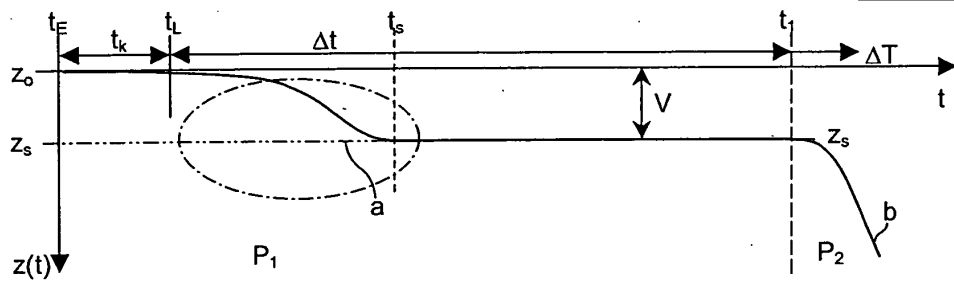


Fig. 4

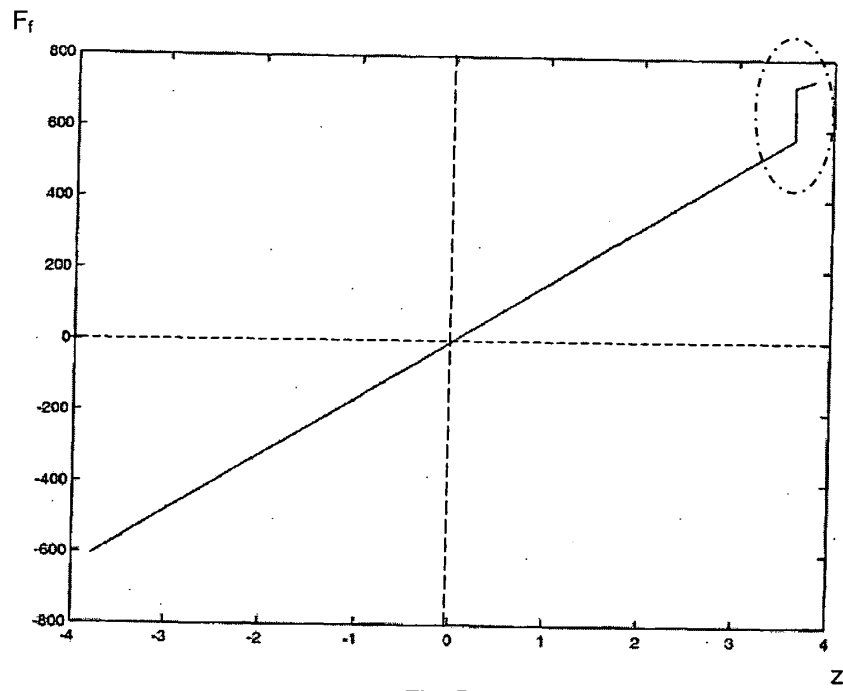


Fig. 5

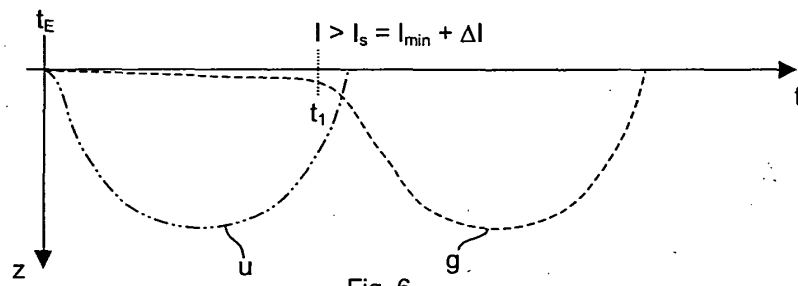


Fig. 6

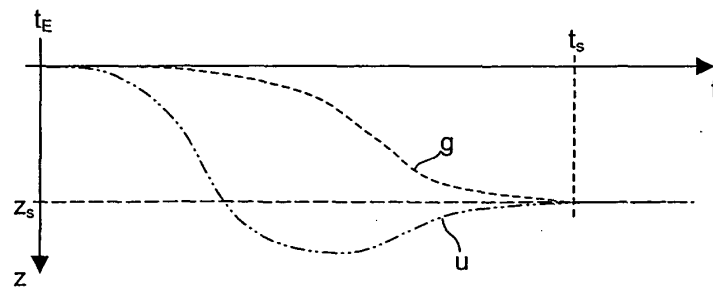


Fig. 7