



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
19.01.2000 Patentblatt 2000/03

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: H01F 7/18

(21) Anmeldenummer: 99112676.4

(22) Anmeldetag: 02.07.1999

(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  
80788 München (DE)

(30) Priorität: 17.07.1998 DE 19832196  
03.12.1998 DE 19855775  
11.08.1998 DE 19836297

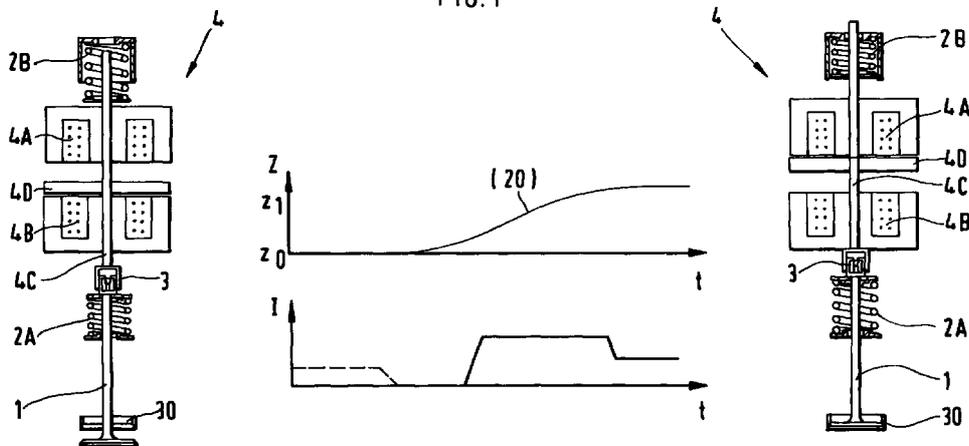
(72) Erfinder:  
• Cosfeld, Ralf  
80807 München (DE)  
• Reif, Konrad  
85764 Oberschleissheim (DE)

(54) **Verfahren zur Bewegungssteuerung eines Ankers eines elektromagnetischen Aktuators**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewegungssteuerung eines Ankers (4d) eines elektromagnetischen Aktuators (4), insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Hubventils (1) einer Brennkraftmaschine, wobei der Anker (4d) oszillierend zwischen zwei Elektromagnet-Spulen (4a, 4b) jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder (2a, 2b) durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen bewegt wird, und wobei mit einer Annäherung des Ankers an die zunächst bestromte Spule während des sogenannten Fangvorganges die an der den Anker einfangenden Spule anliegende elektrische Spannung reduziert wird.

Erfindungsgemäß schließt sich an die Fangphase des Fangvorganges eine Bremsphase an, in welcher bis zum Auftreffen des Ankers auf die Spule an diese getaktet elektrische Spannung angelegt wird, wobei die jeweiligen Schalt-Zeitpunkte und das Spannungs-Taktverhältnis von einem Regler anhand einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie bestimmt werden. Bevorzugt wird getaktet entweder ein betragsmäßig konstanter positiver oder negativer Spannungswert oder der Spannungswert „Null“ an die den Anker einfangende Spule angelegt.

FIG.1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewegungssteuerung eines Ankers eines elektromagnetischen Aktuators, insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Hubventiles einer Brennkraftmaschine, wobei der Anker oszillierend zwischen zwei Elektromagnet-Spulen jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen bewegt wird, und wobei mit einer Annäherung des Ankers an die zunächst bestromte Spule während des sogenannten Fangvorganges die an der den Anker einfangenden Spule anliegende elektrische Spannung reduziert wird. Zum technischen Umfeld wird auf die DE 195 30 121 A1 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 beigefügte **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 und ferner der Verlauf des Stromflusses  $I$  in den beiden Elektromagnet-Spulen jeweils über der Zeit  $t$  entsprechend einem (gegenüber der eingangs genannten DE 195 30 121 A1 einfacheren) bekannten Stand der Technik dargestellt ist.

**[0004]** Wie ersichtlich ist in **Figur 1** der Schließvorgang 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 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 2b an.

**[0005]** Hierbei handelt es sich somit um ein schwingungsfähiges 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 Systemes dargestellt, in welcher das Hubventil 1 vollständig geöffnet ist und der Anker 4d an der unteren Elektromagnet-Spule 4b anliegt, die im folgenden auch als Öffner-Spule 4b bezeichnet wird, nachdem diese Spule 4b das Hubventil 1 in seiner geöffneten Position hält. Rechtsseitig ist in **Figur 1** die zweite Endposition des schwingungsfähigen Systemes dargestellt, in welcher das Hubventil 1 vollständig geschlossen ist und der Anker 4d an der oberen Elektromagnet-Spule 4a anliegt, die im folgenden auch als Schließer-Spule 4a bezeichnet wird, nachdem diese Spule 4a das Hubventil 1 in seiner geschlossenen Position hält.

**[0006]** Im folgenden wird nun kurz der Schließvorgang des Hubventils 1 beschrieben, d.h. in **Figur 1** der Übergang vom linksseitigen Zustand in den rechtsseitig dargestellten Zustand; dazwischen sind die entsprechenden Verläufe der in den Spulen 4a, 4b fließenden elektrischen Ströme  $I$  sowie der Hubverlauf bzw. die Wegkoordinate  $z$  des Ankers 4d jeweils über der Zeit  $t$  aufgetragen. Bezüglich der Wegkoordinate  $z$  entspricht dabei der Wert  $z_0$  einem vollständig geöffnetem Hubventil 1, d.h. der Anker 4d liegt an der Öffner-Spule 4b an, während bei  $z=z_1$  der Anker 4d an der Schließerspule 4a anliegt.

**[0007]** Ausgehend von der linksseitigen Position "Hubventil offen" wird zunächst die Öffner-Spule 4b bestromt, um den Anker 4d in dieser Position gegen die gespannte Ventilschließfeder 2a (= untere erste Rückstellfeder 2a) zu halten, wobei der Strom  $I$  in dieser Spule 4b im I-t-Diagramm gestrichelt dargestellt ist. Wird nun der Strom  $I$  der Öffner-Spule 4b für einen gewünschten Übergang nach "Hubventil geschlossen" ausgeschaltet, so löst sich der Anker 4d von dieser Spule 4b und das Hubventil 1 wird durch die gespannte Ventilschließfeder 2a in etwa bis zu seiner Mittellage (nach oben hin) beschleunigt, bewegt sich jedoch aufgrund seiner Massenträgheit weiter und spannt dabei die Ventilöffnungsfeder 2b, so daß das Hubventil 1 (und der Anker 4d) dadurch abgebremst werden. Daraufhin wird die Schließer-Spule 4a zu einem geeigneten Zeitpunkt bestromt (der Strom  $I$  für die Spule 4a ist im I-t-Diagramm in durchgezogener

Linie dargestellt), wodurch diese Spule 4a den Anker 4d einfängt - hierbei handelt es sich um den sog. Fangvorgang - , und ihn schließlich in der rechtsseitig dargestellten Position "Hubventil geschlossen" hält. Nachdem der Anker 4d sicher von der Spule 4a gefangen ist, wird in dieser im übrigen auf ein niedrigeres Haltestrom-Niveau umgeschaltet (vgl. I-t-Diagramm).

5 **[0008]** Der umgekehrte Übergang von "Hubventil geschlossen" zu "Hubventil offen" geschieht ausgehend von der in Figur 1 rechtsseitig dargestellten Position analog durch Ausschalten des Stromes I in der Schließer-Spule 4a und zeitversetztes Einschalten des Stromes für die Öffner-Spule 4b. Generell wird dabei für das Bestromen der Spulen 4a, 4b an diese eine ausreichende elektrische Spannung gelegt, während das Abschalten des elektrischen Stromes I durch  
10 eine Herabsetzung der elektrischen Spannung auf den Wert „Null“ initiiert wird. Die notwendige elektrische Energie für den Betrieb jedes Aktuators 4 wird dabei entweder dem Bordnetz des von der zugehörigen Brennkraftmaschine angetriebenen Fahrzeuges entnommen oder über eine separate, dem Ventiltrieb der Brennkraftmaschine angepaßte Energieversorgung bereitgestellt. Dabei wird die elektrische Spannung durch die Energieversorgung konstant gehalten, und der Spulenstrom I der den Brennkraftmaschinen-Hubventilen 1 zugeordneten Aktuatoren 4 durch ein Steuergerät derart gesteuert, daß sich die notwendigen Kräfte für das Öffnen, Schließen und Halten des bzw. der Hubventile 1 in der  
15 jeweils gewünschter Position ergeben.

**[0009]** Beim soeben erläuterten Stand der Technik wird der Spulenstrom I während des sogenannten Fangvorganges, in welchem eine der beiden Spulen 4a, 4b danach trachtet, den Anker 4d einzufangen, vom genannten Steuergerät bzw. von einer Steuereinheit durch Taktung auf einen konstanten Wert geregelt, der groß genug ist um den Anker 4d unter allen Bedingungen sicher einzufangen. Nun ist die Kraft der fangenden Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b auf  
20 den Anker 4d näherungsweise proportional zum Strom I und umgekehrt proportional zum Abstand zwischen Spule und Anker. Wird nun - wie im bekannten Stand der Technik - ein konstanter Strom I eingestellt, so steigt die auf den Anker 4d einwirkende Magnet-Kraft mit seiner Annäherung an die jeweilige ihn einfangende Spule 4a bzw. 4b umgekehrt proportional zum verbleibenden Spalt, wodurch die Ankerbeschleunigung und Ankergeschwindigkeit ansteigen. Hieraus resultiert eine hohe Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 4d auf die jeweilige Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b, was zum  
25 einen hohen Verschleiß im Aktuator 4, zum anderen aber auch eine hohe Geräuschentwicklung zur Folge hat. Ein weiterer Nachteil sind die bei der kurz beschriebenen getakteten Stromregelung auftretenden Umschaltverluste der Transistoren, die eine erhöhte Leistungsaufnahme und Temperaturbelastung des verwendeten Steuergerätes sowie eine erhöhte elektromagnetische Abstrahlung in den Zuleitungen der Aktuatoren zur Folge haben.

**[0010]** Verbesserungen insbesondere im Hinblick auf die Geräuschentwicklung sowie den Aktuatorverschleiß bringt  
30 der aus der eingangs genannten DE 195 30 121 A1 bekannte Stand der Technik. Hierin ist ein Verfahren zur Reduzierung der Auftreffgeschwindigkeit eines Ankers an einem elektromagnetischen Aktuator vorgeschlagen, wobei mit einer Annäherung des Ankers an die Polfläche der den Anker einfangenden Spule die an dieser anliegende Spannung auf einen vorgebbaren Maximalwert begrenzt (d.h. im wesentlichen reduziert) wird, so daß der durch die Spule fließende Strom während eines Teils der Zeit der Spannungsbegrenzung abfällt. In dieser besagten Schrift ist ferner noch davon  
35 die Rede, daß das Ausmaß der Spannungsbegrenzung bzw. Spannungsreduzierung in einem Kennfeld festgelegt sein kann, wobei zu vermuten ist, daß die entsprechenden Werte und insbesondere auch der jeweilige Zeitpunkt, zu welchem diese Spannungsreduzierung einsetzen soll, auf experimentellem Wege bestimmt werden müssen.

**[0011]** Demgegenüber weitere Verbesserungen aufzuzeigen, ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, d.h. es soll ein einfach praktikables und dabei effizientes Verfahren zur Reduzierung der Auftreffgeschwindigkeit eines Ankers eines  
40 elektromagnetischen Aktuators nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 aufgezeigt werden.

Die Lösung dieser Aufgabe ist dadurch gekennzeichnet, daß sich an die Fangphase des Fangvorganges eine Bremsphase anschließt, in welcher bis zum Auftreffen des Ankers auf die Spule an diese eine getaktete elektrische Spannung angelegt wird, wobei die jeweiligen Schalt-Zeitpunkte und das Spannungs-Taktverhältnis von einem Regler anhand  
45 einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie bestimmt werden. Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche, dabei wird in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vom Regler zusätzlich zum Spannungs-Taktverhältnis auch das Vorzeichen des betragsmäßig konstanten Spannungswertes bestimmt, d.h. es wird getaktet entweder ein positiver oder ein negativer Spannungswert oder der Spannungswert „Null“ an die den Anker einfangende Spule angelegt.

**[0012]** Allgemein wird nach der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, die bekannte Stromregelung oder die ebenfalls bekannte (empirisch festzulegende) Spannungsreduzierung während des Fangvorganges durch eine Regelung zu  
50 ersetzen, welche während der sog. Bremsphase des Fangvorganges kurz vor einem Auftreffen des Ankers auf der ihn einfangenden Magnetspule an diese Spule geregelt elektrische Spannung anlegt, und zwar getaktet, wobei die jeweiligen Schalt-Zeitpunkte für das Abschalten und Zuschalten der elektrischen Spannung (sowie ggf. zusätzlich deren Vorzeichen) anhand einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie bestimmt werden.

**[0013]** Der Begriff „Trajektorie“ ist dem Fachmann für Regelungstechnik bekannt und beschreibt eine Bahnkurve eines mittels eines Reglers gesteuert zu bewegendes Objekt in einem Zustandsraum, im vorliegenden Fall also die  
55 Bahnkurve des Ankers zwischen den beiden Elektromagnetspulen. Bevorzugt enthält dabei diese Soll-Trajektorie über bzw. in Abhängigkeit von der Zeit (wie üblich mit „t“ bezeichnet) Werte für die Position des Ankers (im folgenden auch

als „Wegordinate“ bezeichnet), für dessen Geschwindigkeit und für die Beschleunigung des Ankers, d.h. es handelt es sich quasi um eine einfache Wertetabelle, die entweder fix in einem geeigneten Steuergerät abgelegt sein kann oder in Abhängigkeit von aktuellen Randbedingungen auf später noch näher erläuterte Weise jeweils individuell berechnet werden kann. Dabei hat sich sowohl durch Versuche als auch durch Berechnungen gezeigt, daß es ausreicht, eine derartige Soll-Trajektorie für die Regelung nur in der genannten Bremsphase vorzusehen, da sich zum Zeitpunkt der Aktivierung der Regelung der sich noch in der Fangphase bewegende Anker stets in einem derartigen Zustand befindet, in welchem dessen Position (d.h. die Wegordinate), dessen Geschwindigkeit sowie die Beschleunigung des Ankers in einem im wesentlichen konstanten Verhältnis zueinander stehen (zumindest im Rahmen der für den beschriebenen Anwendungsfall geforderten Bedingungen).

**[0014]** In **Figur 2** ist das entsprechende Regelungskonzept als Blockschaltbild dargestellt, wobei der Regler die Bezugsziffer 10 trägt, und die Regelung anhand der Signale einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie 20 erfolgt, und wobei der Regler 10 ferner Signale eines der Solltrajektorie 20 nebengeordneten Beobachters 11 verarbeitet. Die Ausgangsgröße des Regelungskonzeptes bzw. des Reglers 10 ist die an der jeweils den Anker 4d (vgl. hierzu **Figur 1**) einfangenden Spule 4a bzw. 4b angelegte bzw. anliegende elektrische Spannung U. Diese Spannung U hat bevorzugt einen betragsmäßig konstanten Wert und wird vom Regler 10 zeitlich getaktet an die jeweilige Spule 4a bzw. 4b angelegt, wobei der Regler 10 weiterhin das Vorzeichen der elektrischen Spannung bestimmen kann, d.h. es wird getaktet entweder ein positiver oder ein negativer Spannungswert oder der Spannungswert „Null“ an die den Anker 4d einfangende Spule 4a oder 4b angelegt.

**[0015]** Dabei ist die dem Hubverlauf des Hubventiles 1 bzw. Ankers 4d entsprechende Position des Ankers 4d zwischen den Spulen 4a, 4b durch die Wegordinate z - diese wird auf geeignete Weise gemessen - eine Eingangsgröße des hier beschriebenen Regelungskonzeptes, welche vom Beobachter 11 weiter verarbeitet wird. Der Einfachheit halber wird dabei im folgenden die Position des Ankers direkt mit „z“ bezeichnet, ohne den erklärenden Begriff „Wegordinate“ zu verwenden.

Aus dieser Wegordinate bzw. Anker-Position z ist im übrigen durch einmalige bzw. zweimalige Ableitung über der Zeit t die Bewegungsgeschwindigkeit  $\dot{z}$  des Ankers sowie die Anker-Beschleunigung  $\ddot{z}$  schätzbar bzw. ermittelbar. Der Wert z sowie die daraus abgeleiteten Größen  $\dot{z}$ ,  $\ddot{z}$  werden dabei vom Beobachter 11 ermittelt und als sog. Schätzwerte 21 dem Regler 10 mitgeteilt.

**[0016]** Im übrigen ist eine weitere Eingangsgröße des hier beschriebenen Regelungskonzeptes, die vom Beobachter 11 bei der Ermittlung der Schätzwerte 21 verarbeitet wird, der in den jeweiligen Spulen 4a, 4b (vgl. **Fig. 1**) ermittelte Stromfluß I (und zwar als Folge der angelegten Spannung U).

**[0017]** Die im folgenden erläuterte **Figurenfolge 3a, 3b, 3c, 3d** zeigt die einzelnen Phasen der erfindungsgemäßen Regelung während der Fangvorganges des Ankers 4d durch eine der beiden Spulen 4a, 4b bei einem System nach **Figur 1**:

Jeweils über der Zeit t ist dabei im oberen Diagramm (**Fig.3a**) die an die den Anker einfangende Elektromagnet-Spule angelegte elektrische Spannung U aufgetragen, während im zweiten Diagramm (**Fig.3b**) die zugehörige Wegordinate z des Ankers 4d (d.h. die Ankerposition z, die Werte zwischen  $z = 0$  und  $z = z_{\max}$  annimmt) dargestellt ist. In **Fig.3a** sind dabei die einzelnen erfindungsgemäßen Phasen, nämlich die Fangphase FP, die Bremsphase BP und die nach dem Auftreffen des Ankers auf der Spule folgende Haltephase HP gekennzeichnet.

**[0018]** Was nun den Start der Fangphase FP zum Zeitpunkt  $t_1$  betrifft, zu welchem die den Anker einfangende Spule mit elektrischer Spannung U beaufschlagt wird, so kann dieser Einschaltzeitpunkt  $t_1$  grundsätzlich innerhalb gewisser Grenzen frei gewählt werden; es muß hierbei lediglich sichergestellt sein, daß der Anker 4d überhaupt noch eingefangen werden kann. Der Einfachheit halber wird hier vorgeschlagen, daß die Spannung U dann eingeschaltet wird, wenn die Ankerposition z einen bestimmten wählbaren Schwellwert überschreitet. Grundsätzlich kann dieser Schwellwert auch variabel sein, wodurch zusätzliche Randbedingungen wie z.B. unterschiedliche auf das zu bewegende Hubventil 1 einwirkende äußere Kräfte (wie insbesondere Gaskräfte) in unterschiedlichen Betriebspunkten der Brennkraftmaschine berücksichtigt werden können.

**[0019]** Erfindungsgemäß und wie in **Fig. 3a** dargestellt unterteilt der Regler 10 den gesamten Fangvorgang des Ankers 4d in zwei Phasen, nämlich:

- erstens eine Fangphase FP, und
- zweitens eine sich daran anschließende Bremsphase BP.

An die letztgenannte schließt sich (nach dem Auftreffen des Ankers 4d auf der jeweiligen Spule 4a bzw. 4b) als drittes die übliche Haltephase HP an, in welcher der Anker 4d, nachdem er sicher auf die jeweilige Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b aufgetroffen ist, an dieser gehalten wird. Hierzu wird auf Haltestromregelung umgeschaltet, was wie dargestellt durch eine getaktete Beaufschlagung der jeweiligen Spule 4a, 4b mit der (gleichwertigen) elektrischen Spannung U erfolgt.

**[0020]** Zurückkommend zur erfindungswesentlichen Bremsphase BP wird in dieser nach der bekannten Fangphase

FP zum Zeitpunkt  $t_2$  zunächst die Spannungsversorgung der jeweiligen, den Anker 4d einfangende Spule 4a bzw. 4b unterbrochen, wodurch diese Bremsphase BP gestartet wird, in welcher dann die betragsmäßig konstante elektrische Spannung  $U$  getaktet und bevorzugt vorzeichenvariabel an die betreffende Spule 4a, 4b angelegt (und somit ein Stromfluß  $I$  initiiert) wird. Die jeweiligen Zeitpunkte für das Abschalten und Zuschalten der betragsmäßig konstanten Spannung  $U$  (d.h. das sog. Spannungs-Taktverhältnis) sowie hier zusätzlich das Vorzeichen der Spannung  $U$  (d.h. die Auswahl zwischen einem negativen oder einem positiven Spannungswert) werden dabei vom Regler 10 bestimmt.

**[0021]** Die Funktion des Reglers 10 läßt sich nun wie folgt beschreiben:

Zur Erzielung einer gewünschten Reduktion seiner Auftreffgeschwindigkeit auf der jeweiligen ihn einfangenden Spule 4a bzw. 4b muß der Anker 4d (vgl. Fig.1) bereits in seiner Flugphase, d.h. vor dem eigentlichen Auftreffen, geregelt abgebremst werden, und zwar in der sog. Bremsphase BP. Allerdings sollte diese Bremsphase BP die Öffnungs- und Schließzeit des vom Aktuator 4 betätigten Brennkraftmaschinen-Hubventiles 1 nicht mehr als nötig verlängern.

**[0022]** Für den Entwurf eines diesen Anforderungen gerecht werdenden Reglers 10 sind nun geeignete Zustandsgrößen für die Ankerbewegung auszuwählen. Bevorzugt wird hier neben der Ankerposition  $z$  und der Anker-Geschwindigkeit  $\dot{z}$ , die durch sich grundsätzlich durch zeitliche Differenzierung der Ankerposition  $z$  ermitteln läßt, die Ankerbeschleunigung  $\ddot{z}$  als dritte Zustandsgröße gewählt, da sie als direkte Ableitung der Ankergeschwindigkeit  $\dot{z}$  ebenfalls eine leicht interpretierbare Größe darstellt. Prinzipiell kann die Regelung aber auch mit anderen Zustandsgrößen aufgebaut werden.

**[0023]** Während der Bremsphase BP kann nun der Regler 10 zur Ausführung seiner gewünschten Funktion, nämlich den Anker 4d möglichst weich und ruckfrei auf der jeweiligen ihn einfangenden Elektromagnet-Spule 4a, 4b aufsetzen zu lassen, auf eine sogenannte Solltrajektorie 20 zurückgreifen, welche in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  miteinander korrelierende Werte für die Position  $z$ , die Geschwindigkeit  $\dot{z}$ , sowie die Beschleunigung  $\ddot{z}$  des Ankers 4d enthält. Bei dieser Solltrajektorie 20 handelt es sich somit um nichts anderes als um eine Wertetabelle von Soll-Werten, die in Fig.2 vereinfacht dargestellt ist.

**[0024]** Falls nun bei Betrieb des elektromagnetischen Aktuators 4 die tatsächlichen Ist-Werte für die Position  $z$ , die Geschwindigkeit  $\dot{z}$ , sowie die Beschleunigung  $\ddot{z}$  des Ankers 4d zu stark von den Soll-Werten abweichen, so korrigiert dies der Regler 10 durch geeignetes Zu- oder Abschalten der Spannung  $U$  (inklusive einer ggf. erforderlichen Variation von deren Vorzeichen). Die detaillierte Auslegung des Reglers 10 kann dabei durch verschiedene Verfahren der linearen und nichtlinearen Regelungstheorie erfolgen und soll hier nicht näher behandelt werden.

**[0025]** Was nun die Ermittlung dieser Wertetabelle bzw. der Solltrajektorie 20 betrifft, so wird vorgeschlagen, diese unter anderem aus der Randbedingung, daß die Beschleunigung  $\ddot{z}$  des Ankers 4d zum Zeitpunkt des Auftreffens auf der jeweiligen Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b den Wert „Null“ haben soll, zu berechnen. In anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, daß der Anker 4d ruckfrei auf die Spule 4a bzw. 4b auftrifft. Weitere Randbedingungen sind selbstverständlich die definierte Position des Ankers 4d beim Auftreffen (nämlich  $z = z_{\max}$ ), sowie der dann geltende Wert der Anker-Geschwindigkeit  $\dot{z} = 0$  (Null).

**[0026]** Für die weiteren Erläuterungen wird nun auf **Figuren 3b, 3c, 3d** verwiesen. Hier sind abermals über der Zeit  $t$  die Position  $z$  (Fig.3b), die (gewünschte) Anker-Geschwindigkeit  $\dot{z}$  (Fig.3c), sowie die (gewünschte) Anker-Beschleunigung  $\ddot{z}$  (Fig.3d) jeweils in der Endphase der Ankerbewegung, d.h. vor dem Auftreffens des Ankers 4d auf der ihn einfangenden Spule 4a bzw. 4b aufgetragen. Dargestellt ist dabei im wesentlichen der Zeitraum zwischen  $t_2$  (dies ist der Endpunkt der Fangphase FP, zu welchem die Konstant-Spannung abgeschaltet und der eigentliche Regelvorgang gestartet wird) und dem Aufsetzzeitpunkt  $t_4$ , d.h. dargestellt ist im wesentlichen die Bremsphase BP.

**[0027]** Linksseitig von  $t_2$  liegt somit die Fangphase FP, in welcher sich der Anker 4d auf die ihn einfangende Spule zubewegt, wobei - wie ersichtlich - die Beschleunigung  $\ddot{z}$  in dieser Fangphase FP nicht nur abnimmt, sondern sogar bereits negative Werte annimmt, da mit dieser Annäherungsbewegung bspw. an die Spule 4a die zugehörige Rückstellfeder 2b (vgl. Fig.1) gespannt wird, d.h. der Anker 4d wird in seiner Fluggeschwindigkeit  $\dot{z}$  durch diese Rückstellfeder 2b bereits abgebremst.

**[0028]** Zum Zeitpunkt  $t_2$  setzt nun der eigentliche Regelungsvorgang ein, d.h. die Bremsphase BP wird gestartet. Diese Bremsphase BP soll nun durch den Regler 10 in idealer Weise derart gestalten werden, daß ein sanftes Aufsetzen des Ankers 4d auf der Spule 4a (bzw. 4b) erfolgt, d.h. im Aufsetzzeitpunkt  $t_4$  muß die Beschleunigung  $\ddot{z}$  wieder vom Wert „Null“ sein.

**[0029]** Wie das  $\ddot{z}$ - $t$ -Diagramm von Fig.3d zeigt, läßt sich dieser ideale und somit gewünschte Beschleunigungsverlauf zwischen einem Zeitpunkt  $t_3$  (dieser liegt später als  $t_2$ ) und dem Aufsetzzeitpunkt  $t_4$  sehr gut durch eine Gerade und zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  durch eine Parabel annähern. Für  $t_3 < t_4$  gelten daher die folgenden Zusammenhänge:

$$\ddot{z}(t) = j \cdot (t_4 - t)$$

$$\dot{z}(t) = j/2 \cdot (t_4 - t)^2$$

$$z(t) = j/6 \cdot (t_4 - t)^3 + z_e$$

Die Formeln für  $\dot{z}(t)$  und für  $z(t)$  ergeben sich dabei aus einer zeitlichen Integration der Beschleunigung  $\ddot{z}(t)$  unter Berücksichtigung der relevanten Randbedingungen, wobei „j“ eine Konstante ist.

**[0030]** Weiterhin werden für  $t_2 < t < t_3$  die folgenden Zusammenhänge angesetzt:

$$\ddot{z}(t) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot t + \alpha_2 \cdot t^2$$

$$\dot{z}(t) = \dot{z}_0 + \alpha_0 \cdot t + \alpha_1/2 \cdot t^2 + \alpha_2/3 \cdot t^3$$

$$z(t) = z_0 + \dot{z}_0 \cdot t + \alpha_0/2 \cdot t^2 + \alpha_1/6 \cdot t^3 + \alpha_2/12 \cdot t^4$$

Die Konstanten  $z_0$ ,  $\dot{z}_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  sind dabei aus den Stetigkeitsbedingungen für  $\ddot{z}$ ,  $\dot{z}$  und  $z$  zum Zeitpunkt  $t_3$  zu bestimmen, wobei zwei von diesen Konstanten frei gewählt werden können. Bevorzugt können die Werte für  $\alpha_0$  sowie die Lage des Scheitelpunktes der besagten Parabel (beim Zeitpunkt  $t_s$ ) innerhalb gewisser Grenzen beliebig gewählt werden.

**[0031]** Dabei sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es nicht unbedingt erforderlich ist, die besagte Solltrajektorie so wie hier durch jeweils ein Stück einer Geraden sowie einer Parabel darzustellen. Genausogut können andere mathematisch-geometrische Funktionen, wie bspw. Polynome, eine Sinusfunktion oder ähnliches verwendet werden.

**[0032]** Wie sich aus der bisherigen Beschreibung ergibt, benötigt der Regler 10 für die Durchführung seiner Funktion drei Zustandsgrößen und zwar bevorzugt die Anker-Position  $z$ , die Bewegungsgeschwindigkeit  $\dot{z}$  des Ankers 4d sowie die Anker-Beschleunigung  $\ddot{z}$ . Grundsätzlich ist es möglich, diese Zustandsgrößen über geeignete Sensoren zu messen. Um jedoch Sensoren einzusparen oder kostspielige Sensoren durch kostengünstige Sensoren zu ersetzen, können zumindest zwei dieser Zustandsgrößen auch durch einen sog. Beobachter 11 rekonstruiert werden, der in Zusammenhang mit Fig.2 bereits kurz angesprochen wurde.

**[0033]** In diesem Beobachter 11 ist dem Aktuator 4 ein Aktuatormodell parallel geschaltet, das mit einer für den Aktuator 4 wesentlichen Ist-Größe, nämlich mit der Größe des in der jeweilige Spule 4a, 4b festgestellten Stromflusses  $I$  gespeist wird. In diesem Beobachter 11 kann die auf dieser Basis geschätzte Ankerposition mit der tatsächlichen gemessenen und dem Beobachter 11 zusätzlich als Eingangsgröße übermittelten Ankerposition  $z$  verglichen werden, und die Differenz hieraus kann dann über eine Korrekturfunktion auf die Größen bzw. sog. Zustandsgrößen des Aktuatormodells zurückgekoppelt werden. Bei einem Modellfehler oder bei einer fehlerhafter Schätzung der Anfangszustände gleicht der Beobachter 11 aufgrund der darin enthaltenen Korrekturfunktion die geschätzten Werte für (hier) die Anker-Position  $z$ , die Bewegungsgeschwindigkeit  $\dot{z}$  des Ankers 4d sowie die Anker-Beschleunigung  $\ddot{z}$  den tatsächlichen Werten hierfür an. (Dabei sei nochmals darauf hingewiesen, daß abweichend von der vorliegenden Erläuterung alternativ zu den genannten Werten  $z$ ,  $\dot{z}$ ,  $\ddot{z}$  auch andere geeignete Größen bzw. Zustandsgrößen zur Charakterisierung des Aktuatorzustandes herangezogen werden können.)

Die Auslegung der soeben genannten Korrekturfunktion kann dabei durch verschiedene Verfahren der linearen oder nichtlinearen Regelungstheorie erfolgen und soll hier nicht näher behandelt werden.

**[0034]** Ehe vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung beschrieben werden, werden zunächst im folgenden die signifikanten Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens, resultierend aus der Verwendung des auf eine Solltrajektorie zurückgreifenden Reglers 10, zusammengefaßt:

Die vorgeschlagene vollständige Zustandsrückführung ermöglicht prinzipiell die Darstellung beliebig niedriger Auftreffgeschwindigkeiten des Ankers 4d auf der jeweiligen Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b.

Insbesondere ist es möglich, daß der Anker 4d ruckfrei (d.h. mit einer Beschleunigung  $\ddot{z}$  vom Wert „Null“ auf die jeweilige Spule auftrifft, so daß die Geräuschbildung durch dieses Auftreffen im Zeitpunkt  $t_4$  minimiert wird.

Durch die vorab oder in einer geeigneten Steuerelektronik im Hintergrund berechnete Solltrajektorie wird der Echtzeit-Rechenaufwand während des eigentlichen Regelungsvorganges gering gehalten.

Dabei erlaubt die Berechnung der Solltrajektorie beim genannten bevorzugten Anwendungsfall eine Adaption während des Betriebs der Brennkraftmaschine, und zwar in Abhängigkeit von deren aktuellem Betriebszustand, wie bspw. Drehzahl, Lastmoment, Temperatur, Verschleiß und mehr.

Ferner wird das Problem der Messung aller benötigten Größen durch den Einsatz des Beobachters 11 basierend auf den Meßgrößen Ventilhub bzw. Ankerposition  $z$  und Spulenstrom  $I$  gelöst.

**[0035]** Im folgenden wird nun ein derartiges Verfahren zur Bewegungssteuerung eines Aktuatorankers für die Betätigung eines Brennkraftmaschinen-Hubventiles im Hinblick auf die Erzielung weiterer Möglichkeiten ergänzt. Demzufolge sind verschiedene Solltrajektorien für unterschiedliche Bewegungsabläufe des Ankers und/oder des Gaswechsel-Hubventiles vorgesehen. Dabei wird für die weitere Beschreibung die sog. Solltrajektorie bildlich vereinfacht alleine durch den gewünschten Bewegungsablauf des des Ankers 4d dargestellt und mit der Bezugsziffer 20 bzw. 20a, 20b,

20c, .... bezeichnet.

**[0036]** Mit einer solchen Weiterbildung ist es somit möglich, den Anker 4d sowie das Hubventil 1 nicht nur in gewünschter Weise in deren jeweilige Endpositionen zu überführen, sondern es sind daneben noch weitere Bewegungsabläufe der genannten Elemente umsetzbar. Beispiele für mögliche weitere Bewegungsabläufe sind in Form von - wie bereits erwähnt vereinfacht dargestellten - Solltrajektorien 20a, 20b, 20c in den **Figuren 4, 5** gezeigt, wobei jeweils über der Zeit  $t$  der Verlauf der Wegkoordinate  $z$  des Ankers 4d ähnlich der Darstellung der Solltrajektorie 20 in **Figur 1** abgebildet ist.

**[0037]** So kann neben einer das Hubventil 1 in seine vollständig geöffnete Position führenden Solltrajektorie 20a (vgl. **Fig.4**) zumindest eine in **Figur 5** gezeigte, das Hubventil 1 nur teilweise öffnende Solltrajektorie 20b vorgesehen sein.

Dabei unterscheidet sich die Darstellung nach **Figur 5** von derjenigen der **Figuren 1, 4** dadurch, daß in **Fig.5** eine Öffnungs- und eine Schließbewegung des Hubventiles 1 gezeigt ist, d.h. die Zeitachse ( $t$ ) erstreckt sich über eine längere Zeitspanne als in den **Figuren 1, 4**. Bevorzugt kann dabei (wie dargestellt) das Hubventil 1 durch die dieses nur teilweise öffnende Solltrajektorie 20b nahe seiner Schließposition gehalten werden, d.h. die Wertänderung der Wegkoordinate  $z$  des das Hubventil 1 betätigenden Ankers 4d ist relativ gering, so daß ausgehend vom geschlossenen Hubventil 1 bzw. ausgehend von  $z=z_1$  (d.h. der Anker 4d liegt an der Schließer-Spule 4a an) lediglich der geringe Anker-Hub  $z=z_3$  bzw. die Wegkoordinate  $z_3$  erreicht wird.

**[0038]** Mit einer derartigen Solltrajektorie 20b kann seitens des genannten Reglers somit eine Schwebeposition des Ankers 4d in einer quasi fiktiven Endlage eingestellt werden, in welcher der Anker 4d zumindest geringfügig von der ihn zuvor freigebenden Schließer-Spule 4a beabstandet bleibt. Somit wird bspw. bei einer Öffnungsbewegung des Hubventiles 1 nicht die Öffner-Spule 4b (vgl. hierzu auch **Fig.1**), sondern eine fiktive Endlage, nämlich  $z=z_3$  des Ankers 4d in der Nähe der Schließer-Spule 4a angefahren, die bspw. einem minimalen Ventilhub des Hubventiles 1 von ca. 1 mm bis 2 mm entspricht. Wird der Anker 4d und somit das Hubventil 1 in einer derartigen Position (bspw.  $z_3$ ) in der Schwebe gehalten, so führt dies bei der dementsprechenden Betätigung eines Brennkraftmaschinen-Einlaßventiles zu einer verbesserten Gemischaufbereitung und im Falle einer Betätigung des Brennkraftmaschinen-Auslaßventiles zur Optimierung der Ladungsbewegung, wie dies dem Fachmann für Brennkraftmaschinen grundsätzlich bekannt ist.

**[0039]** Weiterhin kann insbesondere für den Schließvorgang des Hubventiles 1 eine den Anker 4d zumindest kurzfristig geringfügig von der entsprechenden Elektromagnetspule bzw. Schließer-Spule 4a beabstandet haltende Solltrajektorie 20c vorgesehen sein. Wie **Figur 4** zeigt, soll hierbei wieder ausgehend von  $z=z_0$  zunächst ein Anfahren einer ersten Quasi-Endlage des Ankers 4d erfolgen, die durch  $z=z_2$  definiert ist und in welcher der Anker 4d zumindest geringfügig von der ihn einfangenden Spule 4a beabstandet bleibt, wonach eine zweite Anker-Endlage angefahren wird, die dessen mechanischer Endlage, nämlich  $z=z_1$  entspricht. Hiermit ist quasi ein elektronischer Ventilspielausgleich im Hubventiltrieb der Brennkraftmaschine möglich. Demzufolge wird bei einem Schließvorgang des Brennkraftmaschinen-Hubventiles 1 der Anker 4d zunächst zur Position  $z_2$  hinbewegt, die dem Aufsetzen des Hubventils 1 auf seinem Ventil Sitz 30 (vgl. **Fig.1**) entspricht. Anschließend daran wird der Anker 4d in die Position  $z_1$  bewegt, die seiner eigenen mechanischen Endlage entspricht, in welcher er also an der Schließer-Spule 4a zum Anliegen kommt.

Im übrigen kann dann bei einem darauffolgenden Öffnen des Hubventils 1 zunächst eine erste Quasi-Endlage des Ankers 4d entsprechend dem Ventilspiel (d.h. abermals die Position  $z=z_2$ ) angefahren werden und anschließend daran eine zweite Endlage, die der mechanischen Endlage des Ankers 4d an der Öffner-Spule 4b entspricht (nämlich  $z=z_0$ ), so daß der Anker 4d aufgrund bzw. nach Überwindung des Ventilspieles in der Position  $z_2$  möglichst sanft auf den Schaft des Hubventiles 1 auftrifft.

**[0040]** Statt der mechanischen Endlagen des Ankers 4d an den Elektromagnetspulen 4a, 4b können im übrigen generell fiktive oder sog. Quasi-Endlagen des Ankers 4d (zwischen  $z_0$  und  $z_1$  liegend) angefahren werden, d.h. es sind hier figürlich nicht dargestellte Solltrajektorien vorgesehen, die das Hubventil 1 bspw. in dessen Endpositionen bewegen und dabei den Anker 4d von der jeweiligen Elektromagnetspule 4a oder 4b beabstandet halten. Hierdurch wird somit eine sog. Schwebeposition des Ankers 4d in einer fiktiven oder Quasi-Endlage eingestellt, in welcher der Anker 4d zumindest geringfügig von der ihn einfangenden Spule 4a bzw. 4b beabstandet bleibt. Somit wird anstelle der mechanischen Endlage des Ankers 4d beim Öffnen und/oder beim Schließen des Hubventiles 1 eine fiktive Endlage vor der jeweiligen Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b angefahren, und der Anker in dieser Zwischenposition durch den eingangs genannten, die entsprechende Solltrajektorie verarbeitenden Regler in der Schwebe gehalten. Da dann kein Auftreffen des Ankers 4d auf der jeweiligen Spule 4a bzw. 4b stattfindet, wird hierdurch die Geräuschentwicklung im Ventiltrieb erheblich reduziert.

**[0041]** Wie bereits eingangs erläutert, werden diese verschiedenen Solltrajektorien 20, 20a, 20b, 20c, .... in einem elektronischen Regler verarbeitet, der eine dementsprechende Beaufschlagung der jeweiligen Elektromagnetspule 4a und/oder 4b mit einem geeigneten Spannungs-Taktverhältnis veranlaßt. Um eine hohe Robustheit dieses Reglers zu gewährleisten, werden sämtliche vorgesehenen Solltrajektorien 20, .... als eine Menge von Betriebszuständen definiert, in denen das geregelte System, nämlich der elektromagnetische Ventiltrieb für das Gaswechsel-Hubventil 1, das gewünschte Verhalten aufweist. Nun muß dafür gesorgt werden, daß dieses betrachtete System entsprechend der jeweils gewünschten Solltrajektorie in den gewünschten Betriebszustand gebracht wird und diesen bis zum Abschluß

des jeweiligen Bewegungsablaufes auch nicht mehr verläßt. Dies kann unter geeigneten Voraussetzungen durch ein unstetiges Stellsignal analog zu einem Zweipunktregler erreicht werden. Unter gewissen Voraussetzungen können die gewünschten Betriebszustände unabhängig von Abweichungen oder Störungen gewählt werden, so daß das geregelte System weitgehend unabhängig von Abweichungen und Störungen ist.

5 **[0042]** Im folgenden die signifikanten Vorteile dieses Verfahrens zusammengestellt, welches einen auf verschiedene Solltrajektorien 20, 20a, 20b, 20c, .... zurückgreifenden Reglers verwendet:

Die vorgeschlagene vollständige Zustandsrückführung ermöglicht bereits prinzipiell die Darstellung beliebig niedriger Auftreffgeschwindigkeiten des Ankers 4d auf der jeweiligen Elektromagnet-Spule 4a bzw. 4b. Wenn jedoch der Anker 4d überhaupt nicht mehr auf den jeweiligen Spulen 4a, 4b aufsetzt, verschwindet das damit verbundene Aufsetzgeräusch vollständig. Weiterhin werden die durch das Aufsetzen ansonsten verursachten Verschleißerscheinungen weitgehend eliminiert.

Innerhalb gewisser Grenzen, die u.a. auch durch die Rückstellfedern 2a, 2b und durch die magnetische Auslegung insgesamt bestimmt werden, kann der Hub des Aktuators 4 und somit auch des Hubventiles 1 beliebig eingestellt und für jeden einzelnen Öffnungs- und Schließvorgang verändert werden.

15 **[0043]** Schließlich kann auf den ansonsten bei einem mechanischen Brennkraftmaschinen-Hubventiltrieb erforderlichen hydraulischen Ventilspielausgleich verzichtet und das (vorhandene, da stets erforderliche) Ventilspiel elektromagnetisch ausgeglichen werden.

**[0044]** Allgemein ausgedrückt wurde bisher beschrieben, daß der Anker des elektromagnetischen Aktuators hinsichtlich seiner Bewegung derart gesteuert wird, daß die an der dem Anker näherliegenden und folglich bestromten Spule anliegende elektrische Spannung getaktet geregelt wird und das Spannungs-Taktverhältnis von einem Regler anhand einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie bestimmt wird. Dabei können der Regler und/oder die Solltrajektorien an unterschiedliche Betriebszustände der Brennkraftmaschine angepaßt sein. Es wurde auch bereits erwähnt, daß die Berechnung der Solltrajektorie eine Adaption auch während des Betriebs der Brennkraftmaschine erlaubt, und zwar in Abhängigkeit von deren aktuellen Betriebszustand, wie bspw. Drehzahl, Lastmoment, Temperatur, Verschleiß und mehr. Tatsächlich hängt nämlich das dynamische Verhalten des Aktuators insbesondere aufgrund der auf das Gaswechsel-Hubventil einwirkenden Gaskräfte wesentlich vom Lastzustand und von der Drehzahl der Brennkraftmaschine ab. Außerdem können Änderungen der Bauteil-Temperaturen und insbesondere der Temperatur des Brennkraftmaschinen-Schmieröles sowie allgemein Verschleißerscheinungen zu einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Aktuators führen.

20 **[0045]** Im folgenden wird nun aufgezeigt, wie zumindest eine der genannten Anpassungen auf besonders effiziente Weise durchgeführt werden kann. Demnach kann insbesondere die Anpassung an unterschiedliche Brennkraftmaschinen-Betriebszustände hinsichtlich ihrer Art vorab anhand eines numerischen Optimierungsalgorithmus erfolgen und in einer elektronischen Steuereinheit abgelegt sein. Ferner kann eine zusätzliche Anpassung des Reglers und/oder der Solltrajektorien an sich ändernde äußere Randbedingungen bei Betrieb der Brennkraftmaschine in einem zumindest zeitweise ablaufendem Hintergrundprozeß erfolgen.

**[0046]** Die Anpassung an unterschiedliche Brennkraftmaschinen-Betriebsbedingungen soll somit vorab erfolgen, so daß das Ergebnis dieser Anpassung in einer elektronischen Steuereinheit fix abgelegt werden kann. In Abhängigkeit vom aktuellen Betriebszustand der Brennkraftmaschine arbeitet dann der Regler mit der entsprechenden Anpassung bzw. greift auf eine diesem Betriebszustand angepaßte Solltrajektorie zurück. Die Tatsache der Vorab-Anpassung besagt dabei, daß diese Anpassung anhand von Simulationen und/oder anhand von Prüfstands-Messungen durchgeführt werden kann.

30 **[0047]** Grundsätzlich wird für diese Anpassung die Verwendung eines numerischen Optimierungsalgorithmus vorgeschlagen. Insbesondere soll der gesamte Regelungsprozeß für die Anker-Bewegung anhand zumindest eines geeigneten Gütekriteriums optimiert werden. Ein Beispiel für ein derartiges Gütekriterium ist die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf die ihn aktuell einfangende Elektromagnet-Spule, oder die Anker-Beschleunigung im Zeitpunkt des Auftreffens.

**[0048]** Insbesondere die Anpassung an sich ändernde Randbedingungen soll jedoch bei Betrieb der Brennkraftmaschine in einem zumindest zeitweise ablaufenden Hintergrundprozeß erfolgen. Hierbei ist sicherzustellen, daß von der entsprechenden elektronischen Steuereinheit eine ausreichende Rechenkapazität zur Verfügung gestellt wird um diese sog. laufende Adaption zu ermöglichen.

40 **[0049]** Durch die zusätzlich vorgeschlagenen Maßnahmen wird somit ein Betrieb der Regelung bzw. des Bewegungssteuerungs-Verfahrens für den Aktuator auch bei verschiedenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine sichergestellt. Darüberhinaus wird eine Veränderung der mechanischen Eigenschaften aufgrund äußerer Einflüsse in der Regelung berücksichtigt. Jedoch kann dies sowie eine Vielzahl weiterer Details durchaus abweichend von der obigen Beschreibung gestaltet sein, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen.

55

Bezugszeichenliste:

[0050]

5	1	Hubventil
	2a	Ventilschließfeder = (erste) Rückstellfeder
	2b	Ventilöffnungsfeder = (zweite) Rückstellfeder
	3	Ventilspielausgleichselement
	4	Aktuator
10	4a	Elektromagnet-Spule = Schließer-Spule
	4b	Elektromagnet-Spule = Öffner-Spule
	4c	Stößelstange
	4d	Anker
	10	Regler
15	11	Beobachter
	20	Solltrajektorie
	20a	Solltrajektorie für 4d, die 1 in die Schließposition bewegt
	20b	Solltrajektorie für 4d, die an 1 nur geringen Hub erzeugt
	20c	Solltrajektorie für 4d, die das Ventilspiel berücksichtigt
20	21	Beobachter
	30	Ventilsitz (von 1)
	BP	Bremsphase
	FP	Fangphase
	HP	Haltephase
25	I	Stromfluß in 4a, 4b
	U	elektrische Spannung an 4a, 4b
	t	Zeit
	$t_1$	Anfangszeitpunkt der Fangphase FP
	$t_2$	Endzeitpunkt der Fangphase = Anfangszeitpunkt der Bremsphase BP
30	$t_4$	Aufsetzzeitpunkt des Ankers auf der Spule
	z	Position des Ankers 4d = Wegkoordinate der Anker-Position
	$\dot{z}$	Bewegungsgeschwindigkeit des Ankers 4d
	$\ddot{z}$	Ankerbeschleunigung

35 **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Bewegungssteuerung eines Ankers (4d) eines elektromagnetischen Aktuators (4), insbesondere zur Betätigung eines Gaswechsel-Hubventiles (1) einer Brennkraftmaschine, wobei der Anker (4d) oszillierend zwischen zwei Elektromagnet-Spulen (4a, 4b) jeweils gegen die Kraft zumindest einer Rückstellfeder (2a, 2b) durch alternierende Bestromung der Elektromagnet-Spulen (4a, 4b) bewegt wird, und wobei mit einer Annäherung des Ankers (4d) an die zunächst bestromte Spule (4a oder 4b) während des sogenannten Fangvorganges die an der den Anker (4d) einfangenden Spule (4a, 4b) anliegende elektrische Spannung (U) reduziert wird, dadurch gekennzeichnet, daß sich an die Fangphase (FP) des Fangvorganges eine Bremsphase (BP) anschließt, in welcher bis zum Auftreffen des Ankers (4d) auf die Spule (4a, 4b) an diese getaktet elektrische Spannung (U) angelegt wird, wobei die jeweiligen Schalt-Zeitpunkte und das Spannungs-Taktverhältnis von einem Regler (10) anhand einer die Anker-Sollbewegung beschreibenden Solltrajektorie (20) bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß getaktet entweder ein betragsmäßig konstanter positiver oder negativer Spannungswert oder der Spannungswert „Null“ an die den Anker (4d) einfangende Spule (4a, 4b) angelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler (10) parallel zur Ankerbewegung ermittelte Schätzwerte (21) für diese mit der Solltrajektorie (20) vergleicht.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Solltrajektorie (20) über der Zeit Werte für den Hub (z), für die Geschwindigkeit ( $\dot{z}$ ) und für die Beschleunigung ( $\ddot{z}$ ) des Ankers (4d) enthält.

- 5
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Solltrajektorie (20) unter anderem aus der Randbedingung, daß die Beschleunigung ( $\ddot{z}$ ) des Ankers (4d) zum Zeitpunkt des Auftreffens auf der Elektromagnet-Spule (4a, 4b) den Wert „Null“ haben soll, berechnet wird.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß verschiedene Solltrajektorien (20a, 20b, 20c, ...) für unterschiedliche Bewegungsabläufe des Ankers (4d) und/oder des Gaswechsel-Hubventiles (1) vorgesehen sind.
- 15
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß neben einer das Hubventil (1) in seine vollständig geöffnete Position führenden Solltrajektorie (20a) zumindest eine das Hubventil (1) nur teilweise öffnende Solltrajektorie (20b) vorgesehen ist.
- 20
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Hubventil (1) durch die dieses nur teilweise öffnende Solltrajektorie (20b) nahe seiner Schließposition gehalten wird.
- 25
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für den Schließvorgang des Hubventiles (1) eine den Anker (4d) zumindest kurzfristig geringfügig von der entsprechenden Elektromagnetspule (4a) beabstandet haltende Solltrajektorie (20c) vorgesehen ist.
- 30
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Solltrajektorien (20) vorgesehen sind, die das Hubventil (1) in dessen Endpositionen bewegen und dabei den Anker (4d) von der jeweiligen Elektromagnetspule (4a oder 4b) beabstandet halten.
- 35
11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Regler (10) und/oder der Solltrajektorien (20a, 20b, 20c,...) an unterschiedliche Betriebszustände der Brennkraftmaschine angepaßt ist/sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Art der Anpassung anhand eines numerischen Optimierungsalgorithmus vorab erfolgt und in einer elektronischen Steuereinheit abgelegt ist.
- 40
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Regler (10) und/oder die Solltrajektorien (20a, 20b, 20c) zusätzlich an sich ändernde äußere Randbedingungen angepaßt wird/werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Anpassung bei Betrieb der Brennkraftmaschine in einem zumindest zeitweise ablaufendem Hintergrundprozeß erfolgt.
- 45
- 50
- 55

FIG.1

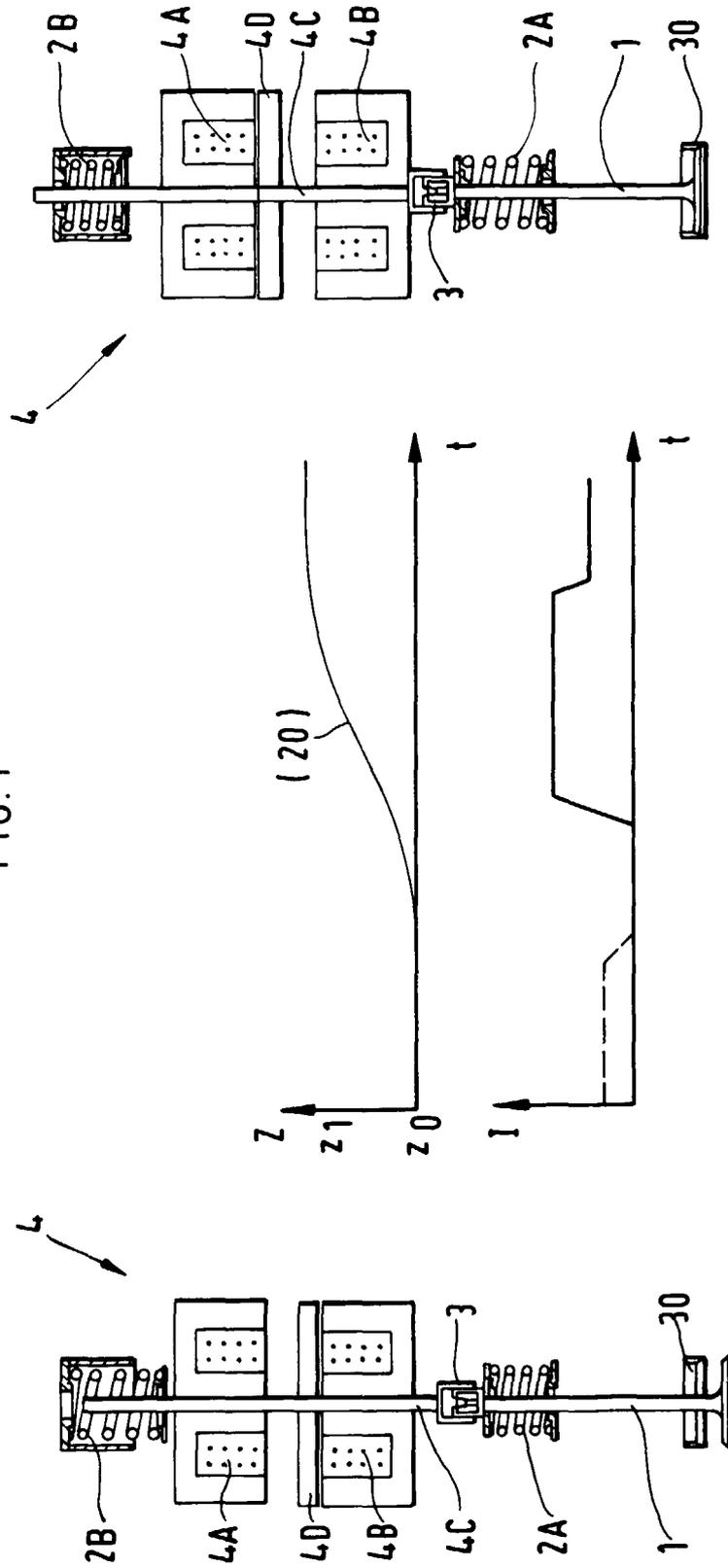
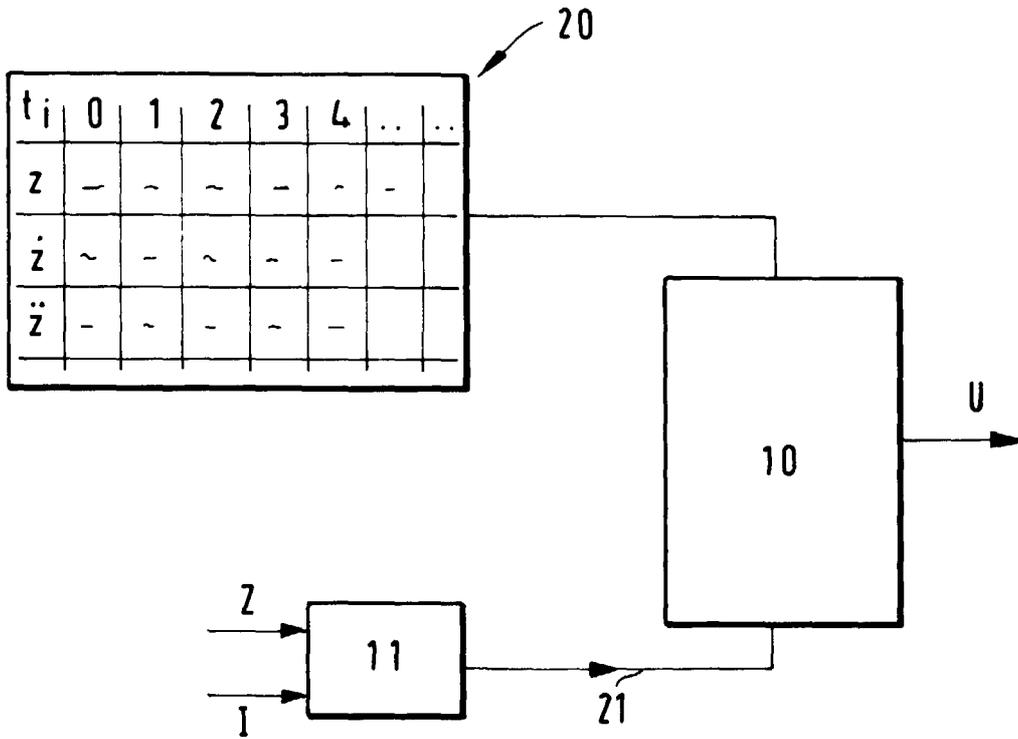


FIG. 2



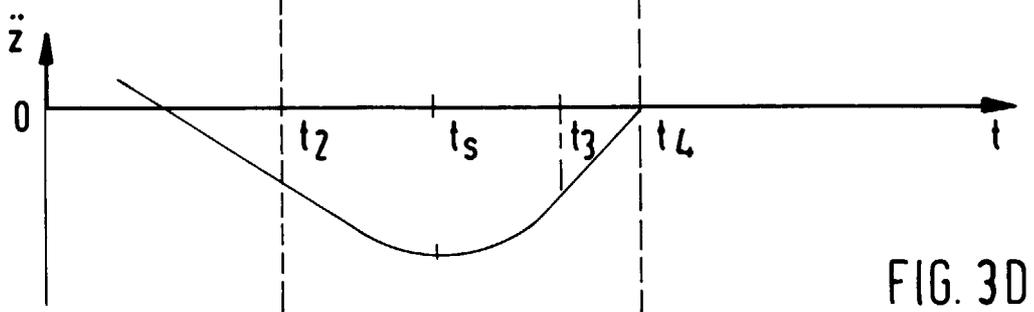
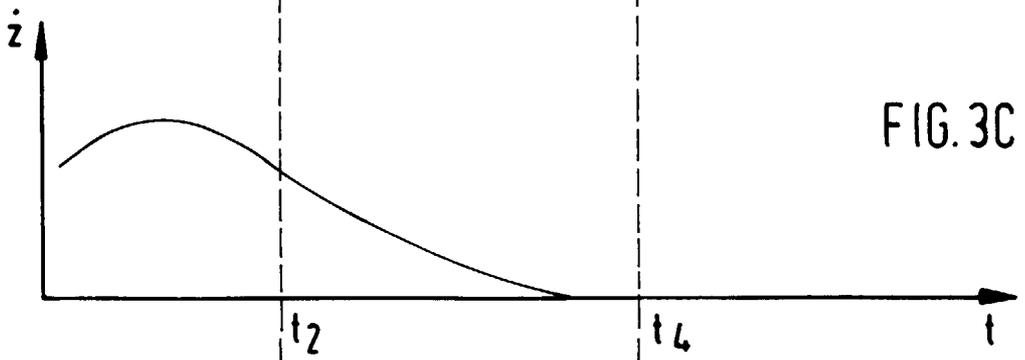
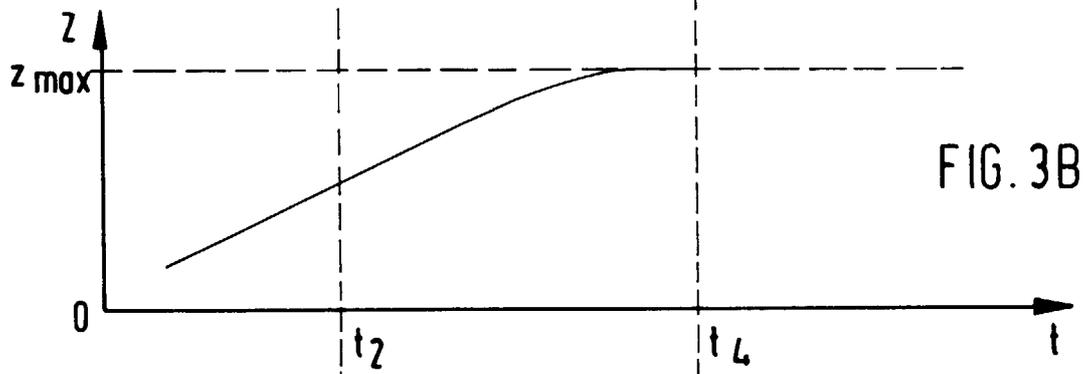
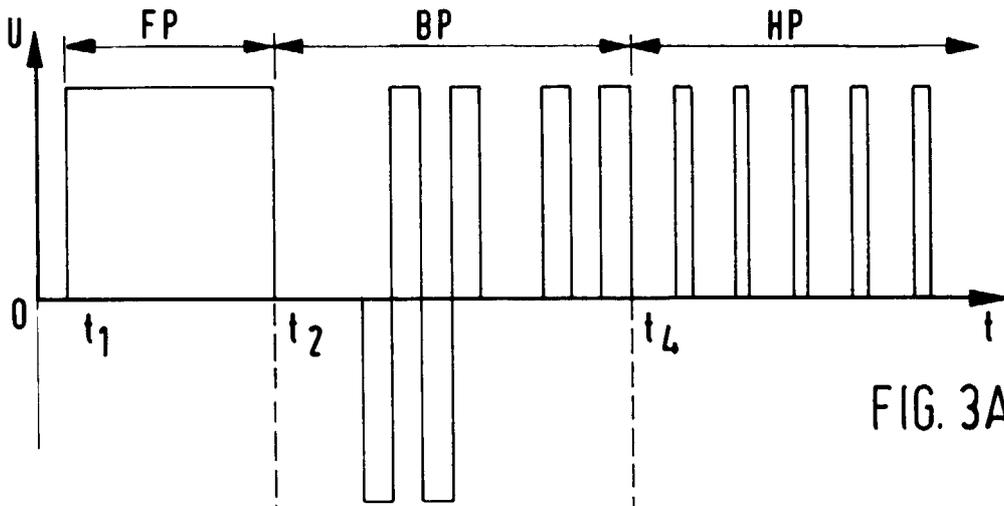


FIG. 4

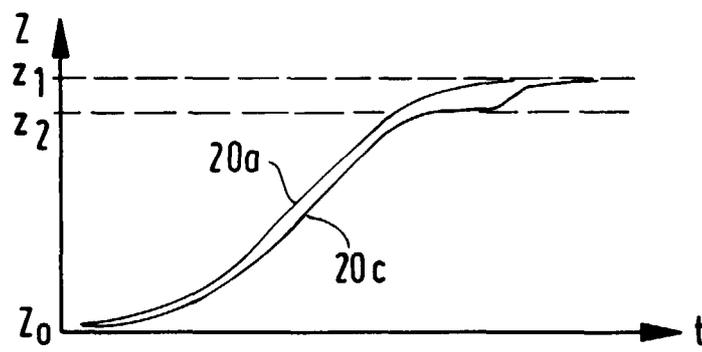


FIG. 5

