

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 101 016 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.09.2002 Patentblatt 2002/38

(21) Anmeldenummer: **00945689.8**

(22) Anmeldetag: **25.05.2000**

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

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP00/04772

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 00/073635 (07.12.2000 Gazette 2000/49)

(54) **VERFAHREN ZUR ENDLAGENANSTEUERUNG EINES DURCH EINEN ELEKTROMAGNETISCHEN AKTUATOR BETÄTIGTEN GASWECHSELVENTILS AN EINER KOLBENBRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD FOR CONTROLLING THE FINAL POSITION OF A GAS EXCHANGE VALVE ACTUATED BY AN ELECTROMAGNETIC ACTUATOR IN AN INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE

PROCEDE DE COMMANDE DE LA POSITION DE FIN DE COURSE D'UNE VALVE DE COMMUTATION DES GAZ ACTIONNEE PAR UN ACTUATEUR ELECTROMAGNETIQUE DANS UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

(30) Priorität: **27.05.1999 DE 19924374**
20.04.2000 DE 10019739

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.05.2001 Patentblatt 2001/21

(73) Patentinhaber: **FEV Motorentechnik GmbH**
52078 Aachen (DE)

(72) Erfinder:
• **KEMPER, Hans**
D-52080 Aachen (DE)
• **BOIE, Christian**
D-52064 Aachen (DE)

(74) Vertreter: **Langmaack, Jürgen et al**
Mathiaskirchplatz 5
50968 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 3 611 221 **DE-A- 19 651 846**
DE-A- 19 723 405 **DE-U- 29 703 585**
DE-U- 29 804 549

EP 1 101 016 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Ein elektromagnetischer Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine besteht im wesentlichen aus zwei mit Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten, deren Polflächen einander zugekehrt sind und zwischen denen ein auf das zu betätigende Gaswechselventil einwirkender Anker gegen die Kraft von wenigstens einer Rückstellfeder zwischen einer Offenstellung und einer Schließstellung für das Gaswechselventil hin und her bewegbar geführt ist. Einer der Elektromagneten dient hierbei als Schließmagnet, durch den das Gaswechselventil gegen die Kraft der Öffnerfeder in Schließstellung gehalten wird, während der andere Elektromagnet als Öffnermagnet dient, durch den das Gaswechselventil über den Anker gegen die Kraft der zugeordneten Schließfeder in Öffnungsstellung gehalten wird.

[0002] Die Anordnung ist hierbei so getroffen, daß in Ruhelage der Anker sich in einer Mittelstellung zwischen den beiden Polfläche befindet. Bei einer abwechselnden Bestromung der beiden Elektromagneten gelangt der Anker dann jeweils gegen die Kraft einer Rückstellfeder an der Polfläche des jeweils bestromten und damit fangenden Elektromagneten zur Anlage. Wird an dem jeweils haltenden Elektromagneten der Haltestrom abgeschaltet, dann wird der Anker durch die Kraft der Rückstellfeder in Richtung auf den anderen Elektromagneten beschleunigt, der während der Ankerbewegung mit einem entsprechend hohen Fangstrom beaufschlagt wird, so daß nach dem Überschwingen über die Mittellage der Anker durch die Magnetkraft gegen die Kraft der dem jetzt fangenden Elektromagneten zugeordneten Rückstellfeder zur Anlage kommt.

[0003] Die Ansteuerung des elektromagnetischen Aktuators erfolgt in Abhängigkeit von den der Motorsteuerung vorliegenden Betriebsdaten der Kolbenbrennkraftmaschine, im wesentlichen der Lastanforderung und der Drehzahl. Befindet sich das Gaswechselventil beispielsweise in seiner Schließstellung, d. h. der Anker liegt am Schließmagneten an, so erfolgt die Ansteuerung im wesentlichen zeitabhängig, d. h. über die Motorsteuerung unter Berücksichtigung der Kurbelwellenstellung und den Parametern aus der Lastvorgabe, die jeweils den Öffnungs- bzw. Schließzeitpunkt für das Gaswechselventil festlegen. Durch das Abschalten des verhältnismäßig geringen Haltestroms wird der Beginn der Ankerbewegung eingeleitet, so daß in einem vorgebbaren Zeitabstand nach dem Abschalten des Haltestroms der Fangstrom am fangenden Elektromagneten eingeschaltet werden kann. Der Zeitabstand kann hierbei über voraufgegangene empirische Daten oder auch theoretische Daten bestimmt werden.

[0004] Wird nun der Fangstrom eingeschaltet, dann steigt mit zunehmender Annäherung des Ankers an die Polfläche des fangenden Elektromagneten bei konstanter Bestromung die Magnetkraft progressiv an, während die in Gegenrichtung wirkende Kraft der Rückstellfeder

nur linear ansteigt. Dies führt dazu, daß der Anker sich in der Endphase kurz vor dem Auftreffen auf die Polfläche des fangenden Elektromagneten mit zunehmender Beschleunigung bewegt, so daß es zu einem harten Aufprallen des Ankers auf der Polfläche kommt, was in vielerlei Hinsicht nachteilig ist, beispielsweise durch Körper- und Luftschallanregung und die dadurch bedingte Geräuschentwicklung. Um dies zu vermeiden, versucht man über eine entsprechende Regelung den Fangstrom kurz vor dem Auftreffen des Ankers auf die Polfläche des jeweils fangenden Elektromagneten zu reduzieren, wobei über eine Sensorik die Annäherung des Ankers erfaßt wird. Dies kann in der Weise erfolgen, daß bei Erreichen einer vorgegebenen Position des Ankers in der Nähe der Polfläche ein entsprechendes Steuersignal abgegeben wird oder aber die Ankerbewegung in diesem Nahbereich erfaßt wird. Diese Werte der Annäherung können dann über die Motorsteuerung bzw. über eine gesonderte Stromregelung für den Aktuator dazu benutzt werden, den Fangstrom so zu reduzieren, daß der Anker mit einer nur geringfügig über "Null" liegende Geschwindigkeit auf die Polfläche, d. h. sanft auftrifft, so daß der betreffende Elektromagnet dann nur noch mit dem geringen Haltestrom zu beaufschlagt ist (siehe DE-A-197 23 405).

[0005] Diese vorbekannten Regelungen sind jedoch in sich sehr starr und berücksichtigen zum einen nicht die vielfältigen, auf das aus Anker und Gaswechselventil bestehende System einwirkenden äußeren Störkräfte und zum anderen wird die Geräuschentwicklung allenfalls minimiert aber nicht beseitigt.

[0006] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das eine sehr viel genauere Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators ermöglicht und eine Geräuschentwicklung vermeidet.

[0007] Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch ein Verfahren zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine, der zwei mit Abstand zueinander angeordnete Elektromagnete aufweist, zwischen denen ein auf das Gaswechselventil einwirkender Anker gegen die Kraft von wenigstens einer Rückstellfeder zwischen den Polflächen der beiden Elektromagneten mit einem vorgegebenen Hub zwischen Offenstellung und Schließstellung des Gaswechselventils bewegbar hin und her geführt ist, wobei über eine Steuerung die Elektromagneten abwechselnd mit einem Fangstrom beaufschlagt werden und über eine Sensorik der Hub des Ankers bei seiner Bewegung von der einen Polfläche zur anderen Polfläche erfaßt wird, und in Abhängigkeit von den erfaßten Istwerten des Hubes des Ankers der fangende Elektromagnet über die Steuerung hinsichtlich der Bestromung in Form einer Vorsteuerung so angesteuert wird, daß der Anker in einem als Zielfenster vorgebbaren Abstandsbereich zur Polfläche des jeweils fangenden Elektromagneten sich mit einer gegen "Null" gehenden Geschwindigkeit bewegt und daß am Ende des Hubes die Haltebestrom-

mung des fangenden Elektromagneten so geführt wird, daß der Anker mit geringem Abstand zur Polfläche schwebend gehalten wird.

[0008] Der Begriff "Istwerte des Ankerhubes" enthält neben dem Zeitpunkt des Abschaltens des Haltestroms zumindest die Erfassung der jeweiligen Endposition des Ankers und ggf. die Erfassung seiner Geschwindigkeit und seiner Beschleunigung. Je nach Art der Sensorik kann neben einer Erfassung der Position die Geschwindigkeit entweder direkt erfaßt oder aus dem sich über die Positionserfassung ergebenden Ableitung des Weges nach der Zeit ebenso wie die Beschleunigung abgeleitet werden.

[0009] Der Begriff des "Ankerhubes" im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens ist definiert durch den Weg des Gaswechselventils zwischen seiner Schließstellung und seiner Offenstellung, und zwar ohne daß sich der Anker aufgrund eines Ventilspiels von seiner Abstützung auf dem Schaft des Gaswechselventils löst. Der Abstand der beiden Polflächen zueinander ist etwa um das Maß eines Ventilspiels größer als der Ankerhub.

[0010] Durch eine Aufteilung des Bewegungsvorganges des Ankers in drei Phasen werden die physikalischen Besonderheiten des Aktuators und zwar sowohl seine individuellen mechanischen Besonderheiten als auch die durch den Betrieb der Kolbenbrennkraftmaschine sich ändernden Besonderheiten berücksichtigt. In der ersten Phase erfolgt nur ein "Beobachten" der Ankerbewegung, über die die energetische Ausgangslage der Ankerbewegung erfaßt wird, die im wesentlichen vorgegeben wird durch den tatsächlichen Zeitpunkt des Lösens von der Polfläche sowie durch die Kraft der den Anker beschleunigenden Rückstellfeder einerseits sowie die dem entgegenwirkenden Reibungskräfte und Gasdruckkräfte. Im Nahbereich des Elektromagneten treten beim Ablösen des Ankers zwangsläufig noch die Energieverluste im mechanischen System durch das in Gegenrichtung wirkende Restfeld hinzu. Diese negativen elektromagnetischen Krafteinflüsse lassen sich durch die Verwendung eines wirbelstromarmen Ankers und/oder durch das Aufschalten eines Stromes anderer Polung, der ein auf den Anker wirkendes abstoßendes Magnetfeld erzeugt, noch minimieren.

[0011] Sobald sich der Anker jedoch nennenswert von der Polfläche des zuvor haltenden Elektromagneten gelöst hat, besteht kaum noch die Möglichkeit einer Einflußnahme auf den Anker und zwar weder durch eine entsprechende Bestromung des bisher haltenden Elektromagneten noch durch eine frühzeitige Bestromung des fangenden Elektromagneten bei einer vom Energieaufwand her vertretbaren Stromstärke. Der Anker weist beim Durchgang durch die Mittellage seine höchste Geschwindigkeit auf. In diesem Bereich können äußere Einflüsse, wie Zylinderinnendruck, Reibungseinflüsse oder auch Aktuator-Parameter auf die Ankerbewegung einwirken.

[0012] Werden nun, wie im erfindungsgemäßen Ver-

fahren vorgesehen, über die Sensorik die Istwerte des Ankerhubes zumindest in der jeweiligen Endposition erfaßt, dann besteht die Möglichkeit, gegen Ende des Ankerhubes den fangenden Elektromagneten hinsichtlich der Bestromung so anzusteuern, daß der Anker in einem vorgebbaren Abstandsbereich, einem sogenannten "Zielfenster", sich mit einer gegen "Null" gehenden Geschwindigkeit und einer gegen "Null" gehenden Beschleunigung bewegt und am Ende des Ankerhubes die Haltebestromung so geführt wird, daß der Anker ohne Kontakt mit der Polfläche schwebend gehalten wird. Zusätzlich ist die Möglichkeit einer individuellen Anpassung der Bestromung des jeweils fangenden Elektromagneten unter Berücksichtigung der während der Bewegung auf den Anker einwirkenden äußeren Störeinflüsse gegeben. Hierbei genügt es, wenn diese Vorgaben hinsichtlich Geschwindigkeit und Beschleunigung in einem vorgebbaren großen Abstandsbereich zur Polfläche erreicht werden.

[0013] Die mit dem Erreichen des Zielfensters beginnende Bewegungsphase ist gekennzeichnet durch eine geringe Ankergeschwindigkeit und eine hohe Kraftwirkung des fangenden Magneten. Damit ist in dieser Phase über die Bestromung des fangenden Magneten eine kontrollierte Führung des Ankers gegen die Kraft der Rückstellfeder bis zum Ende des Ankerhubes möglich, so daß ein Halten des Ankers in einem vorzugsweise geringen Abstand zur Polfläche sichergestellt ist.

[0014] Durch die kontrollierte Beeinflussung der Ankerbewegung in der Endphase ist es möglich, in der Schließbewegung bei entsprechender Justierung des Ankerhubes bei Vorhandensein eines Ventilspiels zunächst das Ventil sanft auf dem Ventilsitz abzusetzen, um dann nach einem allenfalls geringen Lösen des Ankers vom Ventil den Anker selbst schwebend vor der Polfläche des fangenden Magneten zu halten. Hierdurch ist gewährleistet, daß das Ventil mit der vollen Kraft der Schließfeder auf seinem Ventilsitz in Schließstellung gehalten wird.

[0015] Die Bestromung der Elektromagneten kann jeweils über eine Regelung der am fangenden Magneten angelegten Spannung geführt werden. Durch eine Spannungsregelung anstelle einer Stromregelung lassen sich die erforderlichen Regeleinriffe sehr viel exakter und schneller bewirken, da selbst nach einem Abschalten der Spannung der Strom verhältnismäßig langsam abfällt und dementsprechend bei einem Aufschalten einer Spannung der Strom entsprechend verhältnismäßig langsam ansteigt. Die Spannungs- und Stromversorgung wird zweckmäßig dem Bordnetz der Kolbenbrennkraftmaschine entnommen.

[0016] Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

55 Fig. 1 einen elektromagnetischen Aktuator mit Blockschaltbild,

Fig. 2 den Verlauf der Ankerbewegung abhängig von

- der Zeit für einen vollen Betätigungszyklus,
- Fig. 3 in größerem Maßstab Hubverläufe zum Beginn der Öffnungsbewegung,
- Fig. 4 in größerem Maßstab einen Hubverlauf in Offenstellung,
- Fig. 5 in größerem Maßstab Hubverläufe bei Erreichen der Schließstellung,
- Fig. 6 einen Verlauf der Ankerbewegung in Schließstellung bei großem Ventilspiel,
- Fig. 7 den Hubverlauf beim Stillsetzen des Aktuators aus der Schließstellung heraus.

[0017] In Fig. 1 ist ein elektromagnetischer Aktuator 1 zur Betätigung eines Gaswechselventils 2 dargestellt, der im wesentlichen aus einem Schließmagneten 3 und einem Öffnermagneten 4 besteht, die im Abstand zueinander angeordnet sind und zwischen denen ein Anker 5 gegen die Kraft von Rückstellfedern, nämlich einer Öffnerfeder 7 und einer Schließfeder 8 hin und her bewegbar geführt ist. In der Zeichnung ist die Anordnung in Schließstellung dargestellt und zwar in der "klassischen" Anordnung der Öffnerfeder und der Schließfeder. Bei dieser Anordnung wirkt die Schließfeder 8 unmittelbar über einen mit dem Schaft 2.1 des Gaswechselventils 2 verbundenen Federteller 2.2 ein. Die Führungsstange 11 des Ankers 5, die in sich geteilt sein kann, ist vom Schaft 2.1 getrennt. In der Regel ist ein sogenanntes Ventilspiel VS vorhanden. Die Öffnerfeder 7 stützt sich wiederum auf einem Federteller 11.1 an der Führungsstange 11 ab, so daß unter der Wirkung von Öffnerfeder 7 in der dargestellten Position die Führungsstange 11 auf den Schaft 2.1 des Gaswechselventils 2 gedrückt wird. Bei Vorhandensein eines Ventilspielausgleichs entspricht der Abstand VS dem vorgeesehenen Schwebebereich.

[0018] Es ist auch möglich, an der Stelle der Öffnerfeder 7 nur eine einzige Rückstellfeder vorzusehen, die so ausgelegt ist, daß sie jeweils beim Überschwingen des Ankers 5 über die Mittellage eine entsprechende Rückstellkraft aufbaut. Eine gesonderte Schließfeder 8 entfällt damit. Bei einer derartigen Anordnung muß allerdings die Führungsstange 11 mit dem Schaft 2.1 des Gaswechselventils über ein entsprechendes Koppel-element verbunden sein, das die Hin- und Herbewegung des Ankers in gleicher Weise auf das Gaswechselventil 2 überträgt.

[0019] Die Schließfeder 8 und die Öffnerfeder 7 sind in der Regel so ausgelegt, daß in Ruhestellung, d. h. bei nichtbestromten Elektromagneten der Anker 5 sich in der Mittellage befindet. Aus dieser Mittellage heraus muß dann beim Start Anker 5 mit seinem Gaswechselventil 2 angeschwungen werden.

[0020] Die Bestromung der Elektromagneten 3 und 4

des Aktuators 1 erfolgt über einen ihm zugeordneten Stromregler 9.1, der von einer elektronische Motorsteuerung 9 entsprechend den vorgegebenen Steuerprogrammen und in Abhängigkeit von den der Motorsteuerung zugeführten Betriebsdaten, wie Drehzahl, Temperatur etc. angesteuert. Während es grundsätzlich möglich ist, für alle Aktuatoren an einer Kolbenbrennkraftmaschine einen zentralen Stromregler vorzusehen, ist es für das Verfahren nach der Erfindung zweckmäßig, wenn jedem Aktuator ein eigener Stromregler zugeordnet ist, der mit einer zentralen Spannungsversorgung 9.2 verbunden ist und der von der Motorsteuerung 9 angesteuert wird.

[0021] Dem Aktuator 1 ist ein Sensor 10 zugeordnet, der die Erfassung der Ankerfunktionen ermöglicht. Der Sensor 10 ist hier schematisch dargestellt. In bevorzugter Auslegung des Sensors wird der Hub des Ankers 5 erfaßt, so daß die jeweilige Ankerposition der Motorsteuerung 9 und/oder dem Stromregler 9.1 übermittelt werden kann. In der Motorsteuerung 9 oder dem Stromregler 9.1 kann dann über entsprechende Rechenoperationen ggf. auch die Ankergeschwindigkeit und/oder die Beschleunigung ermittelt werden, so daß in Abhängigkeit von der Ankerposition und/oder in Abhängigkeit von der Ankergeschwindigkeit und/oder der Beschleunigung die Bestromung der beiden Elektromagneten 3, 4 in der Fangphase und in der Haltephase gesteuert werden kann.

[0022] Der Sensor 10 muß nicht zwangsläufig, wie dargestellt, einer mit dem Anker 5 in Verbindung stehenden Taststange 11.1 zugeordnet sein. Es ist auch möglich, einen entsprechend ausgebildeten Sensor dem Anker 5 seitlich zuzuordnen oder auch entsprechende Sensoren im Bereich der Polfläche der jeweiligen Elektromagneten anzuordnen.

[0023] Der Stromregler 9.1 weist ferner entsprechende Mittel zur Erfassung von Strom und Spannung für den jeweiligen Elektromagneten 3 und 4 sowie zur Veränderung des Stromverlaufs und des Spannungsverlaufs auf. Über die Motorsteuerung 9 kann dann in Abhängigkeit von vorgebbaren Betriebsprogrammen, ggf. gestützt auf entsprechende Kennfelder, der Aktuator 1 des Gaswechselventils 2 voll variabel angesteuert werden, so beispielsweise hinsichtlich des Beginns und des Endes der Öffnungszeiten. Auch Ansteuerung hinsichtlich der Höhe des Öffnungshubes oder auch der Zahl der Öffnungshübe während der Schließzeit sind steuerbar. Auch kleine Öffnungshübe aus dem geschlossenen Zustand durch "langsam schwebendes" Ablösen und "langsam schwebendes" Aufsetzen des Ventils sind möglich.

[0024] Entsprechend dem Verfahren gemäß der Erfindung ist die Bestromung des Schließmagneten 3 über den Stromregler 9.1 so geführt, daß der Anker mit geringem Abstand zur Polfläche des Schließmagneten 3 bei idealer Bestromung so gehalten wird, daß der Anker 5 mit seiner Führungsstange 11 noch im Kontakt mit dem Schaft 2.1 des Gaswechselventils steht. Die durch

die Haltebestromung erzeugte Magnetkraft des Schließmagneten 3 ist im Idealfalle so geführt, daß die Kraft in der Kontaktfläche zwischen der Führungsstange 11 und dem Ventilschaft 2.1 gegen "Null" geht und somit das Gaswechselventil 2 mit der vollen Kraft der Schließfeder 8 auf seinen Ventilsitz gedrückt wird. Der verbleibende Spalt zwischen der Polfläche des Schließmagneten 3 und der zugekehrten Fläche des Ankers 5 entspricht hierbei in etwa dem Ventilspiel VS. **[0025]** In Fig. 2 ist in bezug auf das Ausführungsbeispiel gem. Fig. 1 mit der Linie 12 schematisch der Verlauf der Ankerbewegung über einen vollen Bewegungszyklus dargestellt.

[0026] Durch die punktiert gerandeten Felder I, II und III werden der Nahbereich an der Polfläche des haltenden Schließmagneten 3 und der Nahbereich des haltenden Öffnermagneten 4 markiert. Diese Nahbereiche werden für die Erläuterung in den Fig. 3, 4 und 5 in größerem Maßstab dargestellt.

[0027] In Fig. 2 ist mit der Kurve 12 der Verlauf des Hubes des Ankers 5 in Abhängigkeit von der Zeit für ein volles Ventilspiel dargestellt, und zwar beginnend mit der in Fig. 1 dargestellten Schließstellung über die Öffnungsstellung bis zurück in die vollständige Schließstellung. Die Linie 13 kennzeichnet die Position der Polfläche des Schließmagneten 3 und die Linie 14 kennzeichnet die Position der Polfläche des Öffnermagneten 4. Im Verhältnis zur Hubkurve ist ersichtlich, daß die Haltebestromung der beiden Elektromagneten 3 und 4 so geführt ist, daß der Anker 5 schwebend vor der jeweiligen Polfläche gehalten wird.

[0028] In Fig. 3 ist in größerem Maßstab der in Fig. 2 mit I gekennzeichnete Bereich dargestellt. Die Linie 13 zeigt wiederum die Position der Polfläche des Schließmagneten. Der Kurvenast 12 zeigt den Verlauf der Bewegung aus der schwebenden Haltestellung des Ankers nach dem Abschalten der Haltbestromung. Aus dem Verlauf ist ersichtlich, daß mit dem Abschalten der Haltebestromung die Ankerbewegung ohne Klebzeit und ohne überlagerte Schwingungen einsetzt.

[0029] Mit dem Kurvenast 15 ist hierzu im Vergleich der Verlauf des Hubweges des Ankers 5 dargestellt, wenn der Schließmagnet 4 so stark bestromt ist, daß der Anker an der Polfläche zur Anlage kommt. Nach dem Abschalten der Haltbestromung, die zum gleichen Zeitpunkt erfolgt wie für den Kurvenverlauf 12, wird der Anker trotzdem vom Schließmagneten 4 während einer sogenannten Klebzeit gehalten, bis die Kraft des sich verzögernd abbauenden Magnetfeldes so gering ist, daß die Rückstellkraft der Öffnerfeder 7 ausreicht, um den Anker 5 zu bewegen. Nach einer anfänglich sehr hohen Beschleunigung trifft der Anker mit seiner Führungsstange 11 nach Überwindung des Ventilspiels VS auf das Ende des Ventilschaftes 2.1 auf, wobei nach einem anfänglichen Prellvorgang dann die Gesamtmasse von Anker und Gaswechselventil weiter beschleunigt wird, wobei je nach den Feder-Massen-Verhältnissen diesem Bewegungsweg eine Schwingung überlagert

bleibt.

[0030] In Fig. 4 ist dann in größerem Maßstab der Bereich II in Fig. 2 dargestellt, nämlich die Bewegung des schwebend gehaltenen Ankers in der Offenstellung. Durch eine zwischen einem unteren und einem oberen Haltestromniveau haltende Bestromung mit nach Vorgabe des Schwebereglers 9.1 variabler Frequenz und variablem Taktverhältnis schwingt infolge der hierdurch bewirkten, pulsierend auf den Anker 5 einwirkenden Haltemagnetkraft auch das Gaswechselventil um ein geringes Maß, wobei über die Federkraft die Führungsstange 11 fest am freien Ende des Ventilschaftes 2.1 anliegt. Diese geringe Hin- und Herbewegung des Ventils in seiner Offenstellung ist für die Strömungsvorgänge ohne Belang.

[0031] Wird die Haltebestromung am Öffnermagneten 4 abgeschaltet, dann bewegt sich der Anker 5 zunächst unter der Kraftwirkung der Schließfeder 8 wieder in Richtung auf die Polfläche des Schließmagneten 3. Je nach der durch die Regeleinrichtung vorgegebenen Betriebsweise wird dann der fangende Schließmagnet 3 entsprechend bestromt, um die nach dem Überschreiten der Mittellage durch eine entsprechende Magnetkraft die nunmehr entgegenwirkende Kraft der Öffnerfeder 7 zu überwinden. Die Bewegung ist hierbei so geführt, daß nach einer anfänglichen Beschleunigung über eine entsprechende Bestromung des fangenden Schließmagneten 3 die Geschwindigkeit und auch die Beschleunigung in Abhängigkeit von der über den Sensor 10 erfaßten Ankerposition gegen "Null" wird, so daß der Anker 5 wiederum schwebend im Abstand vor der Polfläche des Schließmagneten 3 gehalten wird.

[0032] Die Linie 16 in Fig. 5 zeigt den Verlauf des Ankerhubes bis zum Aufsetzen des Gaswechselventils 2 auf seinem Ventilsitz (Punkt 17). Durch eine gezielte Erhöhung der Haltebestromung des Schließmagneten 3 kann über den Sensor 10 erfaßt werden, ob sich die Führungsstange 11 noch im Kraftschluß mit dem Ventilschaft 2.1 befindet. Der Kraftschluß ist dann gegeben, wenn sich statt einer schwingenden Bewegung lediglich als Reaktion der Stromerhöhung entsprechende "Peaks" 18 erkennen lassen.

[0033] Im Vergleich zu Fig. 5 ist in Fig. 6 die Situation dargestellt, wenn bei einem erhöhten Haltestrom die Führungsstange 11 vom Ventilschaft 2.1 abhebt und der Anker unter dem Einfluß der gezielt geregelten Haltebestromung in dem durch das Ventilspiel vorgegebenen Freiraum ohne Kontakt mit der Polfläche (Linie 13) in gleicher Weise geringfügig hin und her schwingt, wie dies in der Offenstellung des Ventils entsprechend Fig. 4 der Fall ist. Dieser Bewegungsverlauf stellt sich bei entsprechender Regelung der Haltebestromung immer dann ein, wenn das vorhandene Ventilspiel so groß ist, daß bei einem Kontakt zwischen Führungsstange 11 und Ventilschaft 2.1 in der Schließstellung der zwischen dem Anker 5 und der Polfläche des Schließmagneten 3 vorhandene Luftspalt die Vorgabe eines zu hohen Haltestroms erfordert.

[0034] Da sowohl in der Schließstellung als auch in der Offenstellung der Anker 5 ohne Kontakt mit der Polfläche nur durch die Magnetkraft mittels einer geregelten Haltebestromung gehalten ist, bietet das vorstehend beschriebene Verfahren auch die Möglichkeit, bei

einem Stillsetzen der Kolbenbrennkraftmaschine die Gaswechselventile aus der jeweiligen Endstellung, sei es die Schließstellung, sei es die Offenstellung, in einem "geführten" Hubverlauf in die Mittellage zu bewegen. Dies ist in Fig. 7 dargestellt.

[0035] Die Linie 19 in Fig. 7 zeigt den Hubverlauf bei einem Abschalten der Haltebestromung, die sowohl für ein an der Polfläche des haltenden Elektromagneten anliegenden Ankers wie auch für einen mit Abstand zur Polfläche des haltenden Elektromagneten schwebend gehaltenen Ankers gilt. Da nach dem Abschalten der Haltebestromung der Anker 5 ausschließlich der Beschleunigungskraft der zugeordneten Rückstellfeder ausgesetzt ist, wird der Anker mit großer Geschwindigkeit in Richtung auf die Mittellage bewegt, die er infolge der Bewegungsenergie gegen die Kraft der anderen Rückstellfeder zunächst überschwingt, so daß der Anker und damit das Gaswechselventil infolge der fehlenden Magnetkraft des anderen Elektromagneten erst nach mehrfachem Überschwingen der Mittellage zur Ruhe kommt. Dieses mehrfache Überschwingen der Mittellage führt zu einer erheblichen Geräuschentwicklung sowohl im Lufteinlaßtrakt wie auch im Gasauslaßtrakt.

[0036] Wird jedoch die Haltebestromung des jeweils haltenden Elektromagneten nur kurz abgeschaltet oder abgesenkt, um eine Beschleunigung herbeizuführen, dann auf ein Niveau unterhalb des Gleichgewichtsniveaus zwischen Federkraft und Magnetkraft erhöht, um Bewegung zu dämpfen, dann kann der Anker aus seiner schwebenden Endstellung praktisch schwingungsfrei in die Mittellage zurückgeführt werden, wie dies mit der Linie 20 dargestellt ist.

[0037] Da über den Stromregler die Hubbewegung jeweils beim Erreichen der Endlage so geführt wird, daß die Geschwindigkeit gegen "Null" tendiert und die Beschleunigung zwischen kleinen positiven und negativen Werten hin und her gedreht wird, bedarf es zur Aufrechterhaltung des Schwebezustandes des Ankers in geringem Abstand zur Polfläche des jeweils haltenden Elektromagneten in etwa einer gleichen mittleren Haltestromhöhe, wie sie zum Halten des Ankers an der Polfläche benötigt wird. Lediglich die Taktung der Haltebestromung muß sensibler variabel geführt werden, da die Wirkung der "Klebkraft" entfällt.

[0038] Der Hubverlust durch das Halten des Ankers im Schwebezustand führt zu geringeren Maximalgeschwindigkeiten des Ankers, reduziert jedoch, wie vorstehend beschrieben, die Ablöseverluste, so daß auf der Seite des fangenden Elektromagneten auch eine geringere Energieeinkopplung notwendig ist, um die gleiche schwebende Endposition zu erreichen.

[0039] Eine Rekalibrierung des Signals des Sensors

10 kann durch eine einmalige absolute Zuordnung des Ventilspielmeßwertes, beispielsweise als Funktion der Temperatur erfolgen. Dieser Wert wird dann benutzt, um die relative Erfassung des Hubes, bezogen auf den Kontaktpunkt zwischen Ventil und Anker, in einen absoluten Rahmen zu stellen. Alternativ kann eine Sensorkalibrierung durch die sich einstellende Haltestromhöhe im Schwebezustand durchgeführt werden, da diese Stromhöhe im wesentlichen eine Funktion des Abstandes zwischen dem Anker und der Polfläche in der Schwebe-
position ist.

[0040] Der Zeitpunkt und auch der Ort des Bewegungsbeginns entsprechend dem Ablösen von der Polfläche wird durch die auftretenden Regelschwingungen in der Haltestellung mit den dadurch in ihrer Größe wechselnden Luftspalten unscharf, dafür entstehen jedoch keine Verzugszeitschwankungen, da sich über die Stromregelung die Möglichkeit ergibt, durch eine entsprechende Luftspaltbreite die Flugzeit des Ankers in gewissen Grenzen zu beeinflussen.

[0041] Schwankungen der Maximalgeschwindigkeit und damit der Flugzeit infolge der "Ortsunschärfe der Endlage" können über die bekannten Systemparameter, wie beispielsweise eine entsprechende Regelschwingungscharakteristik in den Endlagen kompensiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine, der zwei mit Abstand zueinander angeordneten Elektromagnete aufweist, zwischen denen ein auf das Gaswechselventil einwirkender Anker gegen die Kraft von wenigstens einer Rückstellfeder jeweils zwischen den Polflächen der beiden Elektromagneten mit einem vorgegebenen Hub zwischen Offenstellung und Schließstellung des Gaswechselventils hin und her bewegbar geführt ist, wobei über eine Steuerung die Elektromagneten abwechselnd mit einem Fangstrom beaufschlagt werden und über eine Sensorik der Hub des Ankers bei seiner Bewegung von der einen Polfläche zur anderen Polfläche erfaßt wird, und in Abhängigkeit von den erfaßten Istwerten des Hubes des Ankers der fangende Elektromagnet über die Steuerung hinsichtlich der Bestromung in Form einer Vorsteuerung so angesteuert wird, daß der Anker in einem als Ziel Fenster vorgebbaren Abstandsbereich zur Polfläche des jeweils fangenden Elektromagneten sich mit einer gegen "Null" gehenden Geschwindigkeit bewegt und daß am Ende des Hubes die Haltebestromung des fangenden Elektromagneten so geführt wird, daß der Anker mit geringem Abstand zur Polfläche schwebend gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Höhe der Haltebestromung jeweils zwischen einem oberen und einem unteren Haltestromniveau so geführt wird, daß die sich hieraus ergebende pulsierende Hubbewegung im Bereich eines gegebenen Ventilspiels liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** beim Stillsetzen der Kolbenbrennkraftmaschine die Höhe der Haltebestromung zum Ablösen des Ankers kurz abgesenkt und sofort wieder auf ein Niveau nahe unterhalb des Stromhöhe für das Kräftegleichgewicht zwischen Federkraft und Magnetkraft liegt, um so ein Abdriften des Ankers bis in die durch die Auslegung der Rückstellfeder definierte Mittellage des Ankers zwischen den Polflächen zu erreichen.

Claims

1. A method for triggering an electromagnetic actuator for actuating a gas exchange valve on an internal combustion piston engine which has two spaced-apart electromagnets between which an armature which acts on the gas exchange valve is moved back and forth, counter to the force of at least one return spring, in each case between the pole surfaces of the two electromagnets with a predetermined travel between the open position and the closed position of the gas exchange valve, wherein a capturing current is applied alternately to the electromagnets by means of a control means and the travel of the armature upon its movement from one pole surface to the other pole surface is detected via a sensor system, and as a function of the detected actual values of the travel of the armature the capturing electromagnet is triggered by means of the control means with respect to the current supply in the form of a pilot control means such that the armature moves at a speed approaching "zero" in a distance range from the pole surface of the respective capturing electromagnet which can be preset as a target window, and that at the end of the travel the holding current supply of the capturing electromagnet is guided such that the armature is held floating at a slight distance from the pole surface.
2. A method according to Claim 1, **characterised in that** the level of the holding current supply is guided in each case between an upper and a lower holding current level such that the resulting pulsing lifting movement lies in the range of a given valve play.
3. A method according to Claim 1 or 2, **characterised in that** upon stopping the internal combustion piston engine the level of the holding current supply is

lowered briefly in order to detach the armature and is immediately raised again to a level close below the current level for the equilibrium of forces between spring tension and magnetic force, in order thus to achieve drifting of the armature into the central position of the armature between the pole surfaces which is defined by the design of the return spring.

Revendications

1. Procédé de commande d'un dispositif d'actionnement électromagnétique pour actionner une valve de communication des gaz dans un moteur à combustion interne, présentant deux électro-aimants disposés à distance l'un de l'autre, entre lesquels un induit agissant sur la valve de commutation de gaz contre la force d'au moins un ressort de rappel est déplacé respectivement entre les surfaces polaires des deux électro-aimants selon une course prédéterminée entre la position d'ouverture et la position de fermeture de la valve de communication des gaz, les électro-aimants étant alternativement alimentés par un courant d'interception par l'intermédiaire d'une commande, et la course de l'induit, lors de son mouvement depuis l'une des surfaces polaires vers l'autre surface polaire, étant détectée à l'aide d'un capteur et, en fonction des valeurs réelles détectées de la course de l'induit, l'électro-aimant interceptant étant commandé par la commande au niveau de l'alimentation sous la forme d'une commande pilote, de telle sorte que l'induit, dans une plage de distance par rapport à la surface polaire pouvant être définie comme fenêtre cible de l'électro-aimant interceptant respectif, se déplace à une vitesse proche de « zéro », et qu'à la fin de la course l'alimentation de maintien de l'électro-aimant interceptant soit telle que l'induit est maintenu flottant avec une faible distance par rapport à la surface polaire.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la grandeur de l'alimentation de maintien entre respectivement un niveau de courant de maintien supérieur et un niveau de courant de maintien inférieur est prévue telle que le mouvement de course pulsé en résultant se situe dans la plage d'un jeu de valve donné.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** lors de l'arrêt du moteur à combustion interne, la grandeur de l'alimentation de maintien pour détacher l'induit est abaissée pendant un court instant puis immédiatement rétablie à un niveau situé sensiblement en dessous de la grandeur de courant nécessaire pour l'équilibre de forces entre la force élastique et la force magnétique pour obte-

nir ainsi une dérive de l'induit jusque dans la position centrale de l'induit entre les surfaces polaires définie par la conception du ressort de rappel.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

8

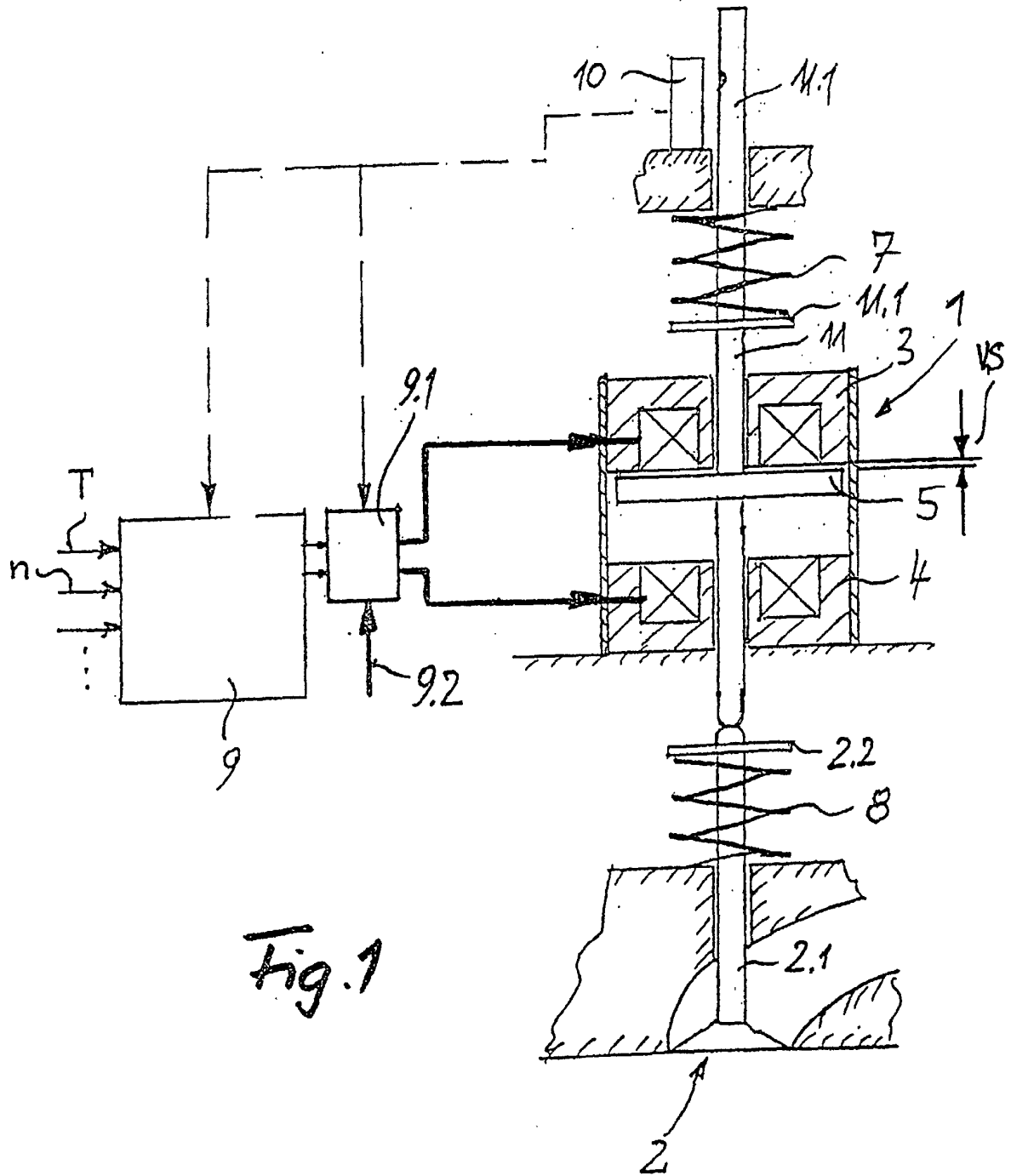


Fig. 1

