



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 041 252 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2000 Patentblatt 2000/40

(51) Int. Cl.⁷: **F01L 9/04**

(21) Anmeldenummer: **00105716.5**

(22) Anmeldetag: **17.03.2000**

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

(30) Priorität: **31.03.1999 DE 19914692**
12.08.1999 DE 19938297

(71) Anmelder:
FEV Motorentechnik GmbH
52078 Aachen (DE)

(72) Erfinder:
• **Pischinger, Martin, Dr.-Ing.**
52072 Aachen (DE)
• **Kemper, Hans, Dipl.-Ing.**
52080 Aachen (DE)
• **Feyerl, Günter, Rudolf, Dipl.-Ing.**
52477 Alsdorf (DE)

(74) Vertreter:
Langmaack, Jürgen, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte
Maxton & Langmaack
Postfach 51 08 06
50944 Köln (DE)

(54) **Gaswechselventilanordnung mit elektromagnetischem Aktuator**

(57) Die Erfindung betrifft eine Gaswechselventilanordnung an einer Kolbenbrennkraftmaschine mit einem mit einer Schließfeder (3) verbundenen Ventilkörper (1) und mit einem elektromagnetischen Aktuator (5), der zwei Elektromagneten (6, 7) aufweist, deren Polflächen (8) gegeneinander ausgerichtet und mit Abstand zueinander angeordnet sind und der einen zwischen den Polflächen (8) hin und her bewegbar geführten Anker (9) mit Führungsbolzen (10, 11) aufweist, die an einem Ende mit dem Ventilkörper (1) und am anderen Ende mit einer Öffnerfeder (12) in Verbindung stehen, wobei zwischen dem Führungsbolzen (10) und dem Ventilkörper (1) ein Ventilspiel (VS) vorhanden ist, und bei dem die schwingende Masse (m_{A^*}) des Ankers (5) mindestens das Zweifache der schwingenden Masse (m_{V^*}) des Ventilkörpers (1) aufweist.

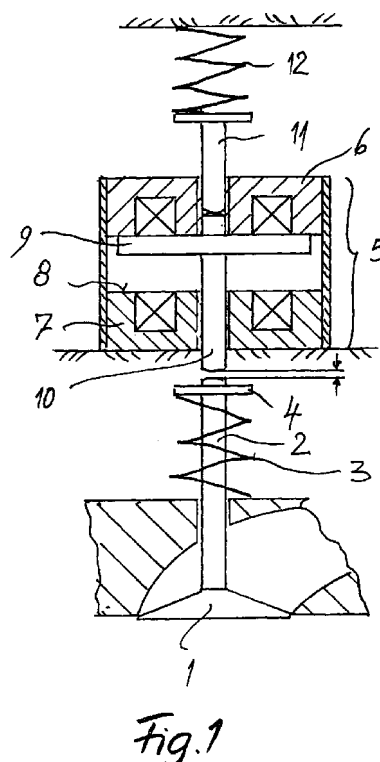


Fig. 1

Beschreibung

[0001] An Kolbenbrennkraftmaschinen werden neben mechanischen Ventiltrieben mit Nockenwelle und hydraulischen Ventiltrieben auch elektromagnetische Aktuatoren eingesetzt, wie sie beispielsweise aus DE 195 18 056-A bekannt sind.

[0002] Eine elektromagnetisch betätigbare Gaswechselventilanordnung für eine Kolbenbrennkraftmaschine besteht im wesentlichen aus einem mit einer Schließfeder verbundenen Ventilkörper und einem elektromagnetischen Aktuator, der zwei Elektromagneten aufweist, deren Polflächen gegeneinander ausgerichtet und mit Abstand zueinander angeordnet sind, und der einen zwischen den Polflächen hin und her bewegbar geführten Anker mit Führungsbolzen aufweist, die an einem Ende mit dem Ventilkörper und am anderen Ende mit einer Öffnerfeder in Verbindung stehen, wobei zwischen den Führungsbolzen und dem Ventilkörper ein Ventilspiel vorhanden ist.

[0003] Eine derartige Gaswechselventilanordnung bildet ein schwingungsfähiges Feder-Masse-System, dessen Gesamtmasse im wesentlichen durch den Anker mit seinen Führungsbolzen und durch den Ventilkörper gebildet wird und dessen "Feder" durch die Öffner- und die Schließfeder gebildet wird. Die Anordnung ist üblicherweise so getroffen, daß die beiden Rückstellfedern gleich ausgelegt sind.

[0004] Die Grundidee dieser Gaswechselventilanordnung besteht darin, daß zur Reduzierung der für den Betrieb notwendigen elektrischen Energie die Eigenschwingfähigkeit dieses Feder-Masse-Systems ausgenutzt wird, so daß im Prinzip der jeweils fangende und für die Öffnungs- bzw. Schließzeit haltende Elektromagnet nur so stark bestromt werden muß, daß der Anker jeweils beim Überschwingen seiner Mittellage vom Magnetfeld des fangenden Magneten angezogen wird, im übrigen aber die kinetische Energie der Gesamtmasse für einen wesentlichen Teil der Bewegung ausgenutzt wird.

[0005] Da jeweils bei der Annäherung des Ankers an die Polfläche des bestromten fangenden Magneten die Federkraft der in Gegenrichtung wirkenden Feder nur linear ansteigt, demgegenüber bei konstanter Bestromung des fangenden Elektromagneten die auf den sich annähernden Anker wirkenden Magnetkräfte progressiv ansteigen und schon im Hinblick auf ein sicheres Fangen den Anstieg der in Gegenrichtung wirkenden Federkraft übersteigen muß, sind eine Reihe von Verfahren zur Regelung der Bestromung entwickelt worden, durch die über eine Zurücknahme der Stromhöhe während der Annäherung des Ankers an die Polfläche des fangenden Elektromagneten auch die auf den Anker wirkende Magnetkraft zurückgenommen wird, um so ein sanftes Auftreffen des Ankers auf die Polfläche zu bewirken und damit störende Prellvorgänge zu vermeiden.

[0006] Zur Regelung der Bestromung des jeweils

fangenden Magneten ist es notwendig, auch die jeweilige Position des Ankers gegenüber der Polfläche und/oder die Geschwindigkeit des Ankers im Annäherungsbereich zu erfassen. Hierzu sind Verfahren entwickelt worden, die die Rückwirkungen des sich im Magnetfeld bewegenden Ankers auf Strom und Spannung der Stromversorgung erfassen und hieraus die erforderlichen Signale zur Beeinflussung der Bestromung ableiten.

[0007] Daneben sind Regelsysteme entwickelt worden, bei denen über Sensoren die jeweilige Ankerposition und/oder die jeweilige Ankergeschwindigkeit unmittelbar über den Anker als Signal abgegriffen wird. Da schon aus konstruktiven Gründen der Anker mit seinen Führungsbolzen und der im wesentlichen aus Ventilteller und Ventilschaft bestehende Ventilkörper nicht einstückig ausgebildet werden können, ergibt sich zwangsläufig zwischen dem freien Ende des Ventilschaftes einerseits und dem zugeordneten Ende des Führungsbolzens andererseits ein Ventilspiel, das sich aufgrund der wechselnden Temperatureinflüsse während des Betriebes einer Kolbenbrennkraftmaschine ändert.

[0008] Durch in der Regel hydraulische Mittel zum Ventilspielausgleich wurde bisher dafür Sorge getragen, daß im Betrieb durch eine zwischen Führungsbolzen und Ventilschaft eingesetzte, mit Öl befüllbare Zylinderanordnung dieser Abstand wie mit einer "starrten" Zwischenlage überbrückt wurde, wobei die Anordnung so getroffen ist, daß sich ändernde Ventilspiele ausgeglichen wurden. Derartige Ventilspielausgleichssysteme sind in der Herstellung technisch aufwendig. Im Hinblick auf die Möglichkeiten des vollvariablen elektromagnetischen Ventiltriebes wäre es wünschenswert, ein Ventilspiel zuzulassen, um über entsprechende Maßnahmen in der Steuerung der Bestromung bei der Ventilbewegung auftretende Probleme zu vermeiden. Hierbei ist die Erfassung der Ankerbewegung und/oder der Ankergeschwindigkeit in der ersten Bewegungsphase von Bedeutung, wobei die Ableitung eines Signals unmittelbar über die Erfassung der jeweiligen Ankerposition und der Ankergeschwindigkeit vorteilhaft ist.

[0009] Durch das Vorhandensein eines Ventilspiels ist jedoch das durch die Gesamtanordnung gebildet schwingungsfähige Feder-Masse-System in zwei zeitweise entkoppelte Teilsysteme unterteilt. Dies hat zur Folge, daß insbesondere zu Beginn des Öffnungsvorganges, aber auch zum Ende des Schließvorganges der auf der Öffnerfeder abgestützte Anker mit seinem Führungsbolzen gegenüber dem auf der Schließfeder abgestützten Ventilkörper Eigenbewegungen durchführen kann. Durch das Auftreffen des Führungsbolzens des Ankers auf den Schaft des Gaswechselventils wird das aus den beiden Rückstellfedern einerseits und der Ankermasse und der Ventilmasse andererseits gebildete Feder-Masse-System durch den Stoß der Ankermasse auf den Ventilschaft zu einer Resonanz-

schwingung angeregt, die bis zum Auftreffen des Ankers am Öffnermagneten nicht abklingt. Diese die Flugbewegung des Ankers überlagernde, aus der Resonanzschwingung her rührende Hin- und Herbewegung des Ankers erschwert das ohnehin schwierige Heranführen des Ankers an die Polfläche des fangenden Öffnermagneten mit einer möglichst geringen Auftreffgeschwindigkeit, so daß trotz einer gezielten Führung der Ankerbewegung durch eine entsprechende Regelung des Fangstroms sich nachteilige Prellvorgänge nicht vermeiden lassen.

[0010] Zur Vermeidung derartiger Prellvorgänge wurde in US-A-5,832,883 vorgeschlagen, den Anker fest mit dem Ventilkörper zu verbinden und ein ebenfalls fest mit dem Ventil verbundenes hydraulisches Dämpfungselement vorzusehen, durch das die Aufsetzgeschwindigkeit des Ventils auf seinem Ventilsitz reduziert werden soll. Ein Ventilsitz ist nicht vorgesehen. Das bekannte System kann wegen der ständig wirkenden Dämpfung nicht unter Ausnutzung der Eigenschwingfähigkeit betrieben werden. Um durch die während der gesamten Ventilbewegung einwirkenden Dämpfungskraft, die ein sanftes Auftreffen des Ventils auf dem Ventilsitz bewirken soll, darf zum einen der Anker in der Schließstellung nicht an der Polfläche zur Anlage kommen und zum anderen muß zum Ausgleich der bremsenden Wirkung des Dämpfungselementes die Schließfeder stärker ausgelegt werden als die Öffnerfeder. Dies hat einen höheren Energiebedarf zur Folge, zumal wegen des Dämpfungselementes eine nutzbare Eigenschwingfähigkeit fehlt.

[0011] Es hat sich als nachteilig erwiesen, daß man im Bestreben der Reduzierung der Gesamtmasse des schwingungsfähigen Systems versucht hat, nur die Ankermasse zu reduzieren, da eine Reduzierung der Masse des Ventilkörpers schon werkstoffbedingt sehr eingeschränkt ist. Der Anker leitet beim Öffnungsvorgang selbst bei einem geringen Ventilsitz von 0,1 mm nach dem Abschalten des Haltestroms am Schließmagneten aufgrund der hohen Beschleunigung durch die Öffnerfeder bei seinem Auftreffen auf den Schaft des Ventilkörpers einen so hohen Energiestoß in das durch Schließfeder und Ventilkörper gebildete Teilsystem ein, daß zum einen der Anker gegen die Kraft der Öffnerfeder mehrfach eine der Öffnungsbewegung überlagerte Schwindungsbewegung ausführt und zum anderen gleichzeitig auch der sich in Öffnungsrichtung bewegende Ventilkörper ebenfalls eine der Öffnungsbewegung überlagerte Schwingungsbewegung ausführt. Aufgrund der mehrfachen, phasenversetzt gegeneinander gerichteten Bewegungen von Anker einerseits und Ventilkörper überlagert sich auf beide sich bewegenden Systeme eine Schwingungsbewegung, die sich bis weit über die Mittellage des Ankers zwischen den beiden Polflächen fortsetzt.

[0012] Greift man nun unmittelbar am Anker über eine entsprechende Sensorik die Ankerposition und/oder Ankergeschwindigkeit ab, so ergibt sich hier

kein präzises Signal, sondern ein durch die Schwingungsbewegung des Ankers bewirktes "verwaschenes" bzw. "rauschendes" Signal.

[0013] Zur Beseitigung dieses Nachteiles wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, bei einer Gaswechselventilanordnung mit Ventilsitz der vorstehend beschriebenen Art die Masse des Ankers so zu bemessen, daß sie mindestens das Zweifache der Masse des Ventilkörpers aufweist.

[0014] Die Ankermasse wird hierbei definiert durch die Masse der Ankerplatte selbst mit dem damit verbundenen zur Führung bestimmten Ankerbolzen sowie der reduzierten Masse der Öffnerfeder und der Masse des der Öffnerfeder zugeordneten Federbolzens. Obwohl der Federbolzen nicht fest mit dem Ankerbolzen verbunden ist, hat sich jedoch gezeigt, daß im Betrieb aufgrund der gegebenen geometrischen Zuordnung zwischen Öffnerfeder, Federbolzen und Anker mit Ankerbolzen der Anker gegenüber den Federbolzen während der Schwingbewegungen kein "Eigenleben" entwickelt.

[0015] Die Masse des Ventilkörpers wird hierbei definiert durch die Masse des Ventilkörpers selbst einschließlich Ventildederteller sowie der reduzierten Masse der Schließfeder.

[0016] Durch die Vergrößerung der Ankermasse gegenüber der Masse des Ventilkörpers wird die Ankerbewegung beim Auftreffen auf den Ventilschaft während der Öffnungsbewegung stabilisiert, so daß die Eigenschwingungen des Ankers sehr viel schneller abklingen. Hierbei ist nicht von Nachteil, daß die infolge der im Verhältnis geringeren Masse des Ventilkörpers die sich verstärkenden, der Öffnungsbewegung überlagerten Eigenschwingungen des Ventilkörpers im Augenblick des Auftreffens etwas größer sind, da diese Eigenschwingungen durch stabilisierende Wirkung der Ankermasse und die auf den Ventilkörper wirkenden Dämpfungskräfte diese Eigenschwingungen sehr viel früher abklingen lassen, so daß das Gesamtsystem sehr viel früher zur Ruhe kommt. Von Bedeutung ist aber, daß die Eigenschwingungen des Ankers bereits kurze Zeit nach dem Auftreffen des Führungsbolzens auf den Ventilschaft abgeklungen sind, so daß hierdurch eine "Rauschunterdrückung" für ein von der Ankerbewegung abgegriffenes Signal gegeben ist.

[0017] Mit der Auslegung des Massenverhältnisses zwischen Ankermasse und Ventilkörpermasse kann nun innerhalb weiter Bereiche eine Auswahl getroffen werden. Sofern man über den Prellvorgang unmittelbar beim Auftreffen des Ankers mit seinem Führungsbolzen auf den Ventilschaft ein Signal erhalten will, dann ist es zweckmäßig, wenn das Verhältnis der Ankermasse gegenüber der Masse des Ventilkörpers nur so weit vergrößert wird, daß noch über die vorhandene Sensorik ein deutliches Signal erfaßt werden kann. Der Nachteil besteht allerdings darin, daß die sich überlagernden Schwingungen sowohl bei der Ankerbewegung als auch bei der Bewegung des Ventilkörpers später abklingen.

Wird dieses Signal nicht benötigt, läßt sich durch weitere Vergrößerung der Ankermasse die durch das Aufprallen bewirkte Eigenschwingung der Ankermasse minimieren.

[0018] Um nun das für den Betrieb wichtige Schwingungsverhalten des Gesamtsystems insbesondere eine Erhöhung des Energieaufwandes beim Anschwingen zu vermeiden, ist eine Reduzierung der schwingenden Gesamtmasse angezeigt. Dies wäre durch die Verwendung anderer leichterer Werkstoffe für den Ventilkörper möglich. Hierzu eignen sich beispielsweise Keramikmaterialien. Damit ist aber auch eine Reduzierung der Ankermasse möglich, wenn die erfindungsgemäß vorgegebenen Kriterien für die Massenverteilung zwischen Ankermasse und Ventilkörper eingehalten werden, um die beim Öffnungsvorgang durch das Auftreffen des Ankerbolzens auf den Schaft des Ventilkörpers induzierten Eigenschwingungen der Ankermasse zumindest zu minimieren. Eine Reduzierung der Gesamtmasse des durch den Ventiltrieb insgesamt gegebenen schwingungsfähigen Feder-Masse-Systems erlaubt dann auch eine Anpassung der Federkonstanten der Federn an die Betriebsbedingungen der Kolbenbrennkraftmaschine, wobei eine Erhöhung der Federkonstanten sich bei den üblichen Ventilspielen um 0,15 mm als vorteilhaft erwiesen hat.

[0019] Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Ausgestaltung besteht darin, daß auf einen sogenannten Ventilspielausgleich verzichtet werden kann, da durch eine Verkürzung der Prellvorgänge und Eigenschwingungen von Anker und Ventilkörper während der Öffnungsbewegung und einer Reduzierung der Amplituden der Eigenschwingungen von Anker und des Ventilkörpers die Geräuschentwicklung ebenfalls reduziert ist.

[0020] Zur Reduzierung der Eigenschwingungen des Systems ist insbesondere in Verbindung mit der erfindungsgemäßen Abstimmung der Ankermasse ferner für eine Gaswechselventilanordnung an einem elektromagnetischen Aktuator der vorstehend bezeichneten Art vorgesehen, daß die beiden Rückstellfedern unterschiedliche Federkennwerte aufweisen. Durch diese "unsymmetrische" Federauslegung Damit wird erreicht, daß das gegebene Feder-Masse-System "verstimmt" ist und keine ausgeprägte Resonanzfrequenz besteht und sich so die durch den Stoß der Ankermasse auf das Gaswechselventil nach der Überwindung des Ventilspiels bewirkte Schwingungsanregung schnell abbaut und der Anker praktisch schwingungsfrei auf die Polfläche des fangenden Öffnermagneten aufrifft.

[0021] Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen und Diagrammen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Vertikalschnitt durch eine elektromagnetisch betätigbare Gaswechselventilanordnung,

Fig. 2 das aus Fig. 1 abgeleitete Schwingungssystem,

Fig. 3 den Verlauf der Geschwindigkeiten von Anker und Ventilkörper bei "kleiner" Ankermasse,

Fig. 4 den Verlauf der Geschwindigkeit von Anker und Ventilkörper bei "großer" Ankermasse,

Fig. 5 eine Überlagerung der Kurven der Ankerbewegungen bei einer Auslegung gem. Fig. 3 und Fig. 4,

Fig. 6 eine Anordnung mit "unsymmetrischer" Auslegung der Rückstellfedern.

[0022] Wie aus Fig. 1 ersichtlich, besteht die hier zu untersuchende Gaswechselventilanordnung bei einer Kolbenbrennkraftmaschine aus einem Ventilkörper 1 mit Ventilschaft 2, der mit einer Schließfeder 3 verbunden ist und über einen Ventilteller 4 in Schließstellung gehalten werden kann.

[0023] Zur Betätigung des Gaswechselventils ist eine elektromagnetischer Aktuator 5 vorgesehen, der im wesentlichen aus einem Öffnermagneten 7 und einem Schließmagneten 6 besteht, deren Polflächen 8 gegeneinander gerichtet und mit Abstand zueinander angeordnet sind. Im Zwischenraum zwischen den beiden Polflächen 8 ist ein Anker 9 hin und her bewegbar geführt, der einenends mit einem Ankerbolzen 10 fest verbunden ist und der anderenends sich über einen Federbolzen 11 auf einer Öffnerfeder 12 abstützt.

[0024] In Fig. 1 ist die Gesamtanordnung in Schließstellung gezeigt, d. h. der Anker 9 liegt an der Polfläche des Schließmagneten 6 an, so daß die Öffnerfeder 12 um ein entsprechendes Maß zusammengedrückt ist. Der Ventilkörper 1 wird durch die Schließfeder 3 in Schließstellung gehalten. Zwischen dem Ende des Ankerbolzens 10 und dem Ende des Ventilschaftes 2 ist ein Zwischenraum VS, ein sogenanntes Ventilspiel vorhanden, das in der Praxis im Bereich von etwa 0,15 mm liegt. Das Ventilspiel VS kann sich aufgrund thermischer Einflüsse, insbesondere Längenänderung des Ventilschaftes 2 bei Temperaturerhöhung und/oder entsprechend gleichgerichteten Längenänderung des den elektromagnetischen Aktuator 5 tragenden Zylinderkopfes im Betrieb innerhalb gewisser Grenzen ändern.

[0025] Soll das Gaswechselventil geöffnet werden, so wird die Bestromung des Schließmagneten 6 abgeschaltet, so daß der Anker 9 durch die Öffnerfeder 12 in Richtung auf das Gaswechselventil 1 beschleunigt wird, hier nach Überwinden des Ventilspiels VS auf das Ende des Ventilschaftes 2 auftrifft und den Ventilkörper 1 in Öffnungsrichtung vorschiebt. Der Öffnermagnet 7 wird je nach der Ansteuerung im Verlaufe der Ankerbewegung bestromt, so daß der Anker beim Überspringen

über seine Mittellage in den Einfluß des sich aufbauenden Magnetfeldes gerät und dann gegen die Kraftwirkung der Schließfeder 3 an der Polfläche 8 des Öffnermagneten 7 zur Anlage kommt. Nach Ablauf der durch die Motorsteuerung vorgegebenen Haltezeit wird der Öffnermagnet 7 stromlos gesetzt, so daß der Anker 9 sich wieder in die Schließstellung zurückbewegen kann, vom Schließmagneten eingefangen und bis zum nächsten Öffnungsvorgang gehalten wird. Die Schließfeder 3 und die Öffnerfeder 12 bilden für den Anker 5 die sogenannte Rückstellfedern.

[0026] Bei der Anordnung eines sogenannten Ventilspielausgleichs, durch den das Ventilspiel VS durch eine entsprechende hydraulische Kopplung überbrückt ist, ergibt sich praktisch eine gleichsinnige Bewegung des Ankers 9 und des Ventilkörpers 1 jeweils beim Abschalten der Bestromung an haltenden Magneten. Ist jedoch ein Ventilspiel vorhanden, so bewegt sich beim Öffnungsvorgang der Anker 9 mit seinem aus Ankerbolzen 10 und Federbolzen 11 gebildeten Führungsbolzen zunächst eigenständig unter dem Einfluß der beschleunigenden Kraft der Öffnerfeder 12, bis der Ankerbolzen 10 auf das freie Ende des Ventilschaftes 2 auftrifft und dann die aus Ankermasse und Masse des Ventilkörpers gebildete Gesamtmasse weiterbewegt wird.

[0027] Das in Fig. 1 dargestellte mechanische System ist nun als Schwingungssystem in Federn und Massen aufzulösen. Diese Auflösung ist in Fig. 2 dargestellt. Die hier zu betrachtende Ankermasse m_{A^*} wird gebildet durch die Masse des Ankers 9 mit seinem Ankerbolzen 10 und durch die Masse des Federbolzens 11 und der sogenannten reduzierten Masse der Öffnerfeder 12. In Fig. 2 ist die Masse m_{A^*} durch einen entsprechenden Massepunkt dargestellt, während die Öffnerfeder 12 durch ihre Federkonstante C12 symbolisiert ist und der Ankerbolzen 10 lediglich als masseloses Bauteil dargestellt ist. Entsprechend ist die schwingende Ventilmasse m_{V^*} als Massepunkt dargestellt, wobei auch hier die Masse des Ventilkörpers 1 sowie die reduzierte Masse der Schließfeder 3 einschließlich des Ventiltellers 4 berücksichtigt sind. Die Schließfeder 3 ist hierbei nur schematisch durch ihre Federkonstante C3 angedeutet, während der Ventilschaft 2 hier als masseloses Bauelement wiedergegeben ist.

[0028] Wie durch den Kraftpfeil P angedeutet, greift die Erregerkraft P an der Ankermasse m_{A^*} an. Das Feder-Masse-System in Fig. 2 ist in der in Fig. 1 dargestellten Schließstellung wiedergegeben. Untersucht man nun das in Fig. 2 dargestellte System bei gleichem Ventilspiel und mit gleichen Federkonstanten, jedoch mit unterschiedlichen Massenverhältnissen, so ergibt sich bei einem Massenverhältnis $m_{A^*}/m_{V^*} = 0,6$ der in Fig. 3 wiedergegebene Kurvenverlauf 13 für die Ankermasse m_{A^*} und der Kurvenverlauf 14 für die Ventilmasse m_{V^*} . Hierbei ist zu erkennen, daß in der Zeit von der Ablösung des Ankers 9 von der Polfläche des haltenden Schließmagneten bis zum Auftreffen des freien

Ende des Ankerbolzens 10 auf dem Ende des Ventilschaftes 2 die Ankergeschwindigkeit stark anwächst, beim Auftreffen stark abfällt und hierbei zurückschwingt, während die Ventilmasse mit entsprechend ansteigender Geschwindigkeit sich in Öffnungsrichtung fortbewegt (Position I). Hierbei "öffnet" sich wieder das Ventilspiel, so daß die Ankermasse m_{A^*} nach erneuter Bewegungsumkehr unter dem Einfluß der Öffnerfeder 12 wiederum auf die Ventilmasse m_{V^*} auftrifft (Position II), hierbei wieder abgebremst wird, die Ventilmasse m_{V^*} beschleunigt und selbst erneut in Richtung auf die Polfläche des Schließmagneten 6 zurückschwingt. Da durch diese gegenläufigen Schwingungsvorgänge das Gesamtsystem jeweils in zwei Teilsysteme unterteilt wird, nämlich einmal in das Teilsystem C12- m_{A^*} und C3- m_{V^*} , führt auch das Teilsystem C3- m_{V^*} eine Eigenbewegung aus, d. h. nach dem ersten Beschleunigen (Position I) schwingt die Masse m_{V^*} um ein geringes Maß zurück, wird dann aber wieder beim erneuten Auftreffen der Ankermasse m_{A^*} in Öffnungsrichtung weitergetrieben (Position II), wie dies aus der Darstellung gem. Fig. 3 zu erkennen ist.

[0029] Fig. 3 läßt hierbei erkennen, daß die sich überlagernden zeitweise gegenläufigen Schwingungen der beiden Teilmassen m_{A^*} und m_{V^*} bis weit über den Scheitelpunkt hinweg fortsetzen. Hierbei darf nicht außer Acht gelassen werden, daß auch die Längselastizitäten des Ankerbolzens 10 einerseits und des Ventilschaftes 2 andererseits eine Rolle spielen, so daß bei der Auswahl von weitgehend unelastischen Werkstoffen zumindest für den Ventilschaft, wie beispielsweise Keramikwerkstoffen, die ggf. auch für den Ankerbolzen eingesetzt werden können, diese Prellvorgänge reduziert werden können.

[0030] Um den Grenzbereich aufzuzeigen, wurde bei gleicher Gesamtmasse die Massenverteilung extrem vertauscht. Bei dem in Fig. 4 wiedergegebenen Versuch wurde die Ankermasse m_{A^*} deutlich vergrößert und die Ventilmasse m_{V^*} deutlich reduziert, so daß sich ein Massenverhältnis m_{A^*}/m_{V^*} von etwa 6 ergab, das Massenverhältnis wurde also gegenüber dem Versuch nach Fig. 3 um das 10-fache vergrößert. Hierbei ergibt sich, daß die entsprechend größere Ankermasse m_{A^*} nach Überwindung des Ventilspiels beim Auftreffen auf den Schaft des Ventilkörpers 1 nur einen geringen Geschwindigkeitsverlust erleidet, wie die Kurve 13.1 erkennen läßt, während der leichtere Ventilkörper deutlich höhere Eigenschwingungen ausführte. Es ist aber zu erkennen, daß aufgrund der "Beruhigung" durch die größere Ankerntasse m_{A^*} auch die Ventilmasse m_{V^*} sehr viel eher zur Ruhe kommt, was nicht zuletzt auch auf die höhere Dämpfung zurückzuführen ist, die auf den Ventilkörper durch höhere Reibung und bremsende Einflüsse der Gasströmung zurückzuführen ist.

[0031] In Fig. 5 sind die Kurven 13 und 13.1 für die Ankergeschwindigkeit bei beiden Versuchen überlagert. Hierbei ist deutlich zu erkennen, daß durch eine entsprechende Vergrößerung des Massenverhältnisses

m_{A^*}/m_{V^*} die Eigenbewegungen der Ankermasse reduziert werden könne, wobei je nach Auflösungsvermögen des verwendeten Sensors zur Erfassung der Ankerbewegung es nicht erforderlich ist, das Massenverhältnis m_{A^*}/m_{V^*} extrem zu vergrößern.

[0032] Sofern es wünschenswert ist, über die Erfassung der Ankerbewegung auch das Auftreffen des Ankers auf dem Ventilschaft zu erfassen, dann darf das Verhältnis m_{A^*}/m_{V^*} nur so weit im Hinblick auf eine Vergrößerung der Ankermasse verändert werden, daß bei gegebener Empfindlichkeit der Sensorik auch der Auftreffzeitpunkt aus der Ankerbewegung noch erfaßt werden kann, d. h. das Massenverhältnis muß gezielt so verändert werden, daß noch ein erfaßbarer erster Rückprall der Ankermasse m_{A^*} stattfindet.

[0033] Anhand einer schematischen Zeichnung gem. Fig. 6 wird ein Ausführungsbeispiel mit "unsymmetrischer" Federauslegung näher erläutert.

[0034] Der abgewandelte elektromagnetische Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils 2 besteht entsprechend Fig. 1 im wesentlichen wieder aus einem Schließmagneten 6 und einem Öffnermagneten 7, die im Abstand zueinander angeordnet sind und zwischen denen ein Anker 9 gegen die Kraft von Rückstellfedern, nämlich einer Öffnerfeder 12 und einer Schließfeder 3 hin und her bewegbar geführt ist. In der Zeichnung ist die Anordnung in Schließstellung dargestellt und zwar in der "klassischen" Anordnung der Öffnerfeder 12 und der Schließfeder 3. Bei dieser Anordnung wirkt die Schließfeder 3 unmittelbar über einen mit dem Schaft des Gaswechselventils 2 verbundenen Federteller 4 ein. Der Ankerbolzen 10 des elektromagnetischen Aktuators ist vom Ventilschaft getrennt, in der Regel ist hier in der Schließstellung ein Spalt in Form des sogenannten Ventilspiels VS vorhanden. Die Öffnerfeder 12 stützt sich wiederum auf einem Federteller 11.1 am Federbolzen 11 ab, so daß in der Öffnungsbewegung unter der gegeneinandergerichteten Wirkung von Öffnerfeder 12 und Schließfeder 3 der Federbolzen 11 sich auf dem Schaft des Gaswechselventils abstützt.

[0035] Die abwechselnde Bestromung der Elektromagneten 6 und 7 des Aktuators erfolgt über einen ihm zugeordneten Stromregler 14.1, der von einer elektronische Motorsteuerung 14 entsprechend den vorgegebenen Steuerprogrammen und in Abhängigkeit von den der Motorsteuerung zugeführten Betriebsdaten, wie Drehzahl, Temperatur etc. angesteuert wird. Damit wird das Gaswechselventil gezielt in seine Öffnungsstellung bzw. seine Schließstellung bewegt. Während es grundsätzlich möglich ist, für alle Aktuatoren an einer Kolbenbrennkraftmaschine einen zentralen Stromregler vorzusehen, kann es zweckmäßig sein, wenn jedem Aktuator ein eigener Stromregler zugeordnet ist, der mit einer zentralen Spannungsversorgung 14.2 verbunden ist und der von der Motorsteuerung 14 angesteuert wird.

[0036] Dem Aktuator ist ein Sensor 15 zugeordnet,

der die Erfassung der Aktuatorfunktionen ermöglicht. Der Sensor 15 ist hier schematisch dargestellt. Je nach der Auslegung des Sensors kann beispielsweise der Weg des Ankers 5 erfaßt werden, so daß die jeweilige Ankerposition der Motorsteuerung 14 und/oder dem Stromregler 14.1 übermittelt werden kann. In der Motorsteuerung 14 oder dem Stromregler 14.1 kann dann über entsprechende Rechenoperationen ggf. auch die Ankergeschwindigkeit ermittelt werden, so daß in Abhängigkeit von der Ankerposition und/oder in Abhängigkeit von der Ankergeschwindigkeit die Bestromung der beiden Elektromagneten 6, 7 gesteuert werden kann.

[0037] Wird nun nach dem Abschalten der Bestromung am haltenden Schließmagneten 6 durch die Kraftwirkung der Öffnerfeder 12 der Anker 5 in Richtung auf das Gaswechselventil bewegt, so übt die aus Anker 5 und Führungsstange 10, 11 bestehende Masse nach Überwinden des Ventilspiels VS einen Stoß auf das noch geschlossene Gaswechselventil aus, bevor infolge der Kraftwirkung der Öffnerfeder und der alsbald einwirkenden Magnetkraft des Öffnermagneten 7 dann das Gaswechselventil geöffnet wird. Durch diesen Stoß wird das aus den beiden Rückstellfedern 3 und 12 sowie Anker 5, Führungsstange 10, 11 und Gaswechselventil gebildete Feder-Masse-System zu einer die Öffnungsbewegung überlagernden Resonanzschwingung ange-regt.

[0038] Um diese Resonanzschwingung zu unterdrücken, sind bei sonst unverändertem Aufbau für die Rückstellfedern unterschiedliche Federkennwerte für die Öffnerfeder 12 und die Schließfeder 3 vorgesehen. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist beispielsweise die Schließfeder 3 "härter" ausgelegt, d. h. sie weist einen höheren Federkennwert auf als die Öffnerfeder 12. Durch diese Maßnahme wird das Feder-Masse-System "verstimmt", so daß sich aufgrund des Stoßes durch die Ankermasse nach Überwinden des Ventilspiels VS sich bildende, die Öffnungsbewegung überlagernde Schwingungen noch während der Öffnungsbewegung praktisch vollständig abbaut, da dem System die Möglichkeit einer Schwingung in der Eigenfrequenz wegen der unterschiedlichen Federauslegung genommen ist. In der Zeichnung sind die unterschiedlichen Federkennwerte der beiden Rückstellfedern 3 und 12 durch unterschiedliche Strichstärken kenntlich gemacht.

[0039] Zweckmäßig ist es, wenn die Schließfeder 3 die höheren Federkennwerte aufweist, d. h. also härter ausgelegt ist, um ein zuverlässiges Schließen des Gaswechselventils zu gewährleisten.

[0040] Das Prinzip der "Verstimmung" der beiden Rückstellfedern 3 und 12 kann auch für sich bei normaler Auslegung des Verhältnisses von Ankermasse zur Ventilkörpermasse eingesetzt werden. Vorteilhaft ist jedoch die Kombination mit einer Auslegung der Massenverhältnisse entsprechend dieser Erfindung.

Patentansprüche

1. Gaswechselventilanordnung an einer Kolbenbrennkraftmaschine mit einem mit einer Schließfeder (3) verbundenen Ventilkörper (1) und mit einem elektromagnetischen Aktuator (5), der zwei Elektromagneten (6, 7) aufweist, deren Polflächen (8) gegeneinander ausgerichtet und mit Abstand zueinander angeordnet sind und der einen zwischen den Polflächen (8) hin und her bewegbar geführten Anker (9) mit Führungsbolzen (10, 11) aufweist, die an einem Ende mit dem Ventilkörper (1) und am anderen Ende mit einer Öffnerfeder (12) in Verbindung stehen, wobei zwischen dem Führungsbolzen (10) und dem Ventilkörper (1) ein Ventilspiel (VS) vorhanden ist, und bei dem die schwingende Masse (m_{A^*}) des Ankers (5) mindestens das Zweifache der schwingenden Masse (m_{V^*}) des Ventilkörpers (1) aufweist.

5
10
15
20
2. Gaswechselventilanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnerfeder (12) und die Schließfeder (3) gleiche Federkonstanten und gleiche Massen aufweisen.

25
3. Gaswechselventilanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die schwingende Masse (m_{A^*}) des Ankers (5) nur um so viel gegenüber der schwingenden Masse (m_{V^*}) des Ventilkörpers (1) größer ist, daß beim Ventilöffnen das erste Auftreffen des Führungsbolzens (10) auf den Ventilkörper (1) noch als Geschwindigkeitsabfall erfaßbar ist.

30
4. Gaswechselventilanordnung an einer Kolbenbrennkraftmaschine, der mit einem Gaswechselventil (2) und mit zwei im Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten (6, 7), zwischen denen ein Anker (9) gegen die Kraft von zwei Rückstellfedern (3, 12) hin und her bewegbar geführt ist, insbesondere Gaswechselventilanordnung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Rückstellfedern (3, 12) unterschiedliche Federkennwerte aufweisen.

35
40
45

50

55

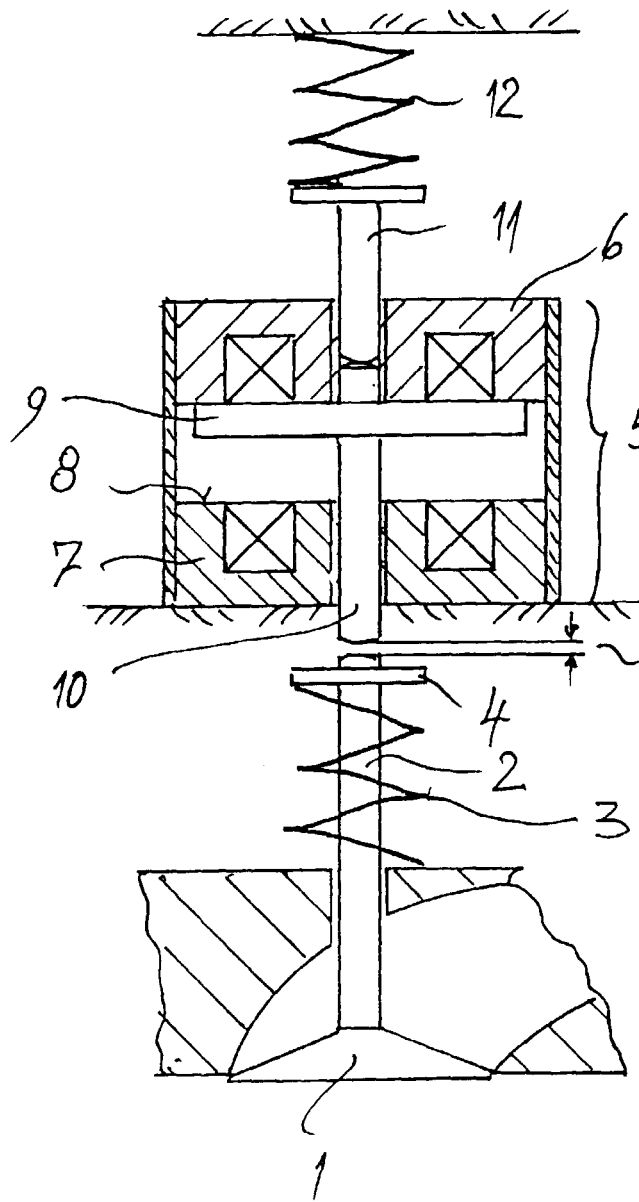


Fig. 1

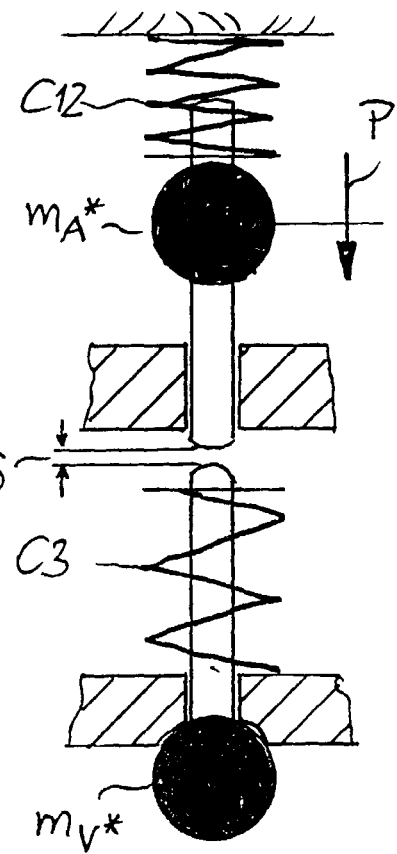


Fig. 2

