



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 001 142 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.09.2003 Patentblatt 2003/37

(51) Int Cl.7: **F01L 9/04, F16K 31/02**

(21) Anmeldenummer: **99121716.7**

(22) Anmeldetag: **03.11.1999**

(54) **Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils**

Method of operation for an electromagnetically driven valve actuator

Procédé de fonctionnement d'un actionneur de soupape à commande électromagnétique

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT SE

(30) Priorität: **16.11.1998 DE 19852655**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.05.2000 Patentblatt 2000/20

(73) Patentinhaber: **DaimlerChrysler AG
70567 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:
• **Kirschbaum, Frank
70327 Stuttgart (DE)**
• **Maute, Kurt
71067 Sindelfingen (DE)**

• **Pandit, Madhukar, Prof., Dr.
67663 Kaiserslautern (DE)**
• **Virnich, Michael
54317 Korlingen (DE)**

(74) Vertreter: **Kolb, Georg et al
DaimlerChrysler AG,
Intellectual Property Management
IPM, C106
70546 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 408 963 DE-A- 19 631 909
US-A- 5 182 517 US-A- 5 539 608
US-A- 5 804 962

EP 1 001 142 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] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen Aktuators gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Elektromagnetische Aktuatoren werden üblicherweise in Brennkraftmaschinen zur Betätigung von Gaswechselventilen eingesetzt, mit denen das Ein- und Ausströmen eines Arbeitsmediums in die bzw. aus den Brennkammern der Brennkraftmaschine gesteuert wird.

[0003] Ein derartiger Aktuator ist beispielsweise aus der DE 196 31 909 A1 bekannt. Dieser vorbekannte Aktuator weist zwei Elektromagnete - einen Schließmagneten und einen Öffnungsmagneten - mit sich gegenüberliegenden Polflächen und einen zwischen den Polflächen der Elektromagnete axial bewegbaren Anker auf, der gegen die Kraft zweier Ventildfedern auf das zu betätigende Gaswechselventil wirkt. Bei nicht bestromten Elektromagneten wird der Anker durch die gegenseitig arbeitenden Ventildfedern in einer Gleichgewichtslage etwa in der Mitte zwischen den Polflächen der Elektromagnete festgehalten.

[0004] Durch abwechselnde Bestromung, d. h. Ein- und Ausschaltung der beiden Elektromagnete wird der Anker und somit auch das Gaswechselventil aus der Gleichgewichtslage vom jeweils bestromten Elektromagneten angezogen und für die Dauer der Strombeaufschlagung an der Polfläche dieses Elektromagneten festgehalten. Das Gaswechselventil befindet sich dabei in einer Schließstellung, wenn der Anker an der Polfläche des als Schließmagnet arbeitenden einen Elektromagneten anliegt und es befindet sich in einer Offensestellung, wenn der Anker an der Polfläche des als Öffnungsmagnet arbeitenden anderen Elektromagneten anliegt.

[0005] Bei dem vorbekannten Aktuator wird die Gleichgewichtslage des Ankers durch Messung der Induktivitäten der beiden Elektromagnete und durch einen Vergleich der beiden gemessenen Induktivitätswerte ermittelt und im Falle einer Abweichung vom gewünschten Wert eine Nachjustierung der Gleichgewichtslage vorgenommen.

[0006] Aus der US 4 823 825 ist ferner bekannt, daß bei einem Aktuator der eingangs genannten Art das Auftreffen des Ankers auf den bestromten Elektromagneten anhand einer kurzzeitigen Abnahme und einer anschließenden erneuten Zunahme eines durch diesen Elektromagneten fließenden Erregerstromes erkannt wird. Das Fehlen dieser kurzzeitigen Abnahme des Erregerstromes ist ein Hinweis auf eine bereits eingetretene Fehlfunktion; diese läßt sich zwar nicht vermeiden, sie wird jedoch sofort erkannt, so daß Maßnahmen zur Fehlerbehebung eingeleitet werden können.

[0007] Ungelöst ist jedoch das Problem, den Einfluß betriebsbedingter Systemparameter, insbesondere Schwankungen der Reibung, der Temperatur und des Drucks in den Brennkammern aber auch Viskositätsänderungen des Schmiermittels und Verschleiß oder Ver-

schmutzung des Aktuators oder Gaswechselventils, in der Steuerung zu eliminieren. Dies kann zu einer Fehlfunktion des Aktuators führen, insbesondere zu einem erhöhten Verschleiß des Aktuators, unerwünschter Geräuschentwicklung und überhöhtem Energieverbrauch. Ein sicherer Dauerbetrieb des Aktuators ist damit nicht gewährleistet.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 anzugeben, das einen sicheren Dauerbetrieb ermöglicht.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0010] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die Bewegung des Ankers eine Änderung der Induktivität des Elektromagneten bewirkt. Die Induktivitätsänderung des Elektromagneten ist somit ein Maß der Ankergeschwindigkeit und infolgedessen auch ein Maß der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf den Elektromagneten oder der Auftreffgeschwindigkeit des Gaswechselventils in einen Ventilsitz.

[0011] Erfindungsgemäß wird eine von der Induktivitätsänderung des Elektromagneten abhängige Regelgröße als Maß der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf den Elektromagneten gebildet. Diese Regelgröße wird durch Steuerung der Energiezufuhr zum Elektromagneten derart geregelt, daß die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf den Elektromagneten einen vorgegebenen, d. h. geforderten Wert annimmt und somit begrenzt wird. Hierdurch wird sichergestellt, daß dem Anker auch bei einer Änderung der Systemparameter ausreichend Energie zugeführt wird, um ihn bis zum Elektromagneten zu bewegen und dort festzuhalten; andererseits wird die Energiezufuhr auf ein erforderliches Maß begrenzt. Dies führt zu einem fehlerfreien Betrieb sowie zu einem geringen Stromverbrauch, einem geringen Verschleiß, einer geringen Geräuschentwicklung und zu einer Vermeidung des Abprallens des Ankers oder Gaswechselventils vom Elektromagneten bzw. Ventilsitz.

[0012] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Regelgröße durch Messung der Geschwindigkeit einer während der Ankerbewegung auftretenden Stromabnahme eines durch den Elektromagneten fließenden Erregerstromes gebildet.

[0013] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird der zeitliche Verlauf der Induktivität des Elektromagneten ermittelt und aus diesem Induktivitätsverlauf die Geschwindigkeit des Ankers zum Zeitpunkt des Auftreffens auf den Elektromagneten als Regelgröße hergeleitet.

[0014] Den Induktivitätsverlauf erhält man durch Erfassung der sich in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen ergebenden Induktivität des Elektromagneten. vorteilhafterweise wird die Induktivität des Elektromagneten aus den zeitlichen Verläufen einer dem Elektroma-

gneten zugeführten Erregerspannung und eines durch den Elektromagneten fließenden Erregerstromes ermittelt.

[0015] Vorteilhaft ist auch die Erfassung der Resonanzfrequenz eines aus dem Elektromagneten und einer Kapazität gebildeten LC-Schwingkreises oder die Erfassung des komplexen Widerstandes des Elektromagneten mittels eines dem Elektromagneten zugeführten hochfrequenten Meßsignals und die Ermittlung der Induktivität des Elektromagneten aus der Resonanzfrequenz bzw. aus dem komplexen Widerstand.

[0016] Vorzugsweise wird die Regelgröße mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und ein nächster Einschaltzeitpunkt des Elektromagneten in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses vorgegeben. Hierdurch wird die dem Anker während der nächsten Betätigung des Gaswechselventils zuzuführende Energie derart gesteuert, daß die Auftreffgeschwindigkeit des Anker auf den Elektromagneten auf den vorgegebenen Wert geregelt wird.

[0017] Der Sollwert der Regelgröße entspricht dem vorgegebenen Wert der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf den Elektromagneten; er wird vorteilhafterweise in Abhängigkeit von Systemparametern, insbesondere in Abhängigkeit der Reibung, der Temperatur und des beim Öffnen des Gaswechselventils in der Brennkammer herrschenden Druckes, vorgegeben. vorzugsweise werden auch die Einschaltzeitpunkte des Elektromagneten in Abhängigkeit von Systemparametern vorgegeben. Als besonders vorteilhaft erweist es sich, neben den Einschaltzeitpunkten auch die lokalen Maximalwerte des durch den Elektromagneten fließenden Erregerstromes in Abhängigkeit von Systemparametern vorzugeben.

[0018] In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens werden aus den sich im eingeregelteten Zustand bei verschiedenen Systemparametern einstellenden Einschaltzeitpunkten des Elektromagneten oder sowohl aus diesen Einschaltzeitpunkten als auch aus den sich bei den gleichen Systemparametern ergebenden lokalen Maximalwerten des Erregerstromes Steuerdaten gebildet, die in Abhängigkeit der Systemparameter in einem Speicher abgespeichert werden. Bei einer Änderung der Systemparameter wird der nächste Einschaltzeitpunkt des Elektromagneten nach Maßgabe der den momentanen Systemparametern entsprechenden abgespeicherten Steuerdaten vorgesteuert, d. h. vorgegeben und anschließend nachgeregelt.

[0019] Bei einem Aktuator mit zwei einander gegenüberliegenden Elektromagneten, die gegen die Kraft zweier Ventildfedern auf den Anker wirken, ist es ausreichend, die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf einen der beiden Elektromagnete anhand der Induktivitätsänderung dieses Elektromagneten zu erfassen, da der Anker bei korrekt eingestellter Gleichgewichtslage auf beide Elektromagnete mit im wesentlichen gleicher Geschwindigkeit auftrifft. Vorteilhafterweise wird Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf beide Elektroma-

gnete in gleicher Weise geregelt, da dann eine genaue Einhaltung der Gleichgewichtslage des Ankers nicht mehr erforderlich ist.

[0020] Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben: Es zeigen:

Figur 1 einen elektromagnetischen Aktuator zur Betätigung eines Gaswechselventils,

Figur 2 ein Zeitdiagramm eines Ventilhubes und zweier durch jeweils einen von zwei Elektromagneten des Aktuators fließenden Erregerströme.

[0021] Gemäß Figur 1 umfaßt der Aktuator einen mit einem Gaswechselventil 5 in Kraftwirkung stehenden Stößel 4, einen mit dem Stößel 4 quer zur Stößel-Längsachse befestigten Anker 1, einen als Schließmagnet wirkenden Elektromagneten 2 sowie einen als Öffnungsmagnet wirkenden weiteren Elektromagneten 3, der vom Schließmagnet 2 Richtung der Stößel-Längsachse beabstandet angeordnet ist. Die Elektromagnete 2, 3 sind mittels eines Gehäuseteils 7 miteinander verbunden; sie weisen jeweils eine Erregerspule 20 bzw. 30 und einander gegenüberliegende Polflächen 21 bzw. 31 auf, zwischen denen der Anker 1 durch abwechselnde Bestromung der beiden Elektromagnete 2, 3, d. h. der Erregerspulen 20 bzw. 30, hin- und herbewegt wird. zwei gegensinnig wirkende ventildfedern 60, 63, die zwischen dem Öffnungsmagnet 3 und dem Gaswechselventil 5 angeordnet sind und mit zwei Federtellern 61, 62 am Aktuator bzw. Zylinderkopfteil 8 der Brennkraftmaschine befestigt sind, bewirken, daß der Anker 1 im stromlosen Zustand der Erregerspulen 20, 30 in einer Gleichgewichtslage etwa in der Mitte zwischen den Polflächen 21, 31 der Elektromagnete 2, 3 festgehalten wird.

[0022] Zum Starten des Aktuators wird einer der Elektromagnete 2, 3 durch Anlegen einer Erregerspannung an die entsprechende Erregerspule 20 bzw. 30 bestromt, d. h. eingeschaltet, oder es wird eine Anschwingroutine initiiert, durch die der Anker 1 zunächst durch wechselweises Bestromen der Elektromagnete 2, 3 in Schwingung versetzt wird, um nach einer Einschwingzeit auf die Polfläche 21 des Schließmagneten 2 oder die Polfläche 31 des Öffnungsmagneten 3 aufzutreffen.

[0023] Bei geschlossenem Gaswechselventil 5 liegt der Anker 1 an der Polfläche 21 des Schließmagneten 2 an und er wird solange in dieser Position festgehalten, solange der Schließmagnet 2 bestromt wird. Um das Gaswechselventil 5 zu öffnen wird der Schließmagnet 2 abgeschaltet und anschließend der Öffnungsmagnet 3 eingeschaltet. Die in Öffnungsrichtung wirkende Ventildfeder 60 beschleunigt den Anker 1 über die Gleichgewichtslage hinaus. Durch den nun bestromten Öffnungsmagneten 3 wird dem Anker 1 zusätzlich kinetische Energie zugeführt, so daß dieser trotz etwaiger

Reibungsverluste die Polfläche 31 des Öffnungsmagneten 3 erreicht und dort bis zur Abschaltung des Öffnungsmagneten 3 festgehalten wird. Zum erneuten Schließen des Gaswechselventils 5 wird der Öffnungsmagnet 3 ausgeschaltet und der Schließmagnet 2 anschließend wieder eingeschaltet. Hierdurch wird der Anker 1 zur Polfläche 21 des Schließmagneten 2 bewegt und dort festgehalten.

[0024] Der Abstand des Ankers 1 zum jeweiligen Elektromagnet 2, 3 legt die Induktivität dieses Elektromagneten 2 bzw. 3 fest; die Geschwindigkeit des Ankers 1 läßt sich somit anhand der Induktivitätsänderung der Elektromagnete 2, 3 ermitteln.

[0025] Im folgenden wird lediglich die Regelung der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf den Schließmagneten 2 beschrieben; die Regelung der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf den Öffnungsmagneten 3 wird in gleicher Weise vorgenommen.

[0026] Gemäß Figur 2 befindet sich das Gaswechselventil 5 bis zum Zeitpunkt t_{m2} in einer Offenstellung s_o , d. h. der Anker 1 liegt an der Polfläche 31 des Öffnungsmagneten 3 an. Zum Zeitpunkt t_{m2} wird der Öffnungsmagnet 3 abgeschaltet und anschließend zum Zeitpunkt t_n der Schließmagnet 2 eingeschaltet. Der Anker 1 löst sich somit vom Öffnungsmagneten 3 und bewegt sich in Richtung Schließmagnet 2, wodurch der Ventilhub s abnimmt. Der Erregerstrom I_3 des Öffnungsmagneten 3 fällt dabei auf Null ab; der Erregerstrom I_2 des Schließmagneten 2 steigt hingegen von Null bis zu einem lokalen Maximalwert I_{20} an, den er zum Zeitpunkt t_{n0} erreicht, und fällt daraufhin auf einen lokalen Minimalwert I_{21} ab, den er zum Zeitpunkt t_{n1} des Auftreffens des Ankers 1 auf den Schließmagneten 2 erreicht. Anschließend steigt der Erregerstrom I_2 nochmals steil an und fällt danach auf einen Haltewert I_{22} ab, welcher beispielsweise durch Pulsweitenmodulation der Erregerpule 21 zugeführten Erregerstrom vorgegeben wird.

[0027] Die Geschwindigkeit mit der der Erregerstrom I_2 im Zeitintervall $t_{n0} \dots t_{n1}$ abnimmt, hängt von der Ankergeschwindigkeit ab, und zwar ist die Stromabnahme ΔI für große Ankergeschwindigkeiten größer als für kleine Ankergeschwindigkeiten. Die Entstehung dieser Stromabnahme ΔI läßt sich anhand folgender Gleichung erklären:

$$u(t) = i(t) \cdot R_{Cu} + \frac{d\Psi}{dt}.$$

[0028] Dabei steht $u(t)$ für die dem Schließmagneten 2 zugeführte Erregerstromspannung, $i(t)$ für den Erregerstrom I_2 des Schließmagneten 2, der aufgrund der angelegten Erregerstromspannung $u(t)$ durch die Erregerpule 20 fließt, R_{Cu} für den ohmschen Widerstand der Erregerpule 20 und $d\Psi/dt$ für die induzierte Gegenspannung, d. h. für die zeitliche Ableitung des verketteten magnetischen Flusses $\Psi(t)$. Für letzteren gilt die Beziehung $\Psi(t) = i(t) \cdot L(t)$, wobei $L(t)$ für die Induktivität des Schließmagneten

2 steht, so daß man für die induzierte Gegenspannung $d\Psi/dt$ folgende Gleichung erhält:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{di(t)}{dt} \cdot L(t) + i(t) \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}.$$

[0029] Mit x wird dabei der Hubweg des Ankers 1 bzgl. des Schließmagneten 2 bezeichnet, d. h. der Abstand zwischen der Polfläche 21 des Schließmagneten 2 und dem Anker 1. Eine Bewegung des Ankers 1 in Richtung des Schließmagneten 2 liefert somit einen positiven Beitrag zur induzierten Gegenspannung $d\Psi/dt$, der um so größer ist, je größer der Betrag der zeitlichen Änderung dx/dt des Abstandes x , d. h. die Ankergeschwindigkeit, ist. Aufgrund der während der Bewegungsphase des Ankers 1 konstant gehaltenen Erregerstromspannung $u(t)$ nimmt der Erregerstrom $i(t)$ nach Erreichung des lokalen Maximums I_{20} mit einer von der Ankergeschwindigkeit dx/dt abhängigen Geschwindigkeit ab. Die Geschwindigkeit der Stromabnahme ΔI des Erregerstromes I_2 ist somit eine Funktion der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf den Schließmagneten 2. Sie läßt sich auf verschiedene Arten ermitteln: eine Möglichkeit besteht darin, den Erregerstrom I_2 abzutasten, numerisch zu differenzieren und den kleinsten der so erhaltenen Werte zu bestimmen; sie läßt sich aber auch näherungsweise durch Detektion des lokalen Maximums I_{20} und des darauffolgenden lokalen Minimums I_{21} und durch Berechnung der Steigung einer durch das lokale Maximum I_{20} und durch das lokale Minimum I_{21} durchgehenden Geraden ermitteln.

[0030] Um die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf den Schließmagneten 2 zu regeln, wird eine Regelgröße v_{IST} gebildet, die der Geschwindigkeit der Stromabnahme ΔI des Erregerstromes I_2 entspricht, die Regelgröße v_{IST} mit einem Sollwert v_{SOLL} verglichen und der nächste Einschaltzeitpunkt des Schließmagneten 2 in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses vorgegeben. Es handelt sich hierbei um eine iterativ lernende Regelung, die nach folgendem Algorithmus abläuft:

$$T_{n+1} = T_n + k \cdot (v_{SOLL} - v_{IST}).$$

[0031] T_n und T_{n+1} stellen dabei die Einschaltzeitpunkte des Schließmagneten 2 in aufeinanderfolgenden Zyklen dar; sie werden jeweils in Bezug auf einen definierten Referenzzeitpunkt des jeweiligen Zyklus angegeben. Als Zyklus wird dabei der Vorgang zwischen zwei aufeinanderfolgenden Öffnungs- oder Schließvorgängen des Gaswechselventils 5 bezeichnet. Ferner stellt n eine Zyklusnummer, k einen Proportionalitätsfaktor und $v_{SOLL} - v_{IST}$ das Ergebnis des Vergleichs der Regelgröße v_{IST} mit dem Sollwert v_{SOLL} dar.

[0032] Im vorliegenden Beispiel handelt es sich bei den Referenzzeitpunkten der jeweiligen Zyklen um die Abschaltzeitpunkte t_{m2} , $t_{m+1,2}$ des Öffnungsmagneten 3, so daß mit den Bezeichnungen aus Figur 2 gilt:

$$T_n = t_n - t_{m2}$$

$$T_{n+1} = t_{n+1} - t_{m+1,2}.$$

[0033] Der Sollwert v_{SOLL} der Regelgröße v_{IST} ist derjenige Wert der Regelgröße v_{IST} , der bei einem vorgegebenen, d. h. geforderten Wert der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf den Schließmagneten 2 gemessen wird. Er kann in Abhängigkeit verschiedener Systemparameter, insbesondere in Abhängigkeit der Reibung des Gaswechselventils 5 und der beweglichen Teile des Aktuators, der Temperatur des Schmiermittels, des Druck in der Brennkammer zum Zeitpunkt des Öffnens des Gaswechselventils 5 und der Einschaltzeitpunkte der Elektromagnete 2, 3, variieren. Der Sollwert v_{SOLL} wird daher vorteilhafterweise in Abhängigkeit dieser Systemparameter, die mittels geeigneter Sensoren oder anhand von Kennlinienfeldern ermittelt werden, dynamisch vorgegeben.

[0034] Durch schrittweises Verschieben der Einschaltzeitpunkte T_n , T_{n+1} des Schließmagneten 2 wird dem Anker 1 mit jedem Zyklus jeweils mehr oder weniger kinetische Energie zugeführt, wodurch die Auftreffgeschwindigkeit den Ankers 1 auf den Schließmagneten 2 zu- bzw. abnimmt. Dementsprechend ist die Stromabnahme ΔI von Zyklus zu Zyklus stärker bzw. weniger stark ausgeprägt. Somit wird ein Lernen von Zyklus zu Zyklus gewährleistet.

[0035] Die Anwendung dieses Algorithmus setzt eine zyklische Arbeitsweise mit sich wiederholenden Prozeßabläufen voraus, wobei diese nicht streng periodisch erfolgen müssen. Demnach wird der Algorithmus nur dann eingesetzt, wenn die Systemparameter (Reibung, Temperatur, Druck in der Brennkammer) sich von Zyklus zu Zyklus nicht oder nur wenig ändern. In stark zyklusvarianten Phasen wird vorteilhafterweise vorgesteuert, d. h. die Systemparameter werden ermittelt und die Einschaltzeitpunkte T_{n+1} für die jeweils folgenden Zyklen werden zunächst in Abhängigkeit der Systemparameter vorgegeben und anschließend nachgeregelt. Ist die Aufprallgeschwindigkeit in einer zyklusinvarianten Phase auf den vorgegebenen Wert eingeregelt, läßt sich der Einschaltzeitpunkt T_{n+1} in Abhängigkeit der systemparameter als Steuerdaten in einer Speichereinheit abspeichern und zur Vorsteuerung bei gleichen Systemparametern verwenden. Hierdurch wird eine adaptive Vorsteuerung realisiert.

[0036] im vorliegenden Beispiel wird die Wirkung der Induktivitätsänderung der Elektromagnete 2 und 3 auf den Erregerstrom I_2 bzw. I_3 ausgewertet. Da zwischen dem Bewegungsverlauf des Ankers und dem Induktivitätsverlauf der Elektromagnete 2, 3 ein funktioneller Zusammenhang besteht, der sich ohne weiteres, beispielsweise anhand einer Meßreihe, ermitteln läßt, kann die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers 1 auf die Elektromagnete 2, 3 auch dadurch geregelt werden, daß der

Induktivitätsverlauf des jeweiligen Elektromagneten 2 bzw. 3 ermittelt wird, hieraus der Bewegungsverlauf des Ankers 1 bestimmt wird und aus diesem Bewegungsverlauf die Geschwindigkeit des Ankers 1 zum Zeitpunkt des Auftreffens auf den jeweiligen Elektromagneten 2 bzw. 3 ermittelt und als Regelgröße v_{IST} bereitgestellt wird.

[0037] Im folgenden werden verschiedene Möglichkeiten zur Ermittlung der Induktivität des Schließmagneten 2 aufgezeigt; die Induktivität des Öffnungsmagneten 3 läßt sich selbstverständlich auf die gleiche Weise ermitteln.

[0038] Wie bereits ausgeführt gilt für die Erregerspannung $u(t)$ des schließmagneten 2 folgende Gleichung

$$u(t) = i(t) \cdot R_{Cu} + \frac{d\Psi}{dt}.$$

[0039] Hieraus erhält man durch Integration nach der Zeit den verketteten magnetischen Fluß

$$\Psi(t) = \int_0^t (u(\tau) - i(\tau) \cdot R_{Cu}) d\tau + C.$$

[0040] Mit $\Psi(t) = I(t) \cdot L(t)$ und der Randbedingung $\Psi(0) = C = 0$ ergibt sich für die Induktivität folglich

$$L(t) = \frac{\int_0^t (u(\tau) - i(\tau) \cdot R_{Cu}) d\tau}{i(t)}$$

für $i(t) \neq 0$. Der Induktivitätsverlauf $L(t)$ des Schließmagneten 2 läßt sich somit aus den zeitlichen Verläufen der Erregerspannung $u(t)$ und Erregerstromes $i(t)$ berechnen.

[0041] Ferner läßt sich der Induktivitätsverlauf $L(t)$ des Schließmagneten 2 auch durch Messung der Resonanzfrequenz eines mittels einer Kapazität und dem Schließmagneten 2 gebildeten LC-Schwingkreises ermitteln. Die mittlere Resonanzfrequenz wird hierbei durch die Wahl der Kapazität so hoch gewählt, daß die Bewegung des Ankers 1 hinreichend genau aufgelöst wird und die Ankerposition sich während einer schwingungsperiode nur minimal ändert. Beispielsweise erhält man bei einer Flugzeit, d. h. Bewegungszeit des Ankers 1 von ca. 3,5 ms und einer mittleren Resonanzfrequenz von etwa 14 kHz 50 Schwingungsperioden und somit 50 Werte für die Ankerposition, mit denen die Bewegung des Ankers 1 bei einem Ventilhub von ca. 7 mm ausreichend genau aufgelöst wird.

[0042] Der Induktivitätsverlauf des Schließmagneten 2 läßt sich auch durch Messung von dessen komplexen Widerstandes ermitteln. Hierzu wird der dem

Schließmagneten 2 zugeführten Erregerspannung $u(t)$ eine hochfrequente Meßspannung als Meßsignal überlagert und der durch die Meßspannung bewirkte Anteil des Erregerstromes $i(t)$ anhand seiner Frequenz detektiert und nach Betrag und Phasenlage ausgewertet. Das Verhältnis aus der Meßspannung und dem der Meßspannung entsprechenden Anteil des Erregerstromes ergibt einen komplexen Zahlenwert - den aus einem ohmschen und einem imaginären Anteil bestehenden komplexen Widerstand des Elektromagneten - aus dessen imaginärem Anteil die momentane Induktivität des Schließmagneten 2 hergeleitet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils (5), bei dem der Aktuator mit mindestens einem Elektromagneten (2, 3) über einen Anker (1) gegen die Kraft mindestens einer Ventillfeder (60, 63) auf das Gaswechselventil (5) wirkt und dieses durch Bewegung des Ankers (1) betätigt, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine von einer Induktivitätsänderung des Elektromagneten (2, 3) abhängige Regelgröße (v_{IST}) als Maß der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers (1) auf den Elektromagneten (2, 3) gebildet wird und daß die Regelgröße (v_{IST}) durch Steuerung der Energiezufuhr zum Elektromagneten (2, 3) auf einen Sollwert (v_{SOLL}) geregelt wird, den sie bei einem vorgegebenen Wert der Auftreffgeschwindigkeit des Ankers (1) auf den Elektromagneten (2, 3) annimmt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Bildung der Regelgröße (v_{IST}) die Geschwindigkeit einer während der Ankerbewegung auftretenden Stromabnahme (ΔI) eines durch den Elektromagneten fließenden Erregerstromes (I_2, I_3) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Bildung der Regelgröße (v_{IST}) der zeitliche Verlauf der Induktivität des Elektromagneten (2, 3) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zeitliche Verlauf der Induktivität des Elektromagneten (2, 3) aus dem zeitlichen Verlauf einer dem Elektromagneten zugeführten Erregerspannung ($u(t)$) und dem zeitlichen Verlauf eines durch den Elektromagneten (2, 3) fließenden Erregerstromes ($i(t)$) ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zeitliche Verlauf der Induktivität des Elektromagneten (2, 3) aus dem Verlauf der Resonanzfrequenz eines aus dem Elektromagneten (2, 3) und einer Kapazität gebildeten LC-Schwingkreises ermittelt wird.
6. verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zeitliche Verlauf der Induktivität des Elektromagneten (2, 3) aus dem Verlauf eines mittels eines hochfrequenten Meßsignals erfaßten komplexen Widerstandes des Elektromagneten (2, 3) ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energiezufuhr zum Elektromagneten (2, 3) gesteuert wird, indem die Regelgröße (v_{IST}) mit einem vorgegebenen Sollwert (v_{SOLL}) verglichen wird und ein nächster Einschaltzeitpunkt (T_{n+1}) des Elektromagneten (2, 3) in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses vorgegeben wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sollwert (v_{SOLL}) der Regelgröße (v_{IST}) in Abhängigkeit von Systemparametern vorgegeben wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einschaltzeitpunkte (T_n, T_{n+1}) des Elektromagneten (2, 3) in Abhängigkeit von Systemparametern vorgegeben werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein nächster lokaler Maximalwert (I_{20}) des Erregerstroms (I_2, I_3) in Abhängigkeit von Systemparametern vorgegeben wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** aus den sich bei verschiedenen Systemparametern einstellenden Einschaltzeitpunkten (T_n) des Elektromagneten (2, 3) Steuerdaten gebildet werden, die in Abhängigkeit der Systemparameter abgespeichert werden, und daß bei einer Änderung der Systemparameter der nächste Einschaltzeitpunkt (T_{n+1}) des Elektromagneten (2, 3) nach Maßgabe der den momentanen Systemparametern entsprechenden abgespeicherten Steuerdaten vorgesteuert wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerdaten aus den sich bei verschiedenen Systemparametern ergebenden lokalen Maximalwerten (I_{20}) des Erregerstroms (I_2, I_3) gebildet werden.
13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Aktuator mit zwei einander gegenüberliegenden Elektromagneten (2, 3) gegen die Kraft zweier Ventillfedern (60, 63) auf den Anker (1) wirkt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Auftreffgeschwindigkeiten des Ankers (1) auf die beiden Elektromagnete (2, 3) jeweils in gleicher Weise geregelt werden.

Claims

1. A process for the operation of an electromagnetic actuator for the actuation of a charge changing valve (5) in which the actuator having at least one electromagnet (2, 3) acts via an armature (1) on the charge changing valve (5) against the force of at least one valve spring (60, 63) and actuates said charge changing valve (5) by moving the armature (1),
characterised in that
a controlled variable (v_{IST}) dependent on a change in inductivity of the electromagnet (2, 3) is created as a measure of the speed with which the armature (1) strikes the electromagnet (2, 3) and the controlled variable (v_{IST}) is set by adjusting the supply of energy to the electromagnet (2, 3) to a reference value (v_{SOLL}) which it assumes at a pre-set value of the speed at which the armature (1) strikes the electromagnet (2, 3).
2. A process in accordance with claim 1,
characterised in that
in order to create the controlled variable (v_{IST}), the speed of a decrease in current (ΔI) of an exciting current (I_2, I_3) flowing through the electromagnet (2, 3) during the armature movement is determined.
3. A process in accordance with claim 1,
characterised in that
in order to create the controlled variable (v_{IST}), the time history of the inductivity of the electromagnet (2, 3) is determined.
4. A process in accordance with claim 3,
characterised in that
the time history of the inductivity of the electromagnet (2, 3) is determined from the time history of an exciting voltage ($u(t)$) supplied to the electromagnet and the time history of an exciting current ($i(t)$) flowing through the electromagnet (2, 3).
5. A process in accordance with claim 3,
characterised in that
the time history of the inductivity of the electromagnet (2, 3) is determined from the course of the resonance frequency of an LC resonant circuit comprising the electromagnet (2, 3) and a capacitor.
6. A process in accordance with claim 3,
characterised in that

the time history of the inductivity of the electromagnet (2, 3) is determined from the course of a complex resistance of the electromagnet (2, 3) recorded by means of a high frequency measuring signal.

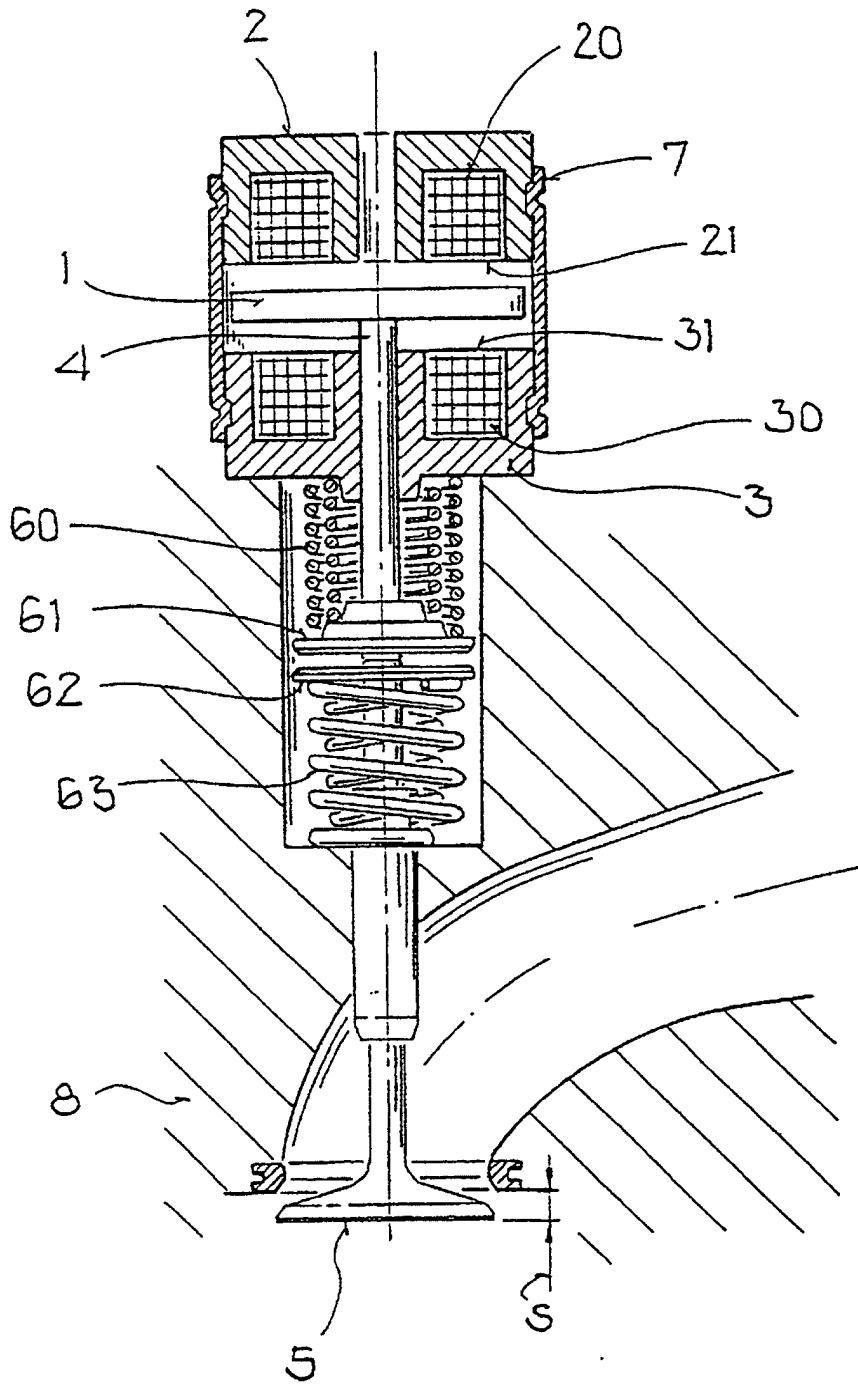
7. A process in accordance with one of the preceding claims,
characterised in that
the supply of energy to the electromagnet (2, 3) is regulated by comparing the controlled variable (v_{IST}) with a pre-set reference value (v_{SOLL}) and presetting a next switching-on time (T_{n+1}) of the electromagnet (2, 3) dependent on the result of the comparison.
8. A process in accordance with claim 7,
characterised in that
the reference value (v_{SOLL}) of the controlled variable (v_{IST}) is pre-set dependent on system parameters,
9. A process in accordance with claim 7 or 8,
characterised in that
the switching-on times (T_1, T_{n+1}) of the electromagnet (2, 3) are pre-set dependent on system parameters.
10. A process in accordance with claim 9,
characterised in that
a next local maximum value (I_{20}) of the exciting current (I_2, I_3) is pre-set dependent on system parameters.
11. A process in accordance with one of claims 7 to 10,
characterised in that
control data is created from the switching-on times (T_n) of the electromagnet (2, 3) set at various system parameters, said control data being stored dependent on the system parameters, and if the system parameters are changed the next switching-on time (T_{n+1}) of the electromagnet (2, 3) is pilot controlled dependent on the stored control data corresponding to the system parameters at the time.
12. A process in accordance with claim 11,
characterised in that
the control data is created from the local maximum values (I_{20}) of the exciting current (I_2, I_3) with various system parameters.
13. A process in accordance with one of the preceding claims,
characterised in that
the actuator acts on the armature (1) with two opposing electromagnets (2, 3) against the force of two valve springs (60, 63).
14. A process in accordance claim 13,

characterised in that

the speeds at which the armature (1) strikes the two electromagnets (2, 3) are controlled in the same manner.

Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un actionneur électromagnétique pour actionner une soupape de changement de gaz (5), selon lequel l'actionneur agit avec au moins un électroaimant (1, 3) par l'intermédiaire d'une armature (1) à l'encontre de la force d'au moins un ressort de soupape (60, 63) sur la soupape de changement de gaz (5) et actionne cette dernière par déplacement de l'armature (1), **caractérisé en ce qu'une** grandeur de régulation (v_{REELLE}), qui dépend d'une variation d'inductance d'un électroaimant (1, 3), est formée en tant que mesure de la vitesse d'impact de l'armature (1) sur les électroaimants (2, 3) et que la grandeur de régulation (v_{REELLE}) est réglée par commande de l'envoi d'énergie aux électroaimants (2, 3) à une valeur de consigne ($v_{CONSIGNE}$), qu'elle prend pour une valeur prédéterminée de la vitesse d'impact de l'armature (1) sur les électroaimants (2, 3).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la vitesse d'un prélèvement de courant (ΔI), qui apparaît pendant le déplacement de l'armature, d'un courant d'excitation (I_2, I_3) circulant dans les électroaimants est déterminée pour la formation de la grandeur de régulation (v_{REELLE}).
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la variation dans le temps de l'inductance de l'électroaimant (2, 3) est déterminée pour la formation de la grandeur de régulation (v_{REELLE}).
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la variation dans le temps de l'inductance de l'électroaimant (2, 3) est déterminée à partir de la variation dans le temps d'une tension d'excitation ($U(t)$) envoyée à l'électroaimant et de la variation dans le temps d'un courant d'excitation ($i(a)$) qui circule dans l'électroaimant (2, 3).
5. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la variation dans le temps de l'inductance de l'électroaimant (2, 3) est déterminée à partir de la variation de la fréquence de résonance d'un circuit oscillant LC formé par l'électroaimant (2, 3) et une capacité.
6. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la variation dans le temps de l'inductance de l'électroaimant (2, 3) est déterminée à partir de la variation d'une résistance complexe de l'électroaimant (2, 3), détectée à l'aide d'un signal de mesure à haute fréquence.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'envoi d'énergie à l'électroaimant (2, 3) est commandé par le fait que la grandeur de régulation (v_{REELLE}) est comparée à une valeur de consigne prédéterminée ($v_{CONSIGNE}$) et qu'un instant suivant d'activation (T_{n+1}) de l'électroaimant (2, 3) est prédéterminé en fonction du résultat de la comparaison.
8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la valeur de consigne ($v_{CONSIGNE}$) de la grandeur de régulation (v_{REELLE}) est prédéterminée en fonction de paramètres du système.
9. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** les instants d'activation (T_n, T_{n-11}) de l'électroaimant (2, 3) sont prédéterminés en fonction de paramètres du système.
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'une** valeur maximale locale suivante (I_{20}) du courant d'excitation (I_2, I_3) est prédéterminée en fonction de paramètres du système.
11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que** des données de commande, qui sont mémorisées en fonction des paramètres du système, sont formées à partir des instants d'activation (T_n) de l'électroaimant (2, 3), qui s'établissent pour différents paramètres du système, et que dans le cas d'une variation des paramètres du système, l'instant d'activation suivant (T_{n+1}) de l'électroaimant (2, 3) est commandé selon une commande pilote en fonction des données de commande mémorisées, qui correspondent aux paramètres instantanés du système.
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les données de commande sont formées à partir des valeurs maximales locales (I_{20}) du courant d'excitation (I_2, I_3), qui sont obtenues pour différents paramètres du système.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'actionneur agit avec deux électroaimants (2, 3) réciproquement opposés, à l'encontre de la force de deux ressorts de soupape (60, 63) sur l'armature (1).
14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** les vitesses d'impact de l'armature (1) sur les deux électroaimants (2, 3) sont réglées respectivement de la même manière.



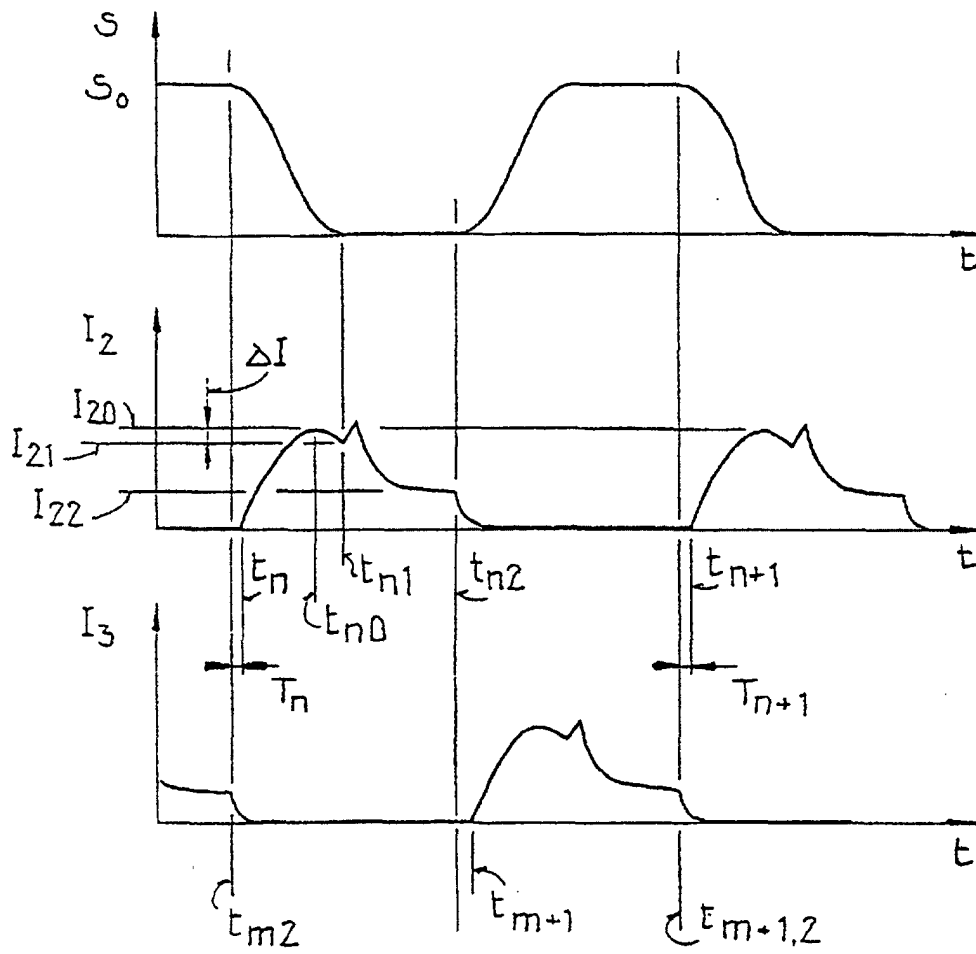


FIG.2