



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 099 043 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.10.2005 Patentblatt 2005/40

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

(21) Anmeldenummer: **00935052.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2000/004463

(22) Anmeldetag: **17.05.2000**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2000/071861 (30.11.2000 Gazette 2000/48)

(54) **VERFAHREN ZUR ANSTEUERUNG EINES ELEKTROMAGNETISCHEN VENTILTRIEBS FÜR EIN GASWECHSELVENTIL AN EINER KOLBENBRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD FOR CONTROLLING AN ELECTROMAGNETIC VALVE DRIVE MECHANISM FOR A GAS EXCHANGE VALVE IN AN INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE

PROCEDE DE COMMANDE D'UN MECANISME DE DISTRIBUTION ELECTROMAGNETIQUE POUR SOUPEPE A GAZ A DEUX VOIES DANS UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE A PISTON

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

- **VAN DER STAAAY, Frank**
D-52146 Würselen (DE)
- **KATHER, Lutz**
D-52146 Würselen (DE)

(30) Priorität: **19.05.1999 DE 19922970**

(74) Vertreter: **Maxton Langmaack & Partner**
Patentanwälte,
Mathiaskirchplatz 5
50968 Köln (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.05.2001 Patentblatt 2001/20

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

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 281 192 **EP-A- 0 727 566**
DE-A- 19 529 155 **DE-A- 19 530 121**
DE-A- 19 723 405 **DE-A- 19 733 106**
DE-A- 19 739 840 **DE-A- 19 847 851**
US-A- 3 896 346

(72) Erfinder:
• **SCHMITZ, Günter**
D-52074 Aachen (DE)
• **BOIE, Christian**
D-52064 Aachen (DE)

EP 1 099 043 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] Bei elektromagnetischen Ventiltrieben zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine besteht insbesondere bei Vorhandensein eines Ventilspiels ein großes Problem darin, die Aufsetzgeschwindigkeit des Ventils auf sehr kleine Werte (unter 0,2m/s) zu regeln, da bezogen auf den Ankerabstand der Auftreffpunkt des Ventils im Betrieb sich aus thermischen Gründen (Variation des Ventilspiels) ändert. Außerdem muß der Anker nach dem Auftreffen des Ventils noch sicher die Polfläche erreichen. Bei zu geringer Bestromung kehrt der Anker frühzeitig um und schlägt das Ventil wieder los. Bei zu hoher Bestromung kommt es zu hohen Ankeraufsetzgeschwindigkeiten, die zum einen akustisch problematisch sind, zum anderen aber auch zu Prellvorgängen und schlimmstenfalls führen und somit zum Ausfall des gesamten Systems.

[0002] Die DE 197 39 840 A1 beschreibt die Verwendung eines Wegsensors und die Steuerung einer Geschwindigkeit des Stellorgans. Die DE 197 23 405 A1 beschreibt, eine Bestromung eines Elektromagneten bei Eintreten eines Ankers in dessen Nahbereich so zu regeln, dass ein Kräftegleichgewicht zwischen elektromagnetischen Kräften einerseits und Rückstellkräften andererseits kurz vor seiner Endlage an den Polen erreicht wird und danach die Bestromung so gesteuert wird, dass der Anker mit einer vorgebbaren Geschwindigkeit die Polfläche erreicht.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Steuerung eines elektromagnetischen Ventiltriebes zu verbessern in bezug auf ein sicheres Erreichen der Schließposition bei gleichzeitiger Vermeidung von Prellvorgängen insbesondere bei Vorhandensein eines Ventilspiels und unter Vermeidung der oben genannten Nachteile.

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 sowie eine Vorrichtung mit dem Merkmalen des Anspruches 15 gelöst.

[0005] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine, der einen mit dem Gaswechselventil in Wirkverbindung stehenden Anker aufweist, der gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder zwischen zwei Elektromagneten hin und her bewegbar geführt ist, deren Bestromung mit Hilfe einer Sensorik über eine Motorsteuerung (9) so gesteuert wird, dass jeweils die fangenden Magneten so gesteuert werden, dass der Anker in "Schleichfahrt" an die Polfläche herangeführt wird, wobei zur Ausregelung eines Ventilspiels bei der Schließbewegung des Gaswechselventils die Bestromung des fangenden Magneten so gesteuert wird, dass zunächst das Ventil auf seinen Sitz und nach Durchlaufen des Ventilspiels der Anker auf der Polfläche sanft mit einer Geschwindigkeit von 0,2 m/s und weniger aufsetzen, wird in Abhängigkeit von einer Positionserfassung des Ankers und des Ventils die Bestromung so ge-

regelt, dass der Anker ein vorgegebenes Weg-Geschwindigkeitsprofil einhält, und die über die Auftreffregelung erfassten Informationen über die Bewegung des Gaswechselventils der Motorsteuerung zugeführt wobei eine Sollkurve $v(s)$ des vorgegebenen Weg-Geschwindigkeitsprofils im letzten Teil der Bewegung flach gewählt wird.

[0006] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung eines vorbeschriebenen Verfahrens zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators zur Betätigung eines Gaswechselventils an einer Kolbenbrennkraftmaschine, weist einen mit dem Gaswechselventil in Wirkverbindung stehenden Anker auf, der gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder zwischen zwei Elektromagneten hin und her bewegbar geführt ist, deren Bestromung mit Hilfe einer Sensorik über eine Motorsteuerung gesteuert wird, wobei die Steuerung derart ist, dass die jeweils fangenden Magneten den Anker in "Schleichfahrt" an die Polfläche heranzuführen, und in einer Schließposition des Ventils ein Spalt zwischen Ventil und Anker vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ankerpositionsregler zum sanften Aufsetzen des Ankers und ein Ventilpositionsregler zum sanften Aufsetzen des Ventils vorhanden sind, und die Steuerung ein Umschalten zwischen beiden Positionsreglern beim Verfahren in die Schließposition aufweist, wobei eine Sollkurve $v(s)$ eines vorgegebenen Weg-Geschwindigkeitsprofils im letzten Teil der Bewegung flach gewählt ist.

[0007] Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen elektromagnetischen Ventiltrieb mit Steuerung

Fig. 2 den Verlauf der Geschwindigkeit von Ventil und Anker bei der Schließbewegung

Fig. 3 den Verlauf der Geschwindigkeit von Ventil und Anker beim Erreichen der Schließstellung in größerem Maßstab

Fig. 4 den Verlauf des Weges von Ventil und Anker sowie des Stroms in Abhängigkeit von der Zeit bei einer Regelung nach dem Stande der Technik

Fig. 5 den Verlauf des Weges des Ankers und des Stroms in Abhängigkeit von der Zeit bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens

Fig. 6 den Grundaufbau der Steuerung in Form eines Blockschaltbildes

Fig. 7 den Ablauf des erfindungsgemäßen

- Anstauungsverfahrens anhand eines Blockschaltbildes
- Fig. 8 das Blockschaltbild gemäß Fig. 7 ergänzt um einen "Beobachter"
- Fig. 9 das Blockschaltbild gemäß Fig. 8 mit einer Verknüpfung von Motorsteuerung und Beobachter
- Fig. 10 das Blockschaltbild gemäß Fig. 9 ergänzt durch eine Vorabschätzeinheit
- Fig. 11 und 12 Abwandlungen der Schaltung bei Verwendung eines "Beobachters"
- Fig. 11 bis 15 Aufbau und Funktion eines magnetoresistiven Bewegungssensors
- Fig. 16 und 17 Ausführungsformen von Mikrowellen-Resonator-Wegsensoren
- Fig. 18 eine optische Variante eines Resonator-Wegsensor

[0008] In Fig. 1 ist das Grundprinzip eines derartigen elektromagnetischen Ventiltriebs mit seiner Steuerung schematisch dargestellt.

[0009] Ein elektromagnetischer Ventiltrieb zur Betätigung eines Gaswechselventils 2 besteht im wesentlichen aus einem Aktuator 1 mit einem Schließmagneten 3 und einem Öffnermagneten 4, 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.

[0010] In Fig. 1 ist die "klassische" Anordnung der Öffnerfeder und der Schließfeder in Schließstellung dargestellt. 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 elektromagnetischen Aktuators ist vom Schaft 2.1 getrennt, in der Regel ist hier in der Schließstellung ein Spalt in Form des sogenannten Ventilspiels VS vorhanden. Die Öffnerfeder 7 stützt sich wiederum auf einem Federteller 11.1 an der Führungsstange 11 ab, so daß in der Mittellage bei stromlos gesetzten Magneten unter der gegeneinandergerichteten Wirkung von Öffnerfeder 7 und Schließfeder 8 die Führungsstange 11 sich auf dem Schaft 2.1 des Gaswechselventils 2 abstützt. Es ist auch möglich, anstelle 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, gleichwohl ein Ventilspiel zuläßt.

[0011] Die Elektromagneten 3 und 4 des Aktuators 1 werden über eine elektronische Motorsteuerung 9 entsprechend den vorgegebenen Steuerprogrammen und in Abhängigkeit von den der Motorsteuerung zugeführten Betriebsdaten, wie Drehzahl, Temperatur etc. angesteuert.

[0012] Dem Aktuator 1 ist ein Sensor 10 zugeordnet, der die Erfassung der Aktuatorfunktionen ermöglicht. Der Sensor 10 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 9 übermittelt werden kann. In der Motorsteuerung 9 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 3, 4 gesteuert werden kann.

[0013] Der Sensor 10 muß nicht zwangsläufig, wie dargestellt, der verlängerten Führungsstange 11 seitlich zugeordnet sein, sondern es ist auch möglich, entsprechende Sensoren im Bereich der Polfläche der jeweiligen Elektromagneten anzuordnen oder aber auch seitlich dem Anker 5 zuzuordnen.

[0014] Die Motorsteuerung 9 weist ferner entsprechende Mittel zur Erfassung des Stroms und der 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 vollvariabel angesteuert werden, so beispielsweise hinsichtlich des Beginns und des Endes der Öffnungszeiten. Auch eine Ansteuerung hinsichtlich der Höhe des Öffnungshubes oder auch der Zahl der Öffnungshübe während einer Schließzeit ist möglich.

[0015] Zur Erzielung niedriger Aufsetzgeschwindigkeiten des Ankers 5 ist eine Stromregelung erforderlich, die als Eingangssignal eine Information über die aktuelle Bewegung bzw. Position des Ankers benötigt. Solange kein Ventilspiel vorhanden ist, reicht eine Regelung nach der Ankerposition aus. Bei Vorhandensein eines Ventilspiels ist allerdings auf der Schließerseite die Situation recht problematisch. Die Geschwindigkeit des Ankers und somit des Ventils muß bereits beim Aufsetzen des Ventils im Ventilsitz einen recht kleinen Wert von ca. 0,2m/s oder kleiner aufweisen (zumindest im Bereich kleiner Drehzahlen).

[0016] In Fig. 2 ist die Situation für ein "normales" Ventilabsetzen, d. h. ohne Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, verdeutlicht. Dargestellt ist hier als ausgezogene Linie die Geschwindigkeit des Ankers über dem Ankerweg. Ganz rechts ist die Position für den geöffneten Fall dargestellt. Als Beispiel wurde hier ein

Ankerhub von 8mm gewählt. Ganz links bei 0,0 ist die Ankerposition bei Anlage an der Polfläche des Schließermagneten dargestellt. Eine Schließbewegung beginnt demgemäß an der Position ganz rechts im Bild bei 8mm und Geschwindigkeit 0. Die Geschwindigkeit erhöht sich nun bis etwa zum Erreichen der Mitte zwischen den Polflächen (bei ca. 4mm). Wenn der Anker "normal" (ungeregelt) betrieben wird, so hat das Ventil insbesondere bei einem deutlichen Ventilspiel von beispielsweise 0,4mm (kalter 0Motor) bei Ankunft im Ventilsitz noch eine recht hohe Geschwindigkeit von etwa 1,1m/s. Bei dieser Position kommt es zu einer Trennung der Ankerbewegung von der Ventilbewegung. Das Ventil wird abrupt gebremst (unterbrochene Linie), die Geschwindigkeit geht sogar unter Null, d.h. das Ventil prallt wieder ab.

[0017] Der Anker wird zunächst langsamer, kurz vor dem Auftreffen nimmt seine Geschwindigkeit aber wieder zu und er trifft mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,5m/s auf. Die Ankergeschwindigkeit war zwischenzeitlich fast bis auf Null reduziert; bei einer weiteren Reduktion des Fangstromniveaus würde der Anker also vor Erreichen der Polfläche wieder umkehren, das System würde ausfallen.

[0018] In Fig. 3 ist der Bereich des Ventilaufsetzens und Ankeraufsetzens vergrößert dargestellt. Die getrennten Bewegungen von Anker und Ventil sind deutlich zu erkennen. Zunächst bewegen sich Anker und Ventil ohne Ventilspiel zusammen (Kurve v_{A+V}). Sobald das Ventil auf seinen Sitz auftrifft, trennen sich Ventil und Anker und führen aufgrund des Ventilspiels Eigenbewegungen aus. (Ventil unterbrochene Linie, Anker ausgezogene Linie).

[0019] In Fig. 4 sind über der Zeit aufgetragen die Verläufe der Ankerposition (ausgezogene Linie), der Ventilposition (unterbrochene Linie) und des Stromes (strichpunktierte Linie). Man erkennt im Stromniveau zunächst die Einhaltung eines konstanten Stromwertes, der allerdings bei großer Annäherung des Ankers zunächst einbricht, da die gegeninduzierte Spannung die Versorgungsspannung übersteigt. Im Anschluß wird zum sicheren Fangen des Ankers die Stromvorgabe für das Stromniveau erhöht. Weil der Anker fast zur Ruhe kommt, kann das neue Niveau auch erreicht werden, da durch die Bewegungslosigkeit des Ankers zunächst keine weitere Gegenspannung induziert wird.

[0020] In Fig. 5 sind die Verhältnisse bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 und Fig. 4 dargestellt.

[0021] In Fig. 5 sind die Verläufe von Ankerweg und Strom über der Zeit wiedergegeben. Bedingt durch eine Regelung des Stromverlaufes kann eine Ventilauffregeschwindigkeit von etwa 0,2m/s erzielt werden.

[0022] Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild der Ansteuerung des Aktuators. Die Motorsteuerung 9 gibt dabei den Zeitpunkt vor, wann der Bewegungsvorgang (Ventilschließen) eingeleitet wird. Dies geschieht dann durch Abschalten des Stromes durch die Schließerspule im

Stromtreiber (Endstufe) 12 (hier ist keine Stromzufuhr zur Schließerspule dargestellt). Abhängig von der jeweiligen Ankerposition, die über eine Positionserfassungseinrichtung 13, beispielsweise Sensor 10 plus Aufbereitungsschaltung, wird nun der Strom beispielsweise derart geregelt, daß der Anker möglichst ein vorgebbares Weg-Geschwindigkeitsprofil einhält. Hierzu dient der Positionsregler 14.

[0023] In Fig. 7 ist nun gezeigt, daß zwei Regel- oder Steuervorgänge vorgesehen sind. Zunächst wird während des Fluges des Gaswechselventils die Regelung von dem hier nun als Ventilpositionsregler 14 bezeichneten Block übernommen. Dieser Block kann identisch zu demjenigen Block 14 in Fig. 6 ausgelegt sein, muß aber berücksichtigen, daß das Ziel, das mit geringer Geschwindigkeit zu erreichen ist, nicht die Polfläche darstellt sondern vielmehr der Ventilsitz, also Position der Polfläche plus Ventilspiel.

[0024] Sobald erkannt wird, daß das Ventil im Sitz angekommen ist (oder sich zumindest in unmittelbarer Nähe befindet), wird auf die Ankerregelung umgeschaltet. In Fig. 7 ist dies veranschaulicht, indem ein "Ventiltrenndetektor" 17 feststellt, daß das Ventil im Sitz angekommen ist und somit die Stromvorgabe für den Stromtreiber (Endstufe) 12 umschaltet auf den Ausgang des Ankerpositionsreglers 15. (Tatsächlich kann der Ankerpositionsregler physikalisch derselbe Block sein, der nur in einen anderen Modus gesteuert wird.) Der Ventiltrenndetektor kann seine Information aus dem Sensor 10 des Positionsdetektors oder dem Ausgangssignal der Positionserfassung 13 beziehen, die Trennung von Ventil und Anker aus Strom und/oder Spannungsverlauf am Magneten schlußfolgern oder über einen separaten Sensor 16 feststellen. Ein solcher Sensor kann einfach aus einem Kontakt bestehen, der geschlossen wird, wenn sich die beiden elektrisch leitfähigen Teile trennen (z.B. Ankerbolzen und Ventilschaft). Um Probleme mit Verschmutzungen der Kontakte zu umgehen, kann jedoch auch eine Kapazitätsänderung zwischen den sich trennenden Komponenten festgestellt werden; hierzu ist eine nichtleitende Trennschicht zwischen den beiden Komponenten erforderlich.

[0025] Der Ankerstromregler kann seine Funktion auch über eine Zeitsteuerung ausführen, da lediglich die Distanz des Ventilspiels noch überbrückt werden muß. Hierzu erfolgt beispielsweise eine Vorgabe des Stromverlaufes über der Zeit, und dies in Abhängigkeit des vorhandenen Ventilspiels. Somit wird es auch möglich, anstelle des Ankerpositionssensors einen Ventilpositionssensor zu verwenden, da die Information über die Ankerposition nicht mehr derart wichtig ist.

[0026] Fig. 8 zeigt eine Erweiterung der Regelung, die besonders dann sinnvoll ist, wenn die Positionserfassung mit kostengünstigen Sensoren erfolgen soll. Dabei besteht nämlich das Problem, daß zur Gewinnung einer Geschwindigkeitsinformation das Wegsignal differenziert werden muß. Dies ist allerdings bei einem veräuschten oder gestörten Signal nur sehr unzureichend

möglich. Abhilfe schaffen kann man nun mit einem Beobachter 19, der ein Modell des Aktuators beinhaltet (z. B. in Form von Differentialgleichungen für den Zusammenhang zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit und Position des Ankers sowie Informationen über Masse von Anker und Ventil, Federkräften etc.). Schließlich ist ja der prinzipiell mögliche Verlauf der Geschwindigkeit durch das System in Grenzen vorhersehbar. Das Modell kann nun zunächst bei Beginn der Bewegung initialisiert werden. Bekannt ist ja zu diesem Zeitpunkt die exakte Position, sowie die Geschwindigkeit. Die neuen Informationen über die gemessene Position 13 sowie ggf. die vom Modell ermittelten Zustandsgrößen fließen in den Beobachter (in das Modell) als neuerliche Eingangsgroßen ein und können somit wiederum zur Korrektur der aktuell ausgegebenen Größen über Weg und Geschwindigkeit verwendet werden. Auch kann eine Selbstkalibrierung (Adaption) des im Beobachter enthaltenen Modells erfolgen. Stellt beispielsweise der Beobachter fest, daß die Reibung größer ist als bisher im Modell vorgesehen, kann die entsprechende Größe automatisch neu parametrisiert werden.

[0027] Auch können bestimmte Parameter zur Verbesserung der Modellparametrierung von der Motorsteuerung z.B. in Abhängigkeit der Last (Gaskräfte beim Auslaßventil) oder die Motortemperatur (Abschätzung Ventilspiel, Reibung etc.) in das Modell gefüttert werden (siehe auch Fig. 9, Verbindung von 11 nach 19).

[0028] Zusätzlich zur rein mechanischen Modellbildung können naturgemäß auch eine zusätzliche Berücksichtigung der Magnetkräfte erfolgen. Hierzu muß eine Kenntnis über die aktuell vorliegende Bestromung vorliegen. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt (Verbindung von 12 nach 19 in Fig. 19).

[0029] Die Qualität des Reglers selber kann auch verbessert werden, wenn man eine vorausschauende Abschätzung vornehmen kann, welchen Einfluß die eingeleiteten Maßnahmen (Änderung der Stromhöhe) auf den Anker haben werden. Dazu wird gem. Fig. 10 dem Regler 14 eine "Vorabschätzeinheit", ein Prediktor 20 zur Verfügung gestellt. Dieser Prediktor 20 enthält ebenfalls wieder ein Modell des Systems und kann somit Abschätzen, welche Auswirkungen die Maßnahmen haben werden. Wenn die Maßnahmen als nicht ausreichend oder als zu stark betrachtet werden, so kann der Regler entsprechend noch korrigiert ("zurückgepfiffen") werden.

[0030] Auch der Prediktor 20 kann wiederum "lernfähig" gestaltet sein, so daß er sich automatisch an veränderte Modellparameter anpaßt.

[0031] Besonderes Augenmerk muß auf die einerseits kostengünstig zu gestaltende, andererseits auch möglichst genaue Erfassung der Position des Ankers bzw. des Ventils gelegt werden. Insbesondere in der Phase der letzten Annäherung, wenn die Geschwindigkeit schon relativ klein ist und die Weginformation sehr genau sein muß, kann die Auflösungsgrenze einer möglicherweise erforderlichen Analog/Digital-Wandlung

(Quantisierung) problematisch sein. Verbessert werden kann diese Auflösung, indem vor der Wandlung der jeweils aktuell abgeschätzte Wert der Position (z.B. aus Beobachter 19) zunächst von dem vom Sensor erfaßten Wert abgezogen wird, bevor der Wert digitalisiert wird. In Fig. 11 ist die Rückführung 21 des Positionssignals vom Beobachter mit Modell 19 in die Positionserfassung 13 zu erkennen.

[0032] In Fig. 12 ist beispielhaft eine Ausführungsform der Positionserfassung dargestellt. Das Rückführungssignal 21, das digital vom Beobachter zur Verfügung gestellt wird, wird einem D/A-Wandler 22 zugeführt. Der Ausgang des D/A-Wandlers 22 liefert also den aktuell vom Beobachter ermittelten Wert für die Position in analoger Form. Dieser Wert wird mit Hilfe eines Subtrahierers 24 von dem Signal eines Positionssensors subtrahiert, das zunächst von einer Aufbereitungsschaltung 23 auf den richtigen Pegel angehoben wurde. Hinter dem Subtrahierer liegt nur noch die Differenz zur derzeit vom Beobachter ermittelten Position vor. Der Signalbereich dieses Signals ist naturgemäß deutlich kleiner als der des ursprünglichen Positionssignals. Somit kann es mit Hilfe eines Verstärkers 25 vor der A/D-Wandlung 26 im Pegel angehoben werden. Der A/D-Wandler führt dann das Differenzsignal zwischen der vom Beobachter ermittelten und der aktuellen, neuen Weginformation dem Beobachter 19 wiederum in digitaler Form zu. Dieser kann, sofern erforderlich, die neue Positionsinformation durch Addition des vorher ermittelten Signals 21 und der neuen Differenzinformation erhalten.

[0033] Andere Ausführungsformen sind ebenso möglich. So kann beispielsweise der A/D-Wandler und/oder der D/A-Wandler im Beobachter integriert sein. (Fig. 12)

[0034] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird zur Regelung eines sanften Auftreffens die Position und/oder die Geschwindigkeit des Ankers mit Hilfe eines Sensors fortlaufend gemessen und für eine closed-loop-Regelung des Aktuators verwendet. Dabei geht die Erfindung davon aus, daß eine effektive closed-loop-Regelung der Anker- bzw. Ventilgeschwindigkeit nur im letzten Teil der Bewegung, d. h. kurz vor Erreichen der jeweiligen Endlage möglich ist aufgrund der dynamischen Eigenschaften des Systems. Dennoch ist es erforderlich, schon zu einem früheren Zeitpunkt einzugreifen, um das erforderliche Stromniveau überhaupt erreichen zu können. Die Erfindung sieht im ersten Teil der Bewegung die Bestimmung von Parametern vor, die mit dem Zylinderinnendruck korreliert sind. Dies erfolgt durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate, indem die Trajektorie $v(s)$ im Zustandsraum betrachtet wird (v =Geschwindigkeit, s =Position). Abhängig von der Größe der Parameter wird bei Erreichen einer bestimmten Wegposition s_1 die Spannung konstant eingeschaltet. Bei Erreichen des Kräftegleichgewichtes ($dv/dt = 0$) wird vorzugsweise ein nichtlinearer Regler aktiviert, der die Spannung in Abhängigkeit von der Abweichung ($v - v(s)$) der gemessenen Geschwindigkeit von einer Sollkurve $v(s)$ ein- bzw. ausschaltet. Gemäß der Erfindung

wird bei Abschalten der Spannung über eine Brückenschaltung Energie verlustarm in das Bordnetz zurückgespeist, d. h. die jeweilige Spule mit der Versorgungsspannung betrieben. Durch die daraus resultierende Geschwindigkeit des Stromabfalls beim Abschalten ist eine closed-loop-Regelung gemäß der Erfindung besonders effektiv möglich.

[0035] In einer bevorzugten Anordnung wird die Bedingung $dv/dt=0$ direkt durch Ableitung und Filterung des Wegsignals erkannt.

[0036] In einer weiteren bevorzugten Anordnung wird die Bedingung $dv/dt=0$ ersetzt durch die Bedingung $I > I_{max}$, d. h. die Abschaltung der Spannung und Aktivierung des Reglers erfolgt bei Erreichen eines vorgegebenen Stromniveaus I_{max} .

[0037] In einer bevorzugten Anordnung werden die Einschaltposition s_{on} und die Stromschwelle I_{max} in Abhängigkeit von der gemessenen Versorgungsspannung und den Parametern, die den Zylinderinnendruck widerspiegeln, ausgedrückt. Dies kann durch einen funktionalen Zusammenhang oder ein Kennfeld erfolgen.

[0038] Die Sollkurve $v(s)$ wird im letzten Teil der Bewegung flach gewählt, so daß die Regelung auch bei Sensorfehlern eine niedrige Aufsetzgeschwindigkeit sicherstellen kann.

[0039] In einer bevorzugten Anordnung verläuft die Sollkurve $v(s)$ bei Geschwindigkeiten kleiner als 0,3 m/s, da in diesem Falle die Antwortzeit der Regelung kurz genug ist gegenüber der Totzeit des Systems, um eine closed-loop-Regelung zu realisieren.

[0040] In einer bevorzugten Anordnung wird die flache Sollkurve so weit ausgedehnt, daß damit der Bereich des Ventilspiels überbrückt werden kann, so daß Ventil und Anker mit niedriger Geschwindigkeit aufsetzen.

[0041] In einer bevorzugten Anordnung wird hierzu das Ventilspiel im ersten Teil der Öffnungsphase des Ventils gemessen, indem der abrupte Abfall der Geschwindigkeit des Ankers beim Aufprall auf das Ventil erkannt wird. Die Ausdehnung des langsamen Bewegungsabschnitts kann damit dem aktuellen Ventilspiel angepaßt werden.

[0042] In einer bevorzugten Anordnung wird das Feder-Masse-System so ausgelegt, daß der Abstand vom Punkt des frühestmöglichen Erreichens des Kräftegleichgewichts bis zur Endlage auf Öffner- und Schließerseite groß genug ist, um das Ventilspiel zu überbrücken und Sensorfehler ausgleichen zu können. Dabei wird bevorzugt ein wirbelstromarmer Anker beispielsweise aus einem Sintermaterial eingesetzt, um den Spielraum durch Absenken des maximal erforderlichen Stromniveaus für das Kräftegleichgewicht zu erhöhen.

[0043] Zur Erhöhung des Wegbereichs niedriger Geschwindigkeit vor der Endlage wird der Ablösevorgang durch kurzzeitiges Bestromen des Haltemagneten so gestaltet, daß eine niedrigere Maximalgeschwindigkeit erreicht wird und damit der Wegpunkt, an dem frühe-

stens ein Kräftegleichgewicht erreichbar ist, weiter von der Endlage entfernt liegt. In einer bevorzugten Anordnung wird die dabei mechanisch entnommene Energie elektrisch zurückgespeist, indem ein wirbelstromarmer Anker und eine entsprechende Taktungsstufe vorzugsweise in Brückenschaltung verwendet wird.

[0044] In einer bevorzugten Anordnung wird für den Sensor ein digitaler Wegsensor eingesetzt.

[0045] In einer bevorzugten Ausgestaltung werden die Sensor-Rohsignale mit Hilfe eines Zustandsbeobachters so aufbereitet, daß die Güte des Weg-Geschwindigkeits- und Stromsignals verbessert wird, indem Informationen über das Systemverhalten des Aktuators verwendet werden. Der Zustandsbeobachter verwendet dabei in einer besonders bevorzugten Anordnung die in der Anfangsphase der Bewegung, d. h. beim Ablösen des Ankers, durch Messung gewonnenen Parameter, die mit dem Gegendruck korreliert sind. In einer besonders bevorzugten Anordnung wird während der Phase des Anliegens des Ankers an einer der beiden Endlagen eine Mittelwertbildung des Sensorsignals durchgeführt mit dem Ziel, einen eventuell vorhandenen Offsetfehler und/oder Verstärkungsfehler des Sensors zu kompensieren und damit die Anforderungen an den Sensor bezüglich Temperaturstabilität zu reduzieren.

[0046] In einer besonders bevorzugten Anordnung besteht der Regler aus einem Zwei- oder Dreipunktregler mit einem Rückkopplungszweig, der ein digitales Filter enthält. Dieses Filter ist bevorzugt ein Tiefpaßfilter mit einer geeignet abgestimmten Charakteristik. Die Abtastzeit der gesamten Anordnung liegt vorzugsweise bei 20 μ s.

[0047] In einer besonders bevorzugten Anordnung ist die Endstufe eine schaltende Endstufe mit Anstiegs- und Abfallzeiten unter 5 ps.

[0048] In einer bevorzugten Anordnung findet eine Kommunikation zwischen der Auftreffregelung des Aktuators und der ansteuernden Motorsteuerung dergestalt statt, daß die Motorsteuerung Informationen über den zu erwartenden Zylinderinnendruck liefert, die zusätzlich zu den durch Messung ermittelten Parametern, die mit dem tatsächlichen Zylinderinnendruck korreliert sind, verwendet werden. Ferner liefert die Auftreffregelung Informationen an die Motorsteuerung zurück, wie beispielsweise gemessenes Ventilspiel, ferner Parameter, die mit dem tatsächlichen Zylinderinnendruck korreliert sind, ferner Parameter, die mit dem Verschleiß des Aktuators korreliert sind, ferner Parameter, die mit der Temperatur des Aktuators korreliert sind.

[0049] In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung wird die Erfindung bei Vorhandensein eines hydraulischen Ventilspielausgleichs eingesetzt. Dabei wirkt sich die Tatsache vorteilhaft aus, daß Schwingungen im Geschwindigkeits-Weg-Verlauf, die beim Auftreffen des Ankerbolzens auf das Ventil bei Vorhandensein von Ventilspiel normalerweise auftreten und die Bestimmung von Parametern, die mit dem Gegendruck korreliert sind, erschweren, hier stark gedämpft sind.

[0050] Bei der Regelung von Aktuatoren, insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, werden hohe Anforderungen an die Informationsqualität gestellt. Die Anforderungen an Auflösung, Reproduzierbarkeit und Genauigkeit liegen über dem was übliche analoge Sensoren in diesem Anwendungsbe-
reich heute leisten. Die Ursache dafür liegt unter anderem auch darin, daß in unmittelbarer Nähe des Motors die Konzentration elektrischer Störfelder immens ist und die auf den Leitungen eingekoppelten Störpegel sehr hoch sind.

[0051] Aus diesem Grund ist eine digitale Signalübertragung eine mögliche Lösung, um die gewünschte Qualität zu erreichen.

[0052] Ein weiterer Vorteil erzielt man, wenn man das Meßsignal direkt aus einem digitalen Meßvorgang gewinnt. Die Vorteile sind: keine A/D Wandlung, preiswerte robuste Elektronik, etc..

[0053] Einige der vorgestellten Prinzipien basieren auf digitalen Meßverfahren. Dabei wird pro Wegstrecke ein digitaler Impuls bzw für jeden Wegabschnitt ein binäres Bitmuster ausgegeben. Bei der relativen Positionsbestimmung muß die absolute Position durch einen Algorithmus hergeleitet werden unter Berücksichtigung der Ruhelage und dem maxialen Ankerweg. Die Geschwindigkeit kann über die Zeitdifferenz zwischen den Pulsen bzw. Bitmusterwechseln ermittelt werden.

[0054] Bevorzugte Meßverfahren sind die, die sich als integriertes Bauelement inklusive der Signalaufbereitung realisieren lassen.

[0055] Digitale Verfahren für eine relative Positionsmessung:

- optische Verfahren mit Schlitzscheibe
- optische Verfahren basierend auf dem Interferometerprinzip, wie nachstehend beschrieben,
- magnetische Verfahren mit magnetoresistiver Matrix ohne binäre Codierung, wie nachstehend beschrieben,
- Resonatormeißprinzipien (Frequenz abhängig von der geometrischen Position des Ankerweges), wie nachstehend beschrieben,

[0056] Absolute Meßverfahren, die sinnvollerweise einen der Position entsprechenden binären Code ausgeben:

- optische Verfahren mit z.B. CCD Zeile,
- magnetische Verfahren mit einer magnetoresistiven Matrix, ein- oder zweidimensional aufgebaut, im Gegensatz zu singulären magnetoresistiven Sensoren, wie vorbekannt.

[0057] Eine Wegmessung durch Verwendung eines magnetoresistiven Meßprinzips auf der Basis von Meßzellenmatrizen ist anhand der Fig. 13 bis 17 dargestellt und beschrieben. Die magnetoresistive Matrix 30 (XMR-Matrix) kann, wie in Fig. 13 und 14 zu erkennen,

angeordnet werden. Ein Positionsmagnet 31 wird auf der Führungsstange 11 befestigt. Die Auswerteschaltung für die XMR-Matrix 30 gibt aus, welcher Sensor der Matrix der Sensorzeile ein maximales Signal empfängt. Dies ist die Position, mit der der Positionsmagnet 31 auf der Führungsstange 11 korreliert ist, d. h. die aktuelle Wegposition.

[0058] Eine weitere Ausführung zeigt Fig. 14. Die Signalverarbeitung beschränkt sich auf das Erzeugen von Impulsen beim Wechsel des Maximums von einem Einzelsensor auf den nächsten. Eine bevorzugte Ausführung ist die Erzeugung eines um 90° verschoebenen Impulscode zur Richtungsdetektion. Zur Steigerung der Auflösung ist eine Ausführung mit spezieller Magnetgeometrie geeignet, wie z. B. die Ausführung in Fig. 15. Durch die Anordnung von zwei Positionsmagneten 30.1 und 30.2 wird in der Mitte ein schmaler Bereich mit horizontal verlaufenden Feldlinien erzeugt, der einen größeren Abstand zwischen Matrix und Positionsmagnet zuläßt.

[0059] Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Auflösung ist die Anwendung des Nonius-Prinzips. Dazu werden mehrere Positionsmagnete auf der Führungsstange 11 montiert.

[0060] Eine Kompensation mechanischer Toleranzen bezüglich der Rotationsgeometrie der Führungsstange ist durch Auswertung unter der Berücksichtigung der Pegelverteilung möglich.

[0061] Zur weiteren Steigerung der Genauigkeit, ist der Einsatz von zwei Matrizen in besonderer Anordnung zueinander denkbar, beispielsweise gegenüberliegend, zur Kompensation mechanischer Toleranzen.

[0062] Eine Weg- und Geschwindigkeitsmessung durch Verwendung eines Mikrowellen-Resonator-Meßprinzips wird anhand der Fig. 16 bis 18 dargestellt und beschrieben.

[0063] Fig. 16 zeigt eine Anordnung, die oben auf einem Aktuator aufgesetzt werden kann. Der Ventilschaft ist dabei kraftschlüssig mit dem EMV-Anker und der Führungsstange 11 verbunden, so daß die Führungsstange 11 die Wegposition der Ankerplatte widerspiegelt.

[0064] Das freie Ende der Führungsstange 11 ragt in ein Resonatorgehäuse 35 hinein, welches partiell, vorzugsweise in den Bereichen, die die Führungsstange bei ihrer linearen Bewegung nicht erreicht, mit einem Dielektrikum 36 gefüllt ist. Es wird ein Oszillator 37 über eine Koppelvorrichtung 38 (kapazitiv oder induktiv) an den Resonator angekoppelt. Diese Anordnung erlaubt es, den Ankerweg als frequenzbestimmendes Bauteil eines Oszillators 37 zu verwenden. Über einen Referenzoszillator 38 kann in einem Mischer oder einem Frequenzdemodulator 39 mit anschließender Filterung und Signalaufbereitung 40 sowohl Wegsignal 41, als auch Geschwindigkeitsinformation 42 der Motorsteuerung zur Verfügung gestellt werden.

[0065] Fig. 17 zeigt eine vergleichbare Anordnung, die ebenfalls oben auf einen Aktuator aufgesetzt wer-

den kann. Die Führungsstange 11 gibt die Wegposition der Ankerplatte an. Die Führungsstange 11 bildet einen verschiebbaren Teil eines koaxialen Resonators 35, dessen feststehender Teil mit einem Dielektrikum gefüllt ist. Dabei kann die Führungsstange 11 den linearen Weg zurücklegen und somit die Reflexionseigenschaften einer solchen koaxialen Resonatoranordnung als Funktion der EMV-Ankerbewegung ändern.

[0066] Über eine Isolation 43 wird zwischen Mittelleiter 44 und Gehäuse der Oszillator 37 an den feststehenden Resonatorteil angekoppelt. Über einen Referenzoszillator 38 kann in einem Mischer oder einem Frequenzdemodulator 39 mit anschließender Filterung und Signalaufbereitung sowohl Wegsignal 41 als auch Geschwindigkeitsinformation 42 zur Verfügung gestellt werden.

[0067] Eine Weg- und Geschwindigkeitsmessung durch Verwendung eines optischen Resonatormaßprinzips wird anhand der Fig. 21 dargestellt und beschrieben.

[0068] Fig. 18 zeigt eine Anordnung, in der eine optische Variante eines Resonatormaßprinzips dargestellt ist, die ebenfalls an der Führungsstange 11 eines Aktuators angebracht werden kann.

[0069] Die Führungsstange 11 gibt die Wegposition der Ankerplatte an. Zur Vermittlung der Ankerposition befindet sich mit dem Schaft verbunden eine magnetische Anordnung 45, die die Wirkung des Magnetfeldes auf die Zone 46 bewirkt. Das Bauteil 46 stellt hierbei einen optischen Leiter dar, dessen optischen Eigenschaften, vorzugsweise die Brechzahl, eine Funktion der Magnetfeldstärke darstellt. Die ganze Anordnung ist gegen Stör- und Fremdfelder abgeschirmt.

[0070] Der optische Leiter 46 ist einseitig durch einen optischen Spiegel 47 abgedichtet, und über Koppellemente 48, beispielsweise eine Glasfaser und/oder ein polarisationsdrehendes Element und/oder eine optische Impedanzanpassung an Halbleiterfaser angeschlossen, der über Stromsignal 50 und Treiber 51 angesteuert wird. Ein HL-Laser 49 sendet einen Strahl in Richtung des Sensors 52 aus, auf dem auch der zweite Strahl des HL-Lasers 49 via Element 48, 46, 47, 46, 48, 49 interferierend auftrifft. Das Detektorsignal 53 mißt somit Interferenzen aufgrund von Weglängenänderungen der beiden Strahlwege. Eine Weglänge wird nun vermittels Magnetfeld durch Magnet 45 durch Variation der Brechzahl in Element 46 implizit geändert und bildet somit ein Maß für den Weg der Führungsstange 11. Eine weitere Möglichkeit der Längenänderung von Element 46 bei Verwendung von optischen Materialien, deren Brechzahl nicht Funktion der Magnetfeldstärke ist, ergibt sich durch Verkleben von magnetostruktivem Material 46.1 mit dem optischem Element 46, so daß durch das Magnetfeld eine mechanische Längenänderung von Element 46 eintritt.

[0071] Durch Auswertung des Detektorsignals ist ein Weg- und Geschwindigkeitssignal zu bestimmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators (1) zur Betätigung eines Gaswechselventils (2) an einer Kolbenbrennkraftmaschine, der einen mit dem Gaswechselventil (2) in Wirkverbindung stehenden Anker (5) aufweist, der gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder zwischen zwei Elektromagneten (2, 3) hin und her bewegbar geführt ist, deren Bestromung mit Hilfe einer Sensorik über eine Motorsteuerung (9) so gesteuert wird, dass jeweils die fangenden Magneten (2, 3) so gesteuert werden, dass der Anker (5) in "Schleichfahrt" an die Polfläche herangeführt wird, wobei zur Ausregelung eines Ventilspiels bei der Schließbewegung des Gaswechselventils (1) die Bestromung des fangenden Magneten so gesteuert wird, dass zunächst das Ventil auf seinen Sitz und nach Durchlaufen des Ventilspiels der Anker (5) auf der Polfläche sanft mit einer Geschwindigkeit von 0,2 m/s und weniger aufsetzen, wobei in Abhängigkeit von einer Positionserfassung des Ankers (5) und des Ventils die Bestromung so geregelt wird, dass der Anker (5) ein vorgegebenes Weg-Geschwindigkeitsprofil einhält, **dadurch gekennzeichnet, dass** die über die Auftreffregelung erfassten Informationen über die Bewegung des Gaswechselventils der Motorsteuerung (9) zugeführt werden, wobei eine Sollkurve $v(s)$ des vorgegebenen Weg-Geschwindigkeitsprofils im letzten Teil der Bewegung flach gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flache Sollkurve so weit ausgedehnt wird, dass damit ein Bereich eines Ventilspiels überbrückt wird, so dass das Ventil und der Anker jeweils mit niedriger Geschwindigkeit aufsetzen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** während einer Phase eines Anliegens des Ankers an einer der beiden Endlagen eine Mittelwertbildung eines eine Position des Ankers charakterisierendes Sensorsignal durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Vorhandensein eines Ventilspiels bei Auftreffen des Ventils auf seinen Sitz die Bestromung des fangenden Magneten auf "Ankerregelung" umgeschaltet wird und der Anker gesondert an die Polfläche herangeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Auftreffen des Ventils auf seinen Sitz über einen Ventiltrenndetektor erfasst wird.
6. Verfahren einen einem der Ansprüche 1 bis 6, **da-**

durch gekennzeichnet, dass die Bestromung des Elektromagneten zur Führung des Ankers nach dem Auftreffen des Ventils auf seinen Sitz in Abhängigkeit des gegebenen Ventilspiels über eine vorgebbare Zeit erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durch Sensoren erfolgende Positionserfassung von Ventil und/oder Anker über ein elektronisches Modell des Aktuators erfolgt, das die funktionswesentlichen Parameter des Aktuators enthält.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Verbesserung der Modellparametrierung im elektronischen Modellaktuator Betriebsdaten aus der Motorsteuerung aufgeschaltet werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die jeweils eingeleiteten Regelmaßnahmen über eine ein elektronisches Modell des Aktuators enthaltende Vorabschätzeinheit in bezug auf ihre zukünftigen Auswirkung überprüft werden und der Regler ggf. hiernach korrigiert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu Beginn der Bewegung des Gaswechselventils die Parameter bestimmt werden, die mit dem Zylinderinnendruck korreliert sind.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Abschalten der bei der Bestromung am fangenden Elektromagneten anliegenden Spannung über eine Brückenschaltung Energie in das Bordnetz zurückgespeist wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeweils beim Ventilöffnen im ersten Teil der Öffnungsphase das Ventilspiel insbesondere über die Erfassung des Geschwindigkeitsabfalls des Ankers beim Auftreffen auf das Ventil erfasst wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das durch den Aktuator, die Rückstellfeder und das Gaswechselventil gebildete Federmassesystem so ausgelegt ist, dass der Abstand vom Punkt des frühest möglichen Erreichens des Kräftegleichgewichtes bis zur Endlage auf der Öffner-Seite und Schließerseite groß genug ist, um das Ventilspiel zu überbrücken und Sensorfehler auszugleichen.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **da-**

durch gekennzeichnet, dass zur Erfassung von Weg und/oder Geschwindigkeit des Ankers digitale Signale erzeugt und der Motorsteuerung zur Verfügung gestellt werden.

15. Vorrichtung zum Durchführen eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruches 1 zur Ansteuerung eines elektromagnetischen Aktuators (1) zur Betätigung eines Gaswechselventils (2) an einer Kolbenbrennkraftmaschine, die im Betrieb einen mit dem Gaswechselventil (2) in Wirkverbindung stehenden Anker (5) aufweist, der gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder zwischen zwei Elektromagneten (2, 3) hin und her bewegbar geführt ist, deren Bestromung mit Hilfe einer Sensorik über eine Motorsteuerung (9) gesteuert wird, wobei die Steuerung derart ist, dass die jeweils fangenden Magneten (2, 3) den Anker (5) in "Schleichfahrt" an die Polfläche heranführen, und in einer Schließposition des Ventils ein Spalt zwischen Ventil und Anker (5) vorhanden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ankerpositionsregler zum sanften Aufsetzen des Ankers und ein Ventilpositionsregler zum sanften Aufsetzen des Ventils vorhanden sind, und die Steuerung ein Umschalten zwischen beiden Positionsreglern beim Verfahren in die Schließposition aufweist, wobei eine Sollkurve $v(s)$ eines vorgegebenen Weg-Geschwindigkeitsprofils im letzten Teil der Bewegung flach gewählt ist.

Claims

1. A method for actuating an electromagnetic actuator (1) for activating a gas exchange valve (2) of a piston-type internal combustion engine which has an armature (5) which is actively connected to the gas exchange valve (2) and which is guided back and forth between two electromagnets (2, 3) counter to the force of at least one restoring spring, the current supply to the electromagnets being controlled with the aid of a sensor arrangement via an engine control unit (9) such that in each case the capturing magnets (2, 3) are controlled such that the armature (5) is guided towards the pole face in "creep mode", wherein in order to regulate a valve play during the closing movement of the gas exchange valve (1) [sic] the current supply to the capturing magnet is controlled such that first the valve touches down on its seat and, after passing through the valve play the armature (5) touches down softly on the pole face at a speed of 0.2 m/s and less, wherein dependent on a detection of the position of the armature (5) and the valve the current supply is regulated such that the armature (5) maintains a preset path/speed profile, **characterised in that** the data detected via the impingement regulation are supplied to the engine control unit (9) via the movement of

the gas exchange valve, a desired curve $v(s)$ of the predetermined path/speed profile being set to be flat in the last part of the movement.

2. A method according to Claim 1, **characterised in that** the flat desired curve is extended to such an extent that a region of a valve play is bridged thereby, so that the valve and the armature each touch down at low speed. 5
3. A method according to Claim 1 or 2, **characterised in that** during a phase of the armature lying on one of the end positions averaging of a sensor signal **characterising** a position of the armature is performed. 10
4. A method according to one of Claims 1 to 3, **characterised in that** if a valve play exists when the valve touches down on its seat the current supply to the capturing magnet is switched to "armature regulation" and the armature is guided separately towards the pole face. 20
5. A method according to Claim 4, **characterised in that** the touching-down of the valve on its seat is detected via a valve separation detector. 25
6. A method [according to] one of Claims 1 to 6 [sic], **characterised in that** the current supply to the electromagnet for guiding the armature after the valve has touched down on its seat takes place over a specified time dependent on the predetermined valve play. 30
7. A method according to one of Claims 1 to 6, **characterised in that** the detection by sensors of the valve position and/or the armature position occurs via an electronic model of the actuator which contains the parameters of the actuator which are essential to operation. 35 40
8. A method according to one of Claims 1 to 7, **characterised in that** operating data from the engine control unit are added to improve the setting of model parameters in the electronic model actuator. 45
9. A method according to one of Claims 1 to 8, **characterised in that** the respectively initiated control measures are checked via a pre-estimation unit containing an electronic model of the actuator to estimate their future effects, and the controller is optionally corrected thereafter. 50
10. A method according to one of Claims 1 to 9, **characterised in that** at the start of the movement of the gas exchange valve the parameters correlated to the internal cylinder pressure are determined. 55

11. A method according to one of Claims 1 to 10, **characterised in that** when switching off the voltage applied to the capturing electromagnet when current is supplied, energy is fed back into the onboard network via a bridge circuit.

12. A method according to one of Claims 1 to 11, **characterised in that** each time during the valve opening in the first part of the opening phase, the valve play is detected in particular via detection of the drop in speed of the armature when it impinges on the valve.

13. A method according to one of Claims 1 to 12, **characterised in that** the spring mass system, formed of the actuator, the restoring spring and the gas exchange valve, is designed such that the distance between the earliest possible point for reaching the equalisation of forces and the end position on the opening side and on the closing side is long enough to bridge the valve play and to balance sensor errors.

14. A method according to one of Claims 1 to 13, **characterised in that** digital signals are generated for detecting the path and/or the speed of the armature and are made available to the engine control unit.

15. A device for performing a method having the features of Claim 1 for actuating an electromagnetic actuator (1) for activating a gas exchange valve (2) of a piston-type internal combustion engine which in operation has an armature (5) which is actively connected to the gas exchange valve (2) and which is guided back and forth between two electromagnets (2, 3) counter to the force of at least one restoring spring, the current supply to the electromagnets being controlled with the aid of a sensor arrangement via an engine control unit (9) such that in each case the capturing magnets (2, 3) are controlled such that the armature (5) is guided towards the pole face in "creep mode" and in a closed position of the valve there is a gap between the valve and the armature (5), **characterised in that** an armature position adjuster for soft touching-down of the armature and a valve position adjuster for soft touching-down of the valve are present, and the control has a switchover between both position adjusters when moving into the closed position, a desired curve $v(s)$ of a predetermined path/speed profile being set to be flat in the last part of the movement.

Revendications

1. Procédé de commande d'un actionneur électromagnétique (1) pour l'actionnement d'une soupape

- d'échange des gaz (2) sur un moteur à combustion interne à pistons, présentant un induit (5) en liaison active avec la soupape d'échange des gaz (2), qui est guidé de façon mobile selon un mouvement de va-et-vient entre deux électro-aimants (2, 3) à l'encontre de la force d'au moins un ressort de rappel, électro-aimants dont l'alimentation en courant est commandée à l'aide d'un dispositif de détection via une commande de moteur (9), de telle sorte que les aimants (2, 3) receveurs respectifs soient commandés de manière à ce que l'induit (5) soit guidé « délicatement » contre la face polaire, l'alimentation en courant de l'aimant receveur, pour compenser un jeu de soupape lors du mouvement de fermeture de la soupape d'échange des gaz (1), étant commandée de telle sorte que tout d'abord, la soupape vienne reposer sur son siège puis, après avoir parcouru le jeu de soupape, l'induit (5) vienne reposer doucement sur la face polaire avec une vitesse inférieure ou égale à 0,2 m/s, l'alimentation électrique étant réglée en fonction d'une détection de la position de l'induit (5) et de la soupape, de telle sorte que l'induit (5) conserve un profil de vitesse de course prédéterminé, **caractérisé en ce que** les informations détectées via la régulation de l'impact et relatives au mouvement de la soupape d'échange des gaz sont envoyées à la commande de moteur (9), une courbe de consigne v(s) du profil de vitesse de course prédéterminé étant choisie de manière à être plate dans la dernière partie du mouvement.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la courbe de consigne plate s'étend jusqu'à ce qu'une zone d'un jeu de soupape soit dépassée, de telle sorte que la soupape et l'induit viennent respectivement reposer avec une vitesse réduite.
 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, pendant une phase de contact de l'induit au niveau de l'une des deux positions finales, on forme la valeur moyenne d'un signal de capteur caractérisant une position de l'induit.
 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**en présence d'un jeu de soupape, lors de l'impact de la soupape sur son siège, l'alimentation en courant de l'aimant receveur passe en mode de « régulation d'induit » et l'induit est guidé séparément contre la face polaire.
 5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'impact de la soupape sur son siège est détecté par un détecteur séparateur de soupape.
 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'alimentation en courant de l'électro-aimant, pour le guidage de l'induit après l'impact de la soupape sur son siège, s'effectue en fonction du jeu de soupape donné sur une période pouvant être prédéterminée.
 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la détection de la position de la soupape et/ou de l'induit, réalisé par des capteurs, s'effectue par l'intermédiaire d'un modèle électronique de l'actionneur contenant les paramètres de fonctionnement essentiels de l'actionneur.
 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** pour améliorer le paramétrage du modèle dans l'actionneur électronique modèle, des données de fonctionnement sont prélevées à partir de la commande de moteur.
 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les mesures de régulation respectivement mises en oeuvre sont contrôlées vis-à-vis de leur action future par l'intermédiaire d'une unité d'évaluation préalable contenant un modèle électronique de l'actionneur, et sont le cas échéant corrigées après ce contrôle.
 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les paramètres corrélés avec la pression régnant à l'intérieur des cylindres sont déterminés au début du mouvement de la soupape d'échange des gaz.
 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** lors de la désactivation de la tension régnant lors de l'alimentation en courant au niveau des électro-aimants receveurs via un circuit à pont, l'énergie est réinjectée dans le circuit de bord.
 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** respectivement lors de l'ouverture de la soupape, dans la première partie de la phase d'ouverture, le jeu de soupape est détecté en particulier via la détection de la perte de vitesse de l'induit lors de l'impact sur la soupape.
 13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le système masse-ressort, formé par l'actionneur, le ressort de rappel et la soupape d'échange des gaz, est conçu de telle sorte que l'écart entre le point auquel a été atteint en tout premier lieu l'équilibre des forces et la position finale sur le côté d'ouverture et le côté de fermeture est suffisamment élevé pour dépasser le jeu de soupape et compenser les erreurs de détection.
 14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** pour la détection de la course et/ou de la vitesse de l'induit, des signaux numériques sont générés et sont mis à la disposition de la

commande de moteur.

15. Dispositif permettant de mettre en oeuvre un procédé doté des caractéristiques de la revendication 1 pour la commande d'un actionneur électromagnétique (1) pour l'actionnement d'une soupape d'échange des gaz (2) sur un moteur à combustion interne à pistons, présentant un induit (5) en liaison active, lors du fonctionnement, avec la soupape d'échange des gaz (2), qui est guidé de façon mobile selon un mouvement de va-et-vient entre deux électro-aimants (2, 3) à l'encontre de la force d'au moins un ressort de rappel, électro-aimants dont l'alimentation en courant est commandée à l'aide d'un dispositif de détection via une commande de moteur (9), la commande étant telle que les aimants respectivement receveurs (2, 3) guident l'induit (5) « délicatement » contre la face polaire, et une fente est présente entre la soupape et l'induit (5) dans une position de fermeture de la soupape, **caractérisé en ce qu'un** régulateur de position de l'induit est prévu pour que l'impact de l'induit s'effectue en douceur et un régulateur de position de la soupape est prévu pour que l'impact de la soupape s'effectue en douceur, et la commande présente une commutation entre les deux régulateurs de position lors du déplacement dans la position de fermeture, une courbe de consigne $v(s)$ d'un profil de vitesse de course prédéterminé étant choisie de manière à être plate dans la dernière partie du mouvement.

5

10

15

20

25

30

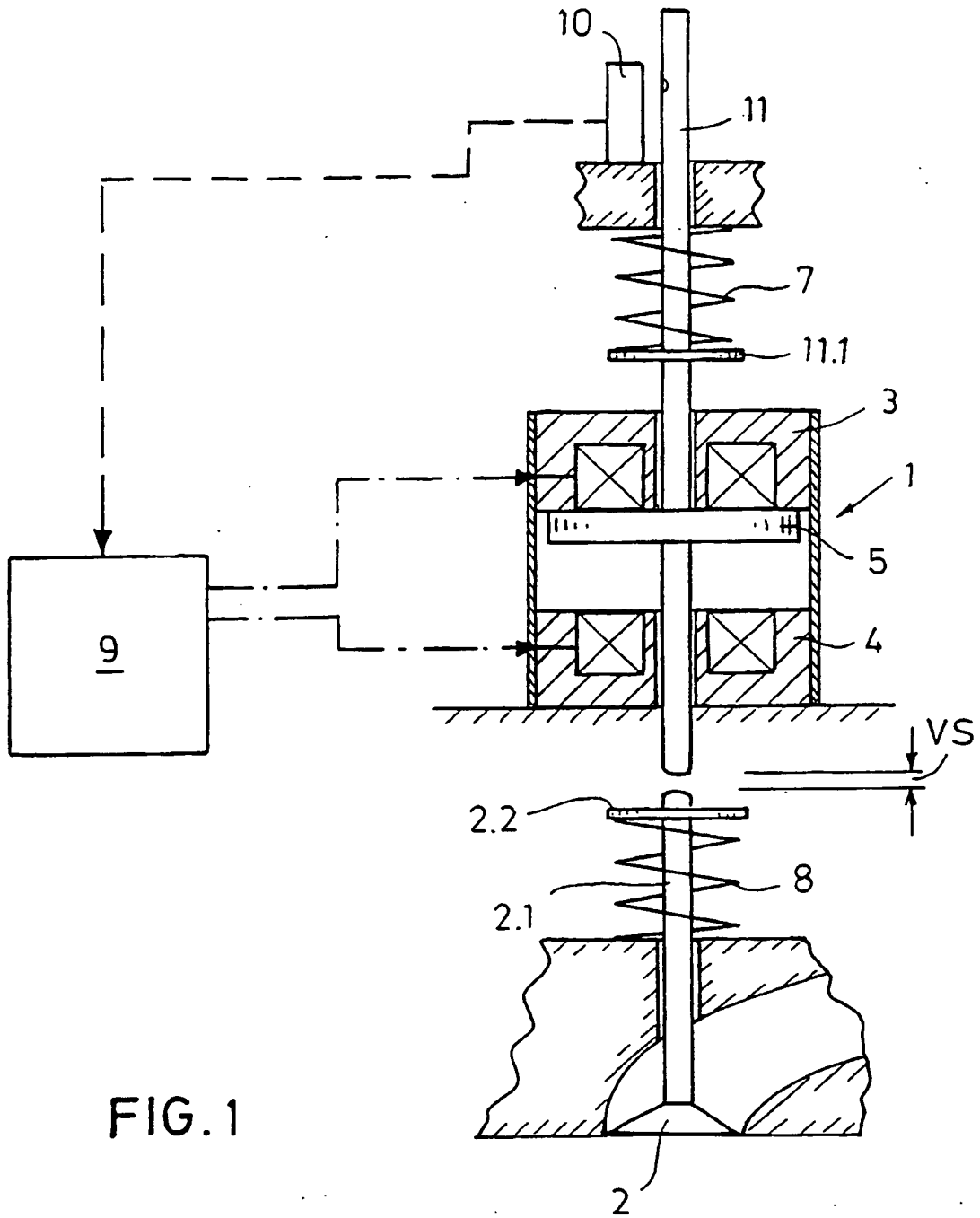
35

40

45

50

55



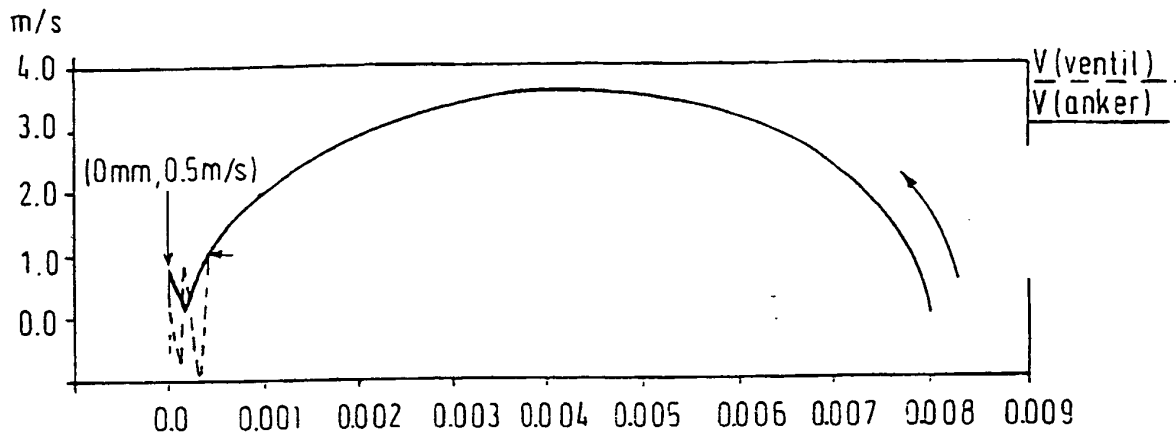


FIG. 2

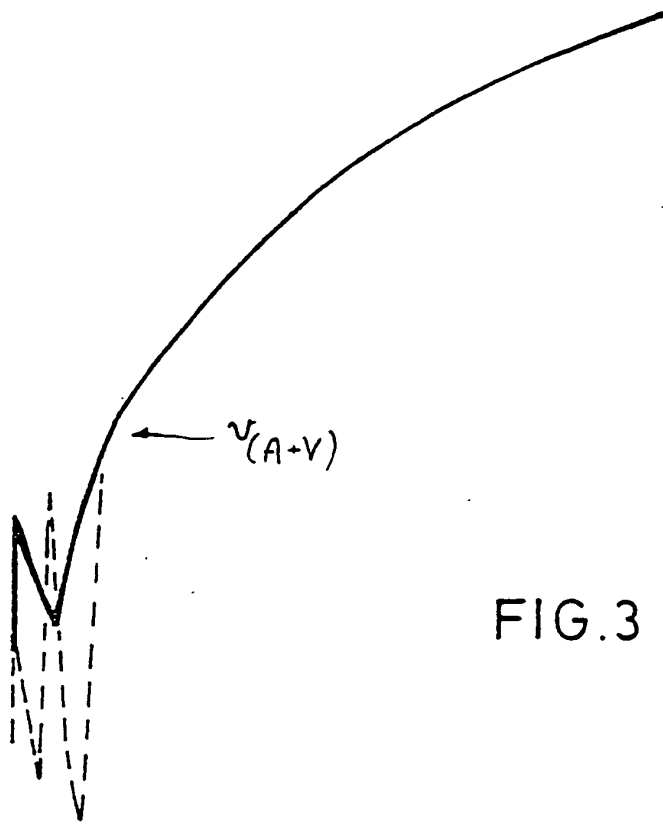
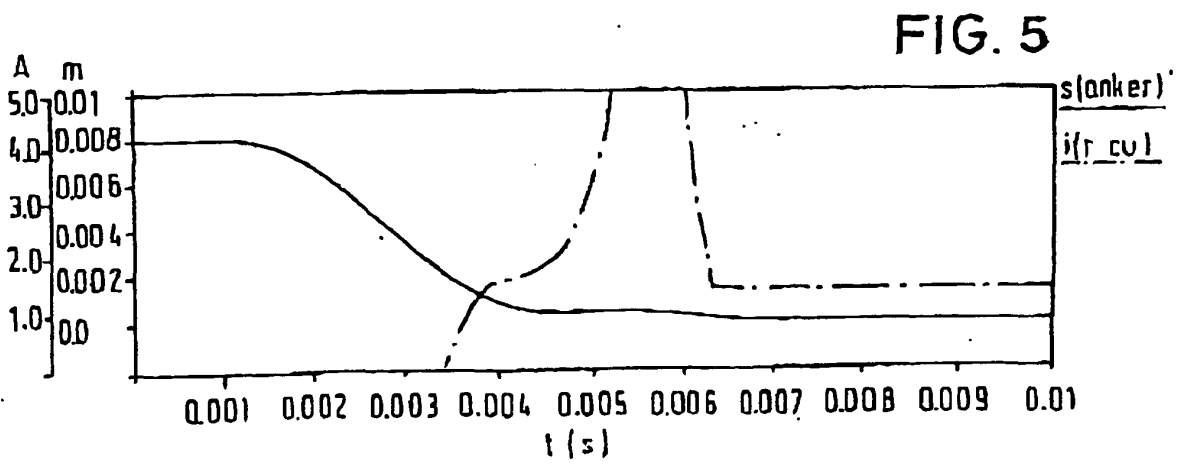
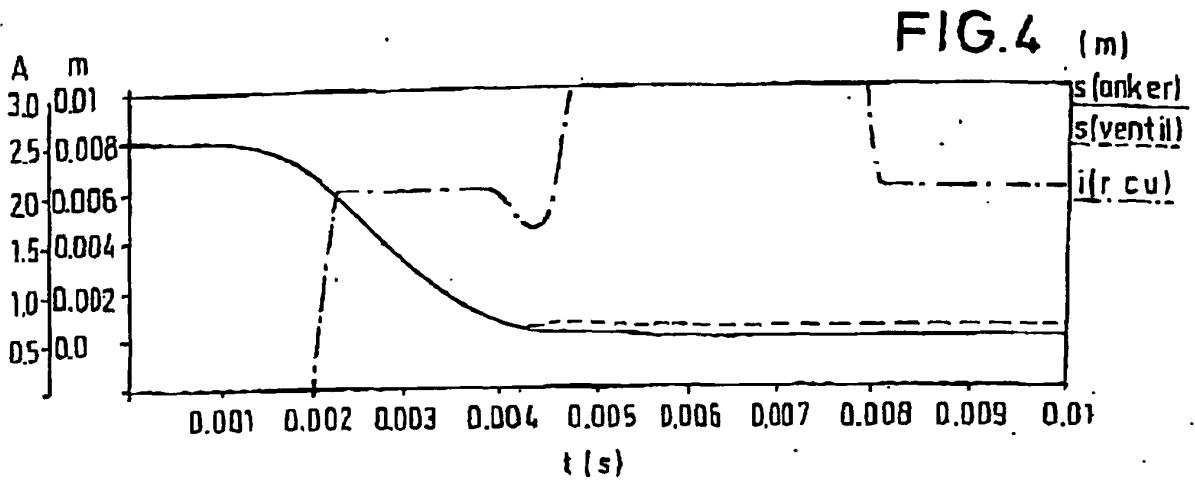


FIG. 3



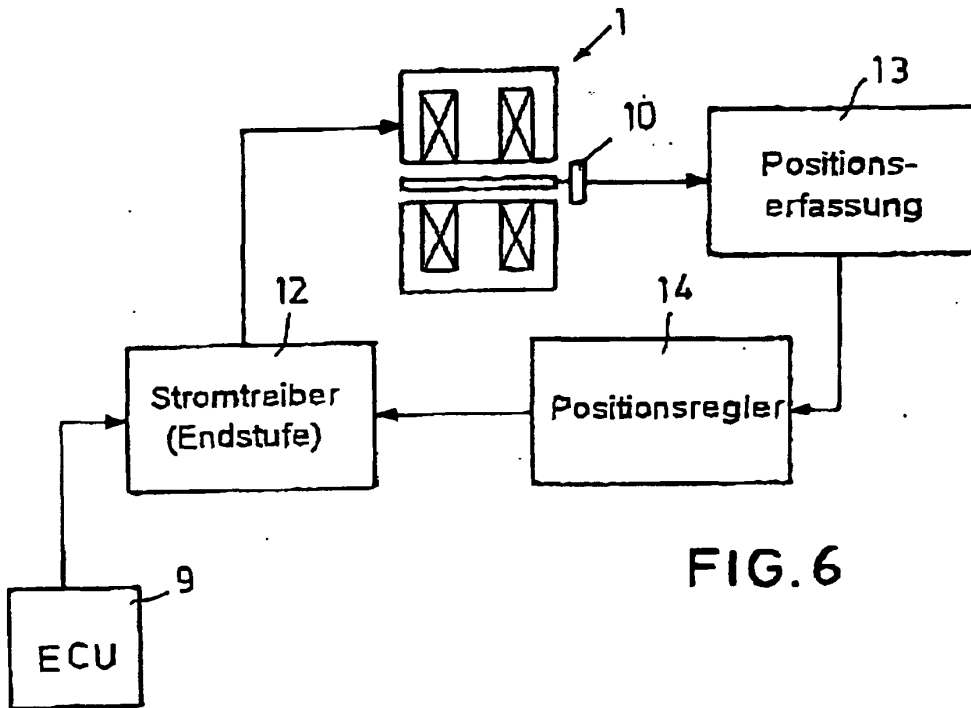


FIG. 6

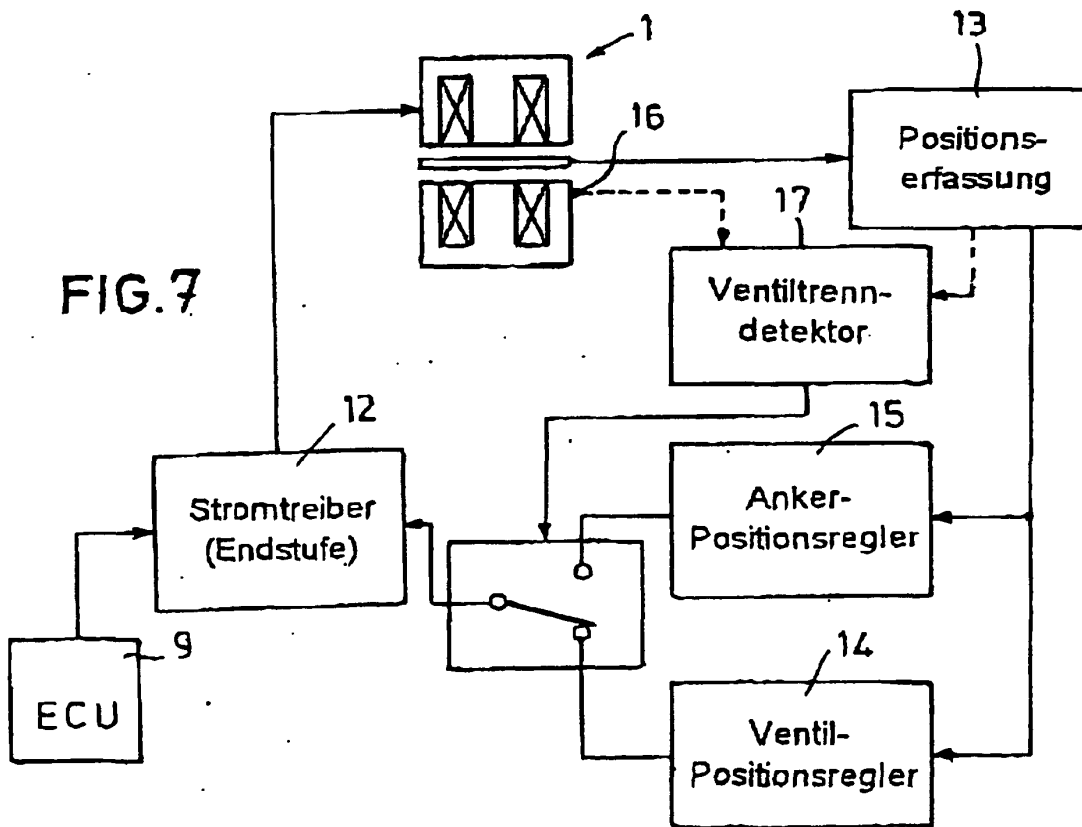


FIG. 7

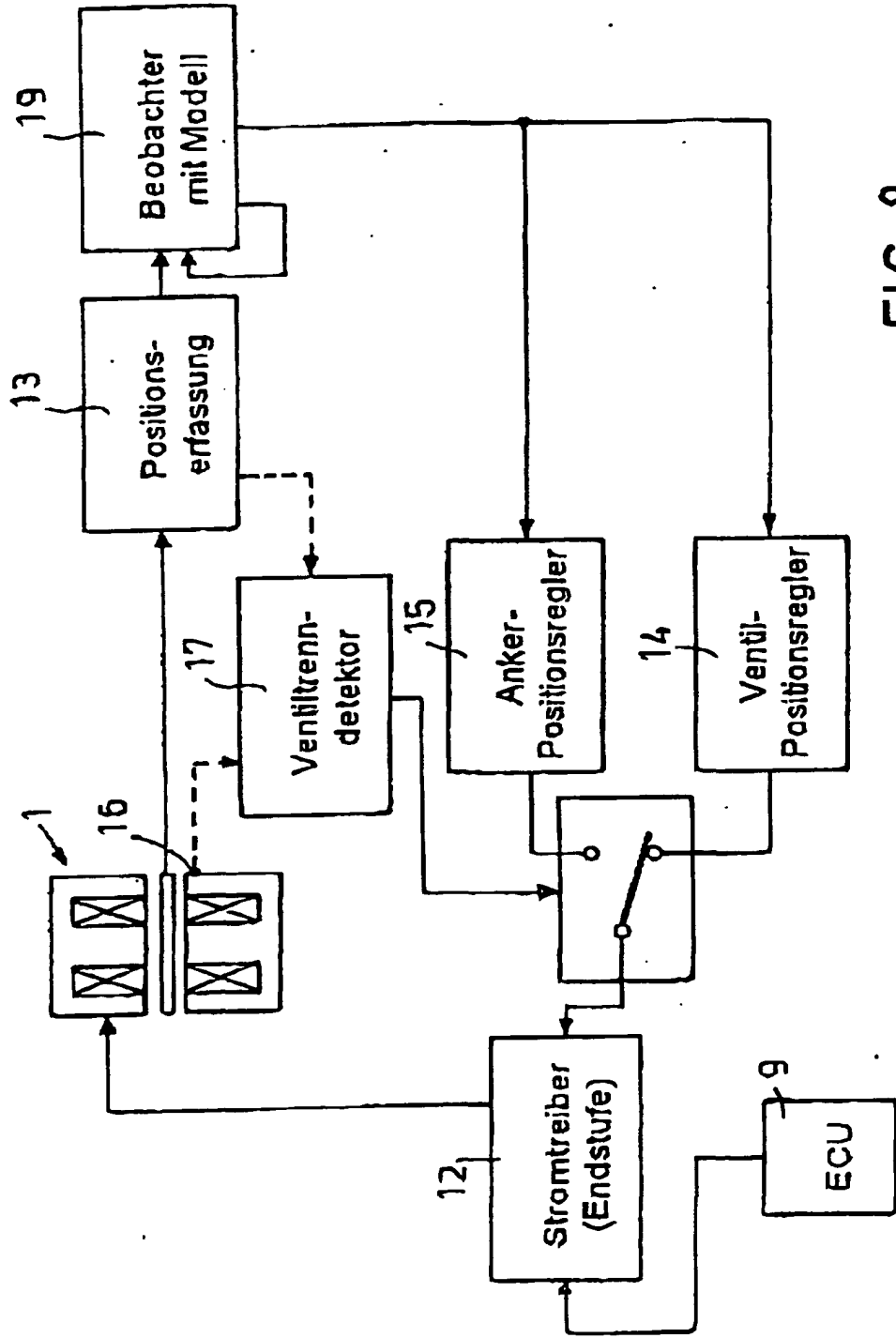


FIG. 8

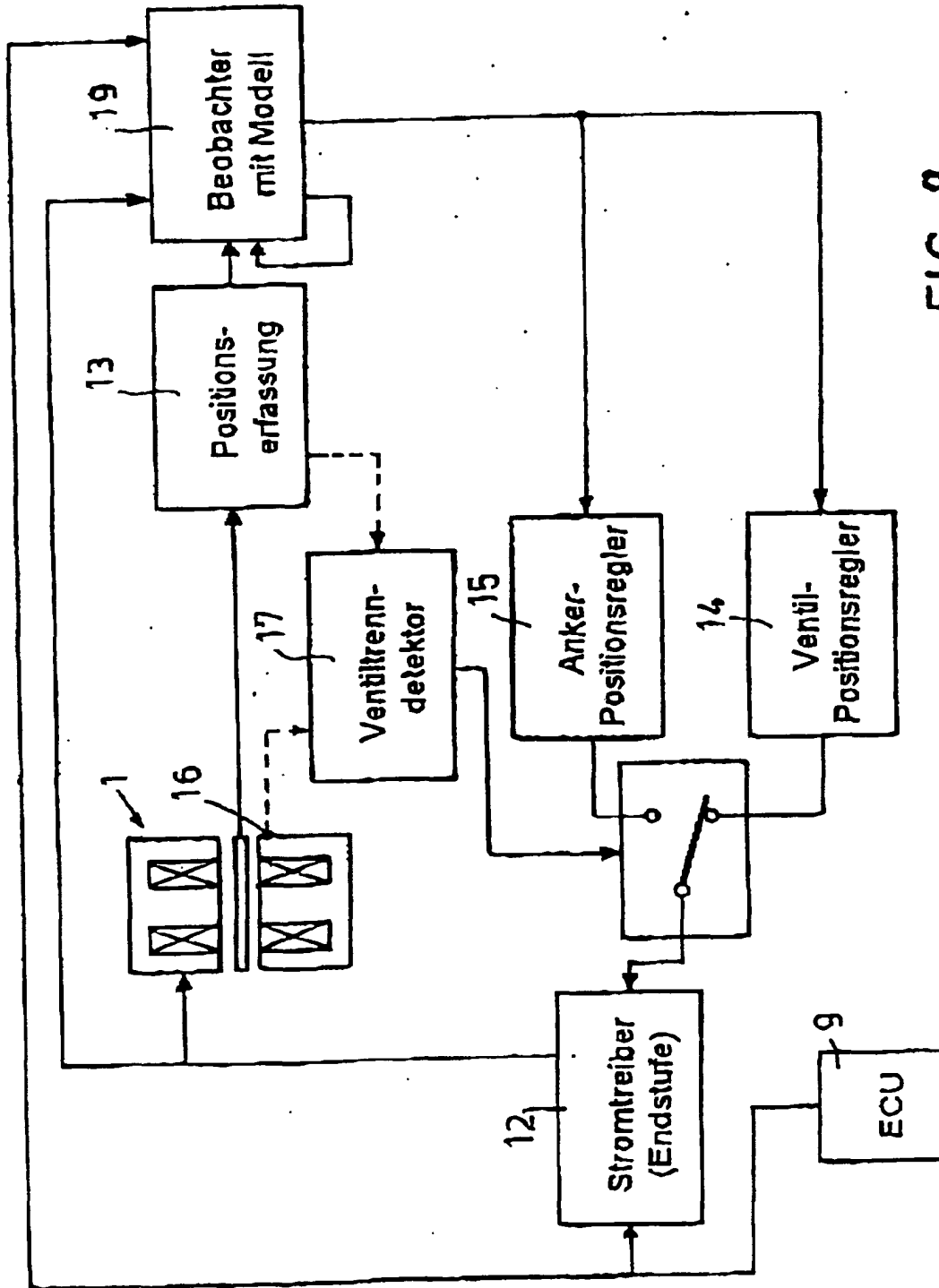


FIG. 9

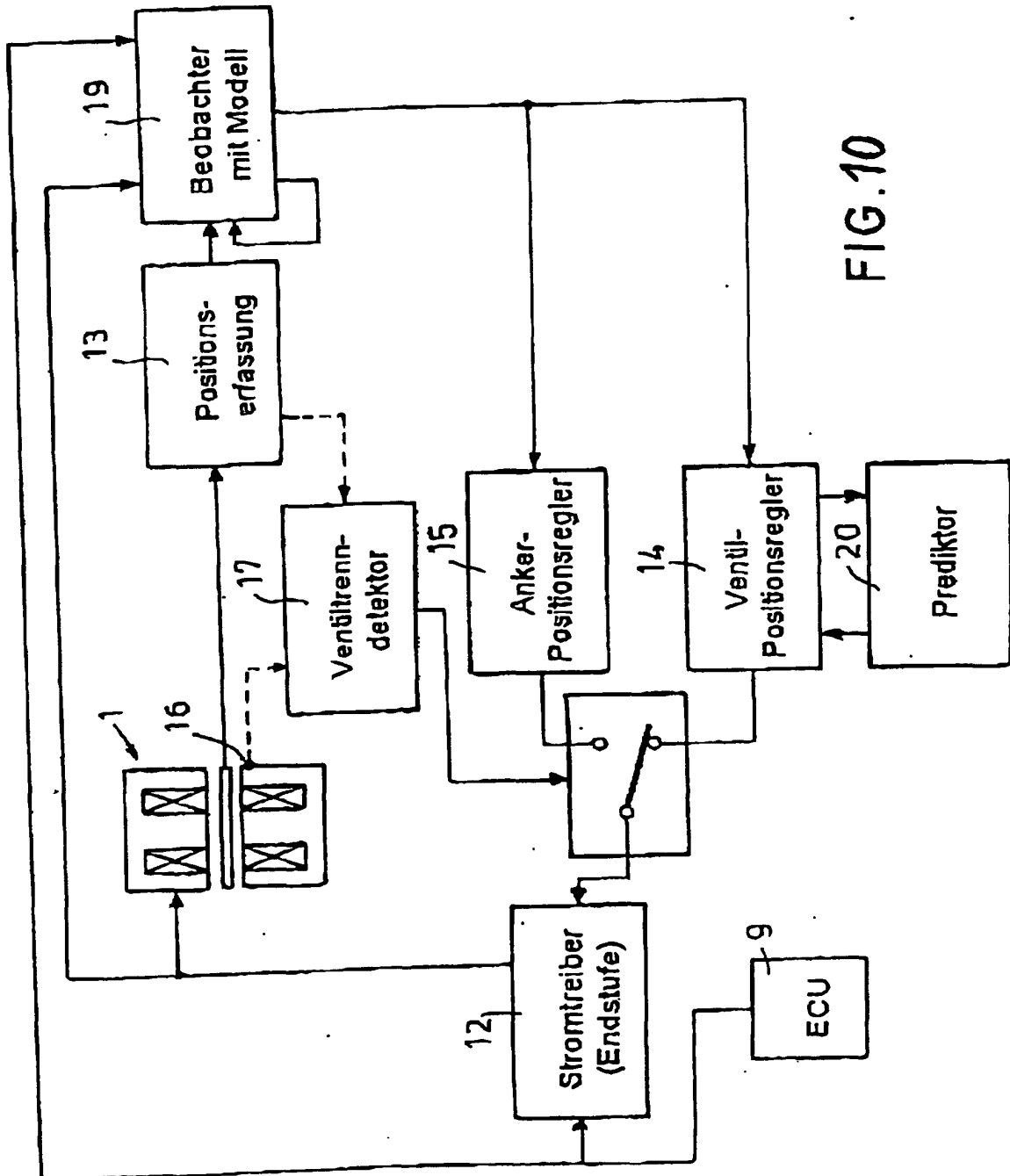


FIG. 10

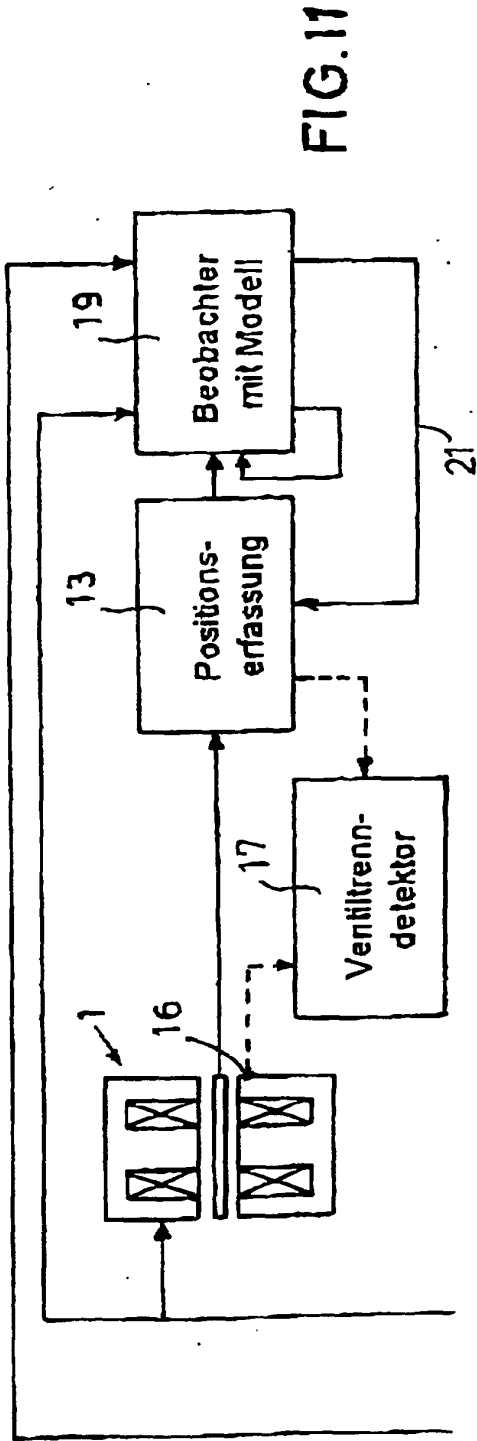


FIG. 11

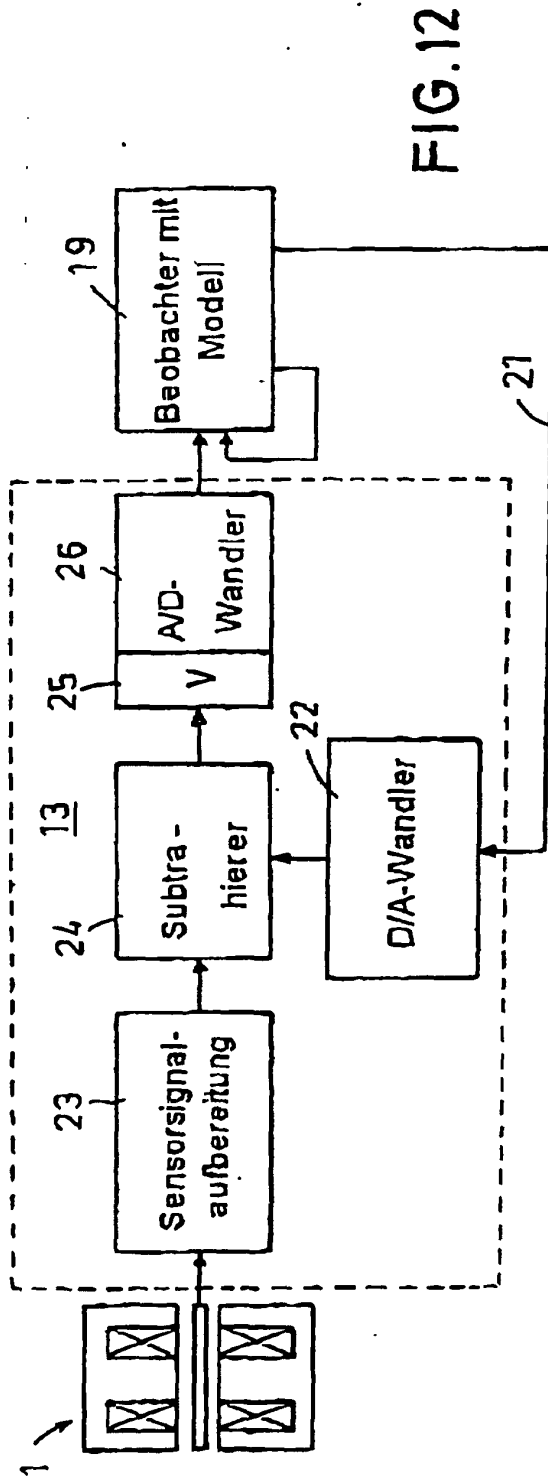


FIG. 12

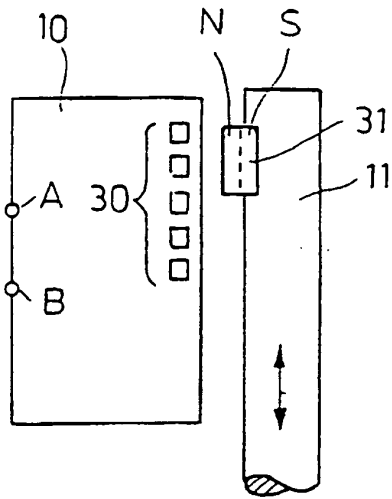


FIG. 13

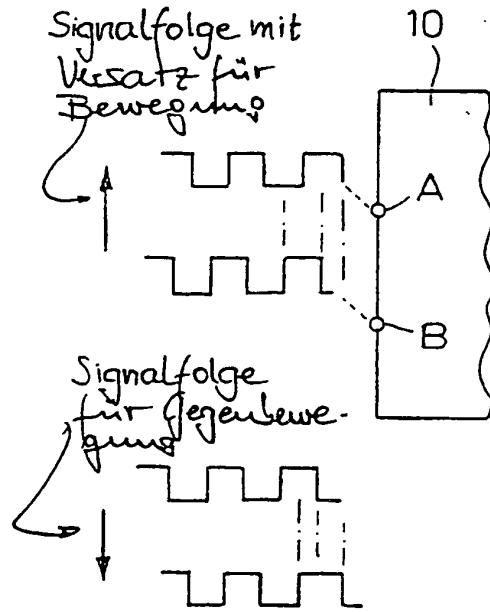


FIG. 14

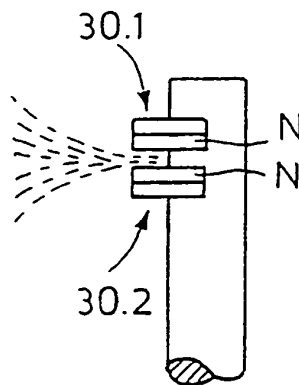


FIG. 15

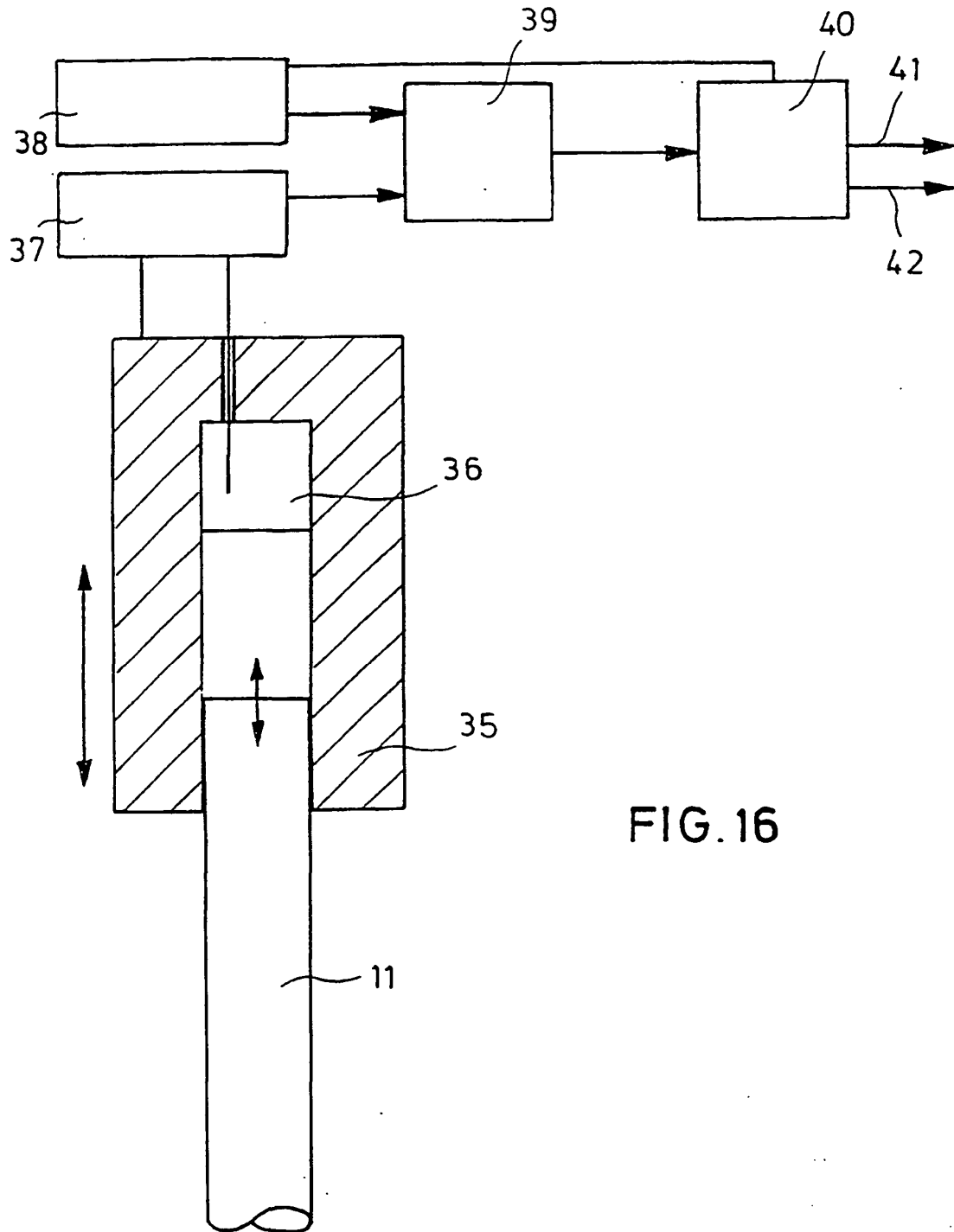


FIG. 16

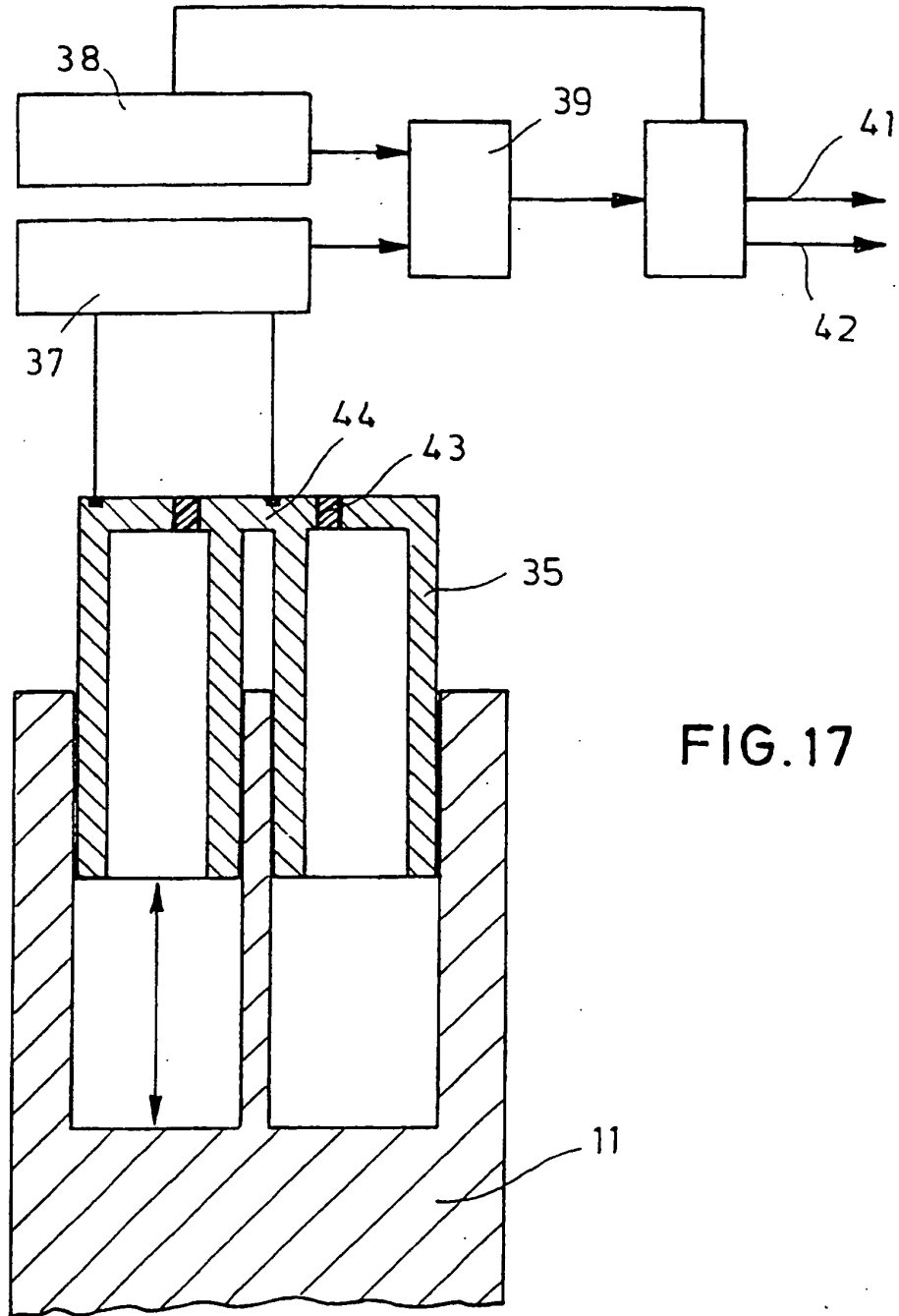


FIG.17

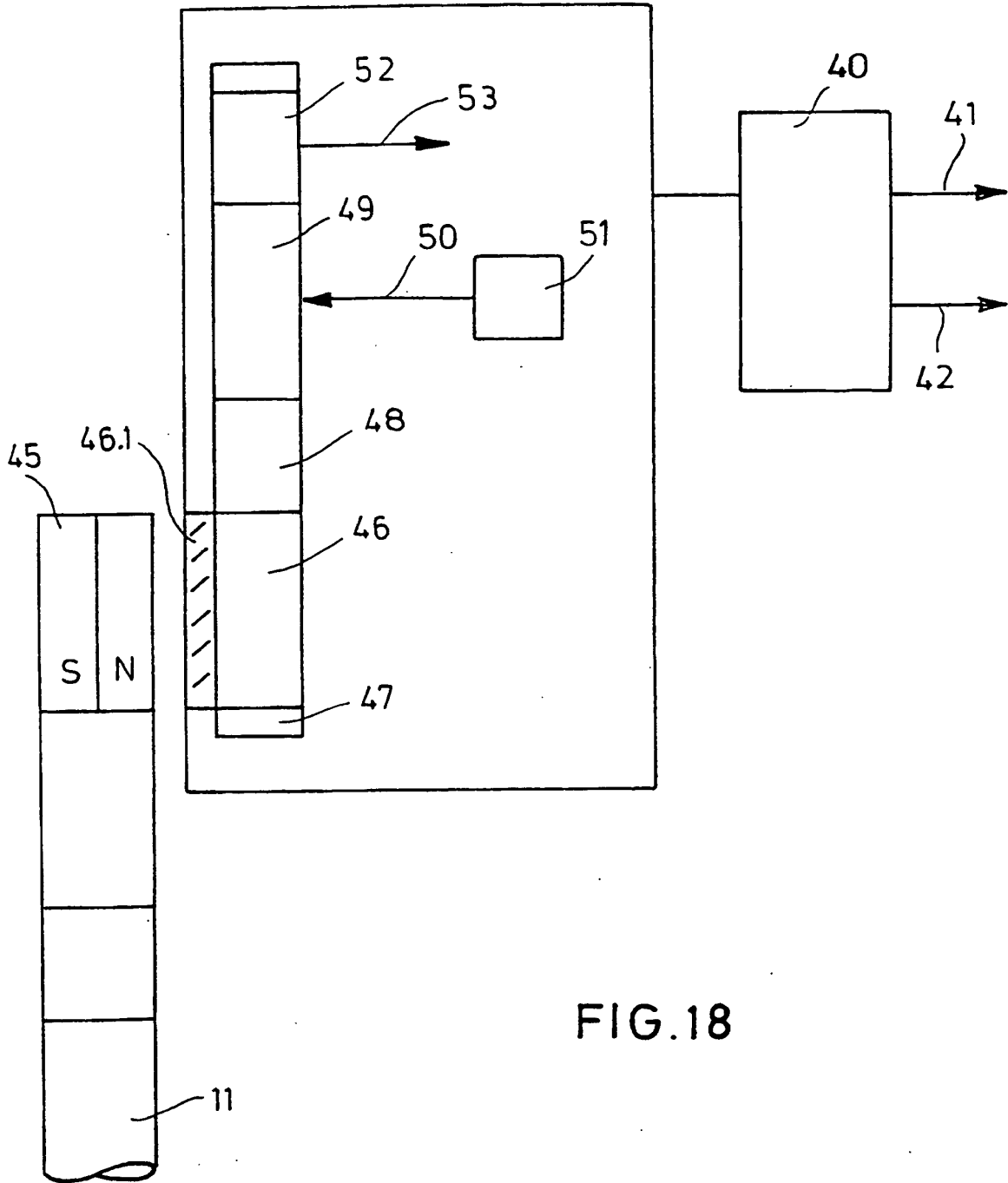


FIG.18