

Neuer vollvariabler elektromotorischer Ventiltrieb

Seit mehreren Jahren wird am Institut für Automatisierung und Informatik Wernigerode in Zusammenarbeit mit der Hochschule Harz¹ an Aktuatorkonzepten zum Betreiben von Gaswechselventilen in Verbrennungsmotoren geforscht. Im Ergebnis der Untersuchungen entstand ein elektromotorischer Ventiltrieb, der bei erheblicher Reduzierung des Hardwareaufwandes und der Leistungsaufnahme die Vorteile variabler mechanischer und elektromechanischer Ventiltriebe vereint.

Mit der Einführung mechanischer vollvariabler Ventiltriebe wurde nachgewiesen, dass die Effizienz eines Verbrennungsmotors durch variable Ventilsteuerzeiten und Ventilhübe erheblich verbessert werden kann. So bietet der variable Ladungswechsel, neben der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemission, Potenzial zur Erhöhung des Motordrehmomentes besonders im unteren Drehzahlbereich.

Aus den jüngsten Untersuchungen am Institut für Automatisierung und Informatik in Zusammenarbeit mit der Hochschule Harz resultiert ein Aktuatorkonzept, welches ausgehend von einer rotatorisch wirkenden Anordnung, die benötigte Öffnungskraft über einen Hebel auf das Ventil bzw. die Ventile überträgt.

Dieser elektromotorische Ventiltrieb vereint die Vorteile bekannter variabler mechanischer und elektromechanischer Ventiltriebe, indem der variable Spalt einen positiven Effekt auf den Gemischzustand im Zylinder bewirkt und durch den variablen Überschneidungsquerschnitt eine vorteilhafte thermische Gemischaufbereitung durch heißes Restgas gegeben ist.

Die für mechanische vollvariable Ventiltriebe notwendige Präzision der Ventiltriebskomponenten und die heutzutage üblichen hydraulischen Ventilspielausgleichselemente werden durch die elektronische Regelung ersetzt.

Die Variabilität am Einlassventil gestattet die definierte Steuerung der Frischgasmenge und übernimmt damit die Funktion der Drosselklappe.

Die Möglichkeit des wechselnden Abschaltens einzelner Ventile reduziert den Energieaufwand für den Ladungswechsel im Teillastbereich und verhindert dabei das Auskühlen einzelner Zylinder.

Gegenüber bekannten linearen elektromagnetischen Ventilaktuatoren ergeben sich wesentliche Vorteile:

- ein Aktuator kann ein bzw. zwei Ventile oder zwei bzw. vier Ventile betätigen
- der rotatorische Aufbau des Aktuators erlaubt eine einfache und robuste Ankopplung an das Ventil bzw. die Ventile

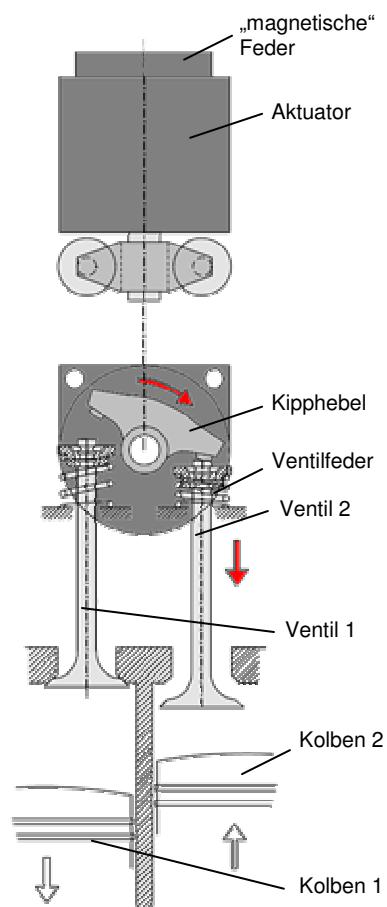


Abb. 1
Prinzip des rotatorischen
Ventilaktuators
(Front- und Draufsicht)

- die Lagerung der stählernen Aktuatorwelle kann durch rotatorische Standardlager erfolgen
- durch das rotatorische Wirkprinzip ist nicht die Masse des Rotors, sondern das Massenträgheitsmoment entscheidend für die Dynamik, welches bei geringem Rotordurchmesser entsprechend klein ist
- der zur Verfügung stehende Bauraum erlaubt eine effiziente Gestaltung des magnetischen und elektrischen Kreises, was in Verbindung mit dem o.g. kleinen Massenträgheitsmoment zu einer erheblichen Reduzierung der Leistungsaufnahme führt
- die Bauhöhe reduziert sich auf unter 40mm über Ventilschaftende bei geschlossenem Ventil

Entgegen bekannten rotatorischen Aktuatoren erlaubt das neue Aktuatorkonzept den verlustarmen Betrieb auch ohne die Zuhilfenahme zusätzlicher Halteeinrichtungen in den Endlagen. Die Anordnung ermöglicht, neben der verlustarmen Realisierung von Teilhüben, auch die Möglichkeit eines elektronischen Ventilspielausgleichs.

Unterstützt wird die Ventilbewegung durch die klassische Ventilfeeder in Verbindung mit einer auf der Rotorwelle montierten „magnetischen“ Feder, die der Ventilfeeder entgegenwirkt, wobei sich das Gesamtsystem somit als Feder-Masse-Schwinger dargestellt. Ausgehend von einer mittleren Nulllage des Rotors, bei der die zu betätigenden Ventile geschlossen sind, ist das von der „magnetischen“ Feder erzeugte Drehmoment annähernd null, wobei eine geringfügige Verdrehung des Rotors zu einem steilen Drehmomentanstieg führt, der beim Beginn des Ventilöffnungsvorganges sein Maximum erreicht und bei weiterer Ventilöffnung linear abfällt. Die auf das Ventil wirkenden Schließkräfte entsprechen etwa denen mechanischer Ventiltriebe.

Der notwendige Hardwareaufwand reduziert sich erheblich dadurch, dass mit einem Aktuator mehrere Ventile betätigt werden können. Bei 8- und 16-Ventilmotoren werden 5 Aktuatoren benötigt, wobei keinerlei Einschränkungen im Hinblick auf die Ventilsteuerzeiten entstehen.

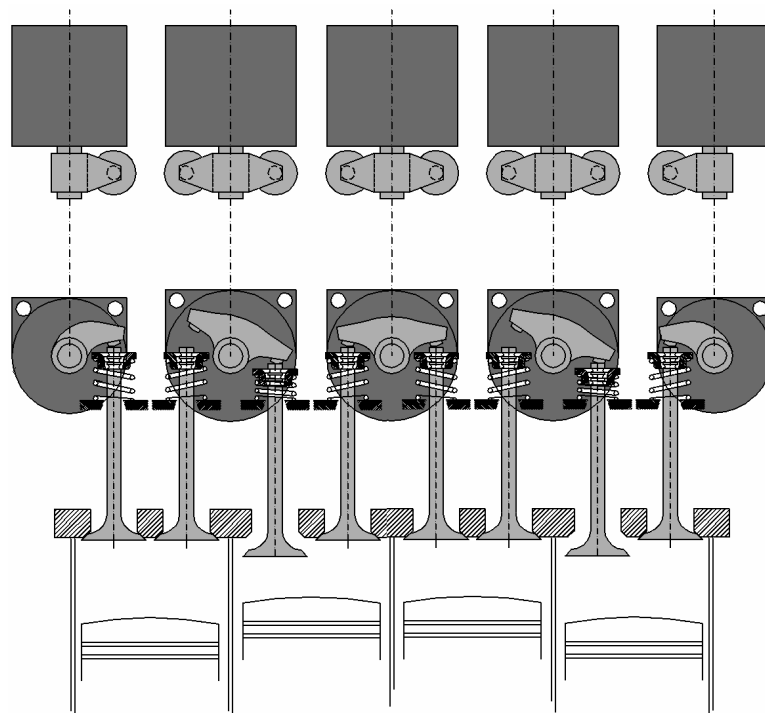


Abb. 2 Prinzipdarstellung der Ventilbetätigung an einem 4-Zylinder-Motort (8 Ventile) mit 5 Aktuatoren (Front- und Draufsicht)

Diese erhebliche Hardwarereduzierung basiert auf dem Umstand, dass während der Ruhephase eines Ventils oder Ventilpaars ein Ventil oder Ventilpaar eines benachbarten Zylinders mit dem gleichen Aktuator betätigt wird.

In Verbindung mit der einphasigen Ansteuerung liegt der Hardwareaufwand für die Leistungselektronik und die Ansteuerkomponenten weit unter dem bekannter Anordnungen. Ausgehend von einer Ventilöffnung von 280°KW ist der Ventiltrieb für Motordrehzahlen bis 8000min⁻¹ konzipiert.

Kennzeichen dieses neuen Ventilaktuator ist ein geblechter Stator mit stationären Spulen, in dessen Innenraum eine stählerne Rotorwelle angeordnet ist, die auf ihrem Umfang Permanentmagnete trägt und somit die Aufgabe des magnetischen Rückschlusses als auch der Drehmomentenübertragung auf den am Wellenende montierten Hebel übernimmt. Der Hebel wandelt das erzeugte Drehmoment in eine linear wirkende Kraft.

Abhängig von der Bestromung der Spulen bildet sich im Stator ein magnetischer Fluss innerhalb des Eisenrückschlusses, der an benachbarten Polschenkeln des Stators, im Zusammenwirken mit den auf dem Rotor befindlichen Permanentmagneten, zu unterschiedlichen Flussverhältnissen führt, aus denen ein Drehmoment an der Rotorwelle resultiert. Dieses Drehmoment bildet sich bei Umkehrung der Stromrichtung mit entsprechend umgekehrten Vorzeichen aus. Bei einem Bauvolumen von ca. 350cm³ erzeugt der Aktuator am Ventil Kräfte größer 1000N. Die Dimensionen des Aktuator fügen sich dabei in den zur Verfügung stehenden Bauraum.

Die aus der Finite-Elemente-Berechnung resultierenden Drehmomentkurven weisen Nicht-linearitäten auf, die zur hohen Dynamik des Ventiltriebs beitragen. In erster Näherung können die Drehmomentverläufe im Arbeitsbereich durch Addition zweier sinusförmiger Komponenten beschrieben werden.

Die Regelung des Ventiltriebs besteht aus einem analogen Strom- und einem digitalen Positionsregler mit sensorloser Erfassung der Ventilposition. In Tests konnten mit diesem Konzept Ventilhubabweichungen (Soll- Istdifferenz) kleiner 30µm nachgewiesen werden. Die nichtlinearen Drehmomentkurven des Aktuator erlauben das nahezu stromlose Halten bei geschlossenem und das verlustarme Halten bei geöffnetem Ventil.

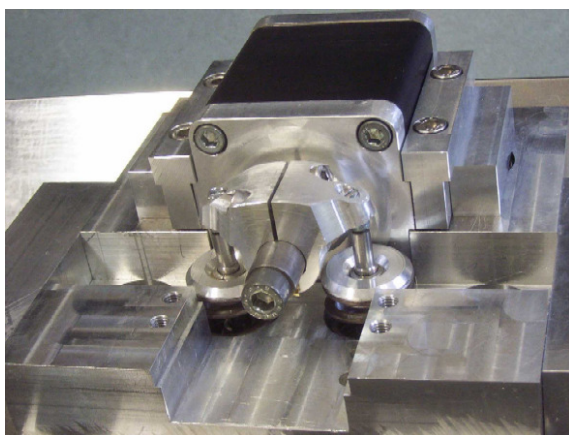


Abb. 3 Labormuster des Ventilaktuator zur Betätigung von 2 Ventilen (links: ohne „magnetische“ Feder und Gegenlager)

Die Anpassung an veränderte Prozessbedingungen, wie Maximalhub bzw. Gasdruck, kann durch Änderung des Polwinkels, des Rotordurchmessers bzw. der Rotorlänge erfolgen. Die im Rahmen der derzeit laufenden Inbetriebnahme durchgeführten Messungen entsprechen weitestgehend den Ergebnissen der Simulation. Lediglich im Bereich hoher magnetischer Eisensättigungen sind Abweichungen zu den Simulationsergebnissen zu verzeichnen, die allerdings auf die Dynamik des Ventiltriebs nur geringfügigen Einfluss haben. Alternativ zur derzeitigen Auslegung auf 42 V Versorgungsspannung laufen Untersuchungen zum Betreiben des Aktuators am 12 V Boardnetz.

Tests am befeuerten Motor stehen bisher aus.

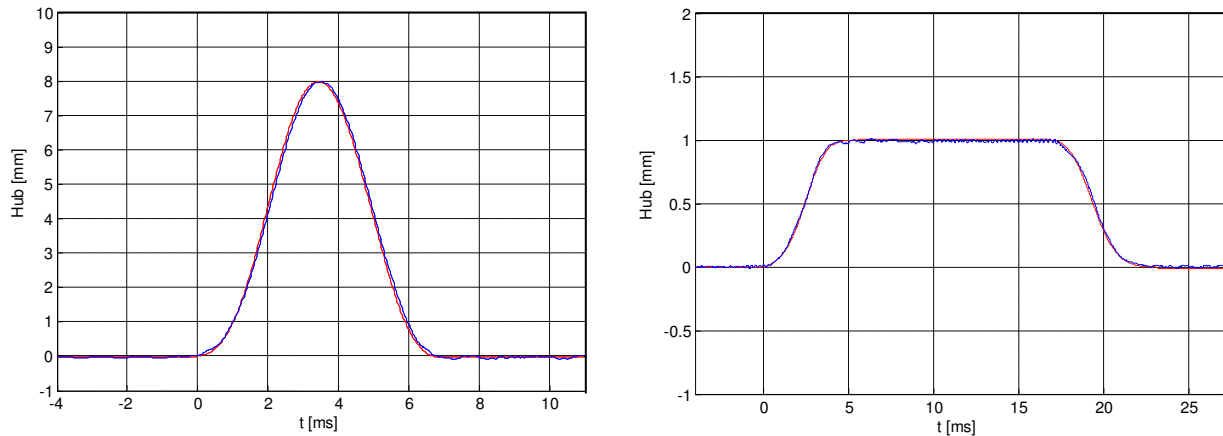


Abb. 4 Gemessene exemplarische Hubkurven für ein Ventil, links: Motordrehzahl $n=7000 \text{ min}^{-1}$, 8 mm Hub; rechts: Motordrehzahl $n=2000 \text{ min}^{-1}$, 1 mm Hub; Öffnungswinkel 280° KW, rt___ Sollwert, bl- Istwert

¹ Erste Untersuchungen wurden gefördert durch das Kompetenznetz MAHREG Automotive, eine InnoRegion-Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Stand Juli 2007

Kontakt:

Prof. Dr. Klaus-Dietrich Kramer
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Braune

Tel: 03943/659317
03943/659325

email: kkramer@hs-harz.de
sbraune@hs-harz.de

Hochschule Harz
Fachbereich Automatisierung und Informatik
Friedrichstraße 57-59
38855 Wernigerode

Institut für Automatisierung und Informatik GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode