

Elektromotorischer Ventiltrieb

➤ **Entwicklung vollvariabler elektromotorischer Ventilaktuatoren**

➤ **Institut für Automatisierung und Informatik Wernigerode in Kooperation mit Hochschule Harz**

➤ **dSPACE-Prototyping-System**

Seit mehreren Jahren wird am Institut für Automatisierung und Informatik Wernigerode (IAI) in Zusammenarbeit mit der Hochschule Harz an Linearmotorkonzepten zum Betreiben von Gaswechselventilen in Verbrennungsmotoren geforscht. Im Ergebnis der Untersuchungen entstand ein elektromotorischer Ventiltrieb, der die Vorteile variabler mechanischer und elektromechanischer Ventiltriebe vereint. Für Labortests wurde erfolgreich ein dSPACE-Prototyping-System eingesetzt.

Seit vielen Jahren arbeitet die Automobilindustrie daran, die Steuerzeiten und den Ventilhub der Gaswechselventile in Verbrennungsmotoren variabel zu gestalten. 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 Motordrehmoments, besonders im unteren Drehzahlbereich. In Mehrzylindermotoren kann man durch die vollvariable Ventilsteuerung einzelne Zylinder abschalten, wodurch die aktiven Zylinder in höheren und hinsichtlich der Verbrennung günstigeren Betriebspunkten arbeiten. Die Kombination aus Zylinderabschaltung im Teillastbereich mit Veränderung der Ventilsteuerzeit und des Ventilhubs ergibt Verbrauchseinsparungen von bis zu 16%.

Unser Projekt

Wir bei der IAI haben in Zusammenarbeit mit der Hochschule Harz den Einsatz verschiedener Linearmotorkonzepte untersucht. Gefördert wurden diese Untersuchungen vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) durch das Förderprogramm

InnoRegio. Es kristallisierte sich ein Linearaktuator nach dem Moving-Magnet-Prinzip heraus, der sich durch hohe Dynamik, geringe bewegte Masse, geringen Leistungsbedarf und kleines Bauvolumen auszeichnet. Das Konzept gestattet sowohl die Realisierung von Teilhüben als auch einen elektronischen Ventilspielausgleich.

Dieser Aktuator vereint die Vorteile mechanischer vollvariabler Ventiltriebe und elektromechanischer Ventiltriebe:

- Bei Teilhüben bewirkt der Spalt einen positiven Effekt auf den Gemischzustand im Zylinder (mechanische vollvariable Ventiltriebe)
- Durch den variablen Überschneidungsquerschnitt ist eine vorteilhafte thermische Gemischaufbereitung durch heißes Restgas gegeben (elektromechanische Ventiltriebe)

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.

Der Aktuator

Kennzeichen des Ventilaktuatoren sind stationäre Spulen, zwischen denen Permanentmagneten bewegt werden. Sobald Strom durch die Ständerwicklung fließt, bildet sich ein magnetischer Fluss innerhalb des Eisenrückschlusses, der an einem Polschenkel der Magnetisierungsrichtung der Permanentmagneten entspricht und am anderen Polschenkel dieser entgegenwirkt. Durch die daraus folgenden unterschiedlichen Flussverhältnisse entsteht an den Permanentmagneten eine Kraft in senkrechter Richtung. Bei Umkehrung der Stromrichtung ändert sich auch die Richtung, in die diese Kraft wirkt. Unterstützt wird der



▲ Basis des Ventilprüfstandes ist ein Teil eines Serienzylinderkopfes. Mit Druckluft werden die am Ventil wirkenden Gaskräfte simuliert.

Ventilhub durch die klassische Ventulfeder in Verbindung mit zwei am Läufer montierten zusätzlichen Federn. Die aus der Finite-Elemente-Berechnung resultierenden Kraftkurven weisen starke Nichtlinearitäten auf, die zur hohen Dynamik des Ventiltriebs beitragen. In erster Näherung können die Kraftverläufe für den für die Regelung bedeutsamen Bereich durch Addition einer sinusförmigen und einer linearen Komponente beschrieben werden. Die Anpassung an die Prozessbedingungen erfolgt durch Stapeln von Basiselementen. Die Dimensionen des Aktuators fügen sich dabei in den zur Verfügung stehenden Bauraum. Die resultierende Bauhöhe fällt niedriger aus als bei nockenwellenbasierten Systemen.

Die Regelung

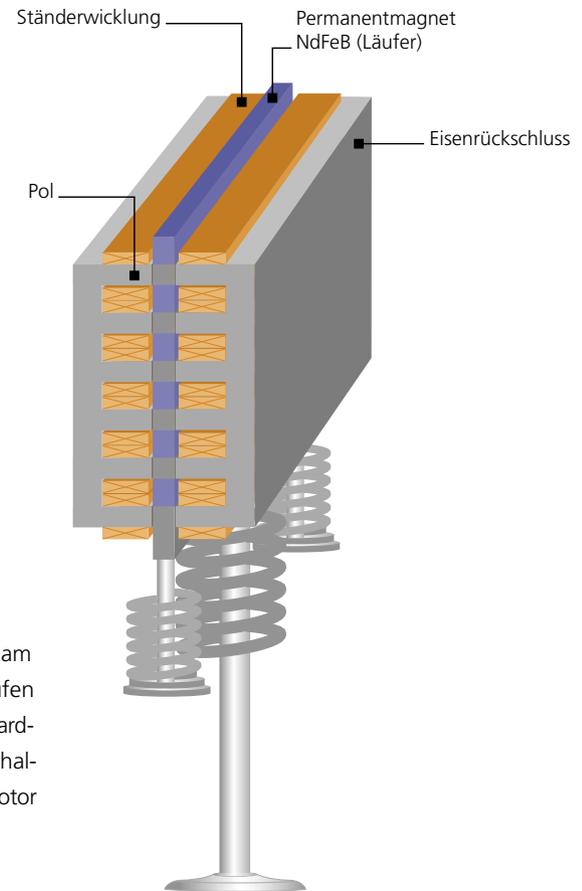
Für die Regelung des Ventiltriebs haben wir eine Kaskadenstruktur, bestehend aus einem analogen Strom- und einem digitalen Positionsregler, gewählt. Die Implementierung des Positionsreglers erfolgte zunächst auf der Basis von MATLAB®/Simulink® mit anschließender Portierung auf die dSPACE-Komponente. Zusätzlich zum eigentlichen Regler realisierten wir mit dem DS1103 PPC Controller Board die Messung verschiedener Prozessgrößen und visualisierten sie mit ControlDesk. Weiterhin wurden die Generierung der Sollhubkurven, die Kompensation der nichtlinearen Kraftkomponente sowie weitere Überwachungsfunktionen mit dem DS1103 realisiert. Bei einer Abtastrate von 20 kS/s (Abtastungen pro Sekunde), die bei einer Motordrehzahl von 6000min⁻¹ zu einer Auflösung von ca. 2° Kurbelwellenwinkel führt, verbleiben für die Berechnung aller Funktionen 50 µs. Daraus leitet sich die Forderung nach hoher Effizienz der portierten Algorithmen ab. Derzeit testen wir alternative Regelungskonzepte. Für die Inbetriebnahme des ersten Labormusters erwies sich die einfache Por-

► *Das Moving-Magnet-Prinzip bietet hohe Kräfte bei kleinem Bauvolumen. Der 6-polige Aktuator erzeugt Kräfte über 600 N bei einer Stromdichte von 20 A/mm².*

hoher Abtastrate in Echtzeit abzuarbeiten.

Neben Untersuchungen zum Betreiben des Aktuators am 12-V-Bordnetz laufen derzeit Untersuchungen den Hardware-Aufwand pro Ventil zu halbieren. Tests am befeuerten Motor stehen bisher aus.

*Steffen Braune
Institut für Automatisierung
und Informatik
Wernigerode
Deutschland*



„Die scheinbar unbegrenzte Rechenleistung des DS1103 gestattet es uns, auch komplexe Regelalgorithmen mit hoher Abtastrate in Echtzeit abzuarbeiten.“

Steffen Braune

tierung der zuvor simulierten Regelalgorithmen und die daraus resultierende Flexibilität als äußerst zeitsparend. Die Erfassung der Prozessdaten mit dem DS1103 und die Visualisierung mittels ControlDesk ermöglichten eine schnelle Datenauswertung und die Möglichkeit des unmittelbaren Vergleichs mit den zuvor simulierten Strukturen. Die scheinbar unbegrenzte Rechenleistung des DS1103 gestattet es uns, auch komplexe Regelalgorithmen mit

Glossar

Finite-Elemente-Berechnung –

Numerisches Verfahren zur näherungsweise Lösung von Differentialgleichungen.

Ventiltrieb –

Steuert den Gaswechsel in Verbrennungsmotoren.

Ventilspiel –

Kleiner Abstand zwischen Nockenwelle und Ventil, damit es auch dann sicher schließt, wenn es sich durch Wärmeeinwirkung ausgedehnt hat.

Moving-Magnet-Prinzip –

Permanentmagneten werden durch eine stationäre Spule bewegt.