

Linearmotoren zur Ventilsteuerung in Verbrennungsmotoren

Linearmotoren lassen sich aufgrund ihres stark nichtlinearen Verhaltens nur bedingt analytisch berechnen. Als Alternative bieten sich Finite Elemente-Programme wie „Comsol Multiphysics“ an. In diesem Artikel wird das statische Verhalten eines linearen Hybrid-Schrittmotors für den Einsatz als Ventilaktuator im Verbrennungsmotor mit Hilfe der Software untersucht.

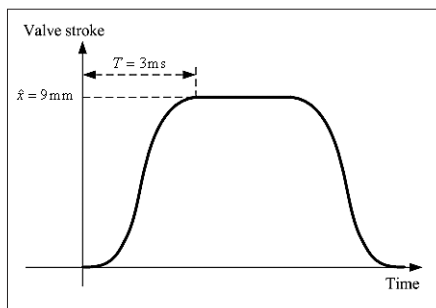


Bild 1
Ventilhub über der Zeit

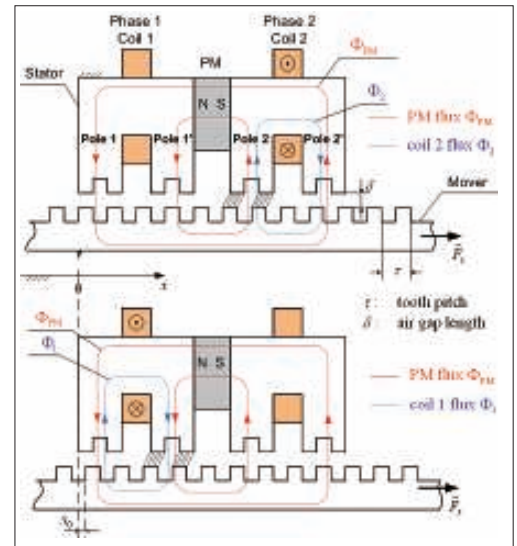


Bild 2
Linearer Hybridschrittmotor

In den konventionellen Verbrennungsmotoren erfolgt die Steuerung der Ein- und Auslassventile über die Nockenwelle, die mit der halben Kurbelwellendrehzahl rotiert. Diese mechanische Kopplung zwischen Ventil, Nockenwelle und Kurbelwelle erlaubt keine flexible Steuerung des Gaswechsellvorgangs. Dieser kann nur für einen Betriebspunkt optimal ausgelegt werden, da sowohl die Steuerzeiten

als auch der Ventilhub durch das Profil der Nocken bestimmt werden.

Aufgrund begrenzter Ressourcen und immer strenger werdender Emissionsrichtlinien haben sich die Prioritäten der Automobilindustrie bei der Entwicklung von Verbrennungsmotoren in den letzten Jahren wesentlich geändert. Die Reduzierung der Schadstoffemissionen und die Minimierung des Kraftstoffverbrauchs stellen zur Zeit die wichtigsten Ziele dar. Zur Verbesserung des Gaswechsellvorgangs wird gegenwärtig die variable Ventilsteuerung (VVS) untersucht. Die daraus resultierenden Vorteile sind:

- Vermeidung der Drosselklappe und der damit verbundenen Verluste („Entdrosselung“),

- Verbesserung des Teillastverbrauchs,
- Optimierung des Drehmomentverlaufs,
- Steuerung des Restgasanteils im Frischgemisch (interne Abgasrückführung),
- verbessertes Startverhalten,
- Zylinderabschaltung möglich,
- gesteuertes Entweichen des Kompressionsdrucks.

Zu den Ausführungsarten der VVS gehören Systeme, die Nockenwellen verwenden und eine mechanische oder hydraulische Variabilität am Nockenwellenantrieb bereitstellen, wie beispielsweise beim Vanos-System (Variable Nockenwellensteuerung) von BMW oder dem VETEC-System (Variable Ti-

ming and Lift Electromagnetic Control) von Honda. Des Weiteren gibt es Systeme, bei denen ein Übertragungsglied zwischen Nocken und Ventil eingesetzt wird (Valvetronic von BMW). Andere Systeme verzichten auf den Einsatz einer Nockenwelle. Bei diesen nockenlosen Systemen werden Aktuatoren zur Betätigung der Ventile eingesetzt. Im Rahmen dieses Artikels wird ein linearer Hybridschrittmotor als Aktuator für den Einlassventil unter-

sucht. Die wichtigste Anforderung an den Aktuator ist das Aufbringen einer maximalen Kraft von etwa 500 N unter Einhaltung eines vorgegebenen Bauvolumens. Die äußeren Maße sind beschränkt auf 36 mm (Breite), 60 mm (Tiefe) und 100 mm (Höhe). Weiterhin ist gefordert, dass der maximale Hub von 9 mm in weniger als 3 ms erreicht werden soll (siehe Bild 1).

Der lineare Hybridschrittmotor

Bild 2 zeigt das Wirkprinzip eines linearen Hybridschrittmotors (HLSM). Dieser Motor zeichnet sich durch den Einsatz von Elektro- und Dauermagneten aus, die im Ständer angeordnet sind. Die Funktions-

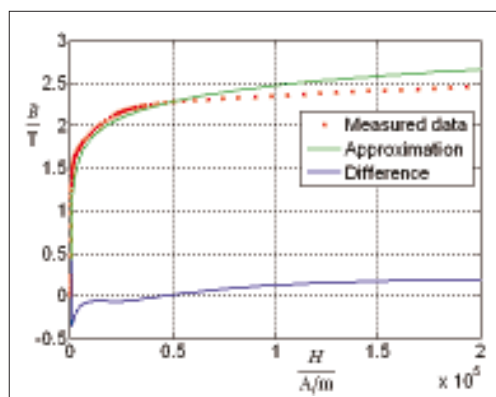


Bild 3
Magnetisierungskennlinie

Autor

Riheb Wislati
Universität Hannover
Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik
Appelstr. 9a
30167 Hannover
Tel. 05 11/7 62-46 79
E-Mail: wislati@geml.uni-hannover.de

Kontakt:
Comsol Multiphysics GmbH
Berliner Str. 4
37073 Göttingen
Tel.: 05 51/9 97 21-0
Fax: 05 51/9 97 21-29
www.comsol.de
www.comsol.com

weise des Motors basiert darauf, dass bei Bestromung einer Spule der Dauermagnetfluss in einem Pol verstärkt und im anderen kompensiert wird. Dadurch wird die tangentielle Magnetkraft den erregten Pol und damit den Läufer nach dem Reluktanzprinzip so verschoben, dass sich die Zähne auf Ständer- und Läuferseite genau gegenüber stehen.

Die wesentlichen Nachteile dieses Motorprinzips sind folgende:

- Es besteht die Gefahr der Demagnetisierung der Permanentmagnete durch die Elektromagnete.
- In jeder Position gibt es einen Pol, der eine zur Bewegungsrichtung entgegengesetzte Kraft erzeugt.
- Zwischen Läufer und Ständer sind sehr hohe Normalkräfte vorhanden. Dies stellt sehr hohe Anforderungen an die Lagerung des Motors, um den genauen Luftspalt zu gewährleisten.

Simulation

Um das statische Verhalten des HLSM zu berechnen wird ein 2D-Modell in Comsol Multiphysics erstellt. Dabei lässt sich die nicht-lineare Magnetisierungskennlinie der Eisenteile u. A. in tabellarischer Form einpflegen. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Verwendung eines analytischen Ausdrucks zu einer schnellen Konvergenz der Simu-

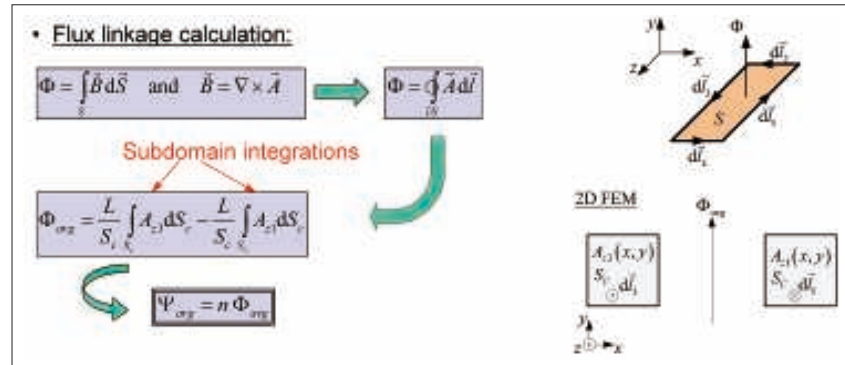


Bild 4 Flussberechnung

lation in Comsol führt. Der hierfür verwendete Ansatz lautet:

$$B = a \cdot \sinh(b \cdot H)$$

mit
 $a = 0,27 \text{ T}$ und
 $b = 0,045 \text{ m/A}$ (siehe Bild 3).

Die Kennlinie der Permanentmagnete ist im Arbeitsbereich als eine Gerade angenommen und wird in Comsol durch die Angabe von Remanenzinduktion und relativer Permeabilität berücksichtigt.

Die Berechnung der Läuferkraft kann in Comsol entweder mit Hilfe der Methode der virtuellen Verschiebung oder mit Hilfe des Maxwell'schen Spannungstensor erfolgen. Die Verkettungsflüsse in den Spulen lassen sich hingegen nicht direkt berechnen. Hierzu werden die sogenannten „subdomain integrations“ benutzt, bei der eine numerische Integration der betrach-

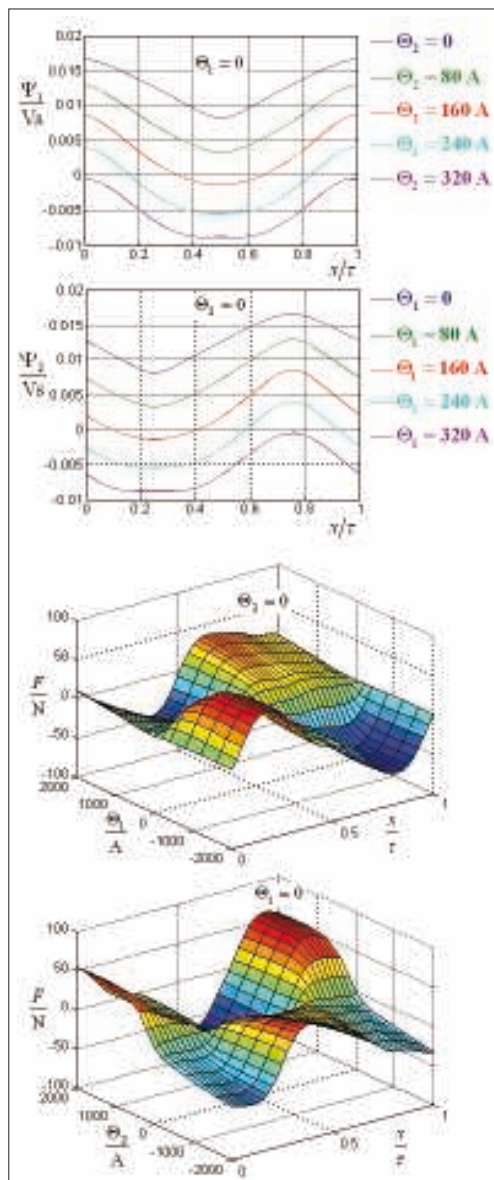


Bild 5 Simulationsergebnisse

2. Europäische Comsol Konferenz 2008 in Hannover

Die 2. europäische Comsol-Konferenz zur Multiphysik-Simulation findet in diesem Jahr in Deutschland statt. Vom 04. – 06. November 2008 wird das Hannover Congress Centrum zum Treffpunkt für über 400 Ingenieure, Produktentwickler und Wissenschaftler aus der industriellen und akademischen Forschung und Entwicklung. Multiphysik-Simulationen spielen bei der Entwicklung von neuen Produkten oder Verfahren eine entscheidende Rolle. Mit Simulationsmodellen lässt sich die Anzahl von Prototypen und Versuchsreihen begrenzen. Mit Erfolg wird die Simulationssoftware „Comsol Multiphysics“ beispielsweise in der Automobilentwicklung, in der Bio- und Chemietechnologie, in der Luft- und Raumfahrttechnik, in der mechanischen Verfahrenstechnik oder im Bereich Mikrosystemtechnik eingesetzt.

Die Comsol-Konferenz bietet wichtige Informationen zur Multiphysik-Simulation wie Übersichts- und Fachvorträge, Trainingskurse, Postersession, Support- und Demostationen und Tutorials. Hier bieten sich zahlreiche Gelegenheiten, sich mit den Konferenzteilnehmern aus Forschung und Entwicklung aus ganz Europa auszutauschen.

Weitere Informationen zur Konferenz finden Sie im Internet unter: www.comsol.de/conference2008.

teten Feldgrößen über das betrachtete Gebiet durchgeführt wird (siehe Bild 4).

Die Simulation wird durchgeführt für mehrere Positionen des Läufers über einer Zahnteilung mit den Durchflutungen

$-2000 \text{ A} \leq \theta_2 \leq 2000 \text{ A}$ der Spule 2.

Die Ergebnisse sind in Bild 5 dargestellt.

Zusammenfassung

Das begrenzte zur Verfügung stehende Bauvolumen für einen Ventilaktuator wirkt sich ein-

$-2000 \text{ A} \leq \theta_1 \leq 2000 \text{ A}$ der Spule 1 und

schränkend auf seine verfügbare Kraft aus. Dies hat sich durch die Simulation in Comsol bestätigt, da die erforderliche Maximalkraft von 500 N nicht erreicht werden konnte, sondern lediglich 120 N.

Dies muss nicht bedeuten, dass

der lineare Hybridschrittmotor für den vorgesehenen Einsatzzweck nicht geeignet ist. Zum einen wurde nur die Einzelkamm-Bauform berücksichtigt, zum anderen galt die Untersuchung nur einer der möglichen Topologien des Motors.

Darüber hinaus erfolgte die Simulation lediglich mit einer groben Dimensionierung des Aktuators und einer nicht optimierten Geometrie. Daher empfiehlt es sich, eine Feindimensionierung und Optimierung des gewählten Aktuators vorzuneh-

men. Ferner sind andere Topologien des linearen Hybridschrittmotors bzw. andere Linearmotortypen zu untersuchen, um den geeigneten Ansatz auszuwählen.