

10. Zusammenfassung

Die für die Betätigung eines Hydraulikventils erforderlichen Kräfte werden im wesentlichen durch die stationären axialen Impulskräfte der zu steuernden Strömung bestimmt. Diese Kräfte nehmen mit dem Volumenstrom und der Druckdifferenz zu. Wegen der nur geringen Kräfte üblicher elektromechanischer Wandler ist bei konventionellen Ventilen die direkte Betätigung auf kleine Ventilkenngrößen beschränkt. Zur Steuerung größerer hydraulischer Leistungen werden hydraulische Vorsteuerstufen eingesetzt, mit denen jedoch zugleich eine Erhöhung des Bauaufwandes, der Verlustleistung und der Verschmutzungsgefahr verbunden ist.

Ziel der in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen ist die Vergrößerung des hydraulischen Leistungsbereiches, innerhalb dessen auf den Einsatz einer Vorsteuerung verzichtet werden kann.

Ausgehend von Axialkraftmessungen an unkompensierten Steuerschiebern werden im ersten Schritt die Möglichkeiten der Strömungskraftkompensation untersucht.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Strahlströmung so zu beeinflussen, daß sie nahezu senkrecht die Kontrollraumgrenze überschreitet und somit der axiale Anteil der Impulskräfte gering ist. Theoretische Betrachtungen an einem einfachen Modell und experimentelle Untersuchungen mit verschiedenen Ventilkonturen zeigen jedoch, daß dies nur dann möglich ist, wenn die innerhalb des Schiebers gut geführte Strömung durch einen vollständig geöffneten Querschnitt geleitet wird. Für die praktische Umsetzung bedeutet dies, daß der Steuerquerschnitt aus mehreren kleinen Teilquerschnitten gebildet werden muß, die nacheinander geöffnet werden. Da die Kompensationswirkung nur auf Kosten einer geringeren Volumenstromverstärkung erzielt werden kann, eignet sich diese Methode kaum für elektrisch betätigte Ventile.

Die Ausnutzung eines inner- oder außerhalb der Schieberkammer künstlich erzeugten Druckabfalls stellt eine weitere Methode der Strömungskraftkompensation dar. Mit einer in die Schieberkammer eingebrachten Stufe kann eine gute Kompensationswirkung erzielt werden. Prinzipiell ist diese Maßnahme jedoch auf Einströmkanten beschränkt und bewirkt eine nichtlineare Ausbildung der Durchflußfunktion.

Der Ausgleich der axialen Impulsanteile einer in die Schieberkammer eintretenden Strömung durch die entgegengesetzt wirkenden Kräfte einer geeignet umgelenkten, austretenden Strömung stellt eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Strömungskräfte dar. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß mit Verfahren, die auf dieser Methode beruhen, sowohl für Ein- als auch für Ausströmkanten die besten Kompensationsergebnisse zu erzielen sind.

Aufnahmen von Strömungsvorgängen in einem Modell geben einen Einblick in die Wirkzusammenhänge der verschiedenen Verfahren. In Verbindung mit Axialkraftmessungen an ausgeführten Einzelwiderständen werden die wesentlichen geometrischen Einflußfaktoren herausgearbeitet. Es wird dabei deutlich, daß die dreidimensionale Strömungsbildung einen maßgeblichen Einfluß ausübt.

Für die Einströmkante wird eine Kontur angegeben, mit der eine bauraumsparende Kompensation in einem 4/3-Wegeventil nach der 4-Kammerbauart realisiert werden kann. Dies ist von Bedeutung, da die Untersuchungen an Ausströmkanten zeigen, daß hier eine effektive Kompensation nur durch Maßnahmen hinter der Steuerkante zu erreichen ist, und damit die sinnvolle Umsetzung nur in einem Ventil der 4-Kammerbauart erfolgen kann.

Für den Antrieb der Prototypventile wird das Prinzip des permanentmagneterregten Linearmotors gewählt und mit Hilfe einer FEM-Berechnung optimiert. Unter Ausnutzung nichtlinearer Arbeitsbereiche kann die Hubarbeit gegenüber einem Proportionalmagneten gleicher Baugröße beträchtlich gesteigert werden. Es werden die stationären Eigenschaften der aufgebauten Prototypen

anhand von Kraft-Hub-Kennlinien vorgestellt und die erzielten Ergebnisse zum dynamischen Verhalten im Lageregelkreis gezeigt.

Es wird die besondere Problematik der über den Schieberhub nichtlinearen degressiven Strömungskräfte diskutiert und an einem einfachen Modell werden die Voraussetzungen für ein stabiles Regelverhalten abgeleitet.

Die Berechnungen mit einem aufwendigeren Simulationsmodell, dem reale Strömungskraftkennlinien zugrundegelegt wurden, zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen des dynamischen Verhaltens eines strömungskraftkompensierten Industrieventils.

Die Wirkung von strömungskraftkompensierenden Maßnahmen auf das stationäre Kennlinienfeld eines Ventils kann durch eine vorgestellte Kennfeldkorrektur eliminiert werden. Die mit einem Digitalrechner realisierte Korrekturmaßnahme prägt dem Ventil in Verbindung mit elektrischen Drucksensoren ein system- und lastdruckunabhängiges Verhalten auf.

Bei den aufgebauten 4/3-Wege-Prototypventilen der Nenngröße 10 und 16 wurden die Strömungskräfte an allen vier Steuerkanten reduziert. Gegenüber dem Konzept, bei dem die Kräfte einer unkomensierten Steuerkante mit denen einer überkompensierten Steuerkante ausgeglichen werden, ist somit auch die Ansteuerung unsymmetrischer Verbraucher problemlos möglich. Es werden statische und dynamische Messungen zu den Ventilen gezeigt. Mit dem kompensierten direktgesteuerten Ventil der Nenngröße 16 ist die Steuerung einer hydraulischen Ausgangsleistung von 50 kW möglich.