

10. Zusammenfassung

Proportionalmagnete stellen heutzutage einen wichtigen und preisgünstigen Signalumformer für elektrohydraulische Ventile (Proportional-Ventile) dar, die als Schnittstelle zwischen einem elektrischen Signalkreis und einem hydraulischen Leistungskreis dienen. Diese Gleichstrommagnete zeichnen sich insbesondere durch ihre Robustheit, Wirtschaftlichkeit und hohe Aussteuerleistung aus. Jedoch steht diesen Vorteilen ihre relativ niedrige Grenzfrequenz gegenüber. Die Proportionalmagnete werden daher vorwiegend in entsprechend langsamen Steuervorgängen eingesetzt.

Diese Arbeit hat die Verbesserung von Proportionalmagneten hinsichtlich ihres statischen und dynamischen Verhaltens zum Ziel, um die Vergrößerung ihres Einsatzbereiches bei der Ventilansteuerung zu ermöglichen.

Zur Analyse des komplexen Magnetkreises von Proportionalmagneten wurde im Rahmen der Arbeit ein Finite Elemente-Computerprogramm entwickelt. Die Maxwellsche nichtlineare Differentialgleichung, die das Magnetfeld in einem sättigungsfähigen Magnetwerkstoff beschreibt, wird mit dem Programm numerisch für das Vektorpotential gelöst. Als Rechenergebnis kann die Verteilung des Vektorpotentials, der Flußdichte sowie der Permeabilität im rotationssymmetrischen Magneten aufgelistet werden. Die graphische Darstellung der Feldlinienverläufe im Objektbereich mit Hilfe eines Plottersystems veranschaulicht die Arbeitsweise des Magneten. Anschliessend können die Magnetkräfte, Induktivitäten des Magneten sowie ihre Kennlinienfelder berechnet werden. Die Einflüsse der konstruktiven Parametern auf die statischen Magneteigenschaften lassen sich damit ohne großen experimentellen Aufwand ermitteln.

Das dynamische Modell der aus einer Ansteuerlektronik, einem Proportionalmagneten und einer Rückstellfeder bestehenden Steuerkette als Grundmodell wurde anhand von Frequenzgängen

experimentell analysiert.

Von den Erkenntnissen ausgehend, die durch die obigen rechnerischen und experimentellen Untersuchungen gewonnen wurden, wurden konstruktive, materialbezogene sowie regelungstechnische Maßnahmen zur Verbesserung von Proportionalmagneten durchgeführt und erprobt.

Zur Reduzierung der mechanischen Hysterese wurde eine Membranfeder entwickelt, die zur reibungsarmen Lagerung des Magnetankers dient. Die Magnetisierungshysterese ließ sich durch die Verwendung Siliziumeisens erheblich verringern. Die Hysterese der stationären Hub-Strom-Kennlinie konnte dadurch auf ein Drittel des üblichen Wertes mit sog. DU-Lagern reduziert werden (ohne Dither ca. 8%). Der typische Einfluß des Dithersignals auf die Hysterese wurde an einem Proportionalmagneten untersucht, um herauszufinden, wodurch die Wirkung des Dithersignals bedingt wird.

Zur wesentlichen Erhöhung der Grenzfrequenz der Steuerkette wurden an der Ansteuerelektronik Versuche durchgeführt, um die Induktivität zu reduzieren und sowohl den Stromaufbau als auch -abbau zu beschleunigen. Die Verbesserungsmaßnahmen wurden schließlich in einem lagegeregelten Proportionalmagneten versuchsweise integriert. Die (-3dB)-Grenzfrequenz des Magneten ließ sich dadurch um ein Vielfaches erhöhen (z.B. für den Hub von $\pm 0,6\text{mm}$ bei einem lagegeregelten 35-er Proportionalmagneten etwa 110 Hz).

Die herkömmlichen Proportionalmagnete weisen einen hohen magnetischen Wirkungsgrad auf, den ein optimal ausgelegtes Magnetsystem normalerweise erreichen kann. Daher läßt sich die wesentliche Erhöhung der Magnetkräfte allein durch die konstruktive Optimierung der mechanischen Bauteile bei der gleichbleibendem Bauvolumen kaum erwarten. Als eine alternative Lösung dafür wurde in dieser Arbeit ein neuartiges Konzept entwickelt und realisiert, das mit Hilfe einer elektrischen

Analogschaltung den Einsatz eines Schaltmagneten als stetiges Stellelement ermöglicht. Dies hat den Vorteil, daß als Leistungsglied zur Betätigung eines Ventils ein Schaltmagnet mit hoher Magnetkraft eingesetzt werden kann, während die stetige Signalumwandlung durch die signaltechnische Kompensierung der ursprünglich nichtlinearen Kraft-Hub-Kennlinien des Magneten erfolgt. Diese signaltechnische Maßnahme bietet damit eine relativ einfache Möglichkeit, einen elektromechanischen Signalumformer für Proportionalventile zu bauen, der hinsichtlich der Ausnutzbarkeit der Hubarbeit, der maximalen Stellkraft und des Zeitverhaltens die Einsatzbedingungen optimaler erfüllen kann, als die herkömmlichen Proportionalmagnete.

Zum Schluß werden folgende Arbeiten vorgeschlagen, die zur Weiterentwicklung von Proportionalmagneten künftig fortzuführen sind;

- Untersuchung des thermischen Verhaltens von Proportionalmagneten mit dem Ziel, die Leistungsdichte zu erhöhen
- rechnerische und experimentelle Untersuchung der am Anker angreifenden Querkräfte, die durch die exzentrische Lagerung des Ankers verursacht werden.
- Weiterentwicklung des signaltechnisch linearisierten Schaltmagneten hinsichtlich der effektiven Unterdrückung der Wirbelströme
- Einbeziehen der magnetischen Hysterese in die statische Berechnung mit Hilfe der Finite Elemente-Methode/22,24/
- regelungstechnische Untersuchung und Optimierung eines lagegeregelten herkömmlichen sowie neuentwickelten Proportionalmagneten mit Hilfe einer digitalen Simulationstechnik