

5. Zusammenfassung

Hydraulische Netzwerke mit differenzierendem Verhalten bestehen – wie alle differenzierenden Elemente technischer Systeme – aus einem Proportionalglied und einer verzögerten Rückführung. Das Proportionalglied wird durch den federzentrierten Schieber eines Ventils gebildet, die verzögerte Rückführung des Eingangssignals erfolgt über ein hydraulisches Zeitglied. Der Ventilschieber erfüllt dabei eine Doppelfunktion. Zum einen wirkt er als Stellglied für die Steuerung des Volumenstroms, zum anderen ist seine Kapazität mitbestimmend für das Zeitverhalten des Netzwerks.

Das Zeitglied besteht aus einer hydraulischen Kapazität, die im einfachsten Fall von einem abgeschlossenen Ölvolumen gebildet wird, und einem Strömungswiderstand. Zur Vermeidung verschmutzungsanfälliger Strömungsquerschnitte werden Reihenschaltungen von Widerständen eingesetzt. Die niedrige Strömungsgeschwindigkeit in Widerstandsreihenschaltungen hat trotz einer blendenförmigen Geometrie der Einzelwiderstände ein Strömungsbild mit hohem Laminaranteil zur Folge. Die Anpassung der Potenzfunktion $Q = K \Delta p^z$ an eine gemessene Volumenstromkennlinie ermöglicht neben der Abschätzung des Temperatureinflusses die Nachbildung der Widerstandskennlinie in einem Simulationsmodell. Das Zeitglied bestimmt in Verbindung mit der Kapazität des Ventilschiebers die Zeitkonstante des Netzwerks.

Das dynamische Verhalten differenzierender Netzwerke zeigt in den Grenzen, die von der Massenträgheit des Ventilschiebers einerseits und den Leckverlusten andererseits vorgegeben werden, eine gute Übereinstimmung mit dem Verhalten eines idealen DT_1 -Gliedes. Damit wird die Beschreibung des Netzwerks auf die Kenngrößen K_D und T_1 reduziert.

Der Einsatz differenzierender Netzwerke zur Dämpfung hydrostatischer Antriebe setzt die Kenntnis einiger systemspezifischer Kenngrößen des zu dämpfenden Hydraulikkreises voraus. Ordnet man den Bauelementen des Systems elektrohydraulische Analogiemodelle zu, erhält man eine übersichtliche, auf alle Bauarten von hydrostatischen Antrieben anwendbare mathematische Beschreibung. In vielen Fällen genügt zur Darstellung des Systems eine lineare Differentialgleichung zweiter Ordnung. Das dynamische Verhalten dieser Systeme ist durch die Eigenkreisfrequenz ω_0 und den Dämpfungsgrad D_0 gekennzeichnet. Der Dämpfungsgrad gibt Aufschluß über die Größe und die Anteile der Verlustwiderstände des Antriebs.

Die Dämpfungswirkung differenzierender Netzwerke im Leistungskreis von hydrostatischen Antrieben beruht auf der gezielten Erhöhung der Verlustanteile beim Vorliegen schwingungsbegünstigender Betriebszustände. Dabei ist zwischen den Dämpfungsmaßnahmen, die eine Erhöhung der Leckverluste bewirken, und den Maßnahmen zur Drosselung des Volumensstromes im Zu- oder Rücklauf des Motors zu unterscheiden.

Zur Anpassung des Dämpfungsnetzwerks an den zu dämpfenden Antrieb muß neben den Kennwerten ω_0 und D_0 die Größe eines der beiden Energiespeicher Kapazität und Induktivität bekannt sein. Mit Hilfe des Wurzelortskurven-Verfahrens können dann die Kennwerte K_D und T_1 des Dämpfungsnetzwerks bestimmt werden.

Das dynamische Verhalten ausgeführter Netzwerke weicht aufgrund von nichtlinearen Beziehungen und Unstetigkeiten vom Verhalten eines idealen DT_1 -Gliedes ab. Die wichtigsten Einflußgrößen sind die Strömungskraft an den Steuerkanten des Ventils, die Wegbegrenzungen des Ventilschiebers, die Kennlinien nichtlinearer Strömungswiderstände und Abweichungen vom Arbeitspunkt. Durch eine geeignete Wahl der Netzwerkparameter können einige Einflüsse teilweise kompensiert werden.

Die praktische Erprobung differenzierender Netzwerke erfolgte sowohl an rotatorischen als auch an translatorischen Antrieben. Dabei kamen Netzwerke in Schieber- und Sitzventilbauart zum Einsatz. Bei Positionierantrieben hat der zur Dämpfung entzogene Volumenstrom eine Lageänderung zur Folge, die durch Anpassung der Schaltpunkte ausgeglichen werden kann. Diesen Nachteil vermeiden Netzwerke in serieller Anordnung, da ihre Dämpfungswirkung auf der Drosselung des Volumenstromes beruht. Am Beispiel eines rotatorischen Antriebs wird gezeigt, daß die Energieverluste beim Einsatz von Dämpfungsnetzwerken vernachlässigbar gering sind.

Die vorliegende Arbeit gibt eine umfassende Beschreibung des Aufbaus und der Wirkungsweise differenzierender Netzwerke in hydrostatischen Antrieben. Sie kann als Ausgangspunkt für die Erschließung weiterer Einsatzbereiche dienen. Für eine breitere Anwendung sind besonders solche Dämpfungsmaßnahmen von Interesse, die bei ausschließlicher Verwendung hydraulisch-mechanischer Elemente der Forderung nach einfachen und wirtschaftlichen Stabilisierungsverfahren Rechnung tragen.