

Bernhard Stöckl, Garching

Simulation eines druckgeregelten Anpresssystems für stufenlose Umschlingungsgetriebe

Stufenlose Umschlingungsgetriebe sind mögliche Ausführungen von stufenlosen Getrieben in Traktoren. Großes Potenzial für eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades liegt in der Optimierung der Anpress- und Übersetzungshydraulik. Mit Hilfe der Computersimulation wurde ein neues, druckgeregeltes System untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf der Verwirklichung einer hochdynamischen Anpressdruckbereitstellung bei Drehmomentsprüngen, wie sie im Traktor häufig auftreten. Für weitere Untersuchungen wurde ein Echtzeitsimulationssystem aufgebaut, mit dem neben der Messdatenerfassung am Prüfstand auch eine zügige, effiziente Entwicklung von Regelstrategien möglich ist.

Dipl.-Ing. Bernhard Stöckl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Th. Renius) der TU München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching; e-mail: stoeckl@itm.mw.tum.de

Referierter Beitrag der **LANDTECHNIK**, die Langfassung finden Sie unter **LANDTECHNIK-NET.com**.

Schlüsselwörter

Stufenlose Getriebe, Umschlingungsgetriebe, Traktoren, Hydraulik, Simulation

Keywords

Continuously variable transmission, chain converter, tractors, hydraulics, simulation

Stufenlose Traktorfahrtriebe haben inzwischen ihren Markt in hochentwickelten Märkten gefunden. Ab 2001 werden neben Fendt und Case/Steyr [1] auch John Deere und Deutz-Fahr hydrostatisch leistungszweigete Getriebe anbieten. Kettenwandler erscheinen vor allem wegen ihres herausragend guten mechanischen Wirkungsgrades interessant. Ihre Grenzleistungen reichen für große Traktoren derzeit nicht aus, konnten aber stetig vergrößert werden [2]. Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Projektes (SFB 365) werden am Lehrstuhl für Landmaschinen der Technischen Universität München neue Konzepte für die Hydraulik eines stufenlosen Umschlingungsgetriebes erforscht, um den Gesamtwirkungsgrad des Getriebes zu verbessern.

Druckgeregelte Anpresshydraulik

Ein Kettenwandler besteht aus zwei kegeligen Scheibensätzen, zwischen denen das Drehmoment über eine Kette reibschlüssig übertragen wird. Um ein Durchrutschen der Kette und damit eine Beschädigung des Wandlers zu verhindern [3], muss ein drehmomentproportionaler Öldruck in beiden Anpresszylindern anliegen. Für eine Übersetzungsverstellung wird der Druck zusätzlich erhöht.

Während die zurzeit in Serie gefertigten Ausführungen (etwa Audi Multitronic [2]) für die Bereitstellung des Anpressdruckes auf einen konstanten Ölvolumenstrom angewiesen sind, wurde ein neues druckgeregeltes, energieeffizientes System [4] entworfen, das die Vorteile des Konstantstromsystems (hohe Dynamik, schnelle Stillstandsverstellung) beibehält. Es konnte ein einfacher Aufbau realisiert werden: eine Verstellpumpe, je ein 3-Wege-Druckregelventil und ein neuartiger Drehmomentfühler [4] pro Scheibensatz. Der Öldruck am Anpresszylinder wird über Verstellpumpe und Druckregelventil entsprechend dem am Drehmomentfühler elektronisch gemessenen Moment eingestellt, während bei dem bekannten P.I.V.-Konstantstromsystem der Druck durch eine

momentenabhängige Drosselung entsteht. Für den Fall großer positiver Drehmomentgradienten, bei denen der Druckaufbau aufgrund der Trägheiten von Ventil und Pumpe zu langsam erfolgt, stellt der Drehmomentfühler hochdynamisch den Anpressdruck nach dem hierzu beibehaltenen P.I.V.-Prinzip rein mechanisch ein (sogenannte „Pumpwirkung“).

Simulation der Anpresshydraulik

Grundlegende Anforderung an die Simulation ist eine möglichst genaue Wiedergabe der Realität mit ihrer Dynamik. Beim Aufbau eines komplexen Systems werden zuerst die Einzelkomponenten modelliert und durch Messungen verifiziert. Danach wird aus den entwickelten Modellen das Gesamtsystem aufgebaut. Durch die modulare Struktur können einzelne Elemente leicht ausgetauscht werden, um verschiedene Konzeptvarianten zu untersuchen und weitere Optimierungen durchzuführen.

Für die Simulation kam die Software MATLAB/Simulink mit der Hydraulikerweiterung Hydraulik Blockset zum Einsatz. Neben dem Drehmomentfühler wurde auch das Druckregelventil mit seinen Grundfunktionen nachgebildet.

Zum Nachweis der Simulationsgüte des Modells wurden berechnete Werte den am Prüfstand gemessenen gegenübergestellt. Der Aufbau umfasste eine Hälfte des neuen Anpresssystems: eine Verstellpumpe, ein Druckregelventil und Drehmomentfühler.

Ein wichtiges Kriterium für das Ventilverhalten ist die Antwort auf einen Sollwertsprung (*Bild 1*). Entscheidend sind bei einem Druckanstieg die ersten Millisekunden, da die schnelle Bereitstellung des geforderten Drucks für einen beschädigungsfreien Betrieb des Kettenwandlers notwendig ist [4].

Ein weiteres grundlegendes Merkmal ist die Wirkung und Dauer der Pumpwirkung. Zur Untersuchung des Zeitverhaltens wird bei einer konstanten Vorgabe des Soll-drucks am Druckregelventil das Belastungsmoment schlagartig erhöht. Durch die Pumpfunktion des Drehmomentfühlers steigt der Öldruck

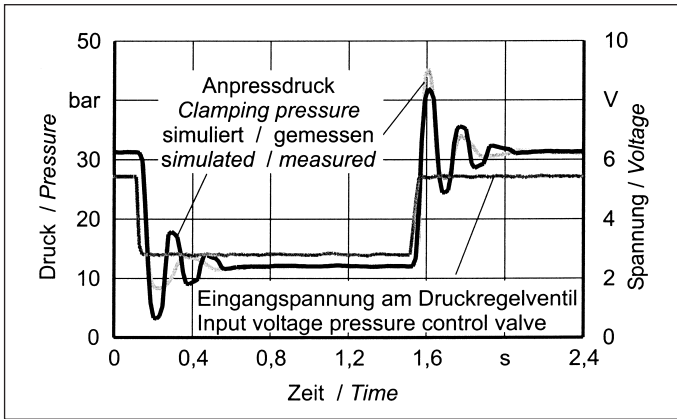


Bild 1: Sprungantwort des Druckregelventils

Fig. 1: Step response of pressure control valve

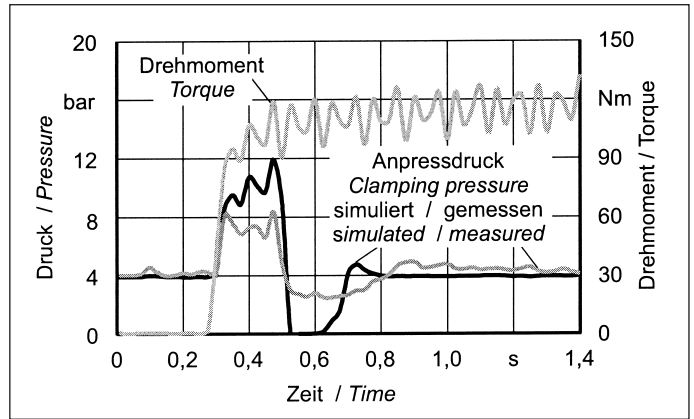


Bild 2: Zeitverhalten der Pumpwirkung des neuen Drehmomentfühlers

Fig. 2: Time characteristics of pump effect of the new torque sensor

und ist höher als der Sollwert am Ventil, da die Sollwertberechnung verzögerungsbehaftet ist. Das Druckregelventil versucht nun – fälschlicherweise – den Druck auf den eingestellten Sollwert zu reduzieren. Der Druck bleibt aber für rund 40 ms drehmomentproportional, was aus einer Trägheit des Ventils resultiert. Solange der Drehmomentfühler weiter pumpt, verharrt der Druck auf einem etwas niedrigeren Niveau (Bild 2), da das Ventil in Richtung Tank öffnet. Konstruktionsbedingt kann der Drehmomentfühler nur eine begrenzte Zeit pumpen, danach sinkt der Druck schnell ab, da das Druckregelventil immer noch Druck in Richtung Tank abbaut. Dieses Ergebnis zeigt den Zeitrahmen auf, in dem das Druckregelventil und die Pumpe den Öldruck spätestens angehoben haben müssen.

Den nächsten Schritt stellte die Einbindung der Drehmomentmessung am neuen Drehmomentfühler und die Ausgabe dieses Wertes an das Druckregelventil dar. Auf Basis früherer Versuche [4] wurde die Drehmomentfassung optimiert, insbesondere die störende Verzögerung bei der Sollwertausgabe verringert. Im Versuch wird der Druck über das Druckregelventil entspre-

chend dem Drehmoment, das schlagartig aufgebracht wird, nachgeregelt (Bild 3). Zu Beginn des Drehmomentsprungs unterstützt der Drehmomentsensor den Druckaufbau, bis das Druckregelventil den Druck einregelt.

Während der Pumpfunktion wird ein zu großes Drehmoment ermittelt. Deshalb sind die Überschwinger stark ausgeprägt. Verstärkt wird der Effekt durch das Verhalten des Druckregelventils bei Sollsprüngen (Bild 1).

Simulation in Echtzeit

Neben der klassischen Simulation besteht die Möglichkeit des interaktiven Datenaustausches mit der Umgebung. Spricht man von "Hardware in the Loop", wird ein Steuergerät mit der simulierten Umgebung verbunden. Dagegen versteht man unter "Rapid Control Prototyping" die Simulation des Reglers auf dem PC, der mit einem realen Prüfstand kommuniziert [5]. Berechnungen im Simulationsprogramm müssen daher in Echtzeit, also im selben Zeitrahmen wie die realen Vorgänge erfolgen. Am Lehrstuhl für Landmaschinen wird dazu das Simulationsprogramm MATLAB/Simulink mit den Erweiterungen Real-Time Workshop und Real-Time Windows Target eingesetzt.

Für die ersten Schritte bei der Ermittlung des Drehmoments am Drehmomentfühler wurde ein Rapid Control Prototyping System realisiert. Alle Messdaten werden erfasst und aufgezeichnet. Gleichzeitig werden die Sensorsignale in das entsprechende Drehmoment und den äquivalenten Sollwert umgerechnet. Durch Eingabe des Spannung-Druck-Kennfeldes wird die Sollspannung direkt an das Druckregelventil ausgegeben. Diese Vorgehensweise erlaubt die Verarbeitung von Daten ohne aufwändige Programmierung eines Steuergerätes und beschleunigt die zielgerichtete und effiziente Entwicklung von neuen Reglern oder Steuergeräten. Mit den gewonnen Erkenntnissen wurde ein Steuergerät programmiert, das jetzt die Sollwertberechnung durchführt.

Nächster Schritt wird der Entwurf und die Simulation einer Regelstrategie für die Anpress- und Übersetzungsregelung des gesamten Hydraulikkreislaufs sein.

Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- Renius, K. Th.: Gesamtentwicklung Traktoren. Jahrbuch Agrartechnik 2000, Landwirtschaftsverlag, Münster, 2000, Band 12, S. 37-39 und 237-239
 - Faust, H. und A. Linnenbrügger: CVT-Entwicklung bei LuK. 6. LuK-Kolloquium, 19./20. März 1998. Deutscher Tagungsband, Herausgeber LuK GmbH & Co., Bühl/Baden, 1998, S. 159-181
 - Sauer, G.: Grundlagen und Betriebsverhalten eines Zugketten-Umschlingungsgetriebes. Dissertation, Technische Universität München, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 293, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
 - Westenthanner, U.: Hydrostatische Anpress- und Übersetzungsregelung für stufenlose Kettenwandlergetriebe. Dissertation, Technische Universität München, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 442, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000
 - Lang, Th.: Schnelle Reglerauslegung in der Hydraulik durch Einsatz einer ganzheitlichen Entwicklungsumgebung. Agrartechnische Forschung 5 (1999), H.1, S. 46-53

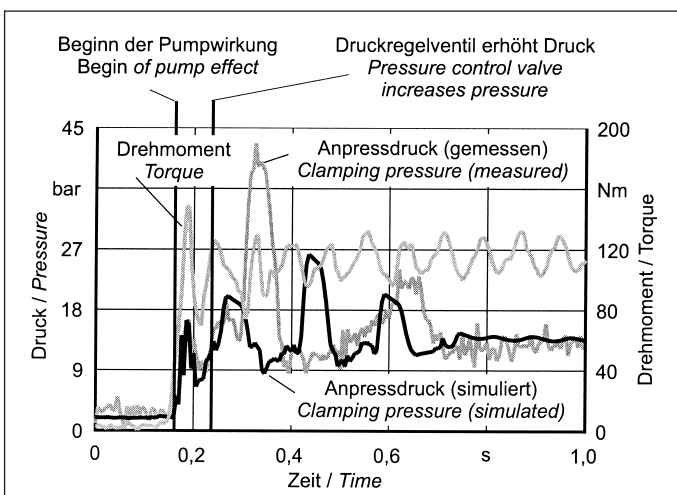


Bild 3: Druckaufbau durch Drehmomentfühler und Druckregelventil bei schlagartiger Drehmomenterhöhung

Fig. 3: Raise of oil pressure by an abruptly increase of torque, caused by pressure control valve and torque sensor