

Björn Grösbrink und Hans Heinrich Harms

Load-Sensing-System mit abwechselnden Pumpenreglern

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig wird ein Hydrauliksystem mit überlagerter Pumpenverstellung entwickelt. Das Ziel ist die Verbesserung des energetischen und dynamischen Verhaltens des konventionellen Load-Sensing-Systems unter ausschließlicher Verwendung mobiltauglicher Komponenten. Die eingesetzte Verstellpumpe wird abhängig vom Betriebsbereich entweder von einem hydraulisch-mechanischen Förderstromregler oder einem zusätzlichen elektrohydraulischen Fördervolumenbegrenzer gesteuert. Hierdurch sollen sowohl die notwendige Verstellgenauigkeit im Bereich kleiner Schwenkwinkel und geringer übertragener Gesamtleistung als auch verringerte Verluste bei größeren Schwenkwinkeln erzielt werden.

Schlüsselwörter

Hydrauliksystem, Reglerübergang, Übertragungsverhalten

Keywords

Hydraulic system, controller transition, transfer behaviour

Abstract

Grösbrink, Björn and Harms, Hans Heinrich

Load sensing system with alternating pump controllers

Landtechnik 64 (2009), no. 6, pp. 409-412, 3 figures, 1 reference

In this contribution, an upgraded version of a conventional hydraulic-mechanical load sensing is presented, whose goal is the improvement of the energetic and dynamic behaviour of the standard system in the main working range.

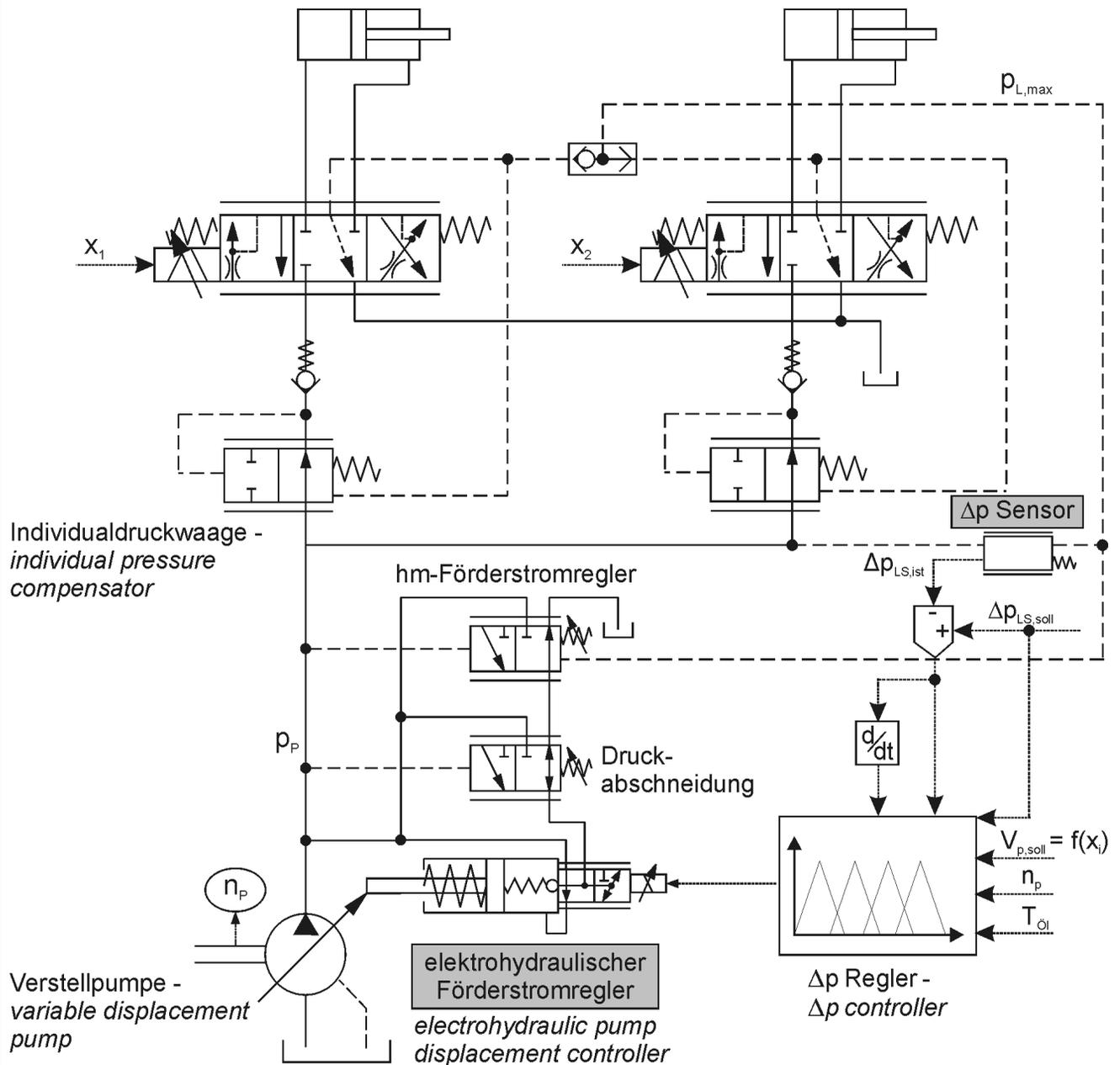
The presented system is controlled, depending on the operating point, either with the aid of a conventional volume flow controller or an electro-proportional volume flow limiter with reduced pressure difference between the pump pressure and maximum load pressure. This is intended to provide the necessary precision at smaller swivelling angles and lower overall power transmission as well as improved efficiency at a larger swivelling angle using conventional components suitable for mobile use.

■ Im Bereich der Arbeitshydrauliksysteme für mobile Maschinen findet in den letzten Jahren eine verstärkte Entwicklung von Systemen mit einer elektronischen Steuerung bzw. Regelung der Verstellpumpe statt. Wesentliche Treiber für diese Entwicklung sind die steigenden Energiekosten und verschärfte Emissionsvorschriften. Neben der Anforderung, die Betriebskosten zu senken, müssen neue Hydrauliksysteme jedoch auch in den Anschaffungskosten mit konventionellen Lösungen konkurrieren können. Dies führt zu einem Verzicht von teuren und evtl. nur bedingt mobiltauglichen Sensoren. Die aktuellen Entwicklungen unterscheiden sich daher von früheren elektrohydraulischen (eh) Systemen vor allem durch einen einfachen, robusten Systemaufbau mit möglichst wenig Sensoren und mobiltauglicher Pumpenverstellung.

Systemaufbau

Der Aufbau des Systems ist in **Abbildung 1** dargestellt. Er basiert auf dem Aufbau eines konventionellen Load-Sensing(LS)-Systems eines Traktors mit elektronisch angesteuerten Wegeventilen, die mit Primärdruckwaagen ausgestattet sind. Zusätzlich werden eine eh Schwenkwinkelverstellung und ein Druckdifferenzsensor eingesetzt (Beschriftung in **Abbildung 1** hervorgehoben). Der Sensor dient zur Erfassung der Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem höchsten Lastdruck. Der Sensor muss beidseitig mit dem maximalen Systemdruck beaufschlagt werden können und muss eine ausreichende Genauigkeit bei der Erfassung einer Druckdifferenz von unter 2 MPa bieten. Deshalb wurde auf den Einsatz von zwei Einzeldrucksensoren verzichtet. Stattdessen wird die Druckdifferenz anhand der Schieberposition einer Druckwaage ermittelt. Auf den Schieber wirken dabei der Pumpendruck, der höchste Lastdruck sowie eine Federkraft. Da die Druckwaage nur als Sen-

Abb. 1



Funktionsschaltplan des Load-Sensing Systems mit abwechselnden Pumpenreglern
 Fig. 1: System setup of Load-Sensing-System with alternating pump controllers

sor und nicht zur Steuerung eines Volumenstroms eingesetzt wird, hat sie keinen Einfluss auf das dynamische Systemverhalten. Will man die Effizienz gegenüber dem konventionellen LS-System verbessern, muss man die Verluste, die durch die Regeldruckdifferenz von üblicherweise 2 MPa entstehen, verringern. Betrachtet man jedoch den Verbleib der Regeldruckdifferenz im System, stellt man fest, dass fast die Hälfte der Regeldruckdifferenz im System für den Betrieb der Primärdruckwaagen und die Überwindung von Druckverlusten notwendig ist. Lediglich die verbleibende Druckdifferenz kann vermieden werden, um den Systemwirkungsgrad

zu verbessern. An ein neues System entsteht hieraus die Forderung, zusätzliche Verluste zu vermeiden. Daher arbeitet das hier vorgestellte System ohne Pumpen-Bypass und ohne externe Steuerölversorgung für die Schwenkwinkelregelung. Dies ist allerdings problematisch, da die Fördervolumenverstellung, insbesondere im Bereich kleiner Schwenkwinkel, sehr genau arbeiten muss, um unkontrollierte Druckanstiege zu vermeiden.

Um diesen Zielkonflikt zu lösen, wird der konventionelle hydraulisch-mechanische (hm) Förderstromregler im Bereich kleiner Schwenkwinkel eingesetzt und bei Überschreitung

einer Schwenkwinkelgrenze vom eh Regler abgelöst. In diesem Bereich höherer übertragener Leistung wirkt sich eine Reduzierung der konstanten Regeldruckdifferenz deutlich auf das energetische Übertragungsverhalten aus.

Systemfunktion

Die Funktion des Systems basiert auf einer in einem Vorgängerprojekt entwickelten Bedarfstromsteuerung [1]. Bei diesem System wird der Pumpenschwenkwinkel in Abhängigkeit des von den Ventilen angeforderten Volumenstroms und weiteren Größen, z.B. der Pumpendrehzahl, gesteuert. Aufgrund des Verzichts einer Regelung kommt dieses System ohne zusätzliche Sensoren aus und ist wegen der offenen Steuerkette unempfindlich gegenüber Schwingungsanregungen. Soll dieses System mit mobiltauglichen Komponenten arbeiten, tritt allerdings ein Nachteil auf: Aufgrund von unvermeidbaren Abweichungen, z.B. Hysterese Fehlern der Komponenten, muss das System über einen Pumpen-Bypass verfügen, der überschüssiges Öl zum Tank abführt. In diesem Fall stellt ein Pumpen-Bypass eine zusätzliche Verlustquelle dar, die bei dem hier vorgestellten Nachfolgesystem vermieden werden sollte.

Dieses wird durch eine überlagerte Regelung des Pumpenförder Volumens möglich, mit der Abweichungen wie die genannten Hysterese Fehler oder auch der bei Traktoren übliche Power-Beyond-Betrieb ausgeregelt werden können. Die Regelung basiert wie beim konventionellen hm LS-System auf einer Regelung der Druckdifferenz zwischen dem Pumpendruck und dem höchsten Lastdruck. Durch die als Störgrößenaufschaltung dienende Bedarfstromsteuerung wird die Druckdifferenzregelung stark entlastet und muss lediglich eine geringe Schwenkwinkelkorrektur von wenigen Prozent durchführen. Diese Kombination führt zu schnellen Systemantworten bei veränderten Volumenstromanforderungen und guter Systemdämpfung durch die geringe Reglerverstärkung. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes einer eh Pumpenverstellung ist die Möglichkeit, den eingesetzten Regler an das stark nichtlineare Verhalten eines Hydrauliksystems anzupassen. Diese Möglichkeit wurde in

dem Projekt durch den Einsatz von adaptiven Reglerparametern genutzt, welche sich mithilfe der Fuzzy-Logik dem jeweiligen Betriebsbereich anpassen.

Reglerwechsel

Die Grundlage für den kombinierten Einsatz der beiden Förderstromregler ist ihre Anordnung. Der eh Regler greift zwischen dem hm Förderstromregler und dem Pumpenstellzylinder ein. Er verfügt über einen eigenen Pumpendruckanschluss zum Halten und Verringern des Schwenkwinkels, während er den Zugriff auf den Tankanschluss zum Vergrößern des Schwenkwinkels nur über den hm Förderstromregler hat. Hierdurch kann der eh Regler den Pumpenschwenkwinkel und damit auch die Regeldruckdifferenz unabhängig vom hm Regler verkleinern, während er für ein Vergrößern des Schwenkwinkels auf die geöffnete Tanksteuerkante des hm Reglers angewiesen ist. Zusätzlich ist der hm Förderstromregler mithilfe eines Rückschlagventils in der Lage, den Pumpenschwenkwinkel unabhängig zu verkleinern, sobald die an der Regelfeder eingestellte Druckdifferenz überschritten wird.

Die Regler sind im Ergebnis so miteinander verschaltet, dass stets der jeweilige Minimalwert des Schwenkwinkels eingestellt wird.

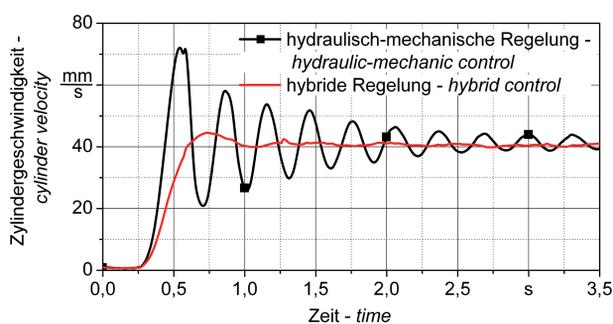
Experimentelle Ergebnisse

Um das mithilfe einer Kosimulation entwickelte und ausgelegte System zu verifizieren, wurde es an einem Versuchsstand umgesetzt. Hierfür steht am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik eine stationäre Versuchseinrichtung zur Verfügung, welche im Wesentlichen aus typischen Traktorhydraulikkomponenten besteht. Hierzu gehören die über einen drehzahlregulierten Asynchronmotor betriebene Verstellpumpe, die elektrisch betätigten Wegeventile mit Primärdruckwaagen, der über Schnellkupplungen zuschaltbare Frontlader als translatorische sowie ein Hydraulikmotor als rotatorische Belastungseinrichtung. Um die Vorgänge im System analysieren zu können, wurde der Versuchsstand mit umfangreicher Sensorik ausgestattet. Hierzu gehören z.B. Druck-, Volumenstrom-, Drehzahl- und Drehmomentsensoren sowie Positionssensoren an den Frontladerzylindern und den Individualdruckwaagen.

Das dynamische Übertragungsverhalten eines Hydrauliksystems kann durch Messungen von Systemantworten auf definierte Anregungen überprüft werden. Das Ergebnis einer Sprunganregung des neu entwickelten Systems mit wechselnder Schwenkwinkelverstellung bzw. hybrider Regelung im Vergleich zum konventionellen LS ist in **Abbildung 2** dargestellt.

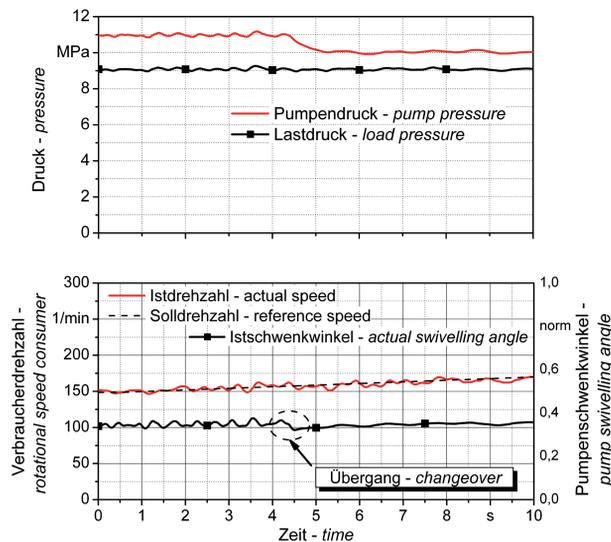
Bei dieser Messung diente der Frontlader als Belastungseinheit. Zum Zeitpunkt 0 s wurde das Wegeventil mit einer Sprunganregung von 0 auf 35 % angesteuert, so dass die Frontladerschwinge aus einer unteren Position angehoben wurde. Vor der Sprunganregung befand sich das System im Stand-by und wurde damit in beiden Fällen vom hm Förderstromregler geregelt. Das Diagramm zeigt das Verhalten des Verbrauchers anhand seiner Geschwindigkeit.

Abb. 2



Vergleich der Sprungantworten
Fig. 2: Comparison of step responses

Abb. 3



Systemverhalten während des Reglerübergangs
 Fig. 3: System behaviour during controller changeover

Die Sprungantwort des hm LS wird durch einen typischen starken Überschinger mit nur langsam abklingenden Schwingungen charakterisiert. Obwohl beide Systeme über eine Druckdifferenzregelung verfügen, entfällt bei der hybriden Regelung der Überschinger des Pumpenschwenkwinkels und damit der Zylindergeschwindigkeit, wodurch das Systemverhalten deutlich stärker gedämpft ist. Dieser Unterschied liegt in der zuvor erläuterten Tatsache begründet, dass das eh gesteuerte System über eine unterlagerte Bedarfstromsteuerung verfügt und die eigentliche Druckdifferenzregelung eine geringe Verstärkung besitzt.

Will man überprüfen, wie sich das System im Falle eines Wechsels der aktiven Regelfunktion von einem zum anderen Förderstromregler verhält, ist es sinnvoll, die Systemanregung so gering wie möglich zu gestalten. Diese Forderung erfüllt das rampenförmige Öffnen des Ventils mit geringer Steigung. **Abbildung 3** zeigt die Systemantwort auf eine solche Anregung. In diesem Fall wurde der Ölmotor als Dauerverbraucher gewählt. Zum Zeitpunkt 4,5 s überschreitet der aufgrund der

steigenden Volumenstromanforderung der Ventile berechnete Wert der Bedarfstromsteuerung eine vorgegebene Grenze und der eh Regler wird aktiv geschaltet. Hierdurch beginnt dieser, einen Volumenstrom in den Pumpenstellzylinder zu fördern. Die Pumpe schwenkt leicht zu und die Druckdifferenz zwischen dem Pumpen und dem Lastdruck sinkt, wodurch der hm Förderstromregler wiederum inaktiv wird. Während dieser Übergang am Schwenkwinkelverhalten der Pumpe zu erkennen ist (in **Abbildung 3** markiert), findet keine merkliche Beeinflussung des Verbraucherverhaltens während des Reglerwechsels statt. Die übliche Forderung an einen Reglerwechsel, nämlich schlagfrei umzuschalten, konnte somit realisiert werden.

Das energetische Verhalten ist an dem Verlauf von Pumpen- und Lastdruck zu erkennen. Während der Lastdruck konstant bleibt, sinkt der Pumpendruck nach dem Reglerwechsel um etwa 1 MPa. In dem hier gezeigten Betriebspunkt bedeutet dies eine Steigerung des Wirkungsgrades um 10 % bei gleicher Verbrauchergeschwindigkeit.

Schlussfolgerungen

Die Idee, eine Bedarfstromsteuerung mit einer Druckdifferenzregelung zur Erhöhung der Genauigkeit zu überlagern, zeigte Erfolg. Dadurch konnte auf einen Pumpen-Bypass und eine Steuerölversorgung für die Schwenkwinkelverstellung verzichtet werden. Anhand von Messergebnissen konnte die Verbesserung der Systemdämpfung und die Verringerung der systembedingten Verluste aufgezeigt werden. Weiterhin wurde gezeigt, dass das Verbraucherverhalten während des Reglerwechsels fast unbeeinflusst bleibt.

Literatur

- [1] Fedde, T.: Elektrohydraulische Bedarfstromsysteme am Beispiel eines Traktors. Dissertation. TU Braunschweig, 2008

Autoren

Dipl.-Ing. Björn Grösbrink ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms**) der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: b.groesbrink@tu-bs.de

Danksagung

Das Forschungsprojekt „Ablösende Load-Sensing Regelung“ wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

Faustzahlen Biogas
 2. Auflage

Faustzahlen Biogas

NEU

2009, 2. Auflage, 240 S., 19 €
 ISBN 978-3-941583-28-3, Best.-Nr. 19497

Das Nachschlagewerk enthält alle relevanten Daten und Fakten zu Biogas in der Landwirtschaft. Es erläutert die Entwicklung des Biogassektors und die technisch-biologischen Grundlagen ebenso wie Substratbereitstellung, Gasausbeute, Gärrestverwertung, Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkungen.

KTBL
 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft

Kuratorium für Technik
 und Bauwesen
 in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
 Barningstr. 49 | 64289 Darmstadt
 Tel.: +49 6151 7001-0
 Fax: +49 6151 7001-123

www.ktbl.de