

Ventilgesteuerter hydraulischer Antrieb mit Regenerationsfunktion

Weltweit ansteigende Energiekosten, verschärfte Emissionsvorschriften und die Ressourcenschonung erfordern vermehrt energiesparende Antriebssysteme auch bei mobilen Arbeitsmaschinen. Bei den in diesen Maschinen für die Arbeitsantriebe überwiegend eingesetzten Ventilsteuerungen wird der zurückfließende Ölstrom bei ziehenden Lasten für die Bewegungssteuerung gedrosselt, so dass die abgegebene Leistung in Wärme gewandelt wird und somit nicht mehr zu nutzen ist. In diesem Beitrag wird ein System vorgestellt, welches eine Regeneration des zurückfließenden Ölstromes möglich machen soll.

Dipl.-Ing. Konrad Steindorff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: k.steindorff@tu-bs.de

Schlüsselwörter

Ventilsteuerung, Energierückuperation, Mobilhydrauliksysteme

Keywords

Valve control, energy recuperation, mobile hydraulic systems

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • *Rahmfeld, R.*: Development and Control of Energy Saving Hydraulic Servo Drives for Mobile Systems. Dissertation, Universität Duisburg. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 527, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002
- [2] • *Holländer, C.*: Untersuchungen zur Beurteilung und Optimierung von Baggerhydrauliksystemen. Dissertation, Technische Universität Braunschweig. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 307, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998

Zahlreiche Entwicklungen sowohl in der Stationärhydraulik als auch in der Mobilhydraulik zielen darauf ab, entweder durch Rückgewinnung der von einem Verbraucher abgegebenen Leistung oder durch Verringerung der Verluste den Gesamtwirkungsgrad eines Hydrauliksystems zu verbessern.

Bei Baggern wird häufig das Drehwerk im geschlossenen hydraulischen Kreis mit Verdrängersteuerung betrieben. Diese Anordnung gibt die Möglichkeit, beim Abbremsen der Drehbewegung die Leistung über die Pumpe zurück auf die Dieselmotorwelle zu speisen. Die Anwendung dieses Prinzips für den gesamten hydraulischen Antrieb erfordert eine Verdrängersteuerung für jeden hydraulischen Motor. Daraus ergibt sich, dass für jeden Motor eine auf die Maximalleistung ausgelegte Verstelleinheit mit entsprechend hohem Aufwand und Kosten vorhanden sein muss [1]. Zudem treten bei der Verwendung von Differenzialzylindern Probleme mit den unterschiedlichen Volumenströmen von Zu- und Ablauf auf.

Beschreibung des hydraulischen Regenerationskonzeptes

Das in *Bild 1* schematisch gezeigte hydraulische System, exemplarisch mit einem Zylinder als Verbraucher dargestellt, bietet die Möglichkeit eines regenerativen Betriebes.

In der in *Bild 1* gezeigten Ausbaustufe wird zunächst untersucht, welche Leistung im Falle von am Zylinder anliegenden ziehenden Lasten auf den Hydromotor und damit auf die Pumpenwelle zurückgeführt werden kann. Grundsätzlich können an einem Verbraucher, translatorisch oder rotatorisch, vier unterschiedliche Lastfälle auftreten. Diese sind ebenfalls in *Bild 1* gezeigt.

In den Fällen 1 und 4 herrscht eine drückende Last vor, das heißt, die Last wirkt entgegen der gewünschten Bewegungsrichtung des Verbrauchers. In den Fällen 2 und 3 wirkt die Last ziehend in die gleiche Richtung wie die gewünschte Bewegungsrichtung. Das hat zur Folge, dass in einem konventionellen Hydrauliksystem der vom Zylinder abfließende Volumenstrom ange-

drosselt werden muss, um eine ungewünschte Beschleunigung des Zylinders zu verhindern. Dabei entstehen hohe Verluste, da die zuvor aufgebaute Energie abgebaut werden muss und dem System somit nicht mehr zur Verfügung steht. Diese Fälle lassen sich auch auf rotatorische Verbraucher übertragen. Muss ein sich drehender Verbraucher abgebremst werden, so wirkt die Trägheit des Verbrauchers als ziehende Last und es muss Energie abgebaut werden.

In den beiden Fällen 2 und 3 ermöglicht das hier untersuchte Hydrauliksystem einen regenerativen Betrieb. Dies soll durch die Erweiterung eines konventionellen Systems um ein zusätzliches Proportionalventil V_{Reg} sowie einen weiteren verstellbaren Hydrostaten realisiert werden, welcher sein Moment an die Welle der Hydropumpe abgibt. Außerdem müssen bei diesem System Zu- und Ablauf separat gesteuert werden können. Wird von dem System erkannt, dass eine ziehende Last anliegt, beispielsweise Fall 2, wird das Ventil V_B , welches sonst den Ölstrom zum Tank hin gedrosselt ablassen würde, geschlossen und V_{Reg} geöffnet. Dadurch wird der abfließende Ölstrom auf den Hydromotor geleitet und – da dessen Abtriebswelle mit der Pumpenwelle gekoppelt ist – die Pumpe entlastet.

Durch die verstellbaren Motor- und Pumpeneinheiten wird die vom Verbraucher zurückgeführte hydraulische Leistung transformiert. Bei der gezeigten Motor-Pumpe-Anordnung handelt es sich um einen Hydrotransformator in aufgelöster Bauweise. Somit kann folglich ein geringer Volumenstrom mit hohem Druck in einen hohen Volumenstrom mit geringem Druck – und umgekehrt – gewandelt werden, was notwendig ist, da der benötigte Pumpenvolumenstrom nicht zwangsläufig gleich dem Rücklaufvolumenstrom ist.

Da im Falle von ziehenden Lasten bei einem Einverbrauchersystem die Pumpe allerdings ohnehin kaum belastet wird, werden in dieser Ausbaustufe hauptsächlich Systeme mit mehreren Verbrauchern betrachtet. In einem weiteren Schritt soll die Möglichkeit der Energiezwischen-speicherung geprüft werden, so dass auch eine sinnvolle Rege-

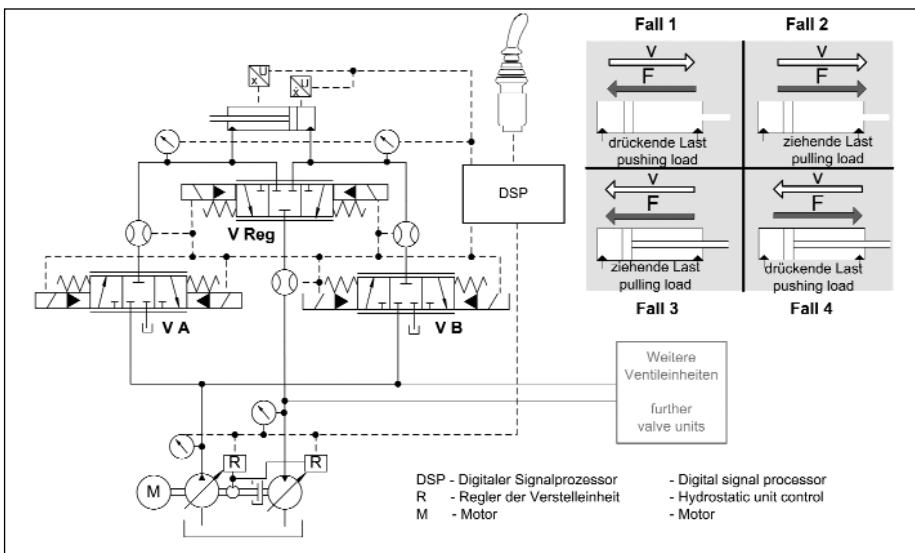


Bild 1: Schema des hydraulischen Antriebs mit Regenerationsfunktion und mögliche Lastfälle

Fig. 1: Diagram of the hydraulic drive with regeneration function and possible loading conditions

Pumpenschwenkwinkel und die Ventilöffnungen eingeregelt werden. Bei einem regenerationsfähigen Belastungsfall muss zusätzlich der Schwenkwinkel des Regenerationshydrostaten geregelt werden, so dass sich aufgrund des verfügbaren, vom regenerierten Verbraucher zurückfließenden Ölstromes die gleiche Drehzahl wie bei der Pumpe einstellen würde. Um ein Voreilen eines Verbrauchers bei ziehender Last zu verhindern, regelt das Regenerationsventil einen Mindestdruck auf der Zulaufseite ein, so dass der Verbraucher stets leicht eingespannt ist und dadurch die Dynamik des Systems bei wechselnden Belastungen nicht beeinträchtigt wird.

neration mit einem einzelnen Verbraucher möglich ist.

Für den Fall eines Mehrverbraucherbetriebs kann aber auch ohne Zwischenspeicherung die von dem ziehend belasteten Verbraucher zurückgeführte Leistung einem anderen Verbraucher, der gleichzeitig Leistung benötigt, zugeführt werden. Am Beispiel eines Baggers mit sämtlichen Verbrauchern inklusive Drehwerk im offenen Kreis soll das im Folgenden dargelegt werden. In einem typischen, in Bild 3 gezeigten Arbeitszyklus lädt ein Bagger das Gut vom Erdboden auf ein Fahrzeug. Dabei hat er sowohl eine zyklische Dreh- als auch mehrere Hubbewegungen zu bewältigen. Während eine Hubbewegung mit Hilfe des Auslegers durchgeführt wird, muss die Drehbewegung des Oberwagens abgebremst werden, Energie muss abgebaut werden. In diesem Falle wirkt die Massenträgheit also als ziehende Last auf den Oberwagen. Die mit diesem System dabei regenerierte Energie kann dazu eingesetzt werden, die Hubbewegung des Auslegers zu unterstützen und damit den Dieselmotor zu entlasten und letztendlich Kraftstoff einzusparen. Dem entsprechend lässt sich die Energie eines jeden anderen Verbrauchers, translatorisch oder rotatorisch, regenerieren. Ein ähnlicher Zyklus ist

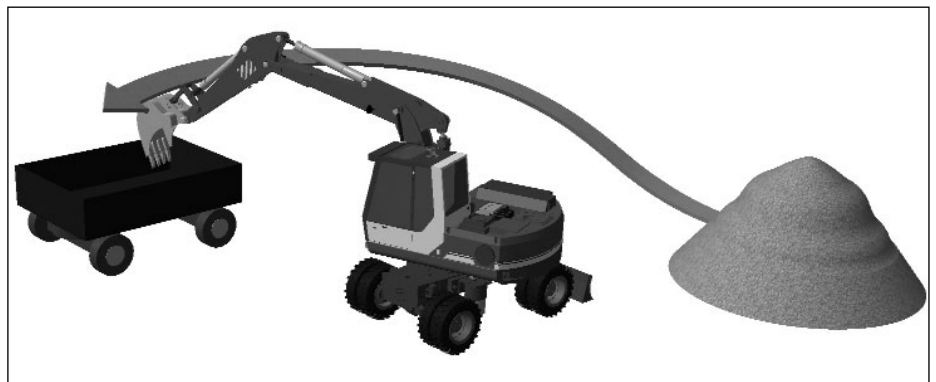


Bild 3: Typischer Bewegungsablauf eines Baggers: Drehwerk abbremsen, Ausleger anheben

Fig. 3: Typical motion sequence of an excavator: rotary drive braking, boom lifting

in Bild 2 gezeigt. Dabei wird deutlich, dass der Abbremsvorgang des Oberwagens und das Anheben des Auslegers zeitlich zusammenfallen, ebenso wie der Öffnungsvorgang des Löffels und das Absenken des Auslegers.

Eine große Bedeutung kommt bei diesem Konzept den Sensoren sowie der verwendeten Steuerungsstrategie zu. An jedem Verbraucher muss der jeweilige Belastungsfall – ziehend oder drückend – in jedem Moment bekannt sein. Dem entsprechend und anhand der Bedieneranforderung muss der Sollvolumenstrom zu den Verbrauchern über den

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein System vorgestellt, welches eine Regeneration von aufgebauter potenzieller oder kinetischer Energie im Falle von an einem hydraulischen Verbraucher auftretenden ziehenden Lasten möglich macht. Zugrunde gelegt wird ein hydraulisches System im offenen Kreis, bei dem die Steuerkanten von Zu- und Ablauf getrennt zu steuern sind. Eine zusätzliche hydrostatische Verstelleinheit dient der Energierückgewinnung des abfließenden Ölstromes.

Mit Hilfe einer angepassten Steuerungsstrategie verspricht das System ein hohes Maß an Energieeinsparung bei gleichzeitig geringem Einsatz weiterer Komponenten, da – unabhängig von der Anzahl der Verbraucher – nur ein zusätzlicher Hydrostat benötigt wird. Im Rahmen eines von der DFG geförderten Projektes wird dazu am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik aktuell ein Simulationsmodell aufgebaut. Das Ziel ist dabei, das Energieeinsparungspotenzial durch dieses System abschätzen und beurteilen zu können.

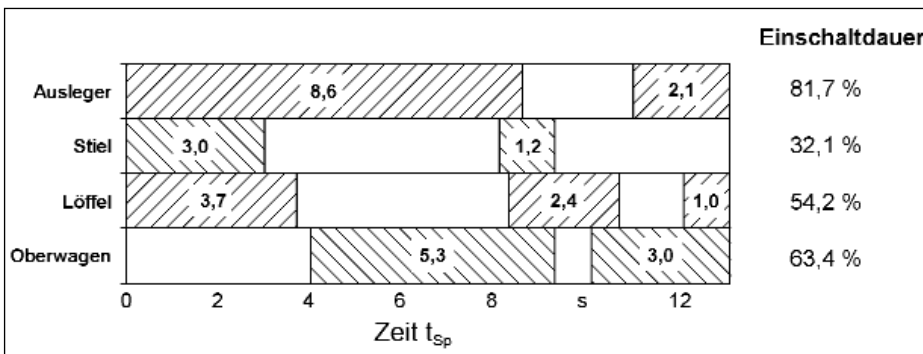


Bild 2: Einschaltauern eines exemplarischen Baggerzyklus' nach [2]

Fig. 2: Power-on time of an exemplary excavator duty cycle [2]