

Roland Mölle, Garching

## Regelung der Übersetzung von Kettenwandlergetrieben

*Stufenlose Getriebe gewinnen sowohl bei mobilen Arbeitsmaschinen als auch im Pkw stetig an Bedeutung. Eine spezielle Bauart von stufenlosen Getrieben sind Umschlingungsgetriebe nach dem Prinzip PIV-Reimers (Zugkettenwandler). Neue Anwendungen stellen gesteigerte Anforderungen an die Steuerung und Regelung dieser Getriebe. Als wichtigste Regelgrößen sind hier die Übersetzung und die Verstellrate ( $di/dt$ ) zu nennen.*

Dipl.-Ing. Roland Mölle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K.Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching; e-mail: [moelle@ltm.mw.tum.de](mailto:moelle@ltm.mw.tum.de)

### Schlüsselwörter

CVT, stufenloses Getriebe, Kettenwandler, Getriebe-  
regelung, RCP

### Keywords

CVT, continuously variable transmission, chain  
converter, transmission control, RCP

### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03343S über Internet  
<http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 365 „Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge“ wurde an der TU München ein Hybridfahrzeug entwickelt, welches mit einem stufenlosen Kettenwandlergetriebe in  $i^2$ -Bauweise ausgestattet ist [1]. Da sich durch eine Verstellung des CVT-Getriebes im Antriebsstrang zusätzliche dynamische Momente ergeben, die dem eigentlichen Beschleunigungswunsch des Fahrers kurzzeitig entgegenwirken, stellt die Verstellrate des CVT-Getriebes eine wichtige Größe bei der Regelung des Antriebsstrangs dar [2].

### Synchronpunktregelung

Einen speziellen Betriebsmodus stellt die Fahrbereichsumschaltung im  $i^2$ -Getriebe dar. Durch Regelung des Variators auf eine feste Synchronpunktübersetzung werden die beim Schalten verwendeten Klauenkupplungen synchronisiert. Hierfür wurde ein linearer PID-Regler durch eine Störgrößenaufschaltung erweitert, wodurch ein komfortabler Umschaltvorgang gewährleistet wird. Als Störgrößen wurden Drehzahl und Drehmoment berücksichtigt [3]. Die Abweichung der Übersetzung von der Sollvorgabe wird während eines Umschaltvorgangs auch bei maximalen Drehmomentgradienten kleiner 0,5% gehalten. Eine weitere Optimierung der Übersetzungsregelung ergab aufgrund der längeren Synchronisationsdauer wiederum einen Anstieg der Schaltzeiten.

### Adaptive Störgrößenaufschaltung

Für die Anwendung im Antriebsstrang von mobilen Arbeitsmaschinen wurde der Synchronpunktregler mit Störgrößenaufschaltung um eine zusätzliche Dimension (Übersetzung) erweitert, um den gesamten Spreizungsbereich abzudecken. Hierfür wurde eine universelle Reglerstruktur mit Hilfe eines Rapid-Control-Prototyping-Systems unter Matlab/Simulink® erstellt. Berücksichtigt wurde sowohl das konventionelle Anpresssystem des PIV-Kettenwandlers mit Vierkantensteuerschieber (Konstantstromsystem [4]) als auch die am Lehrstuhl für Landmaschinen der TU München entwickelte druckgeregelter Anpresshydraulik [5]. Hierzu wurde für den stationären Zustand ( $di/dt = 0$ ) als wichtigste Nichtlinearität der Strecke das Anpresskraftverhältnis von primärem zu sekundärem Scheibensatz ( $\zeta$ -

Wert [6]) als Kennfeld berücksichtigt. Beide Eingangsgrößen des Kennfelds (Übersetzung und Getriebeeingangsmoment) liegen in der Standardvariante des Reglers bereits als Messgrößen vor. Das  $\zeta$ -Verhältnis wird in Verbindung mit der Mindestanpresskraft (proportional zum höheren Moment der beiden Scheibensätze) dazu benutzt, die erforderlichen Anpressdrücke mittels Störgrößenaufschaltung vorzugeben. Dabei finden unter anderem der Drehzahleinfluss (Fliehöl) und die Besonderheiten des jeweiligen Anpresssystems (Ventilkennlinie) Berücksichtigung. Da nicht für alle relevanten Betriebspunkte Messungen von  $\zeta$ -Verläufen vorliegen, und die Werte für verschiedene Varianten des Variators differieren, findet die Ermittlung der  $\zeta$ -Kennfelder adaptiv innerhalb der Reglerstruktur statt. Für die Adaption der Stützstellen im  $\zeta$ -Kennfeld werden unterschiedliche Gewichtungsfunktionen untersucht, um den Rechenaufwand für den Einsatz mit serientauglicher Steuergeräte-Hardware (16-bit  $\mu C$ ) möglichst zu minimieren. Als Adaptionkriterium dient der Verlauf der Stellgröße des linearen Übersetzungsreglers im stationären Zustand, welche im Idealfall gegen Null geht (Bild 1).

### Steuerung der Verstellrate

Anstelle einer Übersetzungsregelung ist als Erweiterung die Vorgabe einer Verstellrate möglich. Hierfür nutzt man den proportionalen Zusammenhang zwischen Verstellrate des CVTs und der Differenz zwischen den tatsächlichen Anpresskräften und den Kräften für den stationären Zustand. Somit wird es möglich, für den jeweiligen Anwendungsfall die Übersetzung oder eine Verstellrate vorzugeben [7].

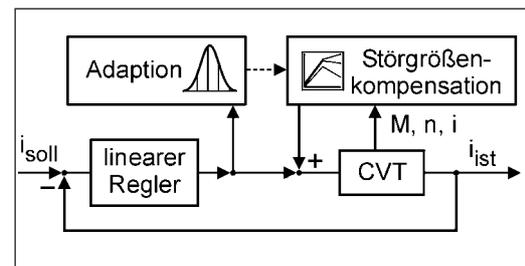


Bild 1: Vereinfachte Struktur des Übersetzungsreglers

Fig. 1: Simplified version of the ratio controller