

Bernd Vahlensieck, Oberteuringen

Lastkollektive für reibschlüssige Stufenlos-Getriebe

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die lebensdauerrelevanten Auslegungsgrößen von stufenlosen Variatoren, die Leistung nach dem Prinzip des mechanischen Kraftschlusses übertragen. Neben einer Empfehlung für die Vorgehensweise enthält er eine umfangreiche Zusammenstellung an aktuellen Veröffentlichungen zum Thema.

Aus der heutigen Getriebetechnik für mobile Anwendungen sind stufenlose Getriebe nicht mehr wegzudenken. Die Anzahl serienreifer Lösungen – vor allem im Traktorenbereich –, die die Vorteile unendlich vieler Gänge nutzen, wächst stetig [1].

Bisher nur Hydrostaten in Serie

Trotz ihrer Vorteile, wie etwa günstigen, über den Verstellbereich gleichmäßigen Wirkungsgraden, haben sich reibschlüssige Variatoren neben heute verbreiteten Hydrostaten in stufenlosen Fahrtrieben von Traktoren nicht durchsetzen können. Dies ist unter anderem auf die Schwierigkeit zurückzuführen, mechanische Variatoren wirtschaftlich und verlässlich zu dimensionieren.

Lasten und Spannungen

Bei der Dimensionierung und Erprobung von Bauteilen müssen die schädigenden Hauptbeanspruchungen bekannt sein. Diese resultieren aus äußeren oder inneren Lasten, das heißt Kräften und Drehmomenten, die direkt zur Leistungsübertragung notwendig sind oder mittelbar entstehen. Eine in reibschlüssigen Getrieben stets auftretende

Dr.-Ing. Bernd Vahlensieck war vom 1. 7. 1999 bis 1. 2. 2002 in der Getriebe-Vorentwicklung der ZF Passau GmbH tätig und ist seitdem Mitarbeiter der ZF Friedrichshafen AG; e-mail: bernd.vahlensieck@zf.com

Schlüsselwörter

Stufenlos, CVT, Betriebsfestigkeit, Hertz'sche Pressung, Lastkollektiv, Traktor

Keywords

CVT, fatigue, Hertzian pressure, load spectra, tractor

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03341S über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Kraft ist die Normalkraft, die zur Erzeugung der Tangentialkräfte im Reibkontakt benötigt wird. Daher gibt es in solchen Getrieben Kontaktpunkte oder -linien, in denen Hertz'sche Pressungen auftreten.

Neben dieser Beanspruchung treten in den meisten reibschlüssig arbeitenden Variatoren weitere Spannungen auf, etwa die Zugspannungen in der Kette eines Umschlingungsvariators. In der Übersicht sind die Beanspruchungen der wichtigsten Variatoren zusammengestellt. Mischformen zwischen Voll- und Halbtoroiden [10 bis 12] werden nicht gesondert aufgeführt.

Anpress-Strategie, äußere Lasten

Der Anpressung wird zunehmend durch bedarfsgerechte Lösungen Beachtung geschenkt. Einfache Systeme arbeiten mit einer konstanten Anpressung, wodurch bei Lasten unterhalb der Auslegungsniveaus zuviel Pressung im Kontaktpunkt erzeugt wird. Für bessere Wirkungsgrade und abgemilderte Lastkollektive wurden inzwischen Optimierungsstufen erarbeitet: a) die Anpressung folgt dem jeweils anliegenden Drehmoment, b) zusätzlich der Übersetzung [12 bis 14] oder wird c) sogar schlupfoptimiert eingestellt und hängt damit auch von der Übersetzungsänderung ab [15, 16].

Je intelligenter das Anpress-System arbeitet, desto aufwändiger wird die Ableitung von Lastkollektiven aus gemessenen Lasten. Simulationstools schaffen hier Abhilfe [17, 18].

Verteilung der Beanspruchungen

An Bauteilen von reibschlüssig arbeitenden stufenlosen Getrieben, auf denen sich der

Radius der Kontaktstelle mit der Übersetzung ändert – meist sind dies die Scheiben für An- und Abtrieb, aber auch die Wiegedruckstücke eines Kettenvariators gelten als Beispiel – verteilen sich die Beanspruchungen aus der Anpresskraft. Diese Verteilung nützt der Lebensdauer der Bauteile und muss daher berücksichtigt werden [19 bis 22]. Auch für ihre Ermittlung werden Simulationsstools immer wichtiger [23, 24].

Zyklen aus inneren Lasten

Von inneren Lastzyklen kann gesprochen werden, wenn neben den schädigungsrelevanten Zyklen aus äußeren Lasten auch die Kinematik oder die Mechanik des stufenlosen Wirkprinzips selbst Zyklen von nennenswerten, das heißt klassierbaren Amplituden erzeugt.

So gilt als gesichert, dass Ketten und Bänder beim Ein- und Auslauf in den und aus dem Scheibensatz Stöße erfahren, die sowohl für die Hertz'sche Pressung als auch für die Zug- oder Druckspannungen schädigungsrelevante Werte erreichen können. Solche Zyklen treten stationär stochastisch auf und sollten daher nicht in Überrollungskollektiven dargestellt werden, sondern beispielsweise in Rainflow-Kollektiven [19].

Ungleichmäßigkeit der Spannungen

Zu guter Letzt sollte bei jeder Lastkollektivengenerierung geprüft werden, ob alle Annahmen bezüglich der gleichmäßigen Verteilung von Lasten auf mehrere gleichartige Bauteile berechtigt sind. Insbesondere innerhalb Umschlingungsmitteln, aber auch zwischen zwei oder drei Toroidrollern können hier Ungleichgewichte auftreten [5, 25].

Übersicht: Beanspruchungen in gängigen mechanischen Variatoren

Table 1: Stresses in CVT variator. End loads of single and double variators are assumed to be similar.

Beanspr. / Stress	Volltoroid Full toroidal		Halbtoroid Half toroidal		Umschlingungsvariator Chain or belt converter	
	Double Cavity	Single Cavity	Double Cavity	Single Cavity	Zugkette / Chain	Schubgliederband / Belt
Hertz'sche Pressung [GPa] Hertzian Pressure	3,6 [2]		bis 4,4 [3 bis 5]		0,6...0,7 (0,85) [6 bis 8]	0,11...0,17 [6, 7]
Bohrreibung [9] / Spin [9]	↑		↓		↓	→
Zug oder Schubspannung Tension or Compression	-		-		↑	↑
Radiallagerbeanspruchung Compression radial bearing	-		↑↑		→	→
Axiallagerbeanspruchung Compression axial bearing	-	↑	-	↑	↑	↑
Zyklen aus inneren Lasten Internal load cycles	-				↑	