

CVT für Eingangsleistungen über 300 kW

Für landwirtschaftliche Zugfahrzeuge mit hoher Leistung bieten stufenlose leistungsverzweigte Getriebe Vorteile im Hinblick auf den optimal gleichmäßigen Zugkraftaufbau und Übertragung der vollen Motorleistung im verbrauchsoptimalen Drehzahlbereich. Das vorgestellte stufenlose Getriebesystem für Eingangsleistungen über 300 kW basiert auf dem in Serie laufenden Getriebesystem ZF-Eccom 3.5 und deckt mit den gesteigerten Leistungsdaten einen wesentlichen Bereich knickgelenkter Fahrzeuge ab. Die große Spreizung des Getriebes erlaubt überdies bei gleichzeitig hoher Anfahrzugkraft 40 km/h Transportfahrten bei reduzierter, verbrauchsoptimaler Motordrehzahl.

Dipl.-Ing. Jürgen Pohlentz ist Leiter Entwicklung Traktoren- und Landmaschinengetriebe der ZF Friedrichshafen AG, Graf-von-Soden-Platz 1, 88046 Friedrichshafen; e-mail: juergen.pohlentz@zf.com. Dr.-Ing. Karl Grad ist Leiter der Entwicklung Landmaschinensysteme der ZF; e-mail: karl.grad@zf.com

Schlüsselwörter

Leistungsstarke Traktoren, stufenloses Getriebe

Keywords

High-powered tractors, continuously variable transmission (CVT)

Literatur

- [1] Lober, M.: Traktoren mit stufenlosen Getrieben / Tractors with Stepless Transmission. VDI Berichte Nr. 1636, 2001
- [2] Pohlentz, J.: Neue stufenlose ZF-Traktorengetriebebaureihe „Eccom“ im Leistungsbereich von 75 bis 220 kW. VDI Berichte Nr. 1393, 1998
- [3] Pohlentz, J., und K. Grad: CVT-System für den Großflächeneinsatz. VDI Berichte Nr. 1855, 2004

Zugfahrzeuge im landwirtschaftlichen Großflächeneinsatz sind in der Regel gekennzeichnet durch vier gleich große Räder oder fallweise Raupenfahrwerke. Die Lenkbewegung solcher Fahrzeuge wird mittels Knicklenkung, Vierradlenkung oder Differentiallenkung ausgeführt, was trotz der Fahrzeuggröße enge Wenderadien erlaubt.

Mit entsprechender Gewichtsverteilung und Ballastierung sind mit dieser Fahrzeugbauweise hohe Zugleistungen im Feldeinsatz möglich. Die Motorleistungen liegen dem entsprechend über denen großer Standardtraktoren im Bereich über 300 kW.

Fahrzeug Einsatzprofil und Bedienung

Typisches Arbeitsprofil eines Knicklenkerfahrzeugs im landwirtschaftlichen Einsatz sind mit rund 95 % Anteil an der Gesamteinsatzzeit:

- Tiefenlockern: 6 km/h
- Pflügen und Schwergrubbern: 8 – 9 km/h
- Grubber/Scheibenegge: 12 km/h
- Direktsaat 8 – 15 km/h

In diesem Geschwindigkeitsbereich (vorwärts 6 bis 15 km/h) sind beste Getriebewirkungsgrade – im optimalen Motordrehzahlbereich – erforderlich.

Der Rückwärts-Arbeitsanteil ist sehr gering – fallweise Silowalzen mit entsprechend niedrigerem Zugkraftbedarf. Im Wesentlichen Wende- und Rückwärtsfahrt mit Bewegung der Fahrzeugmasse, ein Rückwärtsbereich bis 14 km/h ist ausreichend.

Leistungsdaten Getriebeeingang	
Nenn Drehzahl:	$n_{\text{nenn}} = 2000 \text{ min}^{-1}$
Eingangsleistung:	$P = 330 \text{ kW}$
Fahrgeschwindigkeiten und Zugkräfte bei typischen Achsübersetzungen/Reifen:	
Vorwärts:	$n_{\text{an}} = 2000 \text{ min}^{-1} \quad v = 50 \text{ km/h}$ $n_{\text{an}} = 1600 \text{ min}^{-1} \quad v = 40 \text{ km/h}$
Rückwärts bei n_{nenn} :	Standard $v = 14 \text{ km/h}$ Alternativ darstellbar: $v = 40 - 50 \text{ km/h}$
Zugkraft vorwärts:	$F_z = 240 \text{ kN}$
Zugkraft rückwärts:	$F_z = 210 \text{ kN}$

Tab. 1: Wesentliche CVT Leistungsdaten

Table 1: Main CVT capacity data

Der Transportanteil ist untergeordnet, eine maximale Geschwindigkeit von 40 km/h genügt im Wesentlichen für Fahrten zum Arbeitseinsatz.

Die Bedienung solcher Fahrzeuge erfolgt sehr komfortabel über elektrische Hebel und Pedale mit vielen Automatikfunktionen, die ein optimales Arbeitsergebnis und hohe Fahrerentlastung erlauben. Automatische Lenksysteme beispielsweise können durch Reduzierung von Überlappungen bei der Bodenbearbeitung die Flächenleistung steigern und den Betriebsmitteleinsatz verringern.

Zur Erzielung guter Anbauergebnisse ist die „Rechtzeitigkeit der Bearbeitung“ besonders wichtig. Um sehr große Flächen in der kurzen „günstigen“ Zeit zu bearbeiten, bieten hier stufenlose Getriebesysteme (CVT Continuously Variable Transmission), eingebunden in übergeordnete Fahrzeugsteuerungssysteme, das optimale Potenzial für die maximale Produktivität der Knicklenker-Fahrzeuge.

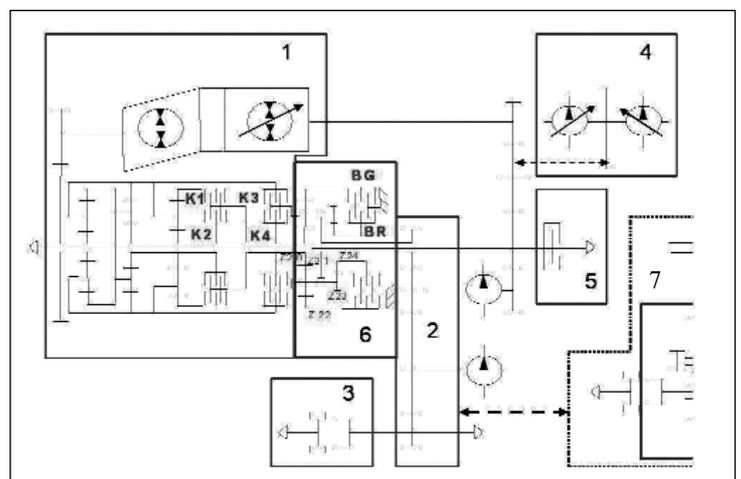


Bild 1: Schema des CVT-Getriebes

Fig. 1: CVT-transmission scheme

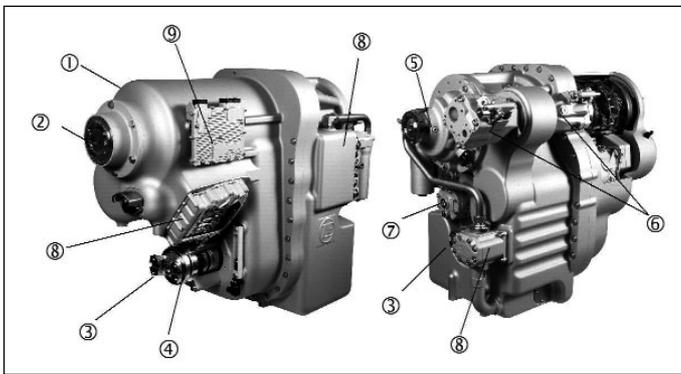


Bild 2: Vorder- und Rückansicht des CVT-Getriebes

Fig. 2: Front and rear view of CVT transmission

Designmerkmale (Bild 2)

- (1) Getriebedesign für Rahmenfahrzeuge
- (2) Antrieb über Kardanwelle
- (3) Abtrieb über Kardanwellen zu den beiden Fahrzeugachsen (Mechanics-Flansch)
- (4) Abtrieb zur Vorderachse zuschaltbar im Stillstand über Klauenschaltung
- (5) Wahlweise PTO-Kupplung mit integrierter PTO-Bremse anbaubar. PTO-Stummel im Stillstand frei drehbar
- (6) Pumpenantrieb für Arbeits- und Lenkhydraulik
- (7) Antrieb für Notlenkpumpe
- (8) CVT-Getriebepumpe und Hydraulik
- (9) Vorort-Elektronik

Die Hauptabmessungen sind in Bild 3 dargestellt. Der Achsabstand kann durch Gehäuseadaption im Bereich 480 bis 510 mm an den Fahrzeugbauraum angepasst werden.

Vorort-Elektronik

Das Getriebe ist mit einer Vorortelektronik ausgerüstet, die folgende Merkmale aufweist:

Funktions-Merkmale

- Elektronik und Getriebe bilden eine funktionelle Einheit
- Hardware geeignet für Offroad Betriebsbedingungen
- Getriebeaktuatorik und Sensorik direkt mit Vorortelektronik verkabelt (geringer Verkabelungsaufwand im Fahrzeug)
- Elektronik steuert alle CVT Getriebefunktionen, wahlweise ist Fahrzeugregler zu integrieren
- Mit typischen Getriebe-Kalibrierdaten optimal auf CVT abgestimmt
- Kommunikation über CAN Schnittstelle kein direkter I/O
- Vernetzt mit OEM-Fahrzeugrechner

System-Merkmale

- Im Verbund mit einer Fahrzeug-Motor-Getriebebesteuerung können die heute bei Traktoren mit CVT bekannten Steuer- und Regelstrategien Anwendung finden.
- Insbesondere die Kombination aus automatischer Spurführung und leistungsgeregeltem Fahrentrieb erschließt die maximale Produktivität dieser Fahrzeuge.

Arbeitseinsatz CVT

Gangschaltungen unter Zuglast im Feld erzeugen am Rad Beschleunigungsstöße, die besonders unter schwierigen Bodenverhältnissen zu zusätzlichem Schlupf und Traktionsverlust führen können und damit die Arbeitsgeschwindigkeit begrenzen.

Stufenlose Getriebe stellen am Rad beim Anfahren unter hoher Last aus dem Stillstand bis zum Erreichen der Arbeitsgeschwindigkeit eine kontinuierliche Radkraft mit gleichmäßigem Schlupf und damit gutem Traktionsaufbau auch bei schwierigen Bodenverhältnissen zur Verfügung. Im Arbeitsbereich kann der Motor sehr genau an der Leistungsgrenze im verbrauchsoptimalen Drehzahlbereich gehalten werden, da das CVT kontinuierlich, stufenlos auf Lastschwankungen mit Übersetzungsänderungen reagieren kann.

Mit diesem Systemverhalten kann das hydrostatisch-leistungsverzweigte Getriebe gegenüber dem Voll-Lastschaltgetriebe Vorteile im Verbrauch und in der Flächenleistung realisieren.

Untersuchungen von Lober [1] zu Zugwirkungsgraden von Traktoren mit CVT zeigen Werte, die nahezu im Bereich von Fahrzeugen mit Teil-Lastschalt-Getrieben liegen.

Im Folgenden wird ein CVT für die Anwendung landwirtschaftlicher Zugfahrzeuge vorgestellt, das als leistungsstärkste Version aus der ZF-Baureihe Eccom abgeleitet ist (Tab. 1).

CVT-Getriebeaufbau

Beim stufenlosen Getriebeteil (1) handelt es sich um den bekannten leistungsverzweigten, hydrostatisch mechanischen Getriebeaufbau mit vier mechanischen Getriebebereichen und hydrostatischem Variator mit kleinem Schluckvolumen der Getriebebaureihe Eccom [2] (Bild 1).

- (1) stufenloses leistungsverzweigtes Getriebe – Typ Eccom
- (2) Abtriebsstufe
- (3) Vorderachs Zuschaltklaue
- (4) LS-Pumpenantrieb
- (5) PTO-Kupplung (wahlweise)
- (6) Wendegetriebe mit Lamellenkupplungen
- (7) Alternativ Wendegetriebe in Vorgelegebauweise mit Klauenschaltung

Wendegetriebe Varianten

Wendegetriebe - Stufenplanet (6)

Das Wendegetriebe (6) (Bild 1) besteht aus einem Planetensatz, der aus einem mittels Lamellenbremse BR, bremsbaren Sonnenrad (z24) und drei Planetenrädern (z23) besteht, die in einer Ausbildung als Stufenplanet direkt mit dem Abtriebsplanetensatz P4 verbunden sind. Mit dieser Anordnung können über die Lamellenkupplungen K1/K2 bei geschlossener Bremse BR zwei Rückwärtsbereiche mit bis zu 14 km/h Rückwärtsgeschwindigkeit stufenlos durchfahren werden. Ein Fahrzeugstillstand ist für den Wendegetriebevorgang nicht erforderlich.

Wendegetriebe - Alternative Vorgelegebauweise (7)

Der gewählte Getriebeaufbau ist so flexibel gestaltet, dass wahlweise anstelle des Stufenplanetensatzes ein Wendegetriebe in Vorgelegebauweise abtriebsseitig dargestellt werden kann. Bei dieser Wendegetriebeausführung wird die Fahrtrichtung jeweils mit Hilfe von Schaltklauen formschlüssig geschaltet. Die Wendeschtaltung erfolgt bei kurzzeitigem Fahrzeugstillstand. Mit dieser Anordnung sind bei Bedarf Rückwärtsfahrgegeschwindigkeiten bis 50 km/h möglich.

Design Schaltklaue

Die formschlüssige Klaue wird, wie bei ZF-CVT S-Matic, durch druckölgeschalteten Kolben geschlossen und über ein Tellerfederpaket geöffnet, sobald der Druckkolben entlüftet wird. In Verbindung mit der gewählten Klauengeometrie gewährleistet dies eine sichere Fahrtrichtungs-Ein- und Ausschaltfunktion.

Diese Wendeschtaltung ermöglicht eine sehr kompakte Bauweise, die über Varianz des Abtriebsrädersatzes im unveränderten Getriebebauraum wahlweise darzustellen ist.

CVT-Getriebedesign

CVT-Designbasis

Designbasis des Stufenlosgetriebes für die Eingangsleistung über 300 kW ist das leistungsoptimierte Planetengetriebe des in [3] beschriebenen Getriebes ZF-Eccom 3.5 in Kombination mit einer leistungsangepassten Hydrostateinheit in back-to-back Bauweise.

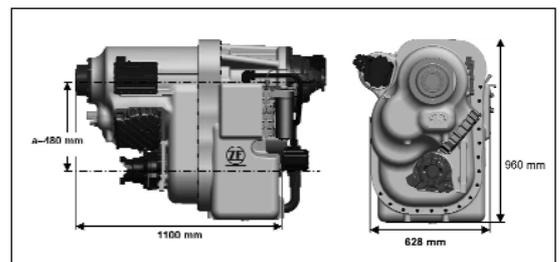


Bild 3: Abmessungen

Fig. 3: Dimensions