

# Automobil

www.autokon.de

Mai 2010

# KONSTRUKTION

FACHWISSEN FÜR ENTWICKLUNGSINGENIEURE



Powered by **KEM**

**konradin**  
mediengruppe

# Platz sparender Zwilling

Zentraleinrücken mit Twin-Sensor für Doppelkupplungsgetriebe



Doppeleinrücken verbaut im Getriebe: Der Sensor ermöglicht eine exakte Wegmessung bei reduziertem Bauraum

**Neue Entwicklungen im Bereich Doppelkupplung bringen neue Herausforderungen für die Anwendung von Zentralausrückern. Diese sind hinlänglich bekannt, wenn es darum geht, Kupplungen von Schaltgetrieben zu betätigen. Wie sieht es allerdings bei der Betätigung von Doppelkupplungen aus? Diese Frage beantwortet folgender Beitrag.**

Doppelkupplungen werden grundsätzlich in zwei Bauarten unterschieden: Die nasse Variante überträgt höhere, die trockene Variante niedrigere Drehmomente, weshalb letztere in kleineren Fahrzeugen Einsatz findet. Weiterhin unterteilt man Doppelkupplungen aufgrund ihrer Anordnung in radiale und axiale Versionen.

Die Autoren: Andreas Püschel ist tätig im Vertrieb Sensorik Automotive bei der Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG, Ortenburg; Stefan Gebert arbeitet in der Entwicklung Kupplungsbetätigungssysteme der FTE automotive GmbH & Co. KG, Ebern

In einem gemeinsame Projekt von FTE automotive und Micro-Epsilon wurde mit einer trockenen Doppelkupplung in radialer Anordnung gearbeitet. Ein Vorteil der radialen Anordnung der Beläge ist der kurze axiale Bauraum, wobei die außen angeordnete Kupplung durch den größeren mittleren Reibradius deutlich leistungsfähiger ist.

## Funktion eines Doppelkupplungsgetriebe

Sowohl trockene als auch nasse Doppelkupplungsgetriebe sind Lastschaltgetriebe, die aus zwei voneinander unabhängigen Teilgetrieben bestehen. Jedes Teilgetriebe ist wie ein Handschaltgetriebe aufgebaut und besitzt eine separate Eingangswelle. Jedem Teilgetriebe ist eine separate Reibkupplung zugeordnet, die den Leistungsfluss vom Motor ins Getriebe sicherstellt. Von den Getriebeeingangswellen ist je eine im eingelegten Gang durch eine Kupplung reibschlüssig mit dem Schwungrad verbunden. Die Gänge werden im jeweils lastfreien Teilgetriebe vorgewählt. Der Gangwechsel selbst erfolgt unter Last durch eine geregelte Übergabe des Drehmoments von der ersten auf die zweite Kupplung und umgekehrt. Die geregelte Übergabe des Drehmoments kann elektromechanisch über einen Elektromotor erfolgen, der über eine Mechanik die jeweilige Kupplung betätigt oder auch (elektro)

-hydraulisch, wobei ein hydraulisch wirkender Nehmerzylinder die beiden Reibkupplungen betätigt. Im Fall des Ausfalls der Strom- oder Druckölversorgung sind oder werden beide Kupplungen geöffnet („fail safe function“). Aus der Funktion der Doppelkupplung leitet sich die Aufgabe des FTE „Zentraleinrückers“ ab, die sich auf das hydraulische System beschränkt. Der Zentraleinrücken muss unabhängig voneinander beide Kupplungen betätigen können. Einrücken deshalb, weil bei Betätigung die Kupplung schließt, also einrückt. Im Gegensatz dazu öffnet eine herkömmliche Kupplung bei Betätigung.

Die Aufgabe, beide Kupplungen zu betätigen, erfüllen zwei konzentrisch angeordnete Kolben, die unabhängig voneinander die jeweilige Kupplung über die Einrücklager betätigen. Die Herausforderung liegt darin, das beide Lager äußerst platzsparend angeordnet sind, sich aber nicht berühren, wenn sie ineinander verschoben werden unter Berücksichtigung des radialen Verschiebewegs zum Ausgleich des Achsversatzes zwischen Kupplung und Zentraleinrücken. In diesem definiert kleinen Bauraum den neuen Zentraleinrücken samt Doppelsensor unterzubringen, gelang durch eine gemeinsam entwickelte Lösung von FTE automotive und Micro-Epsilon.

## Wenig Platz – viel Lösung

Die hydraulische Druckversorgung muss für jeden Hydraulikkreis beziehungsweise Kolben unabhängig voneinander erfolgen. Die Druckversorgungsbohrungen müssen deshalb überschneidungsfrei im Gehäuse verlaufen. Wichtig ist, dass die Bohrungen den notwendigen Querschnitt aufweisen, um die hohe Betätigungsgeschwindigkeit der Kolben zu gewährleisten, ohne zu hohe Staudrücke zu generieren. Betriebsmedium ist üblicherweise Mineralöl. Die Dichtungen müssen auf das Medium abgestimmt werden und einen relativ hohen Temperaturbereich von  $-40^{\circ}$  bis  $+180^{\circ}$  °C abdecken. Dieser ist bedingt durch erhöhte Kupplungsreibung bei Doppelkupplungsgetrieben – hervorgerufen durch die Überschneidungen der Kupplungseingriffe, die notwendig sind um eine zugkraftunterbrechungsfreie Schaltung zu gewährleisten. Der Dichtungswerkstoff wird deshalb zugeschnitten auf das Betriebsmedium und die Temperaturanforderungen bei

FTE spezifisch entwickelt. Als Grundwerkstoffe bieten sich hier hydrierter Nitrilkautschuk oder Fluorkarbon-Kautschuk an.

### DZE sorgt für Energieeinsparung

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Auslegung des DZE (Doppelzentraleinrücken) ist der mögliche Anschlag der Kolben in o-Position. Im Vergleich zum herkömmlichen Zentralausrücken besitzt der DZE keine Vorlastfeder, die das Lager gegen die Kupplung vorspannt. Die Vorlast wird durch die Kupplung selbst erzeugt. Der Kolben der entlasteten Kupplung fährt dabei auf einen definierten Anschlag in o-Position zurück, um als Gegenlager zu wirken. So wird erreicht, dass die entlastete Kupplung nicht permanent mit Drucköl versorgt werden muss und dadurch Energie spart.

Je nach Aufbau der Kupplung kann es notwendig werden, dass im DZE in einem oder in beiden Kreisen eine Hubbegrenzung installiert werden muss, um ein Überdrücken und damit eine Beschädigung der Kupplung zu vermeiden. Bei Ausführung mit Aluminiumkolben lässt sich das relativ einfach integrieren. Letztendlich ist es wichtig für die Regelung der hydraulischen Ansteuerung der Kupplungen deren exakte Position beziehungsweise die der jeweiligen Kolben oder Einrücklager zu kennen – und zwar so exakt wie möglich, das heißt ohne Verluste. Relativ einfach wäre die Platzierung beider Sensoren außerhalb der Getriebeglocke, beispielsweise an zwei zusätzlichen Ansteuerzylindern. Das bedeutet jedoch Abweichungen durch Temperaturunterschiede innerhalb und außerhalb der Glocke sowie mögliche Einflüsse durch das Medium selbst auf-

## Vorteile Twin-Sensor

Die Aufgabenstellung schließt den Einsatz herkömmlicher Wegsensoren aus technischen und räumlichen Gründen aus. Jetzt ist es gelungen, zwei unterschiedliche Messsysteme in einem Twin-Sensor zu kombinieren. Die Vorteile:

- beide Sensoren arbeiten berührungslos und somit verschleißfrei
- in kleinstem Bauraum können zwei unabhängige Sensoren untergebracht werden
- die eingesetzten Messverfahren beeinflussen sich nicht gegenseitig
- als Konsequenz kann der Zentraleinrücken äußerst kompakt bauen

grund von Luft im Medium. Folglich muss die Position direkt im DZE gemessen werden.

### Herausforderung für die Sensorik

Die Aufgabenstellung an beide Wegsensoren lautet, die jeweilige Position der beiden Kupplungseinrücklager fortwährend und zuverlässig festzustellen. Dabei müssen die Messwerte für das Außenlager – verantwortlich für die ungeraden Gänge – und das Innenlager – verantwortlich für die geraden Gänge – unabhängig voneinander erfasst und ausgegeben werden. Neben der eigentlichen Messaufgabe sind im automobilen Umfeld vor allem auch die Umgebungsbedingungen bei der Auswahl geeigneter Messprinzipien maßgeblich. Da die Kupplung sehr nahe am Motor liegt, muss sicher gestellt werden, dass grundsätzlich die Funktionsfähigkeit der Wegsensoren über den vorgege-

benen großen Temperaturbereich (-40° bis +150 °C) gewährleistet ist.

Als wesentlicher Parameter im Vorfeld der Sensorauswahl wirkt sich der zur Verfügung stehende Bauraum aus. Dazu Andreas Püschel, projektverantwortlicher Ingenieur bei Micro-Epsilon: „Wie so häufig stehen für die Sensorik nur wenige Quadratzentimeter zur Verfügung. Nur selten kann der Bauraum zur Optimierung der Sensorposition erweitert werden. Auch in diesem Fall war es nicht möglich.“ Des Weiteren müssen die benachbarten Bauteile hinsichtlich des Materials (ferromagnetisch oder nicht ferromagnetisch) berücksichtigt werden. Ferromagnetische Materialien wirken auf Magnetsensoren und tragen außerdem dazu bei, dass sich magnetische Störfelder aus der weiteren Umgebung in die Messumgebung ein-koppeln können.

Im Falle des FTE-Zentraleinrückers besteht die Möglichkeit, am äußeren Lager die Wegmessung seitlich vorzunehmen. Die Entscheidung fiel daher auf das von Micro-Epsilon patentierte Messsystem VIP (Verschleißfrei-Induktiv-Potentiometrisch). Dieses Prinzip benötigt keinen Permanentmagnet. Stattdessen dient ein kleiner Ring aus Aluminium oder anderen leitfähigen Materialien als Messobjekt (Target). Dieser wird, gleichsam wie ein Schmuckring über den Finger einer Hand, über den Sensor gestülpt. In realer Umgebung kann dieser Ring natürlich auch als eine Bohrung in bestehenden leitfähigen Bauteilen oder Anbauten ausgeführt werden. Für das innere Lager wird eine äußerst kompakte Sensorbauweise benötigt, da nur eine schmale, längliche Kavität als Bauraum zur Verfügung steht. Hier wurde das Messprinzip



Der Zentraleinrücken setzt sich wie folgt zusammen:

- 1a/1b: Betätigung der Kupplung durch konzentrisch angeordnete Kolben
- 2a/2b: Einrücklager
- 3: Druckversorgungsbohrung
- 4: Gehäuse
- 5a/5b: Dichtungen
- 6: Anschlag für Kolben
- 7: Hubbegrenzung
- 8: Twin-Sensor zur Wegmessung beider Einrücker



Beim gemeinsamen Projekt von FTE und Micro-Epsilon wurde der Einrücke für Doppelkupplungsgetriebe entwickelt

Das 3D-Modell zeigt deutlich die Position des Sensors am Einrücke

„Mainsensor MDS“ (magneto inductive) als am besten geeignet ausgewählt. Für diesen Sensor muss ein Permanentmagnet als Target am Messobjekt eingebaut werden.

Aus konstruktionstechnischen und ökonomischen Gründen werden beide Sensoren auf einer gemeinsamen Halterung (eine Art Bodenplatte) befestigt. Wegen der sehr hohen Temperaturen im Getriebe bei laufendem Motor muss die Elektronik zur Signalverarbeitung ausgelagert werden. Die Elektronik wird folglich in einem separaten kleinen Gehäuse untergebracht. Dieses Gehäuse ist durch ein etwa 35 cm langes Kabel mit den Sensoren verbunden und wird an geeigneter Stelle im Motorraum montiert.

### Messprinzip VIP

Elektromagnetische Wegsensoren der Serie VIP arbeiten nach einem von Micro-Epsilon patentierten Messverfahren. Dabei wird eine Messspule auf einen Spulenkörper aufgewickelt und mit mehreren Spannungsabgriffen ausgestattet. Als Messobjekt (Target) dient ein kleiner Ring aus elektrisch leitendem Material (beispielsweise Aluminium) beziehungsweise eine Bohrung in diesem leitenden Material. Die Messspule wird von einem Oszillator mit zwei komplementären Wechselspannungen gespeist. In Abhängigkeit von der Position des Messobjektes ändert sich im abgedeckten Bereich die Impedanz der Messspule.

Eine Auswertelektronik bereitet die abgegriffenen Spannungen so auf, dass an ihrem Ausgang ein kontinuierliches Signal erzeugt wird, welches der Position des Targets proportional ist. Befindet sich beispielsweise das Messobjekt genau in der Mitte des Messbereichs



Der Sensor arbeitet mit zwei verschiedenen Targets, wobei der hintere Teil im Einrücke verschwindet

(und damit auch in der Mitte der Messspule), so entspricht das Ausgangssignal genau der Referenzspannung.

Das VIP-Prinzip ermöglicht sehr kurze Reaktionszeiten und ist dadurch auch für hochdynamische Prozesse geeignet. Durch das günstige Verhältnis zwischen Messbereich und Sensorlänge und die daraus folgende kompakte Bauform eignen sich diese Sensoren hervorragend für beengte Bauräume.

### Messprinzip Mainsensor

Das dem Mainsensor zugrunde liegende Funktionsprinzip arbeitet auf magnetisch-induktiver Basis und kann folgendermaßen beschrieben werden: Eine mit Wechselstrom gespeiste Spule hat ein primäres Magnetfeld zur Folge. Nach der

Maxwellschen Gleichung erzeugt dieses Magnetfeld in dem, der Spule gegenüber angeordnetem elektrisch leitfähigem Material, Wirbelströme. Die Wirbelströme bewirken ihrerseits ein zweites, sekundäres Magnetfeld. Das sekundäre Magnetfeld wirkt, gemäß der Lenzschen Regel, dem primären Magnetfeld entgegen und schwächt es daher ab. Bei Annäherung des Permanentmagneten (Target) wird der Sensor zwischen Spule und elektrisch leitfähigem Material in seinen elektromagnetischen Eigenschaften so verändert, dass eine Rückkopplung zwischen der Position des Permanentmagneten und den Wirbelströmen zur Signalauswertung genutzt werden kann. Das Verfahren ist bereits zum Patent angemeldet. Da für den Mainsensor gedruckte Spulen Verwendung finden können, ist das notwendige Herstellungsverfahren nicht auf Halbleiterprozesse angewiesen. Der Sensor verfügt über eine extrem hohe Grundempfindlichkeit, was eine sehr einfache und folglich kostengünstige Auswerteschaltung möglich macht. Mit einem Wirbelstromsensor als technologischem Kern können dabei sowohl sehr schnelle als auch sehr hoch auflösende Ausführungen umgesetzt werden. Im Vergleich zu Hall-Sensoren können beispielsweise deutlich größere Messbereiche (aktuell sind 60 mm realisiert) erreicht werden. Als Ausgangssignal steht ein PWM-Signal zur Verfügung, das von einem Mikrocontroller einfach über eine Zeitmessung ausgelesen werden kann.

Micro-Epsilon;

Telefon: 08542 168-225;

E-Mail: Florian.Hofmann@micro-epsilon.de  
FTE;

Telefon: 09531 81-3327;

E-Mail: stefan.gebert@fte.de