

Kurzfassung Dissertation von Werner Förster, TU München 1999

Der Lastschaltvorgang beim stufenlosen i^2 -Getriebe des Autarken Hybrid-Antriebsstranges

Die Realisierung einer Lastschaltung beim Wechsel zwischen den beiden Betriebsbereichen (V1- und V2-Bereich) eines i^2 -Getriebes mit zwei Lamellen- und zwei synchronisierten Zahnkupplungen ist bislang weitgehend unerforscht.

Für die Lastschaltung können zwei Zwischenzustände (SYN-Bereich) gefunden werden. Bei Lastschaltstrategie K wird das am Antriebsstrang anliegende Drehmoment mit Erreichen des SYN-Bereichs formschlüssig über die beiden Zahnkupplungen und bei Strategie L kraftschlüssig über die beiden Lamellenkupplungen übertragen. Vor allem wegen der Wirkungsgradvorteile wird hier die Untersuchung der Lastschaltstrategie K favorisiert.

Daraufhin können sowohl die Hydraulik, als auch die Steuerung zur Umsetzung des Lastschaltvorgangs spezifiziert und zugleich die Parameter festgelegt werden, die für eine Optimierung des Wechsels zwischen V1- und V2-Bereich zur Verfügung stehen. Zudem wurde im Rahmen dieser Arbeit der Prüfstand FZG-CVT2 konzipiert und aufgebaut, der einer grundlegenden Untersuchung und Optimierung der Lastschaltvorgänge am i^2 -Getriebe des Autarken Hybrid-Antriebsstrangs dient und auf dem der Prototyp des Fahrzeug-Getriebes integriert werden konnte.

Es wurden Simulationsmodelle erarbeitet, anhand derer erste Abschätzungen über den Betrag der maximalen Kettenwandlervorstellung im Fahrzeug ebenso möglich sind, wie die Ermittlung der Schiebemuffengeschwindigkeit bei Betätigung der Zahnkupplungen. Die Zusammenführung dieser Modelle gestattet eine Aussage über die Vorstellgeschwindigkeiten des Kettenwandlers für die bei definiertem Betätigungsdruck das funktionskritische Schließen der Zahnkupplungen im Verlauf einer Lastschaltung möglich ist.

Erste Lastschalt-Untersuchungen im Anschluß an diese Vorüberlegungen bestätigten zunächst die Möglichkeit einer erfolgreichen Umsetzung der bislang theoretisch behandelten Schaltstrategie und hatten u.a. zum Ergebnis, daß unterhalb einer Drehzahl am Getriebeeingang von 1600 min^{-1} keinerlei Probleme beim Einrücken der Zahnkupplungen auftreten.

Das Getriebe wurde unter Einbeziehung von Massenträgheitsmomenten und Wirkungsgraden modelliert und das Verhalten von Kettenwandler und Kupplungen in angemessener Modellierungstiefe angenähert. Der Abgleich zwischen diesem quasistatischen Rechenmodell und den Mittelwerten der Messung ergibt schließlich Abweichungen, die unterhalb von 5% liegen.

Als Zielfunktion für ein optimales Schaltverhalten wurde hier die Vergleichmäßigung des Abtriebsdrehmoments als Komfortkriterium in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt. Eine Systematisierung dieses Kriteriums führt schließlich zur Schalt-Kennzahl K_S , die einen bewertenden Vergleich verschiedener Lastschaltvorgänge untereinander gestattet.

Unter Verwendung des Schalt-Simulationsprogramms konnte somit eine rechnerbasierte Voroportimierung der zu untersuchenden Lastschaltvorgänge stattfinden. Die maßgeblich über die Steuerung beeinflussbaren Parameter für diese Optimierungen sind die Kettenwandlerverstellung während der Lastschaltung und die bei Betätigen der Lamellenkupplungen vorgebbare Zeit des Druckaufbaus am Kolben.

DER LASTSCHALTVORGANG BEIM STUFENLOSEN i^2 -GETRIEBE DES AUTARKEN HYBRID-ANTRIEBSSTRANGS

Der Umschaltvorgang ohne Zugkraftunterbrechung (Lastschaltvorgang) an einem stufenlosen i^2 -Getriebe mit zwei Lamellenkupplungen und zwei synchronisierten Zahnkupplungen ist bislang nicht erforscht. Zu diesem Zweck wurden die für eine Realisierung des Lastschaltvorgangs theoretisch geltenden Voraussetzungen aufgezeigt. An einem speziell hierzu aufgebauten Getriebe-Prüfstand (FZG-CVT2) konnten erste Messungen gelungener Lastschaltungen dargestellt und mit der Theorie in Übereinstimmung gebracht werden. Zudem wird ein Verfahren zur objektiven Bewertung von Lastschaltvorgängen auf den vorliegenden Fall angewandt.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Realisierung einer **Lastschaltung** beim Wechsel zwischen den beiden Betriebsbereichen (VI- und V2-Bereich) eines i^2 -Getriebes ist - trotz der Existenz unterschiedlicher Getriebeprototypen nach dem i^2 -Prinzip - bislang weitgehend unerforscht. Daher ist zunächst die Funktion des für den Autarken Hybrid-Antriebsstrang vorgesehenen Getriebes mit zwei Lamellen- und zwei synchronisierten Zahnkupplungen in Hinblick auf diesen Umschaltvorgang ohne Zugkraftunterbrechung grundlegend zu betrachten.

Für die Realisierung der Lastschaltung können schließlich **zwei Zwischenzustände** (SYN-Bereich) gefunden werden. Bei Lastschaltstrategie K wird das am Antriebsstrang anliegende Drehmoment mit Erreichen des SYN-Bereichs formschlüssig über die beiden Zahnkupplungen und bei Strategie L kraftschlüssig über die beiden Lamellenkupplungen übertragen. Vor allem wegen der Wirkungsgradvorteile und der zusätzlichen Möglichkeit eines schnellen Bereichswechsels wird hier die Untersuchung der Lastschaltstrategie K favorisiert.

Daraufhin können sowohl die **Hydraulik**, als auch die **Steuerung** zur Umsetzung der aus dem Lastschaltvorgang erwachsenden Aufgaben für das i^2 -Getriebe spezifiziert und dadurch zugleich die Parameter festgelegt werden, die für eine Optimierung des Wechsels zwischen VI- und V2-Bereich zur Verfügung stehen. Zudem wurde im Rahmen dieser Arbeit der **Prüfstand FZG-CVT2** konzipiert und aufgebaut, der einer grundlegenden Untersuchung und Optimierung der Lastschaltvorgänge am i^2 -Getriebe des Autarken Hybrid-Antriebsstrangs dient und auf dem der Prototyp des Fahrzeug-Getriebes integriert werden konnte.

Basierend auf Messungen konnten zudem **Simulationsmodelle** erarbeitet werden, anhand derer erste Abschätzungen über den Betrag der maximalen Kettenwandlervorstellung im Fahrzeug ebenso möglich sind, wie die Ermittlung der Schiebemuffengeschwindigkeit bei Betätigung der Zahnkupplungen. Die Zusammenführung dieser Modelle gestattet eine Aussage über die Vorstellgeschwindigkeiten des Kettenwandlers für die bei definiertem Betätigungsdruck das funktionskritische Schließen der Zahnkupplungen im Verlauf einer Lastschaltung möglich ist.

Mit Blick auf die Prüfstandsuntersuchungen ist der Frage nachzugehen, unter welchen **Randbedingungen** ein Lastschaltvorgang generell stattfindet. Entsprechende Überlegungen ergeben eine Zuordnung zwischen der am Fahrzeug über das Gaspedal erfolgenden Drehmomentvorgabe am Abtrieb und der Fahrgeschwindigkeit, für die bei diesem Drehmoment-Sollwert eine Lastschaltung

resultiert. Wird eine definierte Strategie für den Betrieb von Verbrennungsmotor und Elektromaschine zugrundegelegt, so können aus den Größen am Abtrieb die Drehzahlen und Drehmomente am Getriebeeingang ermittelt und für Versuche am Prüfstand herangezogen werden.

Erste Lastschalt-Untersuchungen im Anschluß an diese theoretischen Vorüberlegungen bestätigten zunächst die Möglichkeit einer erfolgreichen Umsetzung der bislang theoretisch behandelten Schaltstrategie und haben u.a. zum Ergebnis, daß unterhalb einer Drehzahl am

Getriebeeingang von 1600 min^{-1} tatsächlich keinerlei Probleme beim Einrücken der Zahnkupplungen auftreten.

Die sich während eines solchen Lastschaltvorgangs im Getriebe ergebenden Drehmomente können jedoch aus Platzgründen nicht gemessen werden, so daß eine **Rechner-Simulation des gesamten Getriebeverhaltens** notwendig ist, um aus der Messung der Drehmomentcharakteristika an An- und Abtrieb auf die Entstehungsmechanismen dieser Verläufe innerhalb des Getriebes schließen und damit den Lastschaltvorgang verstehen und daraufhin gezielt optimieren zu können. Hierzu wurde das Getriebe unter Einbeziehung von Massenträgheitsmomenten und Wirkungsgraden modelliert und das Verhalten von Kettenwandler und Kupplungen in angemessener Modellierungstiefe angenähert. Der Abgleich zwischen diesem quasistatischen Rechenmodell und den Mittelwerten der Messung ergibt schließlich Abweichungen, die unterhalb von 5% liegen.

Für eine **Optimierung** des Lastschaltvorgangs stellt sich zudem die Frage nach einer **Zielfunktion**, die für ein optimales Schaltverhalten maßgeblich ist. Neben der Zeitspanne, die für eine Lastschaltung veranschlagt werden muß, wird hier die Vergleichmäßigung des Abtriebsdrehmoments als Komfortkriterium in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt. Eine Systematisierung dieses Kriteriums führt schließlich zur Schall-Kennzahl K_S , die einen bewertenden Vergleich verschiedener Lastschaltvorgänge untereinander gestattet.

Unter Verwendung des Schalt-Simulationsprogramms kann somit eine **rechnerbasierte Vorausoptimierung** der zu untersuchenden Lastschaltvorgänge stattfinden. Die maßgeblich über die Steuerung beeinflussbaren Parameter für diese Optimierungen sind die Kettenwandlerverstellung während der Lastschaltung und die bei Betätigen der Lamellenkupplungen vorgebare Zeit des Druckaufbaus am Kolben. Diese Steuergrößen führen bei systematischer Variation zu Kennfeldern mit meist ausgeprägten Optima des Schaltkomforts.