

Stufenlos schalten im Formelrennwagen

➤ **Ecurie Aix – Das Formula Student-Team der RWTH Aachen**

➤ **Entwicklung eines Reglers für ein stufenloses automatisches Getriebe mit der MicroAutoBox**

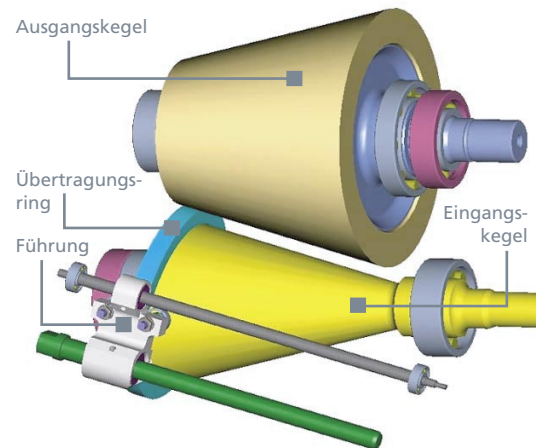
➤ **Optimierung der Getriebeparameter mit ControlDesk**

Formula SAE und Formula Student sind internationale Konstruktionswettbewerbe für Ingenieurstudenten. Dafür entwerfen, bauen und fahren die Studenten innerhalb vorgegebener Richtlinien kleine Formelrennwagen. Ecurie Aix, das Formula Student-Team der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, benutzt in seinem Wagen ein innovatives stufenloses Getriebe. Die Regelung für dieses Getriebe wurde mit einer dSPACE MicroAutoBox entwickelt.

Für den Einsatz in der Saison 2004 haben wir – das Team Ecurie Aix – den Formelrennwagen EAC 02 gebaut. Das Fahrzeug hat ein einzigartiges stufenloses Getriebe, das auch CVT (Continuously Variable Transmission) -Getriebe genannt wird. Entwickelt wurde es von sechs Team-Mitgliedern in Kooperation mit der GIF mbH (Gesellschaft für Industrieforschung mbH, Aachen) aus Alsdorf. Mit dem Getriebe können unendlich viele Übersetzungen – also unendlich viele Gangwechsel – realisiert werden. Der besondere Vorteil liegt dabei im Erreichen und Erhalten der optimalen Drehzahl, der so genannten Nenndrehzahl, wodurch der Motor mit seiner maximalen Leistung läuft.

Funktionsweise des Getriebes

Das CVT-Getriebe besteht aus zwei Kegeln und einem dazwischenliegenden Übertragungsring. Das Drehmoment zwischen den rotierenden Kegeln wird mit Hilfe eines Traktionsfluids übertragen. Die axiale Position des Rings zwischen den Kegeln bestimmt die Übersetzung des Getriebes. Um die korrekte Übersetzung einzustellen, muss



▲ *Unendlich viele Gangwechsel: Mit einem CVT-Getriebe läuft der Motor mit seiner maximalen Leistung.*

der Ring über eine Führung ausgelenkt werden. Durch die Rotation der Kegel läuft der Ring mit der Führung mit, bis diese ihren von der Getriebesteuerung berechneten Platz erreicht hat. Zum Positionieren des Rings und Festlegen der Übersetzung wird ein Servosystem verwendet. Um dieses zu realisieren, benutzen wir einen Gleichstrommotor, gekoppelt an einen Drehgeber.

Im Vergleich zu anderen CVT-Getrieben benötigt es keine große Leistung, da durch die Rotation der Kegel und der schrägen Winkel schnelle Übersetzungsänderungen mit sehr kleinen Kräften möglich sind. So kann der Formelrennwagen schnell beschleunigen. Zusätzlich automatisierten wir die Kupplung, um das Fahren des Formelrennwagens einfacher zu gestalten.

Über die Formula SAE Series

1981	Entstehung der Formula SAE – Konstruktionswettbewerb für Studierende, mit dem Ziel, leistungsfähige Formelrennwagen innerhalb strenger Richtlinien zu bauen. Der Wettbewerb wird von dem Formula SAE Konsortium, bestehend aus Repräsentanten von Chrysler, General Motors, Ford und der SAE, ausgerufen.
1998	Entstehung der Formula Student – Der europäische Wettbewerb findet in Großbritannien statt.
2000	Entstehung der Formula SAE-A – Erster Wettbewerb in Australien.
Alle drei Wettbewerbe finden jährlich statt.	

Richtlinien der Formula SAE Series (Auszug)

Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> ■ Offener Monoposto mit freistehenden Rädern ■ Radabstand: mindestens 1525 mm ■ Garantierte Bodenfreiheit ■ Viertaktmotor mit maximal 610 ccm ■ Wahlweise Saug-, Turbo- oder Kompressormotor ■ Frontal-, Seitencrash- und Überrollschutz ■ Keine Beschränkung hinsichtlich des Getriebes
Streckenprofil	Festlegung der Kurvenradien, Längen und Schikanen
Kosten	Maximal \$25 000 mit vorgegebenen Berechnungsgrundlagen
Bewertungskriterien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Statische Prüfungen: Sicherheit, Konstruktion, Kostenrechnung, Präsentation ■ Dynamische Prüfungen: Beschleunigung, Kurvenfahrt, Slalom, Kraftstoffverbrauch, Ausdauer
Weiterführende Informationen und das vollständige Reglement unter www.sae.org	

Über das Team

Ecurie Aix wurde 2000 gegründet und hat momentan 30 Mitglieder aus sechs verschiedenen Studiengängen. 2002 ging das Team zum ersten Mal mit dem EAC 01 an den Start. Mit diesem Wagen war der größte Erfolg der 30. Platz bei der Formula Student 2002. Bei der diesjährigen Formula Student (8.-11. Juli 2004) starteten 54 Teams. Ecurie Aix erzielte mit dem EAC 02 den 27. Platz. Weiterführende Informationen zum Team Ecurie Aix unter www.ecurie-aix.rwth-aachen.de

Entwicklung des Prototyps

Um ein hohes Maß an Integration zu erreichen, schlossen wir die meisten elektronischen Geräte an einen CAN-Bus an. Da der Motor – ebenfalls ein Prototyp – parallel entwickelt wurde, hat das Getriebe einen eigenen Regler. Zur Realisierung eines solchen Prototyp-Getriebes benötigten wir ein sehr flexibles und leistungsstarkes Echtzeitsystem. Hierbei unterstützt uns die MicroAutoBox, die für unsere Anforderungen das ideale Werkzeug darstellt.

Vier Hauptaufgaben sind auf dem Regler des Getriebes implementiert:

- Signalverarbeitung und -aufbereitung
- Realisierung eines Servosystems
- Betätigung der Kupplung
- Überwachungs- und Alarmsystem

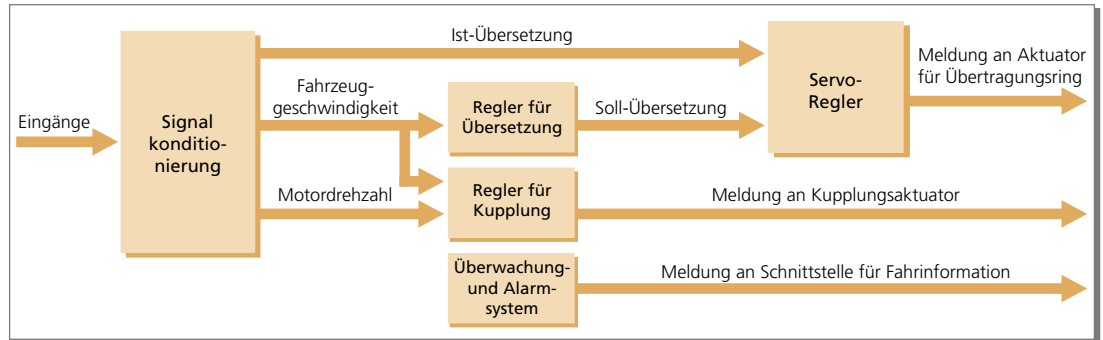
Mit der MicroAutoBox testeten wir verschiedene Algorithmen und nahmen die Feinabstimmung vor. Die Signale (inklusive CAN-, Sensor- und Digitalsignale) wurden mit einfachen Simulink®-Routinen und Filtern verarbeitet und aufbereitet.

Schnelle Optimierung mit ControlDesk und MicroAutoBox

Mit der Experiment-Software ControlDesk optimierten wir die Parameter des PID-Reglers für das Servosystem, so dass eine schnelle Antwort ohne Überschreitung von Maximalwerten erreicht werden konnte. Diese Einstellungen wurden durch einfache Testmethoden ermittelt. Während des Entwicklungsprozesses wurde



Bestaunen Sie den Formelrennwagen, der auf der diesjährigen dSPACE-Anwenderkonferenz am 21. und 22. Oktober in Stuttgart ausgestellt wird. Infos unter www.dspace.de/goto?konferenz_stuttgart



▲ Der Regler des Getriebes hat vier Hauptaufgaben: Signalverarbeitung und –aufbereitung, Realisierung eines Servosystems, Betätigung der Kupplung sowie ein Überwachungs- und Alarmsystem.

entschieden, den analogen Regler zur Motorsteuerung durch eine einfache PWM-(Pulsweitenmodulation) Platine zu ersetzen, um Kosten und Gewicht zu sparen. Die MicroAutoBox erlaubte es, diesen Wechsel ohne großen Aufwand durchzuführen. Das CVT-Getriebe wurde danach auf einem Getriebeprüfstand der GIF mbH getestet. Mittels ihrer weitreichenden I/O-Fähigkeiten ermöglicht die MicroAutoBox dabei die Realisierung von Diagnose- und Überwachungs-routinen in Verbindung mit der Hardware des Prüfstands. Die Implementierung des Algorithmus zur Automatisierung der Kupplung fand auf einem dynamischen Rollenprüfstand des ika (Institut für Kraftfahrwesen, Aachen) statt. Erneut konnten wir mit ControlDesk die Parameter problemlos anpassen. Zusätzliche Überwachungs-routinen kontrollieren verschiedene Temperaturen und den Schlupf im Getriebe.

Bei Abweichungen zu Sollwerten wird ein Alarm über den CAN-Bus an die Fahrer-Schnittstelle gesendet.

Bereit für den Wettbewerb

Da der gesamte Antriebsstrang des EAC 02 ein Prototyp ist, benötigten wir viel Zeit für umfangreiche Straßen-tests. Dabei nutzten wir die Data-Logging-Fähigkeiten des Flight Recorders der MicroAutoBox, um Fehler im Modell des Getriebes aufzudecken. Den entwickelten Simulink-Code implementierten wir mit dem Code-Generator TargetLink von dSPACE auf einem handelsüblichen Mikrocontroller.

*Formula Student Team Ecurie Aix
RWTH Aachen
Deutschland*



◀ Mit Hilfe des Flight Recorders der MicroAutoBox wurden während der Straßentests Daten erfasst, um sie später auszuwerten. So wurden Fehler im Reglermodell aufgedeckt.