

Optimierter CVT-Hybrid

➤ **Forscherteam der TU München entwickelt speziellen CVT-Hybrid-Antriebsstrang**

➤ **Hybridantriebsstrang-Steuerung basiert auf einem DS1005 PPC Board**

➤ **Simulation zeigt hohes Energieeinsparpotential**

▼ *Die UltraCaps als Energiespeicher und das dSPACE-System sind im Kofferraum des Prototypenfahrzeugs platziert.*

Ein Forscherteam der Technischen Universität München hat einen CVT-Hybrid-Antriebsstrang entwickelt, der einen sehr schnellen Start des Verbrennungsmotors erlaubt. Eine weitere Besonderheit ist der Einsatz von Doppelschichtkondensatoren als Energiespeicher. Anhand dieses Hybridkonzepts werden Steuerungs- und Regelungsalgorithmen für das CVT-Getriebe und das Energiemanagement von Hybridfahrzeugen entwickelt. Die Algorithmen werden sowohl an zwei Prüfständen als auch in einem Prototypenfahrzeug umgesetzt und erprobt.

Zusammen mit den Unternehmen GM Powertrain Europe, ZF Friedrichshafen AG und ZF Sachs AG hat unser Forscherteam einen neuartigen Hybrid-Antriebsstrang entwickelt. Der Antriebsstrang besteht aus Verbrennungsmotor, kontinuierlich verstellbarem Getriebe (Continuously Variable Transmission, CVT), Elektromotor und einem Modul aus Doppelschichtkondensatoren (UltraCap) als elektrischem Energiespeicher. UltraCaps bestechen im Einsatz bei Hybridfahrzeugen durch ihre hohe Leistungsdichte und den – aufgrund des geringen Innenwiderstands – hohen Wirkungsgrad. Zudem haben sie eine wesentlich höhere Lebensdauer als Hochleistungsbatterien.

Betrieb des optimierten CVT-Hybrids

Der Anfahrvorgang erfolgt beim optimierten CVT-Hybrid rein elektrisch, das heißt, der Verbrennungsmotor ist abgekuppelt und der Elektromotor treibt über den CVT-Variator das Fahrzeug an. In Abhängigkeit des aktuellen und erwar-

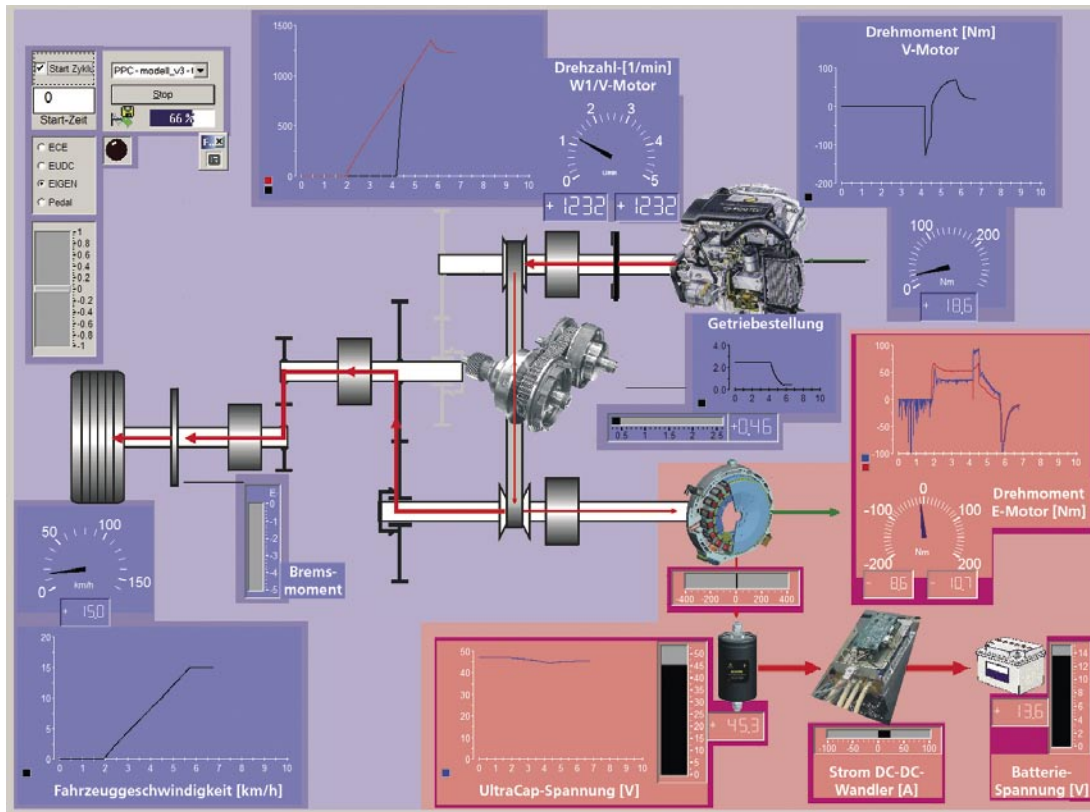
teten Antriebsstrangzustands wird der Verbrennungsmotor zur Unterstützung zugekuppelt. Der optimierte CVT-Hybrid bietet die Möglichkeit, den Verbrennungsmotor mit einem Schwungstart sehr schnell anzulassen. Eine Schnellverstellung der Getriebeübersetzung bremst den Elektromotor. Dabei gibt er kinetische Energie ab, die zum sehr schnellen und unmerklichen Anlassen des Verbrennungsmotors genutzt wird. Die variable Getriebeübersetzung kann während des Schwungstarts für den Elektromotor und im Weiteren durch das Umschalten von zwei Zahnkupplungen für den Verbrennungsmotor genutzt werden.

Regelungssystem im Prüfstand und Prototypenfahrzeug

Die Entwicklung der Gesamtfahrzeugregelung, der Regelung des CVT-Variators sowie des Energiemanagements des Hybridantriebsstrangs erfolgen an Hardware-in-the-Loop (HiL)-Prüfständen sowie an einem Prototypenfahrzeug.

Der Entwicklungs- und Erprobungsprozess der Algorithmen und Regelungsstrukturen wird iterativ durchgeführt. Neue Konzepte sowie Änderungen erarbeiten wir zunächst in MATLAB®/Simulink® und überprüfen sie anschließend in der Simulation. Dazu haben wir jeweils ein dSPACE-System mit identischer Regelungs-Hardware und -Software installiert. An den Prüfständen befindet sich das dSPACE-System mit DS1005 PPC Board, CAN- sowie Multi-I/O-Karten in einem PX10-Gehäuse. Im Fahrzeug sind die Karten in einer AutoBox untergebracht. Die Kommunikation mit dem Verbrennungsmotorsteuergerät erfolgt über die serienmäßig vorhandene CAN-Schnittstelle. Dazu haben wir den CAN-Bus zwischen Fahrzeug und Verbrennungsmotor aufgetrennt. Einen zweiten CAN-Controller nutzen wir zur Kommunikation mit dem Fahrzeug-CAN-Bus, und das dSPACE-System simuliert die jeweilige





▲ Die Leistungsflüsse werden anhand der Struktur des optimierten CVT-Hybrid-Antriebsstrangs während des Betriebs in der Experiment-Software ControlDesk dargestellt.

Gegenseite. Nach erfolgreicher Verifikation wenden wir die entwickelte Software direkt auf die Prüfstände sowie das Prototypenfahrzeug an. Weitere Änderungen und Verbesserungen erproben wir dann zunächst wieder in der

„Durch den Einsatz der dSPACE-Hardware in Kombination mit MATLAB®/Simulink® können wir Änderungen an der Reglerstruktur sehr schnell umsetzen.“

Andreas Jörg, Technische Universität München

Simulation. Um die Leistungsflüsse während des Prüfstands- bzw. Fahrzeugbetriebs zu veranschaulichen, haben wir auf Grundlage der Antriebsstrangstruktur eine Animation in der Experiment-Software ControlDesk entwickelt, die die Leistungsflüsse in den einzelnen Komponenten visualisiert.

Effizientes Energiemanagement

Ein wichtiger Aspekt beim Betrieb eines Hybridfahrzeugs ist ein möglichst optimales und verbrauchsreduzierendes Energiemanagement. Entscheidend dabei ist die optimale Führung des Ladezustands der UltraCaps. Anhand der Struktur des Antriebsstrangs sowie der Kenndaten und Kennfelder der einzelnen Antriebsstrangkomponenten werden die Gesamtsystemverluste berechnet. Um das Fahr- und Brems-

verhalten zu identifizieren und möglichst genau vorherzusagen, verwenden wir künstliche neuronale Netze. Die dadurch gewonnenen zusätzlichen Informationen erweitern das Verfahren der Verlustminimierung und erlauben eine bessere Ausnutzung des Energiespeichers.

Die dazu erforderlichen Berechnungen haben wir wie auch die Regelalgorithmen zur Gesamtfahrzeugregelung auf dem DS1005 PPC Board ausgeführt. Eine weitere anspruchsvolle Aufgabe beim optimierten CVT-Hybrid ist die Koordination der Antriebe und Kupplungen während des Schwungstarts. Versuchsfahrten und Messungen am Prototypenfahrzeug zeigen, dass das Anlassen des Verbrennungsmotors innerhalb weniger Zehntelsekunden erfolgt und für den Fahrer nicht spürbar ist.

In der Simulation haben wir bereits ein Energie-Einsparpotential von ca. 20 % im gemischten Europäischen Fahrzyklus erreicht. Dieses gilt es nun im weiteren Projektverlauf durch Prüfstandsversuche und Versuchsfahrten mit dem Prototypenfahrzeug zu verifizieren.

*Andreas Jörg und Jens Schlurmann
Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme
Technische Universität München
Deutschland*