

# Hybridantriebe in der Formel 1

**Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß**  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik (E+I)

Badstraße 24  
77652 Offenburg  
Tel. 0781 205-309  
E-Mail: uwe.nuss@fh-offenburg.de

**1960:** Geboren am 13.06. in Pforzheim  
**1980–1985:** Studium der Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe (TH)  
**1985–1994:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Elektrotechnischen Institut der Universität Karlsruhe, 1989 Promotion, 1994 Habilitation  
**1994–2003:** Industrietätigkeit bei der Struckmeier GmbH (ab 2001: Wittur GmbH), ab 1995 stellvertretender Entwicklungsleiter  
**Seit 2003:** Professor für elektrische Antriebstechnik, Leistungselektronik, Regelungstechnik sowie Grundlagenfächer an der Hochschule Offenburg  
**Seit 2006:** Mitglied des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg



**Forschungsgebiete:** Hochdynamische Regelung elektrischer Antriebe

## 1.7 Hybridantriebe in der Formel 1

Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß

### Abstract

The presented paper describes a development project for a formula 1 racing team which was performed at the laboratory for electrical drives and power electronics of the University of Applied Sciences in Offenburg. The kernel of that project was the simulation of an electrical machine with means of a load inverter and a passive filter, so that inverters from contractors could be tested easily without using a real test bench. The whole electrical drive, consisting of the real electrical machine and the inverter is part of a hybrid drive for a formula 1 racing car which is allowed to be used from the racing season 2009.

### Einleitung

Ab der Rennsaison 2009 dürfen in der Formel 1 Rennwagen mit Hybridantrieb eingesetzt werden [1-3]. Dadurch wird es möglich, Bremsenergie als elektrische Energie zwischenspeichern und beim Beschleunigen wieder in kinetische Energie umzuwandeln. Hierzu wird ein Elektromotor eingesetzt, der dieselbe Welle wie der V8-Verbrennungsmotor antreibt. Laut Reglement dürfen hierbei bis zu 60 kW für jeweils 6 Sekunden pro Runde elektrisch erzeugt werden. Die Piloten können diese zusätzliche Leistung über einen Boost-Knopf am Lenkrad abrufen und so die zwischengespeicherte Bremsenergie z.B. bei Überholmanövern zu ihrem Vorteil nutzen.

Die Entwicklung solcher Hybridantriebssysteme ist bei vielen in der Formel 1

engagierten Rennställen in vollem Gang. Auch die Hochschule Offenburg hat hierzu einen Beitrag geleistet. Vom Labor für elektrische Antriebe und Leistungselektronik wurden für einen Rennstall wesentliche Komponenten eines Simulationsmodells für den Hybridantriebsprüfstand eines Formel 1-Rennwagens erstellt. Hierbei ging es insbesondere um die Simulation des Elektromotors als Teil des Hybridantriebs, des ihn speisenden Wechselrichters und dessen Regelung.

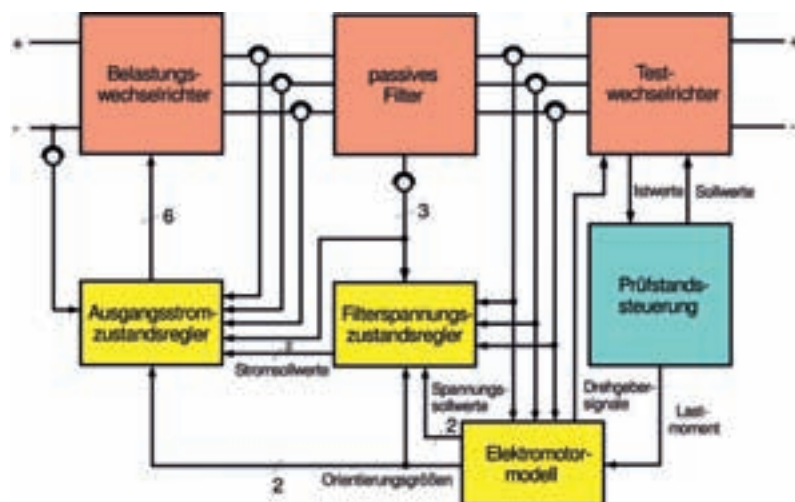
### Nachbildung eines Elektromotors mit Hilfe eines Wechselrichters und eines passiven Filters

Eine besondere Herausforderung war beim genannten Entwicklungsprojekt, am Prüfstand das Echtzeitverhalten des Elektromotors mit Hilfe eines Belastungswechselrichters und eines passiven Filters nachzubilden. Hintergrund dieser Aufgabenstellung war der Wunsch sei-

tens des Auftraggebers, die Leistungsfähigkeit von zugekauften Wechselrichtern testen zu können, ohne dabei auf den tatsächlichen Elektromotor zurückgreifen zu müssen. Neben schnell durchführbaren Wechselrichtertests soll es damit unter anderem möglich sein, auch kritische Antriebsituationen reproduzierbar und zerstörungsfrei herbeizuführen und währenddessen das Verhalten des Testwechselrichters genau zu studieren.

Zur Veranschaulichung zeigt die Abbildung 1.7-1 das Prinzipschaltbild desjenigen Prüfstandteils, mit dem die beschriebene Elektromotornachbildung durchgeführt werden soll.

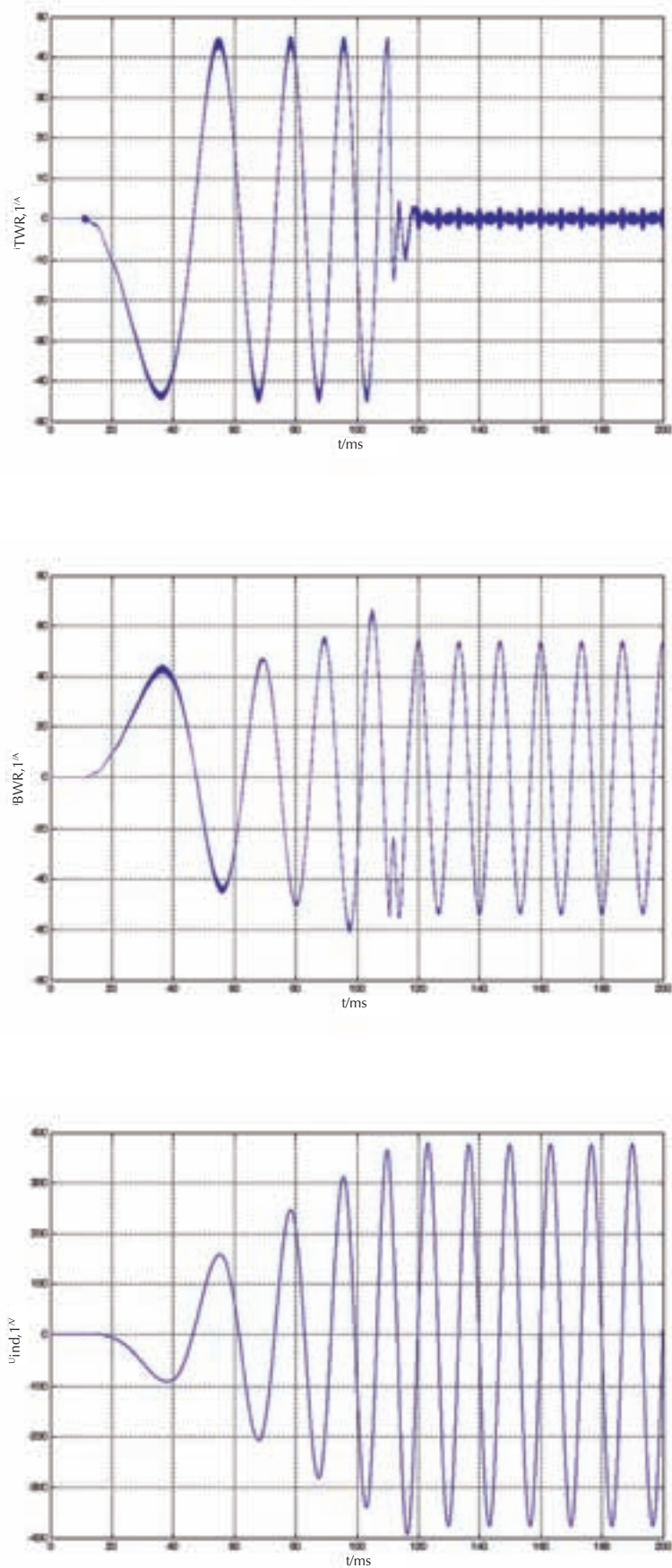
Die dargestellte Prüfstandskonfiguration entspricht einem sogenannten HIL-Prüfstand (Hardware-in-the-loop-Prüfstand). Er erlaubt es, entwickelte Steuer- oder Regelgeräte – oder wie in diesem Fall



**Abb. 1.7-1:** Prinzipschaltbild des Prüfstandteils zur Nachbildung eines Elektromotors mit Hilfe eines Belastungswechselrichters und eines passiven Filters

einen Testwechselrichter – ohne einen aufwendigen Motorprüfstand in Betrieb zu nehmen, zu testen und weiterzuentwickeln.

Um mit dem Belastungswechselrichter und dem Filter das dynamische Verhalten des Elektromotors so genau wie möglich nachbilden zu können, musste eine sehr schnelle Regelung entwickelt werden. Hierzu wurde eine zweistufige Kaskadenregelung entworfen. Im unterlagerten Regelkreis werden die Ausgangsströme des Belastungswechselrichters in einem feldorientierten Koordinatensystem geregelt. Ihre Sollwerte dienen dem überlagerten Filterspannungsregelkreis als Stellgrößen. Die Ströme werden so in das Filter eingespeist, dass dessen Spannungen geeigneten Spannungen des simulierten Elektromotors entsprechen. Über ein Rechenmodell des Elektromotors, das mit den Messwerten der tatsächlich fließenden Testwechselrichterausgangsströme und mit dem je nach Fahrsituation in der Realität wirksamen Lastmoment gespeist wird, lässt sich das fiktive Beschleunigungsdrehmoment ermitteln, das der simulierte Elektromotor erfährt. Entsprechend dem errechneten Beschleunigungsdrehmoment und den in der Echtzeitsimulation hinterlegten Parametern des mechanischen Systems sowie des Elektromotors wird die fiktive Drehzahl des Elektromotors nachgeführt und die Belastungswechselrichterausgangsströme so eingepreßt, dass sich am Filter genau diejenige Frequenz und Spannung einstellt, die sich auch bei der entsprechenden realen Betriebssituation am Elektromotor einstellen würde. Über eine reale Drehgeberschnittstelle werden außerdem dem Testwechselrichter Drehgebersignale zugeführt, die aus der fiktiven Drehzahl bzw. der hieraus hervorgehenden simulierten Rotorlage erzeugt werden. Sie dienen dem Testwechselrichter zum einen als Messsignal für dessen Drehzahlregler sowie für die Drehzahlüberwachung und drehzahlabhängige Drehmomentbegrenzung. Zum anderen beschafft sich der Testwechselrichter anhand der emulierten Drehgebersignale die Orientierungsgrößen, die er benötigt, um seine Ausgangsströme so vorgeben zu können, dass sie ein möglichst großes und determiniertes Drehmoment erzeugen. Damit auch der Belastungswechselrichter seine Ausgangsströme so vorgeben kann, dass



**Abb. 1.7-2:** Verlauf der maßgeblichen Phasengrößen beim drehzahlgeregelten Hochlauf eines mit einem Belastungswechselrichter und Filter nachgebildeten Elektromotors

damit die Filterausgangsspannungen und deren Frequenz gezielt beeinflusst werden können, benötigen auch der Belastungswechselrichterausgangsstromregler sowie der Filterspannungsregler geeignete Orientierungsgrößen. Sie werden ebenfalls im Elektromotorrechenmodell erzeugt.

Für die Regelung wurden Zustandsregler sowohl für die Belastungswechselrichterausgangsströme als auch für die Filterspannungen ausgewählt. Diese Regelungen wurden im Labor für elektrische Antriebe und Leistungselektronik der Hochschule Offenburg entwickelt und zunächst an einem selbst erstellten Simulationsmodell des Gesamtsystems getestet.

Abbildung 1.7-2 zeigt zur Veranschaulichung des Systemverhaltens den drehzahlgeregelten Hochlauf des simulierten, vom Testwechselrichter gespeisten Elektromotors.

Mit  $i_{TWR,1}$  ist darin der Ausgangsstrom der Phase 1 des Testwechselrichters bezeichnet, während  $i_{BWR,1}$  den Ausgangsstrom

der Phase 1 des Belastungswechselrichters darstellt.  $u_{ind,1}$  ist schließlich die in der Phase 1 des simulierten Elektromotors induzierte Spannung, die real als Filterspannung vorliegt. Die Darstellung einer Klemmenspannung des simulierten Elektromotors ist dagegen nicht aussagekräftig, da sie mit der Testwechselrichterausgangsspannung übereinstimmt und demzufolge einen pulsbreitenmodulierten, rechteckförmigen Verlauf aufweist. Anzumerken ist hierbei, dass der Belastungswechselrichter zum einen die Ströme des Testwechselrichters aufnehmen muss. Zum anderen muss er aber auch Ströme für kapazitive Komponenten im Filter zur Verfügung stellen. Wegen des sowohl motorisch als auch generatorisch betreibbaren Testwechselrichters muss der Belastungswechselrichter ebenfalls in der Lage sein, Energie sowohl aufnehmen als auch abgeben zu können.

Durch die Zustandsregelung der beschriebenen Regelkreise sowie der damit einhergehenden Möglichkeit, Eigenwerte des Systems weitgehend frei vorzugeben, konnte die Dynamik der

Elektromotornachbildung gezielt vorgegeben werden. Insbesondere lassen sich dadurch nun die erreichbare Dynamik und der hierfür erforderliche Aufwand relativ einfach abschätzen. Die am Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse fließen unmittelbar in den Aufbau und den Betrieb des realen Prüfstands ein. An den anstehenden Tests am realen Prüfstand wird die Hochschule Offenburg weiter beteiligt sein.

## Referenzen

- [1] Strassmann, B.: Mehr Schub dank Umwelttechnik. Die Zeit Nr. 40/2008.
- [2] Viehmann, S.: Mehr Power durch den Öko-Boost. Online-Ausgabe des Stern (HYPERLINK „<http://www.stern.de>“ [www.stern.de/auto/mobilitaet](http://www.stern.de/auto/mobilitaet)) vom 31.07.2008.
- [3] Brümmer, E.; Rother, F.: Grüne Rennwagen. Formel 1 ab 2009 mit Hybridantrieb. Online-Ausgabe der Wirtschaftswoche ([www.wiwo.de](http://www.wiwo.de)/technik) vom 13.07.2008.