



Schnelle Züge für China

Chinesischer Bahnhersteller setzt auf dSPACE HIL-System, um den Entwicklungsprozess seines Antriebssteuergeräts (TCU) zu beschleunigen.



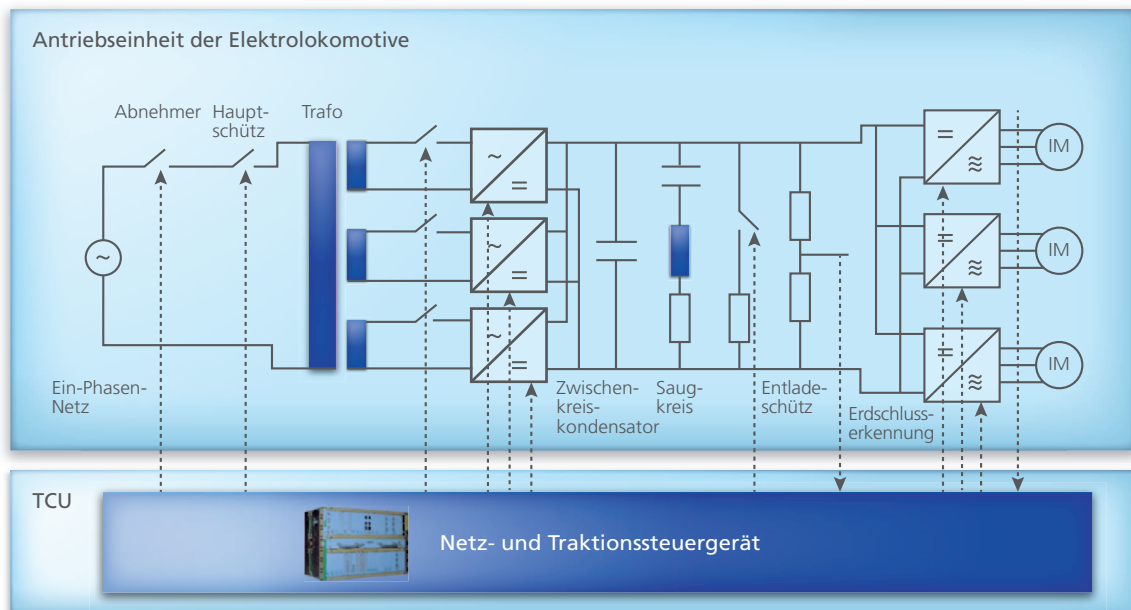


Abbildung 1: TCU und Hauptantriebssteuerung von Elektroloks.

Hintergrund

China hat die größte Bevölkerungsdichte und ist die zweitgrößte Wirtschaftsmacht der Welt. Nun revolutionieren die Asiaten ihre einst hoffnungslos veraltete und ineffiziente Hauptverkehrsinfrastruktur, die Eisenbahn. Nach nur 5 Jahren konnte China sein altes Bahnsystem erfolgreich modernisieren und es in ein hochmodernes Transportnetz verwandeln, angefangen bei Stadtbahnlinien bis hin zu Hochgeschwindigkeitszügen, ähnlich dem europäischen TGV und ICE. Dadurch eröffnen sich auch für die regionale Zuliefererindustrie viele Möglichkeiten.

Stark subventioniert vom Staat, startete das Dalian Electric Traction R&D Center, ein Unternehmenszweig der chinesischen Eisenbahngruppe CNR (China Northern Railway Group), vor kurzem die Entwicklung von Antriebssteuergeräten (Traction Control Unit, TCU) für Elektrolokomotiven. Hier spielt der Entwicklungsprozess eine sehr große Rolle: Da das Projekt bei null anfing, müssen alle Funktionen einschließlich zahlreicher Diagnosefunktionen eingehend evaluiert und getestet werden; Zeit für einen Full-Scale-Prüfstand gibt es nicht. Daher hat sich das Forschungszentrum für den in der Automobilindustrie etab-

lierten Hardware-in-the-Loop (HIL)-Ansatz entschieden, um die Soft- und Hardware ihrer Antriebssteuergeräte (TCU) zu testen.

Was ist TCU?

TCU steht für Traction Control Unit und ist verantwortlich für den optimalen Betrieb der Hauptantriebssteuerung von Elektrolokomotiven. Die Hauptantriebssteuerung zieht mit Scherenstromabnehmern und einer Festfrequenz Strom aus der Oberleitung und konvertiert ihn in Wechselstrom mit variabler Frequenz, um die Elektromotoren auf dem Drehgestell anzutreiben (Abbildung 1).

„Mit dem dSPACE DS5203 FPGA Board können wir eigene Simulationsmodelle mit 100 ns ausführen und die Echtzeitsimulationsdaten so perfekt den Experimentierergebnissen des Prüfstands anpassen.“

Congqian Xu, Ingenieur im HIL-Team, CNR

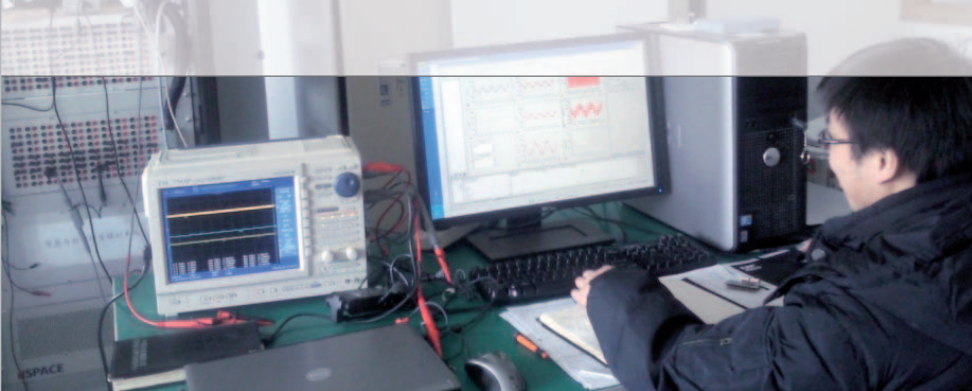


Abbildung 2: HIL-Aufbau mit einem TCU, einer Signalkonditionierungseinheit und modularer dSPACE Hardware (DS1005, DS5203, DS5001, DS5101 und DS2302).

Ein typisches TCU besteht aus zwei Bereichen, einem für die Trasse und einem für die Motoren. Der Teil für die Trasse steuert den Leistungsfaktor und stabilisiert die DC-Zwischenkreisspannung. Der Teil für den Motor steuert den Umrichter und die Antriebsmotoren, um den notwendigen Drehmoment und die Drehzahl zu erreichen.

Warum der HIL-Ansatz?

Wie in der Automobilindustrie haben sich HIL-Simulatoren auch in der Entwicklung und Verifikation von Rege-

lungssoftware für Lokomotiven sehr schnell als hocheffizientes, unverzichtbares Werkzeug etabliert. Große internationale Unternehmensgruppen wie Bombardier, Alstom und ABB setzen HIL-Systeme ein, um die komplexe TCU-Software zu entwickeln und zu testen.

Nach umfassender Auswertung von Erfahrungsberichten des internationalen Wettbewerbs und der Automobilindustrie hat sich das Forschungszentrum der chinesischen Bahn entschieden, HIL-Simulatoren in ihrem gesamten Entwicklungsprozess zu

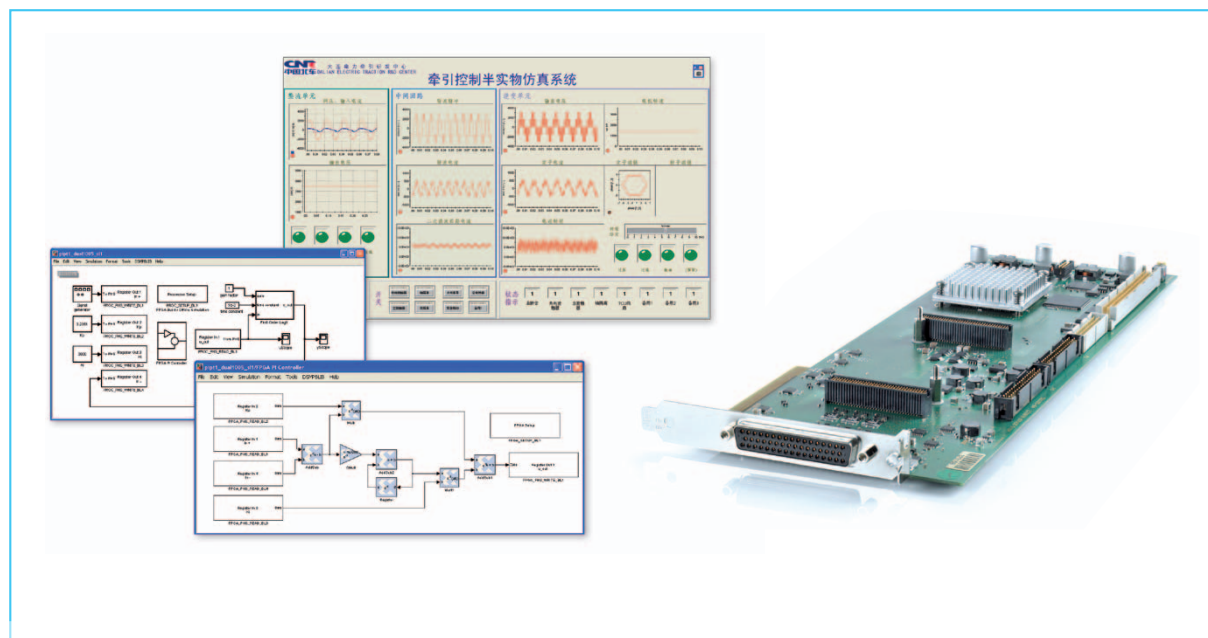
integrieren, um Software- und Hardware-Fehler in einer frühen Phase der Entwicklung aufdecken zu können (Abbildung 2).

Im Gegensatz zu chemischen Prozessen in Verbrennungsmotoren kann der elektromagnetische Prozess in einem TCU mit Hilfe präziser analytischer Gleichungen sehr genau simuliert werden. So ist es möglich, den HIL-Simulator schon in einer frühen Phase der TCU-Entwicklung für die Verifikation der Regelfunktionen einzubinden, beispielsweise um die Auswirkungen mehrerer Modulationsmethoden für

„Wir haben uns für einen dSPACE HIL-Simulator entschieden, da er sich bereits mehrfach in den unterschiedlichsten Bereichen der Automobiltechnik bestens bewährt hat.“

Xiangdong Che, Abteilungsleiter Elektrische Antriebe, CNR

Abbildung 3: Das Streckenmodell kann mit dem RTI FPGA Programming Blockset und den Xilinx®-System-Generator-Blöcken grafisch in Simulink® implementiert werden.



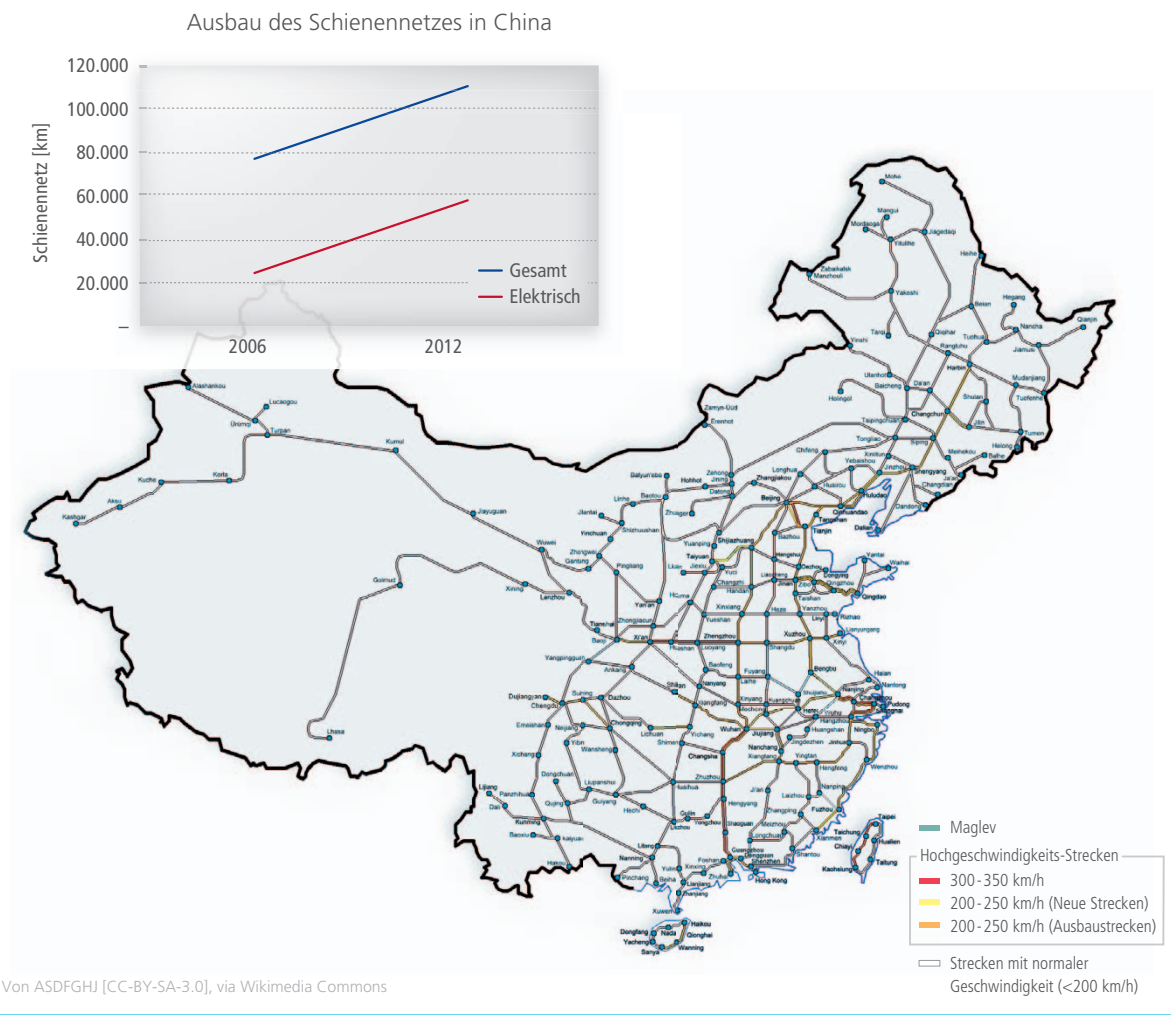


Abbildung 4: In den letzten 6 Jahren wurde der Umfang des chinesischen Eisenbahnnetzes für schnelle Elektrozüge mehr als verdoppelt.

„Ein weiterer Vorteil der HIL-Simulatoren für Lokomotiven ist, dass man sie auch in einer sehr frühen Phase der Entwicklung einsetzen kann und nicht nur für die Integrationstests.“

Xiangdong Che, Abteilungsleiter Elektrische Antriebe, CNR

die Motordrehzahl unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu bewerten. Da Leistungsschalter wie IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor) im Modell implementiert sind, besteht keine Gefahr, die Hochspannungskomponenten durch fehlerhafte Ansteuersignale zu beschädigen.

Die Herausforderungen

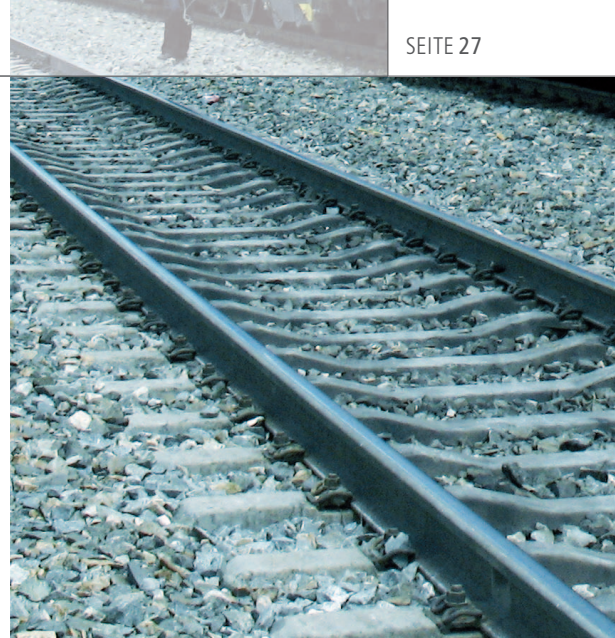
Bei der Simulation von Leistungselektronik und Antriebssystemen wie dem TCU einer E-Lok ist die größte Herausforderung das Abtasten der hochfrequenten Ansteuersignale des Leistungsschalters. Wenn zum Beispiel der Umrichter und der Antriebsmotor auf einem Echtzeitrechner simuliert

werden sollen, summiert sich der Abtastfehler der Ansteuersignale in der Berechnung des Motorflusses und führt zu mangelhaften Simulationsergebnissen. Dieser Fehler tritt an jedem Ansteuersignalübergang auf und verschlechtert sich, wenn das Verhältnis von Abtastzeit zu Schaltperiode des Ansteuersignals größer wird. Basierend auf Erfahrungswerten, wird ein sehr zufriedenstellendes Simulationsergebnis im HIL-Test mit dem Verhältnis 1:100 erreicht. Das heißt, der Zeitschritt des Echtzeitsimulators sollte 1 µs sein, um ein für die hochdynamischen Steuerungen elektrischer Maschinen übliches Ansteuersignal von 10 kHz abzutasten.

Diese Vorgabe für den Zeitschritt stellt eine große Herausforderung für die HIL-Zulieferer dar, da es unmöglich ist, Simulationsmodelle auf CPUs mit einem so kleinen Zeitschritt auszuführen. Auch Parallelverarbeitung kann dieses Problem nach heutigem Stand der Technik nicht lösen. Daher wurden FPGA-basierte Lösungen favorisiert und sehr gute Ergebnisse damit erzielt. Allerdings muss bei den kommerziellen Lösungen der HIL-Zulieferer die Neukonfiguration der Hardware übernehmen und nicht jeder Kunde ist mit der Hardware-Beschreibungssprache VHDL oder der Verilog-Codierung vertraut, ganz abgesehen von den Technologien der Hardware-Synthese. Mit dem neuen DS5203 FPGA Board von dSPACE lassen sich beide Probleme elegant lösen. Zudem setzte das Forschungszentrum das dSPACE RTI FPGA Programming Blockset und den Xilinx System Generator ein, um das Simulationsmodell in Simulink komfortabel nachzubauen, zu kompilieren, in Bit-Strömen nachzubilden und schließlich auf das Board herunterzuladen, und das

alles automatisiert. Die FPGA-Neukonfiguration erfolgte in einer grafischen Umgebung ohne Vorkenntnisse in VHDL oder der Verilog-Codierung. Das Forschungszentrum portierte so ihr Ursprungsmodell ohne viel Aufwand auf das FPGA-Modell auf dem DS5203 Board (Abbildung 3). Das leistungsstarke FPGA Xilinx Virtex 5 auf dem DS5203 bietet die Möglichkeit, ein sehr großes, komplexes Modell auf dem FPGA zu implementieren. Nach wenigen Optimierungen konnte die vollständige Hauptantriebssteuerung einschließlich 3 4QC-Konvertern, 1 Zwischenkreis, 3 Umrichtern und 3 elektrischen Antriebsmotoren auf einem einzigen DS5203 Board implementiert werden. Durch die FPGA-Parallelverarbeitung kann die Hauptantriebssteuerung in einem Zeitschritt von 100 ns ausgeführt werden, was zu sehr genauen Echtzeitsimulationsergebnissen führt. ■

*Dr. Xizheng Guo
Congqian Xu
Xiangdong Che
China Northern Railway*



Ergebnisse und Ausblick

Da der HIL-Simulator in einer sehr frühen Phase der Entwicklung eingesetzt wird und viel weniger Verifikationstests für die der Algorithmen am Prüfstand notwendig sind, konnte der TCU-Entwicklungsprozess stark verschlankt werden: TCU-Software und -Hardware-Tests unter verschiedenen Betriebsbedingungen können nun leicht implementiert werden, ohne Leistungselektronik oder Maschinen zu beschädigen. Motiviert durch den aktuellen Erfolg in der TCU-Entwicklung, plant das Forschungszentrum der chinesischen Bahn, weitere DS5203 Boards für den Test von TCUs größerer Eisenbahnfahrzeuge einzusetzen. Auch sollen mehrere Full-Size-HIL-Simulatoren angeschafft werden, um einen vollständigen virtuellen Zug zu implementieren und ganze Steuergeräte-Verbunde für die CRH-Hochgeschwindigkeitszüge zu testen.

Congqian Xu

Congqian Xu ist Ingenieur im HIL-Testteam des Forschungszentrums der China Northern Railway Group in Dalian.



Dr. Xizheng Guo

Dr. Xizheng Guo forscht auf dem Gebiet der eDrives und ist Leiter der HIL-Systementwicklung bei CNR.

