

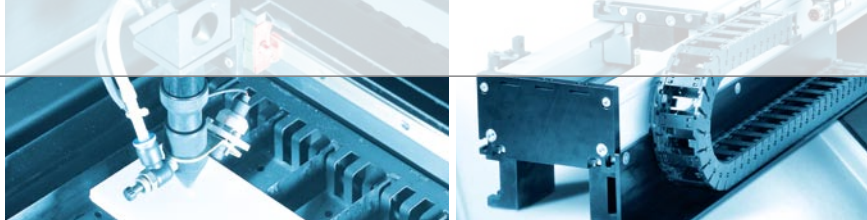
Automatisierte Software-
Tests am HIL-Simulator

Elektrische Antriebe

effizient virtualisiert

Geregelte elektrische Antriebe stellen in vielen technischen Anwendungen eine Schlüsseltechnologie dar. Insbesondere bei Servoreglern für die Industrieautomation wird aufgrund der Vielzahl von möglichen Anwendungen ein hohes Maß an Flexibilität gefordert. Durch die Konfigurationsmöglichkeiten der Servoregler-Software entstehen zahlreiche Varianten, die enorme Testaufwände verursachen. Mit automatisierten Tests am HIL-Simulator können diese Tests entscheidend vereinfacht und beschleunigt werden.

Die LTI DRIVES GmbH entwickelt, produziert und vertreibt Servoregler für elektrische Antriebe im Leistungsbereich von wenigen hundert Watt bis zu 250 kW. Mit Antriebsprodukten von LTI werden neben der klassischen Automatisierungstechnik unter anderem so unterschiedliche Anwendungsbereiche wie Medizintechnik, Windkraftanlagen oder magnetgelagerte Hochgeschwindigkeitsantriebe bedient. Darüber hinaus werden seit mehr als zehn Jahren auch dieselektisch angetriebene Flurförderfahrzeuge mit kundenspezifisch entwickelten Umrichtern von



LTi ausgerüstet. Unabhängig vom Einsatzgebiet wird der Software-Anteil bei elektrischen Antrieben zunehmend größer und die Innovationszyklen werden immer kürzer. Daher kommt der effizienten Durchführung der notwendigen Software-Tests für den Servoregler eine sehr große Bedeutung zu.

Ein Servoregler für alle

Jeder Servoregler beinhaltet als Kernfunktionalität die Regelung von Strom, Drehzahl und Position für verschiedene Motorenarten wie Gleichstrom-, Synchron- oder Asynchronmotoren. Der Servoregler ServoOne von LTi enthält darüber hinaus zahlreiche Sonderfunktionen, die durch den Anwender für die verschiedens-

che Kombinationen ergeben sich aus verschiedenen Leistungsendstufen, Motor- und Drehgeberarten sowie unterschiedlichen Feldbus- und Technologieoptionskarten. Ein Test am Prüfstand erfordert umfangreiche Umbauarbeiten, beispielsweise für die elektrische und mechanische Installation von Umrichter und Motor, wenn die Hardware als Echtteile verwendet wird. Dadurch wird nicht nur der Freigabeprozess für die Software verzögert, sondern auch wertvolle Prüfstandskapazität belegt. Eine weitere Herausforderung von Software-Tests mit Echtteilen liegt in den zum Teil sicherheitskritischen Testbedingungen. Diese ergeben sich beim Testen kritischer Fehler, beispielsweise Überstrom, Über-

spannung, Überdrehzahl oder Übertemperatur.

Lösung: HIL-Simulation

Die Lösung für die Tests umfangreicher Software-Funktionen und Hardware-Konfigurationen ist die Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation. Hier werden die jeweils benötigten Regelstrecken und Echtteile durch Simulationsmodelle ersetzt, wodurch ein Großteil der Umbauaufwände während der Tests entfällt. Da eine HIL-Simulation automatisiert ablaufen kann, können die Tests rund um die Uhr erfolgen. Die Testautomatisierung ist dabei insbesondere bei Routinetests hilfreich, wenn es um den Nachweis der Konformität mit standardisierten Feldbusprofilen wie CANopen, SERCOS oder CAN J1939 geht. Auch im Rahmen von sicherheitstechnischen Abnahmen müssen wiederholt Testabläufe mit Fehlersimulationen reproduzierbar durchgeführt werden, was durch eine Testautomatisierung enorm vereinfacht wird.

„Die HIL-Simulation von dSPACE leistet bei LTi einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung und Reduzierung der Entwicklungskosten.“

Dr. Harald Wertz, LTi DRIVES GmbH

ten Applikationen konfiguriert werden können. Abbildung 1 zeigt typische Software-Funktionsbausteine eines Servoreglers, für die umfangreiche Tests durchzuführen sind. Es wird deutlich, dass die Variantenvielfalt und der Funktionsumfang einen enormen Testaufwand nach sich ziehen. Vor diesem Hintergrund verspricht die Automatisierung von Regressionstests im Software-Änderungsprozess ein enormes Einsparpotenzial.

Herausforderung: Echtteile

Neben der Software alleine muss auch ihr Zusammenspiel mit einer Vielzahl von Hardware-Konfigurationen intensiv getestet werden. Mögli-

Abbildung 1: Typische Software-Funktionsbausteine eines Servoreglers.



Aufbau der Simulationshardware

Sämtliche Simulatorkomponenten sind in einem mobilen Schaltschrank integriert (Abbildung 2). Als Plattform für die Echtzeitsimulation wird ein dSPACE-System, bestehend aus einem Prozessorboard (DS1005), zwei I/O-Karten für die Simulation elektrischer Antriebe (DS5202 Electric Motor HIL Solution) und einer CAN-Schnittstellenkarte (DS4302), eingesetzt. Die Verbindungstechnik und die Signalkonditionierung zwischen dem dSPACE-System und der Elektronik des Testobjekts wurden im Hause LTI geplant und umgesetzt. Der Schaltschrank enthält weiterhin



Abbildung 2: Der Schaltschrankaufbau des HIL-Simulators.

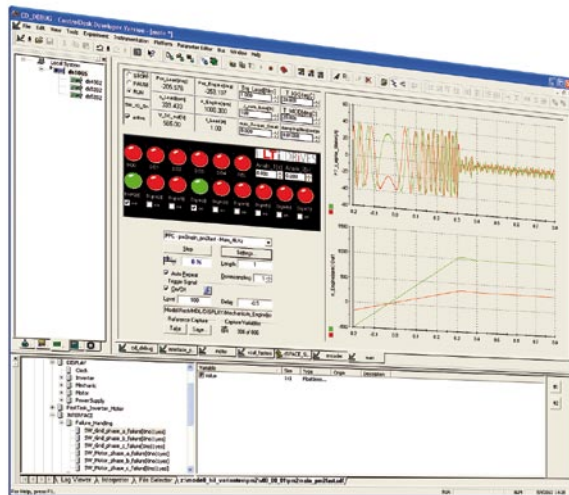


Abbildung 3: Das Layout der ControlDesk-Oberfläche.

einen Industrie-PC, der gleichzeitig als Feldbus-Master und als Host-Rechner für die Software zur Testautomatisierung dient. Um den Simulator möglichst vielseitig nutzen zu können, besteht die Möglichkeit, Steuerteilarten aus unterschiedlichen Antriebsprodukten als Testobjekt in den Schaltschrank zu integrieren. Dies geschieht über eine Wechselschublade und einen standardisierten Adapter mit robusten, hochpoligen Steckverbindern.

Simulationsmodelle

Die Simulationsmodelle für die Regelstrecken wurden in Simulink® erstellt. Als Basis dienten Modelle der ASM Electric Components Library von dSPACE wie Synchron- und Asynchronmaschinen sowie Leistungsumrichter. Durch ihre offene Struktur konnten sie leicht an die Anforderungen von LTI angepasst werden. Darüber hinaus wurden auch Bestandteile der SimPowerSystems Toolbox von The MathWorks® genutzt, um beispielsweise dreiphasige Netze in Echtzeit zu simulieren.

Antriebsperipherie

Die Echtzeitsimulation von Leistungselektronik und elektrischen Antrieben stellt aufgrund der hohen Streckendynamik sehr hohe Anforderungen an das verwendete Simulations-

system. Das von dSPACE speziell für die HIL-Simulation von elektrischen Antrieben entwickelte DS5202 EMH Board verfügt über eine Reihe von intelligenten I/O-Kanälen. Auf dem integrierten FPGA (Field Programmable Gate Array) werden I/O-Prozesse mit hoher zeitlicher Auflösung ausgeführt. Dies betrifft die Analyse der von der Steuerelektronik generierten PWM-Ansteuersignale für die Leistungsendstufe sowie die Generierung der bei der Lagegebersimulation auftretenden digitalen und analogen Signale. Neben den üblichen analogen Gebersystemen Resolver und Encoder können mit dem DS5202 EMH auch TTL-Inkrementalgeber sowie Geber mit den seriellen Übertragungsprotokollen SSI, EnDat2.1® und Hiperface® simuliert werden. Das Protokoll der seriellen Gebersysteme ist ebenfalls flexibel parametrierbar und kann alle gängigen Gebertypen nachbilden.

Testautomatisierung

Für die interaktive Arbeit mit dem HIL-Simulator kommt dSPACE ControlDesk zum Einsatz (Abbildung 3). Die automatischen Tests werden in der Skriptsprache Python implementiert. Durch entsprechende Python-Bibliotheken von dSPACE und LTI wird der einfache Zugriff vom Hostrechner auf den Simulator und auf das Testobjekt realisiert.

Vergleich Simulation und Realität

Zur Bewertung der Güte des Echtzeitmodells wurden zunächst an einem realen Versuchsaufbau mit Hilfe der im Antrieb integrierten Autotuning-Funktion die Parameter eines 11-kW-Synchronmotors ermittelt. Nach diesem automatischen Reglerentwurf wurden Sprungantworten der Strom- und Drehzahlregelung gemessen. Anschließend wurde das HIL-Motormodell mit den am echten Aufbau identifizierten Motordaten parametrisiert und die Sprungantworten wurden mit identischer Reglerparametrierung für das Testobjekt am HIL-Simulator aufgezeichnet. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung der entsprechenden Verläufe (Abbildung 4).

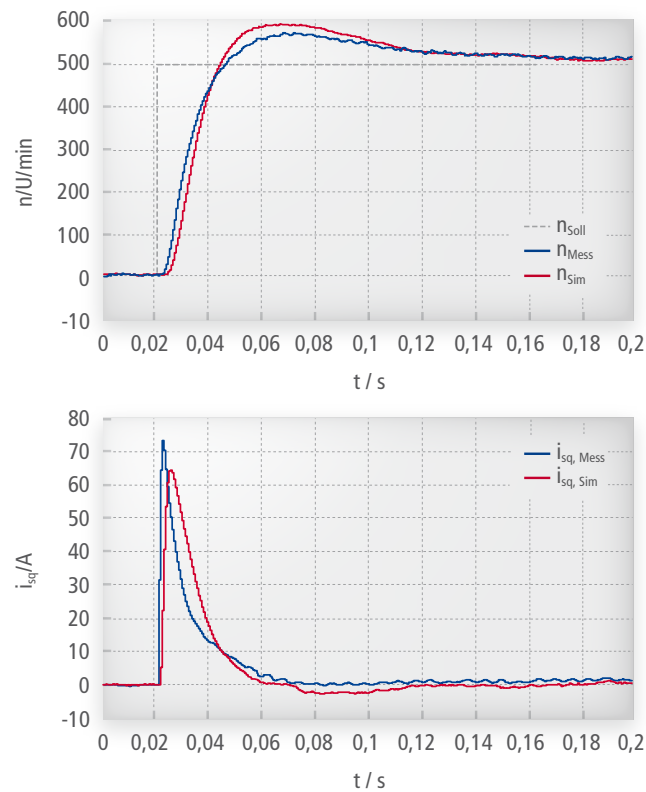


Abbildung 4: Vergleich der Drehzahlregelung in der HIL-Simulation (rot) und mit realem Versuchsaufbau (blau) jeweils bei einer Abtastung mit 125 μ s.

Ausblick

Die HIL-Simulation von elektrischen Antrieben in Echtzeit ist mit der performanten dSPACE-Hardware und darauf abgestimmten speziellen Simulationsalgorithmen mit einer hohen Qualität möglich. Die Genauigkeit des Echtzeitmodells ist dabei so gut, dass sogar regelungstechnisch anspruchsvolle Untersuchungen durchgeführt werden können. Neben der automatischen Durchführung von Softwaretests für Servoregler ergaben sich bei LTi weitere interes-

sante Anwendungsmöglichkeiten für den HIL-Simulator:

- Optimierung von Reglerparametern für Kundenapplikationen, um Inbetriebnahmen vor Ort vorzubereiten und zu beschleunigen.
- Frühzeitige Erprobung von Software-Prototypen, um Regelungsfunktionen hardware-nahen Tests zu unterziehen.

- Frühzeitige regelungstechnische Bewertung der Entwurfsdaten von Sondermotoren für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. ■

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Küsterarent,
Dipl.-Ing. Jens Schirmer,
Dr.-Ing. Harald Wertz,
Dipl.-Ing. Ulrich Schumacher
LTi DRIVES GmbH,
Unna, Deutschland



Von links nach rechts:

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Küsterarent
entwickelt das Software-Framework
zur Testautomatisierung.

Dipl.-Ing. Jens Schirmer
entwickelt die Echtzeitmodelle.

Dr.-Ing. Harald Wertz
ist Leiter der Software-Entwicklung.

Dipl.-Ing. Ulrich Schumacher
ist Projektleiter für das Projekt
HIL-Software-Test.