

Testsystem zur Absicherung von Steuergeräten
elektrischer Lenksysteme auf Leistungsebene

Sicher gelenkt

Elektrische Lenksysteme gehören zu den sicherheitskritischen Komponenten eines Fahrzeugs. Ihre Entwicklung unterliegt daher hohen Sicherheitsanforderungen. Der japanische Lenksystemhersteller JTEKT hat für die Steuergeräteentwicklung einen ISO-26262-konformen Prozess und ein leistungsfähiges Testsystem installiert.

Entwicklung sicherheitskritischer Systeme

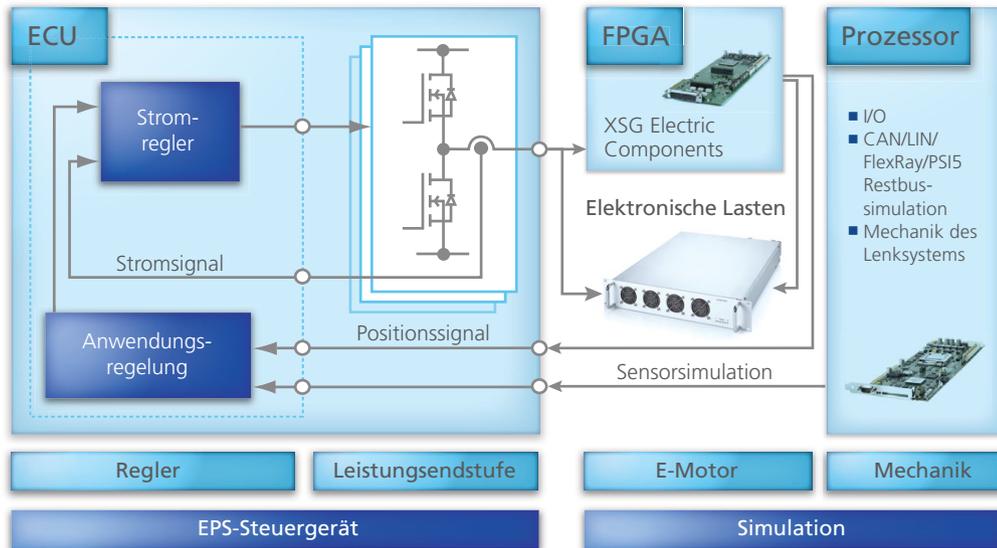
Die automotiven Komponenten wie Lenksysteme und Antriebskomponenten, die JTEKT an die Automobilhersteller liefert, unterliegen sehr hohen Sicherheitsanforderungen. Das betrifft insbesondere die elektrischen Lenksysteme, deren Steuergeräteentwicklung ISO-26262-konform durchzuführen ist. Die ISO 26262 ist ein Sicherheitsstandard, der die funktionale Sicherheit elektrischer/elektronischer Systeme in Kraftfahr-

zeugen adressiert. Sie definiert ein Vorgehensmodell zusammen mit geforderten Aktivitäten und Arbeitsprodukten sowie anzuwendenden Methoden in Entwicklung und Produktion.

Eine wesentliche Voraussetzung für die ISO-26262-konforme Entwicklung ist ein vollständiger, durchgängiger Entwicklungsprozess, der die Verwaltung von Kundenanforderungen, die Evaluierung von Zwischenergebnissen sowie die finale Verifikation umfasst.

Das Testsystem für Lenksystem-Steuergeräte mit Bedienplatz.





Komponenten der Lastabbildung. Links das EPS-Steuergerät und rechts der Simulator mit den beiden Recheneinheiten (FPGA, Prozessor) sowie der Leistungsendstufe.

Sicherheitsanforderungen für elektrische Lenksysteme

Jedes Projekt beginnt mit einer Gefahrenanalyse und einer Risikobewertung. Darauf basierend wird es in eine Sicherheitsanforderungsstufe (Automotive Safety Integrity Level, ASIL) eingeordnet. Das Projekt für elektrische Lenksysteme ist nach ASIL D klassifiziert, der Sicherheits-

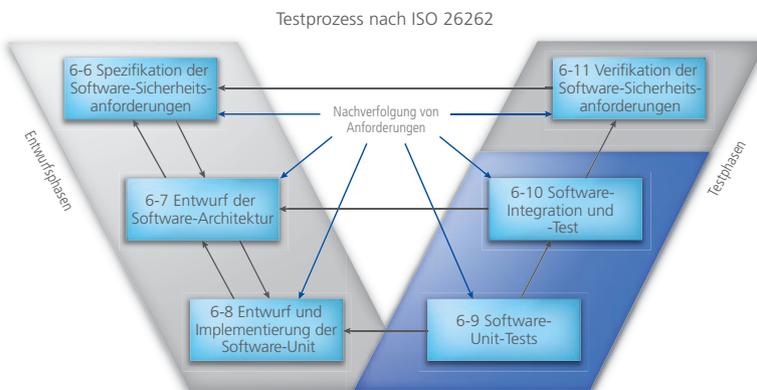
stufe mit den höchsten Anforderungen. Für die Absicherung der Steuergeräte im Rahmen der ISO 26262 entstehen über 100 Testanforderungen (Items). Um diese Anforderungen in allen Kundenprojekten effizient zu erfüllen, ist ein klar definierter und strukturierter Arbeitsprozess erforderlich, der eine zügige, vollständige Testdurchführung gewährleistet.

Insbesondere müssen Anforderungen durchgängig bis zu den Ergebnissen der Testauswertung nachverfolgbar sein.

Lösungsansatz: Durchgängige Werkzeugkette

Für einen durchgängigen, transparenten Prozess bedarf es einer geeigneten Werkzeugkette. Zu deren wesentlichen Komponenten zählen zwei Systeme: Eins für die Anforderungsverwaltung und eins für den Steuergerätestest. Für das Verwalten der Anforderungen nutzt JTEKT die Software Rational DOORS® von IBM®. Für die Steuergerätestests ist das Hardware-in-the-Loop (HIL)-Verfahren etabliert und entsprechende Simulatoren sind bei JTEKT im Einsatz. Für die Absicherung einer neuen Familie elektrischer Lenksysteme (Electric Power Steering, EPS) wurde daher der Aufbau eines speziell für die Testaufgabe ausgelegten HIL-Systems geplant.

Der Entwicklungsprozess für das elektrische Lenksystem folgt den Testphasen der ISO 26262. Die Testaktivitäten betreffen die Bereiche Software-Unit-Tests und Software-Integration und -Test.



Generelle Anforderungen an das Testsystem

Der EPS-Steuergerätestest ist auf Leis-

„Um die Regler unseres elektrischen Lenksystems effizient nach den ASIL-D-Sicherheitsanforderungen zu evaluieren, ist die automatische Testausführung mit einem Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator unverzichtbar.“

Hirozumi Eki, JTEKT

tungsebene durchzuführen, da eine Steuergrätemodifikation für Signalzugriffe nicht möglich ist. Zu den Hauptaufgaben des HIL-Simulators gehört daher die Emulation des elektrischen Motors. Erforderlich ist dabei die präzise Abbildung der Motorströme. Ein HIL-Simulator muss deswegen sehr schnelle Vorgänge und hohe Ströme exakt abbilden. Darüber hinaus muss der Simulator flexibel genug sein, um alle automotiven Komponenten per Modell nachzubilden, die für den Steuergerätestest relevant sind. Letztendlich bedarf es einer vollständigen Automatisierung aller Tests, wobei Anforderungen, Testfälle und Testergebnisse durchgängig und nachvollziehbar miteinander verknüpft sind.

Projektspezifische Anforderungen

Für das Entwicklungsprojekt Elektrisches Lenksystem entstanden detailliertere Anforderungen, die technische und organisatorische Aspekte umfassen:

- 1) Erstellung automatisierter, betriebsbereiter Testsequenzen für die Testingenieure
- 2) Signalgenerierung notwendiger HIL-Signale für das Steuergerät, wie vom Anwender in Testsequenzen vorgegeben
- 3) Signalmessung des HIL-Simulators und des Steuergeräts sowie Parametrierung von Konstanten während der Testsequenzen
- 4) Automatische Bewertung der Testergebnisse als Statusmeldung
- 5) Export von Testdaten (Messdaten aus 3), Bewertung von 4)) für ein externes System

- 6) Ausgabe der Motorsimulationsgrößen: Motorphasenstrom, Motorphasenspannung der ECU-Endstufe und induzierte Gegenspannung (Back-EMF)

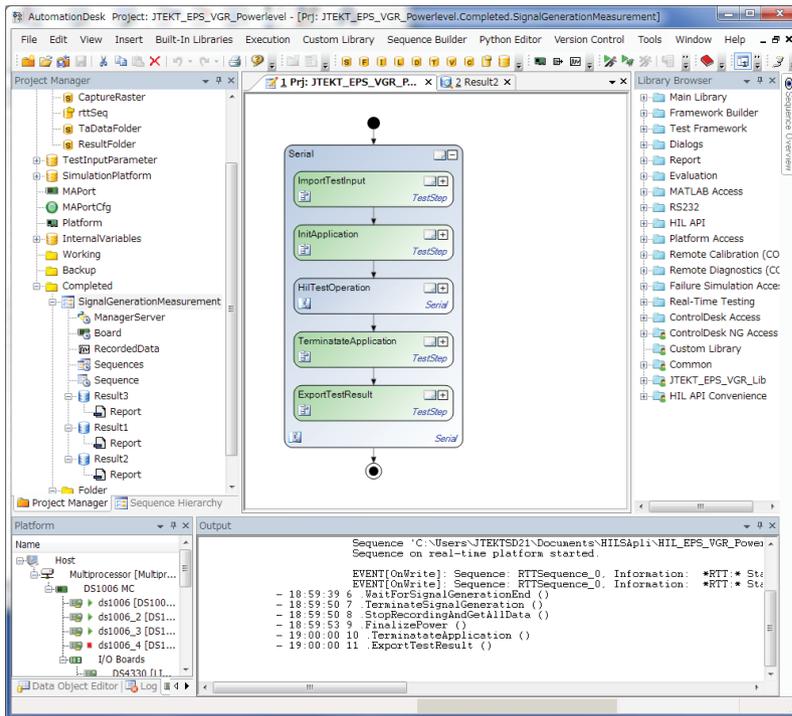
Das Testsystem

Nach Sichtung und Bewertung verschiedener Lösungen am Markt erhielt dSPACE den Auftrag, ein Testsystem gemäß den Anforderungen des EPS-Projekts aufzubauen. Der Simulator besteht aus einer Recheneinheit (DS1006 Quad-Core Processor Board) zur Simulation mechanischer E-Motor-Komponenten und diverser Restbusaufgaben sowie einer schnellen FPGA (Field Programmable Gate Array)-Recheneinheit (DS5203) für den elektrischen Motor. Diese steuert ein elektrisches Lastsystem, um den E-Motor auf Leistungsebene zu emulieren. Dafür wird das DS5381 Electronic Load Module eingesetzt. Es verfügt über kaskadiert schaltende MOSFET-Endstufen, die Schaltfrequenzen bis zu 3,2 MHz ermöglichen und so eine hochdynamische Abbildung der Motorströme gewährleisten. Darüber hinaus sind im Simulator CAN/LIN/FlexRay-Schnittstellen enthalten, um eine Rest-

bussimulation der angeschlossenen Systeme durchzuführen. Für die Simulation von Sensoren für sicherheitskritische Anwendungen steht eine Peripheral-Sensor-Interface-5 (PSI5)-Schnittstelle (DS2302) zur Verfügung. Um das Verhalten des Steuergeräts beispielsweise bei Lei-



dSPACE Simulator mit hochdynamischem Lastemulator DS5381 (Mitte).

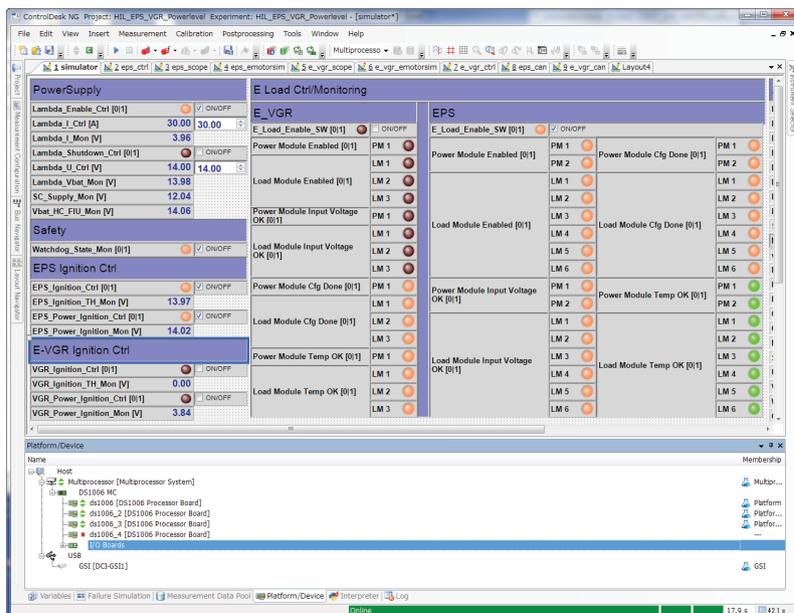


Die automatisierten Tests werden mit AutomationDesk definiert, durchgeführt und ausgewertet.

tungsschlüssen zu prüfen, ist eine Failure Insertion Unit (FIU) verbaut, die mit Hochstrom-Schützen ausgestattet ist. Die E-Motorsimulation

des bürstenlosen Gleichstrommotors (BLDC-Motor) des EPS-Lenksystems wird mit einem BLDC-Motormodell aus der XSG Electric Components

Die Signalüberwachung und -anzeige erfolgt mit ControlDesk Next Generation.



Library auf dem FPGA durchgeführt. Aus der gleichen Bibliothek sind Modelle für die Simulation des Positionsgebers und der Winkeluhr (Angular Processing Unit, APU) implementiert. Zur Bewertung von Signalen ist ein Software-Oszilloskop aus der XSG Utils Library auf dem FPGA enthalten, mit dem simulierte Signale (z.B. Motorströme) oder über die FPGA-I/O gemessene Signale (z.B. Phasenspannungen an der ECU-Endstufe) aufgezeichnet und visualisiert werden können. Die zeitliche Auflösung liegt im Bereich von Nanosekunden.

Bewertung des Testsystems

Nach Anlieferung des Simulators konnte er mit Hilfe des Engineering-Supports von dSPACE sofort in Betrieb genommen werden, ohne Änderungen oder Einstellungen vornehmen zu müssen. So haben die Entwickler die komplette Vorbereitungszeit eingespart. Bei Bedarf wird die Unterstützung von dSPACE auch nach der Inbetriebnahme des Simulators zur Verfügung stehen.

Das Testsystem erfüllt die Anforderungen für einen umfassenden EPS-Test auf Leistungsebene. Die Bewertung der gemessenen und simulierten Ströme, Drehmomente und Positionssignale für vorgegebene Lenkmanöver liefert plausible Ergebnisse mit der erwarteten Präzision. Die implementierte FPGA-Recheneinheit in Kombination mit der Lasteinheit garantiert einen stabilen Closed-Loop-Betrieb von EPS-Steuergerät und simuliertem E-Motor mit ausreichend schnellen Abtastzeiten. Durch den Einsatz von ControlDesk Next Generation und AutomationDesk lässt sich das Testsystem einfach bedienen und automatisieren. Zusätzlich bietet die generische serielle Schnittstelle DCI-GS11 direkten Zugriff auf das Steuergeräte-RAM, so dass die Tester über die Vorgänge im EPS-Steuergerät genau informiert sind und beispielsweise Diag-

„Für die E-Motorsimulation unseres Lenksystems setzen wir auf das DS5203 FPGA Board und die XSG Electric Components Library von dSPACE. Die erzielte Leistungsfähigkeit und Güte sind für unsere Anwendung bestens geeignet.“

Tetsuya Nozawa, JTEKT

noseaufgaben durchführen können. Die geforderte Nachverfolgbarkeit der mit DOORS verwalteten Anforderungen ist in der Werkzeugkette gewährleistet.

Fazit und Ausblick

Der dSPACE Simulator und die integrierte Lasteinheit haben sich im Entwicklungsprojekt bewährt. Die EPS-Steuergeräte für die Lenksysteme verschiedener Kundenfahrzeuge wurden erfolgreich abgesichert. Da das Produktportfolio von dSPACE das gesamte V-Modell abdeckt, konnten die Tests am HIL-System auch mit den Ergebnissen anderer Werkzeuge aus den Bereichen Rapid Control Prototyping (MicroAutoBox) und Seriercode-Generierung (Target-Link) abgestimmt werden. Zur Simulation eines weiteren E-Motors für ein Übersetzungsgetriebe (Electronically Controlled Variable Gear Ratio Steering, E-VGR) ist der Simulator schon mit einem weiteren FPGA-

Board und einem DS5381 Electronic Load Module vorbereitet. Um die mechanische Belastung des Lenksystems und damit die Belastung des simulierten E-Motors abzubilden, wird zukünftig das Simulationsmodell ASM Vehicle Dynamics eingesetzt. Es ist geplant, das Testsystem nicht nur für die Absicherung der Steuergeräte zu verwenden, sondern auch in frühen Phasen der Entwicklung, um Funktionen frühzeitig zu testen und zu optimieren. Dazu arbeiten wir mit dSPACE an geeigneten Lösungen. Um in diesem Zusammenhang alle Daten durchgängig und kompatibel zu verwalten, entsteht weiterer Bedarf für Werkzeuge, u.a. für das Datenmanagementwerkzeug SYNECT®. ■

*Hirozumi Eki,
Tetsuya Nozawa,
JTEKT*

Zusammenfassung

Der japanische Lenksystemhersteller JTEKT entwickelt seine neuen elektrischen Lenksysteme (EPS) ISO-26262-konform. Um Anforderungen in allen Phasen der Entwicklung nachzuvollziehen, setzt JTEKT auf eine durchgängige Werkzeugkette, in der das Anforderungsmanagementwerkzeug IBM DOORS, der dSPACE Simulator und das Testautomatisierungswerkzeug dSPACE AutomationDesk eine wesentliche Rolle spielen.

Für eine vollständige Absicherung führt JTEKT die Steuergerätestests mit dem Hardware-in-the-Loop (HIL)-Verfahren auf Leistungsebene durch. Dazu muss der Simulator das elektrische Verhalten des E-Motors präzise emulieren. Gelöst wird diese Aufgabe mit einer schnellen FPGA-Recheneinheit (DS5203) in Kombination mit dem Electronic Load Module (DS5381). Sie gewährleisten die hochdynamische Abbildung hoher Motorströme in Echtzeit. Mit der aufgebauten Werkzeugkette entwickelt JTEKT ESP-Steuergeräte ISO-26262-konform und sichert sie zuverlässig ab.

Hirozumi Eki

Hirozumi Eki ist Büroleiter in der Systementwicklung 2 bei JTEKT in Shinpukujichou, Okazaki, Japan.



Tetsuya Nozawa

Tetsuya Nozawa ist Entwicklungsingenieur bei JTEKT in Shinpukujichou, Okazaki, Japan.

