



Dynamische Zündfolge

Stellen Sie sich einen Verbrennungsmotor vor, bei dem jeder Zylinder variabel gezündet oder übersprungen werden kann, um das vom Fahrer geforderte Drehmoment bereitzustellen. Die Ingenieure von Tula Technology mit Sitz im kalifornischen Silicon Valley haben diese Vision umgesetzt und erwarten eine Serienfertigung mit mehreren Herstellern.



Dynamic Skip Fire (DSF) ist der Name der neuen Technologie von Tula, die für jeden Zylinder individuell entscheidet, ob und wann er gezündet wird und auf diese Weise einen besonders effizienten Betrieb des Motors ermöglicht. Dazu gibt die Motorsteuerung die Anzahl und Reihenfolge der zu zündenden Zylinder vor, um das benötigte Drehmoment bereitzustellen (Abbildung 1).

Dynamische Zündungen steigern Komfort und Effizienz

Eine der größten Herausforderungen bei der Implementierung der Zylinderabschaltung liegt in der Umsetzung eines serienreifen NVH (Noise, Vibration, Harshness)-Verhaltens des Antriebsstrangs. Um dies zu gewährleisten, vermeiden die intelligenten Algorithmen von Tula ungünstige Frequenzen und sorgen so jederzeit für ein komfortables Fahrerlebnis. Durch die kontinuierliche zeitliche Steuerung der Zündfolge durch das DSF lassen sich Resonanzfrequenzen vermeiden und so sehr gezielt Geräusche unterdrücken und Schwingungen reduzieren (Abbildung 2).

Kosteneffiziente Lösung

Unter den am Markt verfügbaren kraftstoffsparenden Low-Cost-Technologien ist DSF mit einer Kraftstoffeinsparung von bis zu 20% die derzeit leistungsfähigste. Ein weiterer Vorteil besteht in der Kompatibilität zu anderen kraftstoffsparenden Technologien wie Direkteinspritzung, Turboaufladung, Start/Stop-Systemen, Mild-/Vollhybriden. Verschiedene OEMs und Tula arbeiten gemeinsam daran, die Technologie zur Serienreife zu bringen.

Entwicklungsaufgaben für den Einsatz in der Praxis

Die Kernkompetenz von Tula sind Algorithmen für die variable Zylinderabschaltung und zur NVH-Unterdrückung. Um die Praxistauglichkeit der Algorithmen nachzuweisen, müssen sie in einem Demonstrationsfahr-

>>

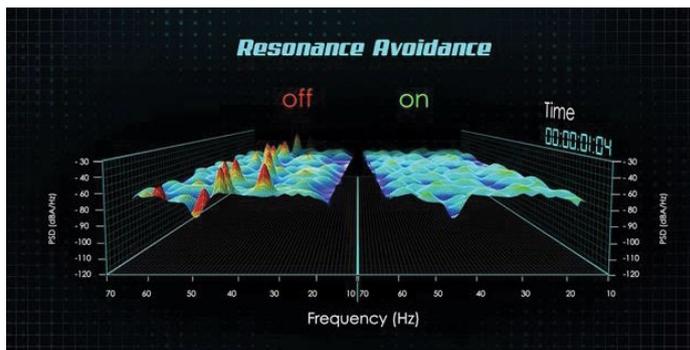
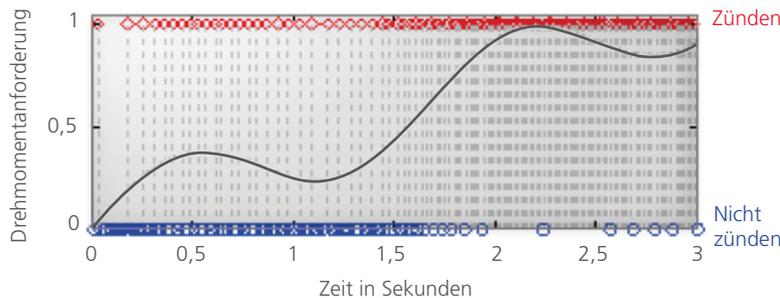


Abbildung 1 (oben): Abhängig von der Drehmomentanforderung trifft Dynamic Skip Fire zylinderspezifische Zündentscheidungen.

Abbildung 2 (unten): Intelligente Algorithmen vermeiden Störfrequenzen und bieten so eine Komfortoptimierung.

zeug implementiert und ausgeführt werden. Dies geschieht mit einem Prototyping-System, das zur Steuerung eines GMC Yukon Denali V8-Motors verwendet wird. Vor ihrem Einsatz am realen Motor gilt es, die Algorithmen zunächst funktional abzusichern. Hierfür bietet sich eine Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testumgebung an. Um die Gesamtentwicklungsdauer bis zur Fertigstellung der QA (Quality Assurance)-Tests zu reduzieren, soll das HIL-System auch für Entwicklungsaufgaben zur Verfügung stehen. Dazu müssen sowohl die Software-Entwickler als auch die Test- und QA-Ingenieure Zugriff auf den HIL-Prüfstand haben. Darüber hinaus soll der Zugriff auf den HIL-Prüfstand auch von mehreren Standorten aus möglich sein.

Kombinierte Werkzeugkette

Für den prototypischen Betrieb der DSF-Technologie auf Kundenplattformen entschied sich Tula für das Rapid-Prototyping-Werkzeug MicroAutoBox II von dSPACE. Für die funktionale Absicherung der Reglersoftware entwickelte Tula einen HIL-Prüfstand, der die aktuelle ASAM (Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems) HIL API (Application Programming Interface) verwendet. Der HIL-Prüfstand empfängt die analogen und digitalen I/O-Signale von einer aus Hard- und Software bestehenden Motorsimulation eines Drittanbieters. Diese Motorsimulation überträgt außerdem die Kurbel- und Nockenwellensignale an die MicroAutoBox II, die ihrerseits die DSF-

Software ausführt. dSPACE AutomationDesk ist das Testmanagementwerkzeug, um die Tests auf der DSF-Software auszuführen. Alle Komponenten sowie AutomationDesk kommunizieren über eine gemeinsame Schnittstelle.

Eine kombinatorische Herausforderung

Um einen reproduzierbaren und betriebssicheren Prozess zu gewährleisten, mussten unterschiedliche Vorgänge kombiniert werden: das Abrufen von Quellcode und Automatisierungstestskripten, das Kompilieren von Quellcodes für die Prüfstände, das Laden der ausführbaren Dateien auf den Ziel-HIL-Prüfstand, die Ausführung der automatisierten Testskripte, das Generieren der Berichte sowie die Ergebnisarchivierung für Review- und Auditingzwecke.

Mit Automatisierung zum Ziel

Für die Umsetzung der Prozessschritte schuf Tula geeignete Softwarelösungen. Die erste besteht aus der Kombination der Motorsimulation mit der MicroAutoBox II über AutomationDesk als Rahmen für die Testautomatisierung. Die Realisierung erfolgt mit Hilfe der aktuellen Version des ASAM-Standards HIL API. Mittels HIL API lassen sich Python-basierte Testskripte als AutomationDesk-Testfälle schreiben und ausführen. Alle Testfälle liegen in Form von AutomationDesk-Projekten vor. Die Projekte können auf dem HIL-Prüfstand sowohl im geschlossenen als auch im offenen Regelkreis ausgeführt werden. In der Regel geschieht dies bei der Durchführung bereits bestehender FTP (Fuel Test Profile)-Fahrzeugzyklen. Bei AutomationDesk-Projekten ist es zudem möglich, Daten für die Testfälle zu erfassen und aufzuzeichnen, gegen vorab definierte PASS-FAIL-Kriterien zu vergleichen und umfassende Berichte über die durchgeführten Testläufe zu generieren.

„Unser Ziel ist eine vollständige Automatisierung der Tests. Deshalb verwenden wir dSPACE AutomationDesk mit ASAM HIL API.“

James McKeever, Tula Technology

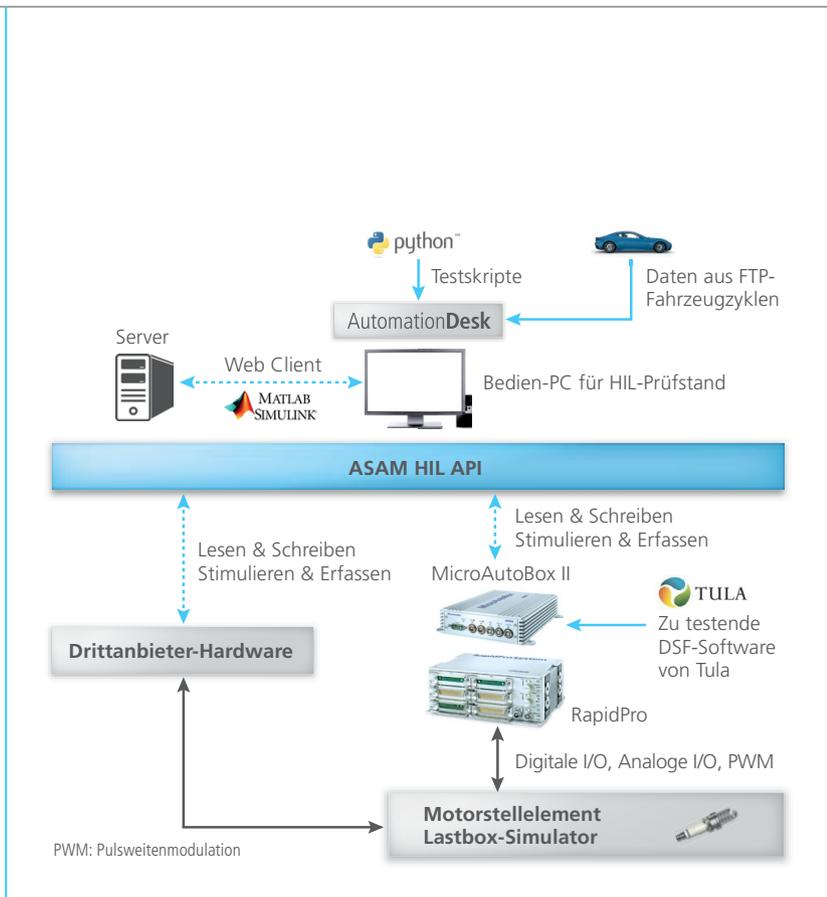


Abbildung 3: Das webbasierte Tool WebCarLab ermöglicht Fernzugriffe auf den komplexen HIL-Prüfstand.

WebCarLab – Die optimale Lösung

Tula entwickelte das webbasierte Testautomatisierungswerkzeug WebCarLab um sicherzustellen, dass die Tests von einem zentralen Quellcode-Speicherort aus durchgeführt werden und um mehrere Fernzugriffe auf den HIL-Prüfstand zu ermöglichen (Abbildung 3). Die Anwendung kommuniziert mit einem Software-Configuration-Man-

agement (SCM)-System und bietet eine Web-Schnittstelle. WebCarLab verfügt über eine intuitive Benutzeroberfläche, die es Anwendern erlaubt, die Tests am HIL-Prüfstand entweder interaktiv oder im Batch-Modus (Stapelverarbeitung) auszuführen. Hat sich der Benutzer für einen Modus entschieden, überprüft WebCarLab den Code aus dem SCM-System und führt

die ausgewählten Testfälle durch. Zusätzlich zur Generierung von Testberichten erstellt WebCarLab auch alle Artefakte, die zu den Testergebnissen führen und archiviert die Testberichte für zukünftige Audits. ■

Das Video zeigt
Dynamic Skip Fire
im Einsatz.



Paul Liu

Paul Liu ist Manager und Embedded Software Engineer bei Tula Technology, Inc. in San Jose, CA, USA.



James McKeever

James McKeever ist Senior Embedded Software Test Engineer bei Tula Technology, Inc. in San Jose, CA, USA.



Abhijit Bansal

Abhijit Bansal ist Embedded Software Controls and Test Engineer bei Tula Technology, Inc. in San Jose, CA, USA.

