



FPGA-basierte Simulationsmodelle für hochdynamische Regelstrecken

# Auf zu schnelleren Zeiten

In anspruchsvollen, hochdynamischen Elektromobilität-Anwendungen bieten FPGAs einen enormen Performance-Schub für die Echtzeitsimulation. Mit vollständig FPGA-basierten Simulationsmodellen geht dSPACE jetzt einen Schritt weiter in Richtung Zukunft.

Bei der Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation dienen FPGAs (Field-Programmable Gate Array) typischerweise zur Entlastung des Prozessors. Dabei werden besonders zeitkritische I/O-Berechnungen der Simulationsmodelle auf das FPGA ausgelagert, so dass auf dem Prozessor mehr Kapazität zur Berechnung des Streckenmodells verfügbar ist. Diese Vorgehensweise ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Modelle nicht zu komplex oder die Abstraten nicht zu hoch sind. Bei der Reglerentwicklung von dynamischen, hochgenauen Steuergeräten für Elektrofahrzeuge stößt diese Vorgehensweise manchmal an ihre Grenzen. Die Lösung ist, nicht nur die I/O, sondern das komplette Streckenmodell auf das FPGA auszulagern. dSPACE bietet dafür jetzt eine fertige Bibliothek mit sofort einsetzbaren Komponenten (Abbildung 1).

### Für höchste Dynamikanforderungen

Bei konventionellen Ansätzen reicht die Rechenleistung von Prozessoren oft nur für die Simulation von Mittelwertmodellen aus, wobei das Ausgangssignal oft nur einmal pro PWM-Zyklus aktualisiert werden kann. Bei höchsten Anforderungen an Dynamik und Signalgenauigkeit bietet die FPGA-basierte Modellberechnung entscheidende Vorteile. So erzielen FPGAs sehr hohe Abstraten, die es ermöglichen, die Ausgangssignale auch deutlich öfter als einmal pro PWM-Zyklus zu aktualisieren. Damit wird eine deutlich höhere Simulationsgüte erreicht (Abbildung 3). Zum Beispiel ist es mit der hochfrequenten Simulation möglich, die durch PWM-Ansteuerung hervorgeru-

rufene Stromwelligkeit in Induktivitäten zu simulieren, die Präzision bei der Simulation hoher Frequenzen zu verbessern und eine hohe Stabilität des Regelkreises zu gewährleisten. Im Vergleich zum prozessorbasierten Modell verringern sich die Zykluszeiten von typischerweise 50  $\mu$ s auf 100 ns.

### Komfortable Modellbibliothek

Um die Erstellung von FPGA-basierten Modellen so komfortabel wie möglich zu gestalten, bietet dSPACE eine Bibliothek mit vollständig modellierten elektrischen Komponenten, die XSG Electric Components Library. Diese Bibliothek steht während der Arbeit mit Simulink® zur Verfügung. Die Modelle sind mit dem Xilinx® System Generator (XSG) Blockset erstellt und werden bei der Code-Generierung direkt in VHDL-Code umgesetzt, der auf einem FPGA, z. B. auf dem DS5203 FPGA Board, lauffähig ist. Durch eine teilautomatisierte Generierung der Schnittstellen benötigen Anwender für viele Projekte keine speziellen Kenntnisse der FPGA-Programmierung, sondern nur Erfahrungen im Umgang mit Simulink.

Die FPGA-Bibliothek enthält die fertigen Modelle folgender Komponenten:

- Permanentmagnet-Synchronmotor
- Bürstenloser Gleichstrommotor
- Gleichstrommotor
- Dreiphasiger Wechselrichter
- Drehgeber
  - Resolver
  - Sinus-Encoder
  - TLL-Encoder
  - Hall-Encoder
- Hilfsmittel
  - Mittelwertberechnung
  - Kennfelder: 1D, 2D
  - Scope-Funktion
  - Mittensynchrone PWM-Vermessung

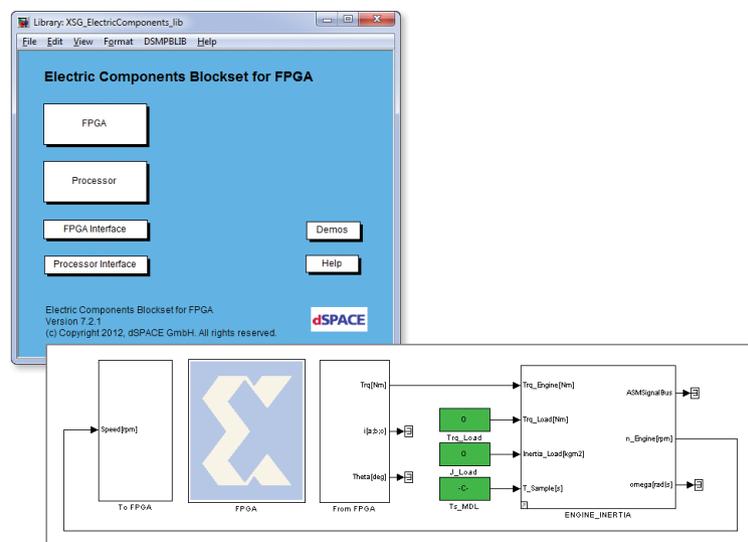
### Vorteile der FPGA-basierten Simulation

Neben der sehr schnellen Rechengeschwindigkeit bieten die FPGA-basierten Modelle von dSPACE weitere Vorteile:

#### ■ Projektspezifische Anpassungen

Die Modelle sind offen und ihre Implementierung kann bis auf Basisblockebene nachvollzogen werden. Dadurch können Anwender

Abbildung 1: Die XSG Electric Components Library enthält fertige Modellkomponenten, die direkt verwendet werden können.



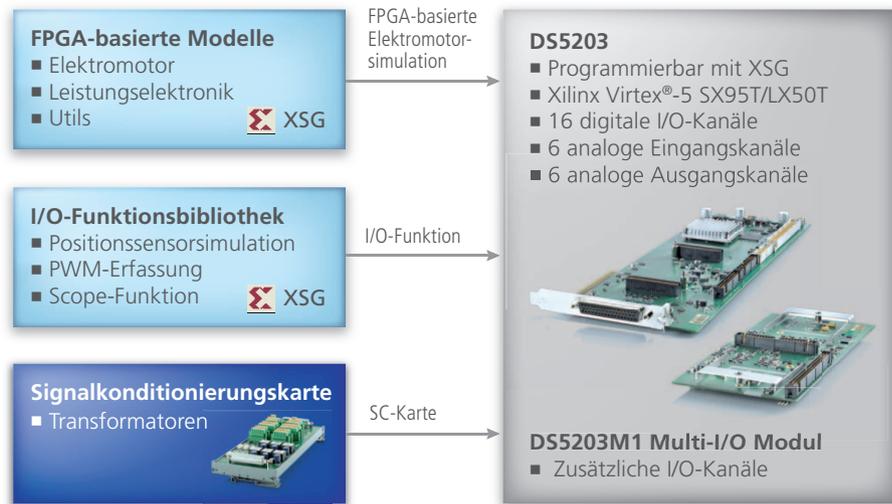


Abbildung 2: Bei der FPGA-basierten Simulation kommen die FPGA-Simulationsmodelle sowie das DS5203 FPGA Board mit eventuell zusätzlichen Modulen zum Einsatz.

projektspezifische Anpassungen selbst vornehmen, oder sie werden auf Wunsch im Rahmen des dSPACE Engineerings realisiert. So ist es möglich, flexibel auf kurzfristige Projekt- oder Anforderungsänderungen zu reagieren.

- **Modellkomponenten erweitern**  
Die Offenheit der Modelle ermöglicht nicht nur die freie Anpassung; der Anwender kann sie auch durch spezifische, eigene Modellkomponenten erweitern und ergänzen.
- **Offline- und Online-Simulation**  
Die Funktionsentwicklung am PC wird per Offline-Simulation unterstützt. Dasselbe Modell und dieselbe Parametrierung können durchgän-

gig in allen Phasen der Entwicklung genutzt werden. So lassen sich Tests einfach wiederverwenden und Simulationsergebnisse unterschiedlicher Phasen leicht vergleichen.

#### Know-how aus der Praxis

Um ihre intuitive und einfache Nutzung sicherzustellen, flossen in den Aufbau der FPGA-Bibliothek die Erfahrungen aus vielen Kundenprojekten ein. Die I/O-Funktionen sind an die Funktionen der speziell für die HIL-Simulation von Elektromotoren ausgelegten I/O-Karte, der dSPACE EMH Solution, angelehnt. Auch bei deren Entwicklung nutzte dSPACE die Erfahrungen aus zahlreichen Kundenprojekten.

Die Modelle sind so strukturiert, dass beispielsweise die Berechnung des hochdynamischen Elektromotormodells und des Resolver-Modells parallel auf dem FPGA erfolgen. Per RTI-Interface kommunizieren sie mit einem langsameren Mechanikmodell auf der Prozessorkarte.

#### Leistungsfähige Kombination aus Hardware und Software

Die neue FPGA-Bibliothek ist optimal für den gemeinsamen Einsatz mit dem frei programmierbaren DS5203 FPGA Board geeignet. Der Anwender kann vollständige Modellkomponenten aus der Bibliothek auf dem FPGA implementieren, beispielsweise ein Permanentmagnet-Synchron-

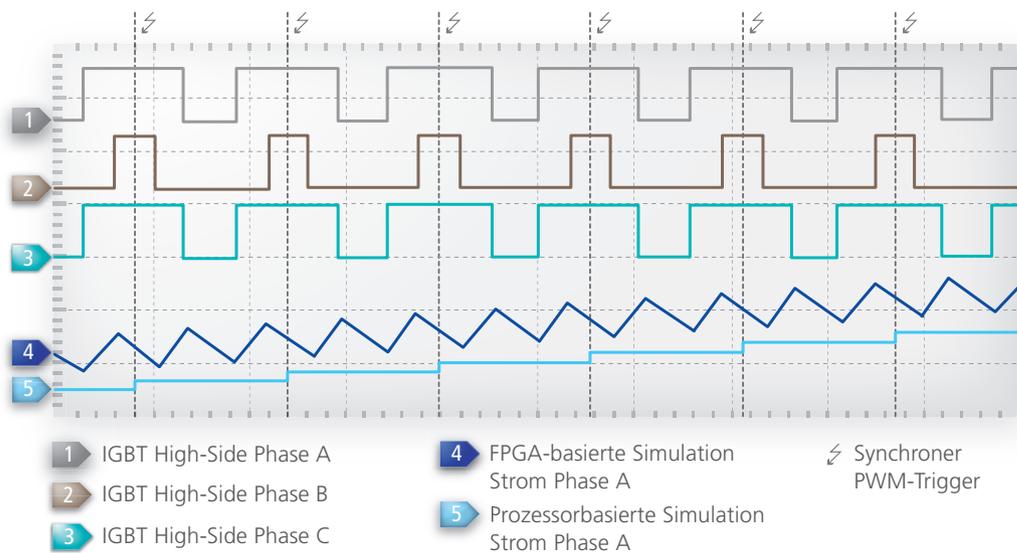


Abbildung 3: Vergleich der Signalqualität von prozessorbasierten und FPGA-basierten Modellen.

motor-Modell samt Resolver-Modell. Das FPGA-Modell wird in ein Gesamtmodell integriert, das auf einer Prozessorkarte ausgeführt wird. Die notwendigen Schnittstellen werden automatisch erstellt. Die Verbindung zwischen dSPACE Hardware und Simulink erfolgt wie gewohnt per Real-Time Interface (RTI) Blockset. I/O-Aufsteckmodule erweitern das DS5203, dessen Kanalzahl sich beispielsweise durch das Modul DS5203M1 verdoppeln lässt. Weitere spezielle Karten bieten zum Beispiel die für die Simulation von Elektromotoren benötigte Signalconditionierung inklusive Transformatoren für die Resolver-Simulation.

### Anwendungsbeispiele

Typische Anwendungsgebiete der XSG Electric Components Library sind die HIL-Simulationen hochdynamischer Regelstrecken im Bereich der elektrischen Antriebstechnik. Durch die Kombination aus schneller Modellberechnung und niedriger I/O-Latenzzeit ergeben sich Vorteile,

um auch diese Herausforderungen zu meistern:

- Die für die Entwicklung analoger Stromregler notwendige realistische Abbildung des Stromverlaufs mit einer Abtastrate deutlich über einmal pro PWM-Periode.
- Die Simulationen elektrischer Kreisfrequenzen größer 1000 Hz bringt die prozessorbasierte Simulation an ihre Grenzen. Die Nutzung der FPGA-Technologie erweitert diesen Bereich um ein Vielfaches. Mit einem FPGA-basierten Modell ist die Berechnung um ein 500-faches schneller.
- Gerade bei hochdynamischen Anwendungen wie zum Beispiel DCDC-Konvertern sind höhere PWM-Frequenzen nötig. Bei diesen Frequenzen größer 20 kHz kann die realistische Nachbildung von Strom und Spannung nur noch durch FPGA-basierte Simulation erreicht werden.
- Bei der Simulation eines Elektromotors auf Leistungsebene müssen

Spannungs- und Stromwerte möglichst realitätsnah abgebildet werden. Das ist notwendig, da diese Sollwerte als Ansteuersignale für die elektronische Last dienen. Auch hier ist eine schnelle Berechnung unumgänglich. ■

### Fazit

- Komfortable Erstellung FPGA-basierter Modelle durch fertige Komponenten
- Schnelle projektspezifische Anpassungen des Modells
- Online- und Offline-Simulation
- FPGA-basierte Simulation bietet gegenüber der prozessorbasierten Simulation einen weitaus höheren Realitätsgrad.