



© NXP

Neue Mikrocontroller zur Steuerung von Traktionswechselrichtern in E-Fahrzeugen

Reichweite erhöhen und Systemkosten senken

Der schnell wachsende Markt für Elektrofahrzeuge bringt neue Chancen und Herausforderungen mit sich. Der Traktionsumrichter spielt dabei eine Schlüsselrolle. Um diesen effizient zu steuern, hat NXP mit der S32K39-Serie eine neue Familie von Mikrocontrollern entwickelt.

Brian Carlson

Vom Verbrenner zum Elektrofahrzeug – die Automobilindustrie befindet sich im Wandel. Diese Entwicklung hat mehrere Ursachen. Zum einen steigt, unterstützt durch staatliche Vorgaben und Anreize, weltweit der Druck zur Reduzierung der Treibhausgase. Gleichzeitig wächst bei Verbrauchern das Bewusstsein für und das Interesse an den Vorteilen von Elektrofahrzeugen in dem Maß wie ihre Kosten geringer, ihre Reichweite größer und die Ladeinfrastruktur besser wird. Viele Marktforscher gehen davon aus, dass bis 2030 50 Prozent der jährlich verkauften Neufahrzeuge elektrisch sein werden.

Einige wenige Schlüsselkomponenten unterstützen den elektrischen Antriebsstrang, der auf einem Hochspannungsbatteriepaket (~400–800 VDC) mit einer typischen Kapazität von 40 bis 200+ kW/h und einem oder mehreren Elektromotoren basiert. Ein bordeigenes Ladegerät (On-Board Charger, OBC) wandelt den über eine Ladestation empfangenen Wechselstrom in Gleichstrom um und steuert das Laden der Batterie. Das Batteriemanagementsystem (BMS) überwacht kontinuierlich den Zustand der Batterie und sorgt bei einer Störung für ein sicheres Management. Der DC/DC-Wandler liefert niedrigere Spannungen wie 12/24/48VDC für

andere Systeme wie Infotainment und Karosserie. Der Traktionswechselrichter wandelt die Gleichstromenergie der Batterie sicher in Wechselstrom um, um das Drehmoment des E-Motors für die Fortbewegung des Fahrzeugs zu steuern.

Die Bedeutung des Traktionsumrichters

Der Traktionsumrichter ist eine entscheidende Komponente, die das Herzstück des Antriebsstrangs eines Elektrofahrzeugs darstellt und sich direkt auf die Batterieleistung und das Fahrerlebnis des Endverbrauchers auswirkt.

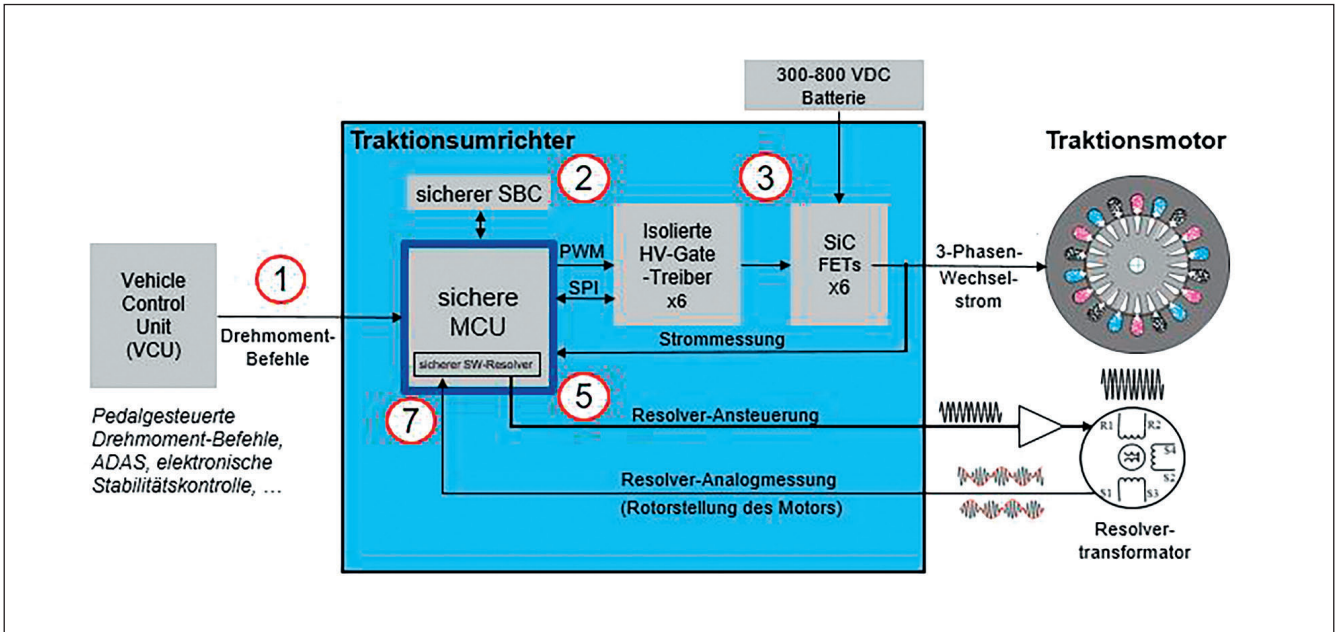


Bild 1: Schematische Darstellung des Traktionswechselrichters für Elektrofahrzeuge © NXP

Er ist für die sichere, präzise und effiziente Steuerung eines E-Motors verantwortlich, um Reichweite, Ansprechverhalten, Laufruhe, Traktion und Handling zu gewährleisten. Der Traktionsumrichter integriert viele Technologien, um Drehmomentbefehle von einem Fahrzeugsteuergerät (Vehicle Control Unit, VCU) zu interpretieren und den E-Motor sicher und bedarfsgerecht zu steuern. Nachfolgend wird der durchgängige Echtzeit-Regelkreis betrachtet, wie er in **Bild 1** dargestellt ist.

Die Anatomie des Traktionswechselrichters

Die Bewegung eines Fahrzeugs hängt von mehreren Drehmomentanforderun-

gen ab, zum Beispiel vom Zustand des Gas- und Bremspedals, der elektronischen Stabilitätskontrolle und ADAS-Funktionen wie der automatischen Notbremsung und dem adaptiven Tempomat. Auf der Grundlage dieser Eingaben berechnet die VCU Drehmomentwerte und sendet diese über eine CAN- oder Ethernet-Schnittstelle an einen sicheren Mikrocontroller (MCU) im Antriebsumrichter. Bei Elektrofahrzeugen mit mehreren Motoren kann die VCU auch eine Drehmomentvektorisierung gewährleisten, um das Drehmoment jedes Motors intelligent und akkurat einzustellen und so das Fahrverhalten und die Traktion zu verbessern.

Eine sichere, leistungsstarke MCU ist das Gehirn der E-Motor-Steuerung.

Sie führt eine rechenintensive, feldorientierte Steuerung (Field-Oriented Control, FOC) durch, um das Drehmoment auf der Grundlage der Rotorposition des Motors und dem derzeitigen Bedarf an drei oder sechs Phasen des Wechselstroms effizient zu steuern. Die genaue Rotorposition und Drehzahl des Motors werden von einem sicheren Software-Resolver bestimmt, der auf intelligente Weise die Sinus- und Kosinus-Signale dekodiert. Diese werden von einem Resolvertransformator erzeugt, der sich mit dem Rotor dreht. Die drei AC-Stromphasen werden von MCU-Analog-Digital-Wandlern erfasst und abgetastet. Mit diesen Informationen berechnet die MCU pulsweitenmodulierte (PWM) Steuersignale, die dem Drehmomentbedarf entsprechen, und sendet sie an isolierte Hochspannung-Gate-Treiber, die Leistungsschalter steuern, um die Gleichstromversorgung der Batterie in Wechselstrom umzuwandeln.

Sechs isolierte Hochspannung-Gate-Treiber, einer für die Hochspannungsseite und einer für die Niederspannungsseite für jede der drei Wechselstromphasen, sorgen für die sichere Steuerung, Überwachung und den Schutz der Leistungsschalter, um die Effizienz und Zuverlässigkeit zu maximieren. Zur Sicherheit sorgen sie für eine galvanische Trennung zwischen der Niederspannungs-Steuerseite und der Hochspannungs-Schaltseite und entla-

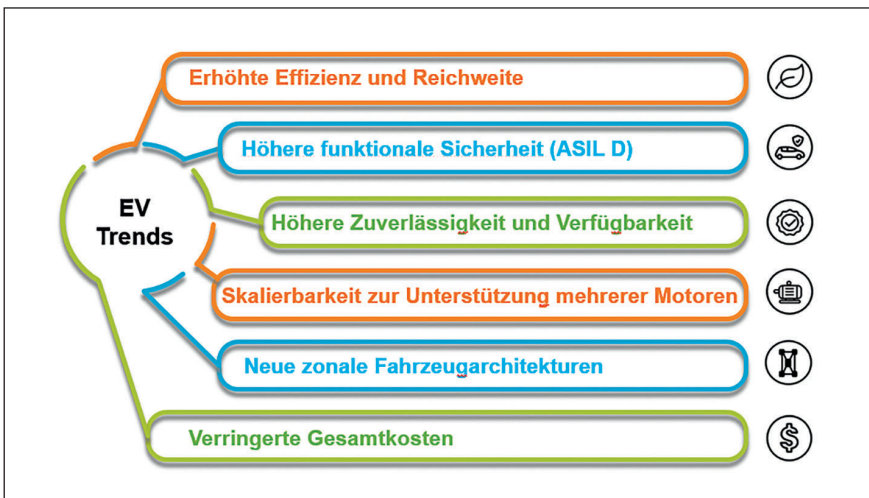


Bild 2: Trends am Markt für Elektrofahrzeuge © NXP

den den Zwischenkreiskondensator, wenn das Fahrzeug ausgeschaltet ist oder kurz vor einem Unfall steht, um einen Stromschlag zu vermeiden. Intelligente Gate-Treiber können Funktionen zur Verbesserung der Leistungseffizienz bieten und Überwachungs- und Schutzschaltungen für eine schnelle Fehlererkennung und erhöhte Sicherheit enthalten.

Bei den heute verwendeten Leistungsschaltern handelt es sich in der Regel um bipolare Transistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBTs). Leistungsschalter mit breiter Bandlücke, wie Siliziumkarbid- und Galliumnitrid-Schalter (SiC bzw. GaN), können jedoch erhebliche Vorteile bieten, weil sie Schaltfrequenzen ermöglichen, die zu einem höheren Wirkungsgrad und einer höheren Leistungsdichte führen, sowie kleinere unterstützende Komponenten, die die Größe des E-Motors verringern können. Weil die Schaltfrequenzen von einigen 10 kHz bei IGBTs auf 100 bis 200+ kHz bei Leistungsschaltern mit breiter Bandlücke ansteigen, werden leistungsfähigere MCUs benötigt.

Traktionswechselrichter verbessern

Bild 2 zeigt einige der wichtigsten Trends auf dem Markt für Elektrofahrzeuge. Verbesserungen bei den Antriebsumrichtern können diese Trends aufgreifen, um die Akzeptanz der Verbraucher zu erhöhen und die Zufriedenheit zu steigern.

Durch den Einsatz moderner Siliziumtechnologien und -lösungen können Automobilhersteller die Kosten von E-Fahrzeugen senken, die Reichweite erhöhen, das Fahrerlebnis verbessern und eine breitere Palette von Optionen für



Bild 4: Die Demonstration der MCU S32K39 zeigt NXP auf der embedded world 2023 in Nürnberg. © NXP

E-Motoren mit einem skalierbaren Ansatz anbieten. Neue Mikrocontroller, Gatetreiber und Leistungsschalter können wichtige EV-Kennzahlen wie Batteriekosten, Leistungsdichte und Effizienz verbessern und zusätzliche Sicherheitsfunktionen bieten. Eine leistungsstärkere Verarbeitung kann zur weiteren Kostensenkung von neuen Motorsteuerungen wie die sensorlose Gegen-EMK-Steuerung beitragen. Die Designs von Antriebsumrichtern können auch erweitert werden, um neue E/E-Zonen-Architekturen und neue datengesteuerte, Software-definierte Fahrzeuge zu unterstützen, die einen Software-definierten Motor schaffen und im Lauf der Zeit

durch Over-the-Air-Updates (OTA) aktualisiert und verbessert werden können.

NXP Semiconductors hat neue Lösungen für die Elektromobilität vorgestellt, die den Trends und Möglichkeiten des Marktes Rechnung tragen. Die MCUs der Serie S32K39 sind für die Steuerung von zwei Traktionswechselrichtern optimiert und verfügen über vier Arm Cortex-M7-Kerne mit 320 MHz, die als Lockstep-Paar konfiguriert sind, zwei Split-Lock-Kerne, zwei Motorsteuerungs-Coprozessoren und einen digitalen Signalprozessor. Sie können zwei 200-kHz-Steuerschleifen unterstützen, die sich sowohl für heutige IGBTs als auch SiC- und GaN-Leistungs-

Performance		<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität für OTA, Diagnosen, Analysen, ... • DSP für digitale Filterung und Machine Learning 	Sicherheit		<ul style="list-style-type: none"> • Zur Unterstützung von ASIL-D-Systemen entwickelt • Sicherheit über EVITA Full hinaus • Public-Key-Infrastruktur für OTA-Updates
Integration		<ul style="list-style-type: none"> • Zwei Motorsteuerungs-Coprozessoren (Ein-Chip) • Analoger und sicherer Software-Resolver (↓ Kosten) • Kann EV-ECUs konsolidieren (BMS, DCDC, OBC) 	Flexibilität		<ul style="list-style-type: none"> • Zipwire für speicherprogrammierte Begleiter • TSN-Ethernet zur Erweiterung auf 3 oder 4 Motoren
Motor-Steuerung		<ul style="list-style-type: none"> • Zwei 200 kHz Regelkreise (Doppelmotoren mit SiC / GaN) • Hochoflösende PWM (↑ effizienter, reibungsloser) 	Sichere Systemlösung		<ul style="list-style-type: none"> • FS26 SBC für sicheres Energiemanagement, Sicherheit and Fehlerüberwachung • GD3162 für sichere dynamische Gate-Treiber für hocheffizienten Motorantrieb

Bild 3: NXP S32K39: Vorteile der Dual Traction Inverter Control © NXP

schalter nutzen lassen, um die Energieeffizienz zu verbessern und höhere Schaltfrequenzen zu erzielen, was die Größe, das Gewicht und die Kosten des Motors reduziert und die Reichweite erhöht.

Alternativ kann ein einzelner Sechs-Phasen-Motor unterstützt werden, um eine höhere Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erreichen. Das ist vor allem für Elektrofahrzeuge mit höherer Einschaltdauer, wie Mobilitätsfahrzeuge und kommerzielle Flotten, wichtig. Es steht genügend Prozessor-Rechenleistung zur Verfügung, um neue, daten-gesteuerte Anwendungsfälle zu realisieren, die für digitale Zwillinge und maschinelles Lernen in die Cloud verlagert werden können, zusammen mit OTA zur Implementierung eines Software-definierten Motors.

Mit der analogen Integration des S32K39 und der Unterstützung für einen sicheren Software-Resolver lassen sich die Systemkosten durch den Wegfall externer diskreter Komponenten und des Resolver-Digital-Wandlers senken. Eine S32K39-MCU lässt sich mit dem NXP FS26 Safety System Basis Chip (SBC) und den isolierten Hochspannungs-Gate-Treibern NXP GD3162 zu einer ASIL-D-Doppel-Traktionsumrichterlösung verbinden. Der FS26 SBC sorgt für die Stromversorgung des Systems und die isolierte Sicherheitsüberwachung. Der GD3162-Gate-Treiber bietet eine einstellbare dynamische Gate-Stärke zur Anpassung an die Fahrbedingungen und eine PWM-Totzeit-Erzwingung zur Verringerung der Schaltverluste, um die Effizienz zu erhöhen. Dazu kommen Fehlerschutzmechanismen mit einer Reaktionszeit von < 1 µs und eine Sicherheitslogik zur aktiven Entladung des Zwischenkreiskondensators und zur Beseitigung externer Widerstände, um die Systemkosten zu senken.

Eine S32K39-MCU (Bild 3) lässt sich eigenständig betreiben, um bis zu zwei Antriebsumrichter zu steuern. Darüber hinaus kann sie als ferngesteuerter, intelligenter Aktuator über Time-Sensitive-Networking-Ethernet (TSN) verwendet werden, um in Kombination mit dem S32E-Echtzeitprozessor von NXP drei oder vier Motoren anzusteuern und so als Antriebssteuerungsdomäne für Elektrofahrzeuge zu dienen und zwei

zusätzliche Antriebsumrichter zu steuern. Das ist vor allem für Automobilhersteller attraktiv, die bis zu vier E-Motoren unterstützen wollen, um Leistung und Handling zu verbessern.

Die Nutzung von TSN ermöglicht Zeitsynchronisation (IEEE 802.1AS-Rev), Redundanz für Sicherheit (IEEE 802.1CB) und Quality-of-Service (IEEE 802.1Qbu und IEEE 802.1Qbv), die für eine zuverlässige Steuerung im gesamten Fahrzeug und für zonale Architekturen erforderlich sind. TSN ist unerlässlich für Echtzeitanwendungen, die vorhersehbare Latenzzeiten und Bandbreiten erfordern.

Fazit

Für den schnell wachsenden Elektrofahrzeugmarkt kommt dem Traktionsumrichter eine Schlüsselposition zu. Mit neuen MCUs, Gatetreibern und Leistungsschaltern lassen sich viele Verbesserungen erzielen, die sich direkt auf die Lebensdauer der Batterie und

das Fahrerlebnis auswirken. Die Unterstützung neuer Technologien ist der Schlüssel zur schnelleren Skalierung von Elektrofahrzeugen und zur Verbesserung der Software-definierten Fahrzeuginfrastruktur, die von der Automobilbranche entwickelt wird. Die S32K39-MCU hat NXP für die Steuerung von Dual-Traction-Invertern optimiert (Bild 4). Diese lässt sich mit dem S32E-Echtzeitprozessor kombinieren, um bis zu vier E-Motoren zu skalieren und die Bestrebungen der Hersteller unterstützen, ihre Flotten vollständig zu elektrifizieren. ■ (eck)

www.nxp.com

Halle 4A, Stand 222



Brian Carlson ist Director Global Product und Solutions Marketing bei NXP Semiconductor. © NXP

Universal Debug Engine®
 Multicore ▪ Debugging ▪ Trace ▪ Test Automation

C/C++ Compiler | 3rd Party Tools | Automation & Scripting | RTOS Support | Simulator
 Eclipse IDE | Object Model API | Multicore | Profiling | AUTOSAR Support | CAN Recording
 Universal Access Device | FLASH Programming | Code Coverage | Trace Analysis
 Debug Interface | Trace Interface | Simulator Interface
 Custom Specific Hardware / Evaluation Boards | Virtual Platforms / Simulators

AURIX ▪ TriCore
 Arm Cortex-M/R/A
 S32 ▪ RH850 ▪ R-Car
 SPC5 ▪ MPC5xxx
 RISC-V ▪ ARC
 XE166 ▪ XC2000

pls Development Tools
www.pls-mc.com

Visit us at Embedded World 2023, Nuremberg, Hall 4, Booth 4-310