

EINSATZ VON ECHTZEIT-MIKROCONTROLLER

Antriebsstrang-Subsysteme für E-Autos effizient realisieren

Subsysteme im Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen – vom On-Board-Ladegerät bis zum DC/DC-Wandler zur Umwandlung von Hoch- in Niederspannung – lassen sich mit unterschiedlichen Architekturen und Topologien realisieren. Echtzeit-Mikrocontroller eignen sich hervorragend für die effiziente Koordination des Energieflusses in diesen Systemen.

Um härteren Klimaschutzgesetzen gerecht werden zu können, müssen Fahrzeugflotten CO₂-neutral werden – was sukzessive in einer Abkehr von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor hin zu Hybridfahrzeugen und Stromern mündet. Kapazitätsstärkere Batterien sollen die Reichweiten-Bedenken der Endverbraucher entschärfen, stellen aber höhere Anforderungen an die im Stromer verbaute Leistungselektronik. Insbesondere muss die OBC-Einheit nicht nur leistungsfähiger sein, sondern auch eine höhere Leis-

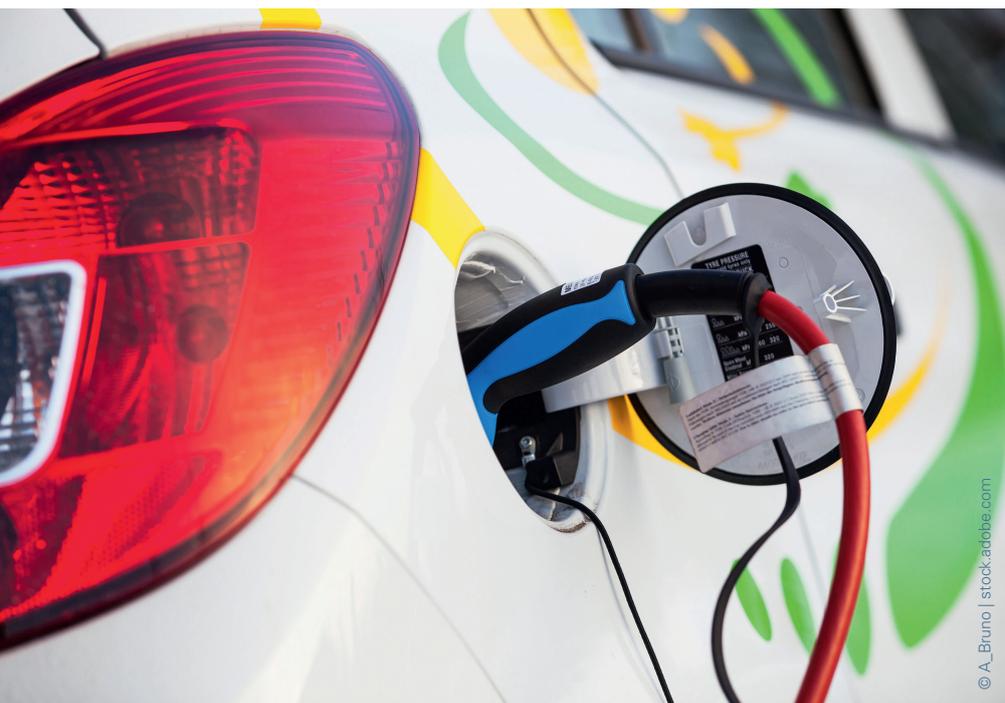
tungsdichte und Effizienz aufweisen, um die Fahrzeugmasse zu reduzieren und die Kosten pro Ladevorgang zu senken. Ferner sollen OBCs die Rückspeisung von Energie aus der Fahrzeugbatterie ins Netz ermöglichen, was zu mehr Komplexität führt. Weitere kritische Systeme sind neben dem OBC auch der zum Laden der 12-V- oder 48-V-Batterie dienende Gleichspannungswandler und der Traktionswechselrichter, der den Fahrmotor speist (Bild 1).

Mit einem oder mehreren Echtzeit-Mikrocontrollern (MCUs) lässt sich der

Energiefluss in diesen Systemen effizient koordinieren. Zur Platz- und Kosteneinsparung geht man zunehmend dazu über, die OBC-Einheit mit dem DC/DC-Wandler zu integrieren. Während das eine Reduzierung der Leiterplattenfläche um 10 bis 20 Prozent erlaubt, steigen die Anforderungen an den Echtzeit-Mikrocontroller, der mehr Pulsweiten-Modulatoren (PWMs) und ADCs unterstützen und für die Multicore-Verarbeitung ausgelegt sein muss, um mehrere Leistungsstufen zu managen.

OBCs in Totem-Pole-PFC- und CLLLC-Topologie

In Bild 2 ist eine OBC-Einheit mit einer Leistung von 3,3 kW zu sehen, bestehend aus einer Totem-Pole-Stufe für den PFC-Teil und einer Capacitor-Inductor-Inductor-Inductor-Capacitor-Stufe (CLLLC) für den Gleichspannungswandler. Eine brückenlose Totem-Pole-PFC-Stufe verbessert den Wirkungsgrad, weil gegenüber einer konventionellen PFC-Lösung auf Basis einer Brückenschaltung weniger Leistungsbausteine notwendig sind. In der Vergangenheit kam die brückenlose Variante allerdings nur für geringe Leistungen in Frage, weil es in der Body-Diode der siliziumbasierten Leistungsmosfets beim harten Schalten zu hohen Reverse-Recovery-Verlusten kommt. GaN-Leistungsschalter beispielsweise der LMG3410R050 von Texas Instruments enthalten jedoch keine Body-



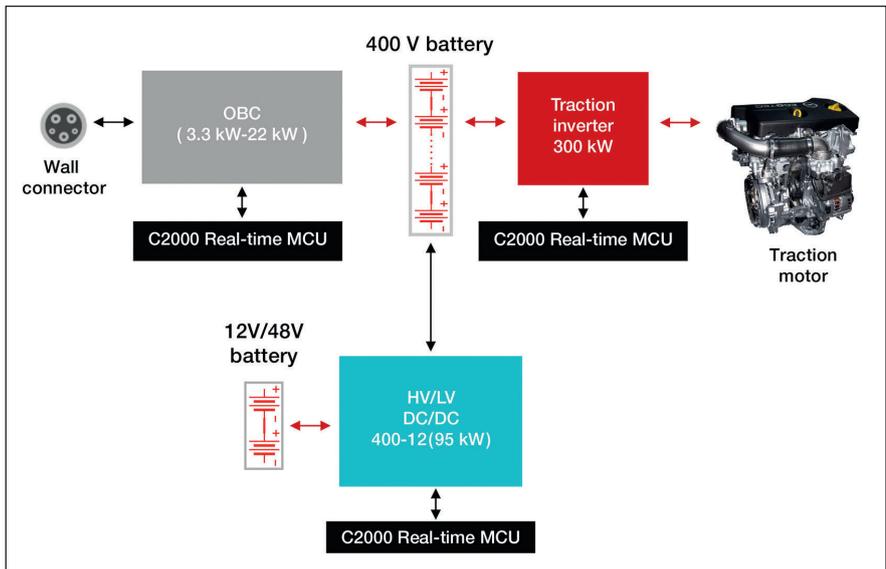


Bild 1: Blockschaltbild eines Antriebsstrangs im Elektrofahrzeug ©Texas Instruments

eines Totbandes im Fall eines Peak-Current-Events zur Verfügung. Hiermit kann das Totband bei verschiedenen Netz- und Lastbedingungen variiert werden, um das Soft-Switching beizubehalten. Die digitale Regelung ermöglicht außerdem weitere Funktionen wie das Vorladen des Gleichspannungs-Zwischenkreises des Traktionswechselrichters mit dem Hoch/Niederspannungs-DC/DC-Wandler, sodass auf externe Ladewiderstände verzichtet werden kann.

Skalierbares Portfolio

Das Leistungsspektrum von OBCs reicht von 3,3 kW für Plug-in-Hybridfahrzeuge bis zu 22 kW bei reinen Stromern. Bei OBCs mit 11 kW und mehr

Diode, sodass brückenlose Totem-Pole-PFC-Stufen mit Leistungen von mehreren Kilowatt praktisch machbar werden. Aufgrund ihrer geringen Ausgangskapazität (C_{oss}) können GaN-Halbleiter mit 100 bis 200 kHz betrieben werden, was kleinere Induktivitäten mit einer entsprechenden Platzersparnis ermöglicht.

Während der Totzeit entstehen durch den Betrieb der GaN-Schalter im dritten Quadranten jedoch zusätzliche Verluste, die von der Echtzeit-MCU durch präzises Regulieren der Totzeit optimiert werden müssen. Hier punkten die Echtzeit-MCUs der C2000-Familie mit ihrer Auflösung von 150 ps, was bei 100 kHz eine Senkung der Verluste um 1 W erlaubt. Noch weiter verkleinern lassen sich die Induktivitäten durch Anhebung der Schaltfrequenz auf 1 MHz und Nutzung der Critical-Mode-PFC-Technik. Die Verluste lassen sich dadurch um 10 W reduzieren. Die Optimierung der Verluste im dritten Quadranten hat somit einen hohen Stellenwert.

Hochspannungs-Niederspannungs-Wandler

Für die DC/DC-Wandlerstufe der OBC-Einheit ist die CLLLC-Topologie eine gute Wahl, weil sie mit ihrem erweiterten Zero-Voltage-Switching-Bereich (ZVS) höhere Schaltfrequenzen und kleinere induktive Bauelemente ermöglicht. Eine Verbesserung des Wirkungsgrads um bis zu zwei Prozentpunkte lässt sich mit einer Synchrongleichrichter-Stufe erzielen, die aber anspruchsvoll in der Um-

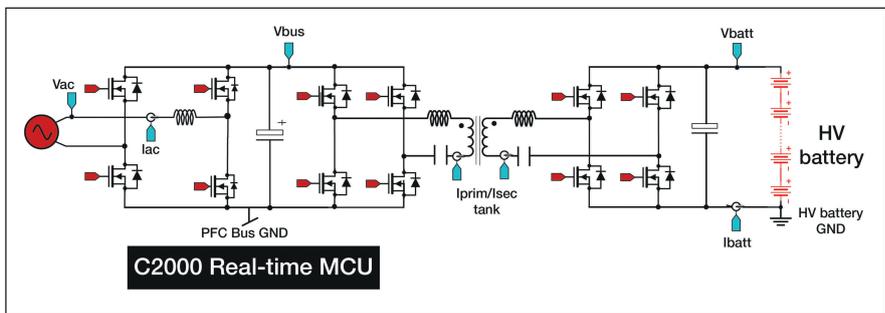


Bild 2: OBC-Leistungstufe mit einphasigem PFC- und isoliertem DC/DC-Teil ©Texas Instruments

setzung ist und häufig externe Schaltungen erfordert. Ohne externe Bauteile wie etwa DACs, Komparatoren oder Logikgatter geht es dagegen, wenn man die Synchrongleichrichtung mithilfe der integrierten Komparator-Subsysteme der C2000-MCUs implementiert. Zusätzlich sind mit den Typ-4-PWMs weitere Austastfenster während der PWM-Perioden realisierbar, um die Störbeständigkeit zu steigern.

Der Gleichspannungswandler zwischen Hoch- und Niederspannungs-Teil wird häufig auf Basis der Phase-Shifted-Full-Bridge-Topologie (PSFB) implementiert. Die größte Herausforderung bei der Umsetzung der Peak-Current-Mode-Regelung ist das Risiko, dass das System instabil wird. Als Gegenmaßnahme dient eine (meist analog implementierte) Steilheitskompensation. Die fortschrittliche Analogintegration des Komparator-Subsystems in den C2000 Echtzeit-MCUs ermöglicht jedoch die Umsetzung dieser Funktionalität mit einem digitalen Controller. Zusätzlich stehen Typ-4-PWM-Features wie das Einfügen

bietet sich das Kombinieren dreier 3,6-kW-Ladeeinheiten an. 22-kW-OBCs können auf die gleiche Weise aus zwei 11-kW-Einheiten gebildet werden oder durch Parallelschaltung bzw. durch Verwendung anderer FETs. Eine Alternative für 11 kW ist schließlich auch ein dreiphasiges PFC-Frontend mit gewissen Abstrichen für den einphasigen Betrieb. Welcher Variante der Vorzug gegeben wird, hängt von der Einsatzregion ab: Während in den USA einphasige Anschlüsse verbreiteter sind, kann in Europa oder Asien eine dreiphasige PFC-Lösung nicht nur eine höhere Dichte bieten, sondern auch kostengünstiger sein, weil das System mit weniger Leistungs-Bauelementen und Schaltern auskommt. Deshalb empfiehlt sich die Wahl eines skalierbaren Controller-Portfolios, das – wie die C2000-Familie – von Low-End- bis zu High-Versionen reicht und verschiedene Implementierungs-Optionen unterstützt.

In Bild 3 ist eine modulare Lösung zu sehen. Links sind drei einphasige Ladeeinheiten à 3,6 kW dargestellt, die ge-

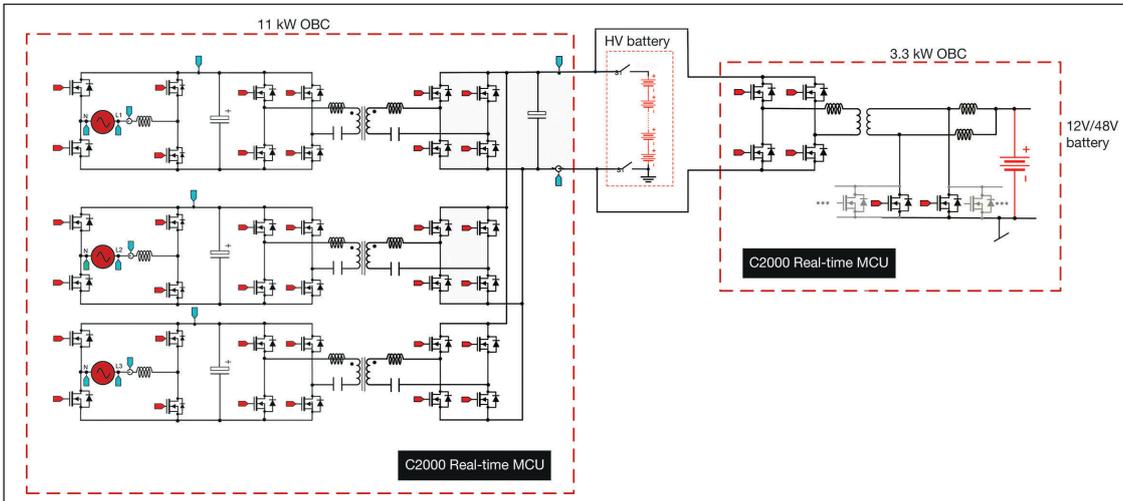


Bild 3: 11-kW-OBC mit drei gebündelten 3,6-kW-Ladeeinheiten und einem DC/DC-Wandler zwischen Hoch- und Niederspannungsteil
© Texas Instruments

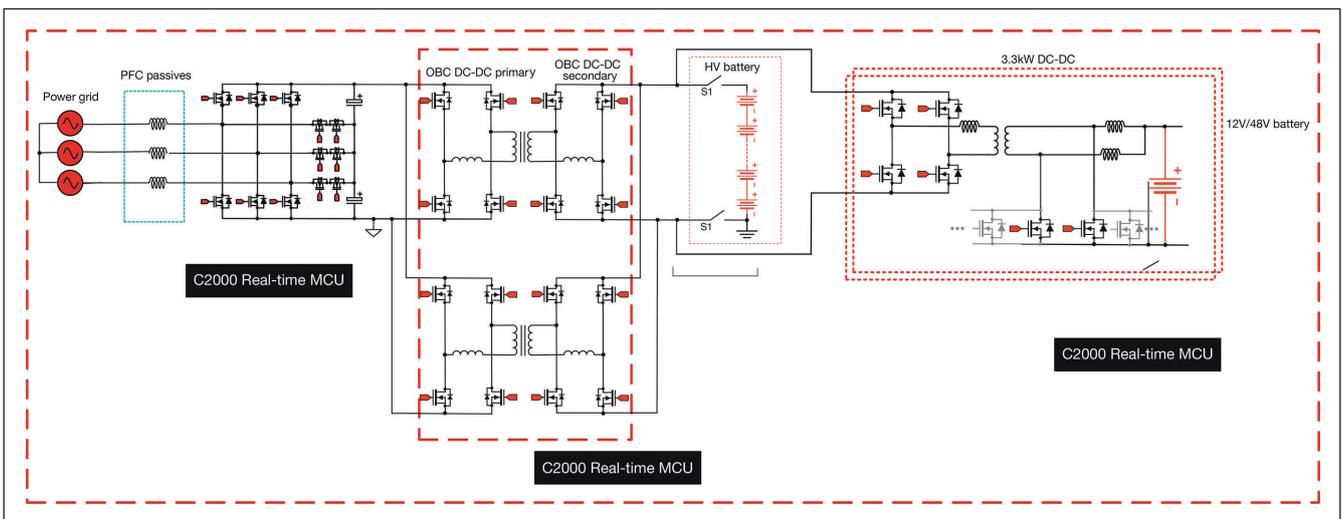


Bild 4: 11-kW-OBC und DC/DC-Wandler zwischen Hochspannungs- und Niederspannungs-Teil, realisiert als Multiport-Lösung, gesteuert vom F28388D. © Texas Instruments

meinsam auf 11 kW kommen und die Hochspannungs-Batterie laden. Der Gleichspannungswandler auf der rechten Seite stellt die Verbindung zur 12-V- oder 48-V-Batterie her. Die Existenz mehrerer Isolationsebenen im System ermöglicht das Design eines eigenen Controllern für jede Phase (F280049) oder eines gemeinsamen Controllern (F28388) für alle drei Stufen des OBC. Der F280025 kann auch den DC/DC-Wandler zwischen Hoch- und Niederspannungsteil steuern, weil er die nötige Analogintegration zum Steuern der Phase-Shifted Full-Bridge-Stufe mitbringt.

Ist der Leistungsteil dagegen nicht modular aufgebaut, kann ein einziger Controller das gesamte System steuern. Die dreiphasige PFC-Stufe ist vom Typ T. Für den OBC-Teil kommt ein im Interleaving-Betrieb arbeitender Dual-Active-Bridge-Wandler (DAB) zum Einsatz. Der ebenfalls zur C2000-Familie gehö-

rende F28388D kann die gesamte Leistungselektronik dieses Systems steuern. Bei der Optimierung solcher Konfigurationen setzen Automobilhersteller zunehmend auf das One-Box-Konzept, das die OBC-Einheit und den DC/DC-Wandler zwischen dem Hoch- und dem Niederspannungsteil in einem Gehäuse vereint. Dieser Ansatz erschließt zusätzliche Optionen durch die Verwendung von Multiport-Wandlern, bei denen die DC/DC-Stufe für den OBC-Teil und die Verbindung zwischen Hochspannungs- und Niederspannungs-Teil genutzt wird (Bild 4). Die Zahl der benötigten Schalter und Hochspannungs-FETs lässt sich hierdurch um 16 Prozent verringern.

Ausblick

Je weiter die Möglichkeiten in Bezug auf Wirkungsgrad und Leistungsdichte ausgereizt werden, umso größer wird

der Bedarf an Echtzeit-Controllern, die skalierbar sind und die Nutzung fortschrittlicher Topologien und Integrationsoptionen ermöglichen. Die Fähigkeiten der C2000-MCUs bieten Systemdesignern die Gelegenheit, unter Wahrung eines hohen Wirkungsgrads die Schaltfrequenzen zu erhöhen, um die Abmessungen und Kosten der Systeme zu reduzieren. ■ (eck)

www.ti.com

Manish Bhardwaj ist Systemingenieur für die C2000 Microcontroller bei Texas Instruments.

Waqar Mehmood fungiert als Product Marketing für die C2000 Microcontroller bei Texas Instruments.