

VON DER RENNSTRECKE AUF DIE STRASSE

EIN LANGER WEG



(Bild: On Semiconductor)

Im Laufe der Jahre haben sich Technologien aus der Formel 1 auf die Serienfertigung von Straßenfahrzeugen übertragen. Dieser Wissenstransfer unterstützt die Entwicklung sicherer und effizienter Autos. Das gleiche Potenzial bietet nun die Formel E als Erprobungsfeld für Elektrofahrzeuge. Neuerungen in den Bereichen Batterietechnik, Energiemanagement, Laden und regeneratives Bremsen könnten so Einzug in kommende E-Fahrzeuge finden. Von Dave Priscak

Die ABB FIA Formula E World Championship ist eine internationale Rennserie, die ihre Läufe ausschließlich mit elektrisch angetriebenen Formelfahrzeugen austrägt. Im Markenkern der Rennserie stehen Werte wie Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und technologischer Fortschritt. Sie soll als Inkubator für die Automobilindustrie dienen, um die Entwicklung von Elektroautos voranzutreiben. Mit Mercedes, Porsche, Audi, BMW, Jaguar, Nissan engagieren sich namhafte Automobilhersteller in der Meisterschaft. Aber auch immer mehr Automobilzulieferer und Halbleiterhersteller wählen die Formel E, um ihre Systeme und Bausteine im herausfordernden Umfeld des Motorsports zu testen und zu optimieren. Dazu zählt beispielsweise auch On Semiconductor. Der Hersteller von Bauelementen und Systemlösungen u.a. für Elektro-

fahrzeuge nutzt die Formel E für den Wissenstransfer vom Rennfahrzeug zum serienmäßigen Stromer. Neben Chancen und möglichen Vorteilen gibt es dabei auch Einschränkungen und Risiken.

INNOVATION BEIM BATTERIEDESIGN

Ein Haupthindernis bei der groß angelegten Einführung von Elektrofahrzeugen ist die Sorge der Verbraucher, wie weit sie mit einer Batterieladung fahren können. Diese »Reichweitenangst« spiegelt die Sorge wider, mit einer Ladung nicht ans Ziel zu kommen. Man sollte jedoch bedenken, wie lang die meisten Fahrten in der Regel dauern. Durch moderne Batterietechnik und fortschrittliche, effiziente Antriebsstränge stehen zahlreiche Serienfahr-

zeuge mit mehr als 300 km Reichweite pro Vollladung zur Verfügung. Diese Entfernung deckt die meisten täglichen Fahrten ab, zum Beispiel zur Schule, zur Arbeit und zum Einkaufen. Dennoch gibt es viel Spielraum nach oben und den Wunsch, die Batterieleistung weiter zu verbessern.

Die Batterieentwicklung ist eine elektrochemische Wissenschaft und äußerst unbeständig. Die Formel E arbeitet mit Unternehmen zusammen, die sich auf Batterien mit hoher Leistungsdichte konzentrieren und gleichzeitig einen sicheren Einsatz in der rauen Rennumgebung garantieren. Ein standardisiertes Batteriesystem minimiert die Gefahren unter extremen Beschleunigungs-/Regenerationsbedingungen und gewährleistet eine sichere Trennung im Falle eines Unfalls. Die Rennteams müssen auch

die Wettbewerbsbedingungen mit einer bestimmten Batterieimpedanz und charakterisierten Lade-/Entladeprofilen erfüllen.

OPTIMIERUNG DES ANTRIEBSSTRANGS

Der Antriebsstrang unterliegt dabei keinerlei Regularien. Jedes Team fügt seine »geheime Zutat« hinzu, um die Beschleunigung zu maximieren, die Effizienz der Energierückgewinnung beim Bremsen zu verbessern und das Leistungsbudget zu verwalten – um sicherzustellen, dass das Fahrzeug nicht nur das Rennen beendet, sondern auch den Sieger stellt. Außerdem kann sich jedes Team auf den Antriebsstrang konzentrieren, der sich am mechanischen Aufbau der Formel 1 und den dort verwendeten kinetischen Energierückgewinnungssystemen orientiert.

Aufgrund der extremen Natur der Formel E verwenden Rennteams viel mehr Embedded-Systeme als aktuelle Serienfahrzeuge, um den Stromer im laufenden Betrieb zu überwachen, zu steuern und zu optimieren. Während eines Rennens übertragen die Systeme Echtzeitdaten zur Verarbeitung und Analyse an den Kontrollraum. Aufgezeichnete Daten wie Energieübertragungseffizienz, Temperaturanstieg oder der Prozentsatz der zurückgewonnenen Energie ermöglichen es, die Software zu verbessern, die den Antriebsstrang von

der Batterie bis zu den Rädern steuert. Nach dem Rennen tauschen die Teams diese Daten mit ihren Industriepartnern aus, um die Funktion des Antriebsstrangs weiter zu optimieren und die Leistungsfähigkeit weiter zu verbessern. Die Daten helfen auch bei der Entwicklung neuer Produkte, was wiederum die Leistungsfähigkeit der Komponenten für das nächste Antriebsstrangdesign verbessert. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess hält nicht nur die Partner des Rennteams wettbewerbsfähig – auch die Fahrzeugdesigns profitieren von einem immer höheren Maß an Know-how und praktischer Anwendungserfahrung. Halbleiterhersteller wie On Semiconductor können dann leistungsfähigere, effizientere und zuverlässigere Bauelemente für den gesamten Antriebsstrang entwickeln.

PER SOFTWARE DEFINIERTE FAHRZEUGE

Elektronik in Form von Hardware und Software dominiert die Innovation in neuen Fahrzeugen, und Software ist heute ein wesentlicher Bestandteil des Antriebsstrangs. In modernen Elektrofahrzeugen finden sich zahlreiche Softwarekonfigurationen. Algorithmen zur Traktionskontrolle passen zum Beispiel den Antrieb an den Rädern an und balancieren ihn aus, um bei vereisten Straßen ein sicheres Voran-

kommen zu ermöglichen, oder um regeneratives Bremsen auszulösen, sobald der Fuß vom Gaspedal genommen wird. Moderne Stromer werden immer komplexer – mit zusätzlichen Antriebsmotoren und höheren Stufen für automatisiertes Fahren. Nutzer können ihre bevorzugten Fahrmodi auswählen, beispielsweise Leistung vor Reichweite für den täglichen Weg

zur Arbeit oder Allradantrieb für das Gelände bzw. winterliche Bedingungen. Zu den aus der Formel E übertragenen Leistungswahltechniken zählt der Schlupf bei Kurvenfahrten, der durch Beschleunigungsprofile gesteuert wird. Durch die Übertragung dieser Softwarealgorithmen werden die Eigenschaften zukünftiger Elektrofahrzeuge weiter angepasst, differenziert und verbessert.

ÄHNLICHKEITEN IM ANTRIEBSSTRANG

Formel-E-Autos erreichen Geschwindigkeiten bis zu 280 km/h, und das Rennen selbst dauert 45 Minuten. Die Rennwagen sind auf Geschwindigkeit getrimmt – nicht auf Reichweite. Auf der anderen Seite sind Stromer für Endverbraucher auf maximale Reichweite und eine viel niedrigere Geschwindigkeit ausgelegt. Beide Antriebsstränge sind sich jedoch weitgehend ähnlich. Sie streben nach bestmöglicher Effizienz bei der Energieübertragung und beim regenerativen Bremsen, um Energie zurück in die Batterie zu speisen und so die Reichweite zu erhöhen. Auch fortschrittliche Motoralgorithmen kommen zum Einsatz, die für verschiedene Betriebsmodi unerlässlich sind.

Die Formel E verschiebt die Grenzen in Bezug auf Leistungsumwandlung, thermische Dynamik und fortschrittliche Steuerungssoftware. Elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge werden zweifellos davon profitieren, was auf der Rennstrecke gelernt und getestet wurde (**Bild 1**). Durch den Einsatz von Siliziumkarbid-Bauelementen (SiC) im Antriebsstrang lassen sich die Anforderungen an Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit in der rauen Formel-E-Umgebung erfüllen. Mit SiC-Komponenten erzielen zukünftige Stromer größere Reichweiten, fahren sicherer und sind zuverlässiger.

BUSSPANNUNGEN IM WANDEL

Der heutige EV-Hauptstrombus weist meist eine Spannung von 400 V auf. In der Entwicklung befinden sich 800-V-Antriebsstränge, die sich schnell



Bild 1. Elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge werden zweifellos davon profitieren, was auf der Rennstrecke gelernt und getestet wurde. (Bild: On Semiconductor)



Bild 2. Damit sich Endverbraucher für ein Elektrofahrzeug entscheiden, spielt auch der Ladeprozess eine wichtige Rolle. Hier möchte man in einer ähnlichen Zeitspanne laden können, wie man es vom Tanken eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor gewohnt ist. (Bild: On Semiconductor)

dem 900-V-Bus der Formel E nähern. High-Voltage-Bauelemente mit großer Bandlücke (Wide Band-Gap, WBG) wie SiC erhöhen die Leistungsdichte und ermöglichen den Einsatz kleinerer Motoren, was die Umsetzung und Einführung von Bussen mit höherer Spannung beschleunigt.

Höhere Batteriespannungen helfen auch beim Volt/Ampere-Problem des Schnellladens. Für die bereits installierten EV-Ladegeräte kann eine Änderung der Batteriespannungen jedoch problematisch sein. Zukünftige Ladegeräte werden wahrscheinlich digital gesteuert, um mehrere Spannungen bereitzustellen. Außerdem müssen Elektrofahrzeuge in Bezug auf die Laderate flexibel sein, weil diese auf der Ausgangsleistung des Ladegeräts basiert.

Das 12-V-Bussystem wird auf absehbare Zeit für die Formel E als auch für Serienfahrzeuge bestehen bleiben. Das liegt daran, dass 12 V alles mit Strom versorgt: von den Sensoren über die Infotainment- bis hin zu den Komfortsystemen. Das bedeutet jedoch nicht unbedingt, dass 12-V-Akkus erforderlich sind. High-Voltage-DC/DC-Wandler wie 400/800 V auf 12 V oder 48 V auf 12 V können dieses Problem lösen. 48-V-Bussysteme werden immer häufiger zur Anforderung. Viele Motoren

benötigen eine höhere Spannung, um das geforderte höhere Drehmoment bereitzustellen.

Eine Lösung, um auf 48 V zu kommen, besteht darin, zwei 12-V-Batterien zu verwenden und dann eine auf 48 V zu erhöhen. In Zukunft ist es wahrscheinlicher, dass eine Hochvoltbatterie mit mehreren Spannungsschienen zum Einsatz kommt, um die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen elektronischen Lasten im Fahrzeug zu unterstützen.

SCHNELLADEN BLEIBT HERAUSFORDERUNG

Endverbraucher erwarten, dass sie kommerzielle EVs in einer ähnlichen Zeitspanne laden können (Bild 2), wie sie es vom Tanken eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor gewohnt sind. Obwohl die Formel-E-Ladeleistung für Fahrzeuge der dritten Generation nun 600 kW beträgt und 4 kWh in 30 s bereitstellt, ist es unwahrscheinlich, dass solche Geschwindigkeiten in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen werden.

Die meisten Stromnetze sind nicht für eine derart hohe Leistungsübertragung ausgelegt. Weitere begrenzende Faktoren für die Ladegeschwindigkeit sind die Stromkapazität des Ladegeräts oder Kabels, die Impedanz des Akkus und das Balancing der Batterie.

Weil höhere Spannungen die Ladeströme und Übertragungsverluste verringern, werden in Zukunft wahrscheinlich höhere Batteriespannungen genutzt. Es wird Ladestationen geben, die Tankstellen ähneln oder mit Tankstellen zusammengeschlossen und an ein 1.200-V-Netz angeschlossen sind, das in der Lage ist, innerhalb von Minuten eine vollständige Ladung zu ermöglichen und somit das bekannte Auftanken von Kraftstoff nachzubilden.

UNTERSCHIEDE BEIM REGENERATIVEN BREMSSEN

Der Fahrstil in der Formel E erfordert schnelles Beschleunigen und außergewöhnlich starkes Bremsen, weil die Fahrzeuge auf kurvenreichen Strecken unterwegs sind. Diese Umgebung

ist ideal für regeneratives Bremsen, da das Verhältnis von Bremsen zu Fahren hoch ist. Allerdings reicht die Zeit, die benötigt wird, um Energie aus hartem Bremsen zu erzeugen, nicht aus, um diese wieder vollständig in der Batterie zu speichern, was ein Problem darstellt. Mithilfe von Li-Ionen- oder Superkondensatoren kann die zurückgewonnene Energie vorübergehend gespeichert und auf die Batterie übertragen oder bei der nächsten Beschleunigung verbraucht werden. Die Umsetzung dieser Methode ist jedoch teuer, und der Return on Investment rechtfertigt möglicherweise die Kosten nicht, wenn das Verhältnis zwischen Bremsen und Fahren gering ist. Das regenerative Bremsen ist daher ein kritisches Unterscheidungsmerkmal zwischen Formel-E-Rennwagen und herkömmlichen Stromern. Das Rennumfeld ist also nach wie vor ein wertvolles Versuchsfeld für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen für den Endverbraucher. Die gewonnenen Vorteile und Kenntnisse helfen Fahrzeug-, Tier-1- und Bauteilherstellern. Es gibt keinen besseren Weg, um zu verstehen, wie Komponenten und Systeme funktionieren, als in der realen Welt – und nicht in der Laborumgebung. Und wenn dieses Umfeld so herausfordernd und extrem ist wie die Formel E, kann die Lernkurve nur steil und schnell sein. ECK



DAVE PRISCAK

ist derzeit Vice President of Worldwide Solutions Engineering bei ON Semiconductor. Er ist verantwortlich für die Definition und Überwachung der Erstellung von Entwicklungswerkzeugen, Referenzdesign-Kits, Modulen und Software. Vor seinem Eintritt in das Unternehmen war er sieben Jahre lang bei Texas Instruments tätig. Prisca hat einen Abschluss als Elektroingenieur vom Electronic Technology Institute Technical College.