ULTRAKONDENSATOREN UND HYBRIDFAHRZEUGE

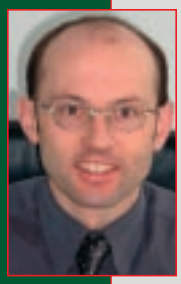
Alternative Antriebstechnik

Steigende Benzinpreise in der Vergangenheit sowie der Druck von Seiten der Öffentlichkeit und der Regierungen, umweltfreundlichere und im Treibstoffverbrauch effizientere Transportmittel zu finden, haben dazu geführt, dass die Automobilhersteller nach echten Alternativen zu Fahrzeugen mit Benzin- oder Dieselantrieb suchen.

Ziel vieler Hersteller ist der Einsatz von Brennstoffzellen für den gesamten Energiebedarf von Fahrzeugen. Allerdings wird es noch mindestens ein Jahrzehnt dauern, bis Brennstoffzellen in großen Stückzahlen gefertigt werden können. Das liegt hauptsächlich daran, dass Brennstoffzellen zwar eine vielversprechende Technologie darstellen, dass sie aber auch eine Reihe von Hindernissen aufwerfen, die es zunächst zu überwinden gilt. So verwendet beispielsweise die für die Automobilindustrie gebräuchlichste Art von Brennstoffzellen eine Wasserstoff/Sauerstoff-Technologie, bei der Wasserstoff als Treibstoff benutzt wird und Sauerstoff aus der Luft, um Elektrizität zu erzeugen. Obwohl diese Brennstoffzellen effizient und dynamisch genug sind, um in Fahrzeugen eingesetzt zu werden, gibt es bislang keine Infrastruktur für die Wasserstoffversorgung. Und vor allem ist es nicht einfach, mit Wasserstoff auf sichere Art und Weise umzugehen. Wasserstofftanks weisen meist eine beträchtliche Größe auf und müssen stabil genug sein, um dem hohen Druck standzuhalten, der zur Wasserstoffaufbewahrung notwendig ist und somit Unfälle zu vermeiden.

Darüber hinaus wurde auch mit auf Metall basierenden Brennstoffzellen für den Automobilbereich experimentiert. Auch hier gibt es Probleme mit einer nicht ausreichenden Versorgungs-Infrastruktur, Sicherheitsbedenken sowie hohe Anforderungen an Größe und Stabilität der Tanks.

DER AUTOR



***Manfred Sauer** ist Vertriebsingenieur und Produktmanager für Ultrakondensatoren bei AMS Technology Electronic Division.*

all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG

Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!

Wenn diese Brennstoffzellen groß genug sein sollen, um eine maximale Stromversorgung zu gewährleisten, wie sie zum Anlassen oder zur Beschleunigung benötigt wird, werden sie relativ groß und damit auch recht teuer.

Hybridtechnologie mit Batterien ist kostspielig

Die kurzfristig vielversprechendste Alternative zu Brennstoffzellen ist die Hybridfahrzeugtechnologie. Bei ihr werden die besten Eigenschaften von Treibstoff-Motoren, elektrischen Antrieben und Energiespeicherkomponenten kombiniert. Ein Verbrennungsmotor fungiert als Haupt-, ein elektrisches Energiespeichersystem als sekundäre Energiequelle. Letztere erlaubt es dem Entwickler, den Verbrennungsmotor in der Größe für die Energieanforderungen des normalen Fahrbetriebs auszulegen. Die sekundäre Quelle liefert die Energie für den Spitzenstrombedarf, beispielsweise bei der Beschleunigung. Darüber hinaus wird sie dazu verwendet, regenerative Energie, die beim Bremsen entsteht, zu speichern und für den Fahrbetrieb oder ergänzende elektrische Systeme zur Verfügung zu stellen. Aufgrund dieser Struktur versprechen Hybridfahrzeuge einen wartungsarmen sauberen Betrieb und wirtschaftliche effiziente Treibstoffnutzung.

Während die meisten Hersteller bis jetzt gute Fortschritte gemacht haben, was die Steuerung von Hybridfahrzeugen, Motoren und Antriebsdesign angeht, waren sie bis jetzt nicht recht erfolgreich, was die Lösung der sekundären Energiespeichersysteme beziehungsweise -quellen angeht. Das liegt hauptsächlich daran, dass in den meisten Hybridfahrzeugen, die derzeit entwickelt werden, Batterien dafür eingesetzt werden – vermutlich, weil es eine gut bekannte Technologie ist. Allerdings sind die Unzulänglichkeiten von Batterien als Energiespeicher genau so gut bekannt: Zunächst einmal gibt es bei Kälte Schwierigkeiten mit der Funktionsfähigkeit von Batterien. Dies führt zu Unannehmlichkeiten für die Fahrer und kann auch die Sicherheit gefährden. Zudem haben Batterien bei starker Beanspruchung eine ziemlich geringe Lebensdauer und müssen somit über die Lebensdauer des Autos hinweg mehrfach erneuert werden. Dadurch entstehen Kosten nicht nur für den Kauf der neuen, sondern auch für die Entsorgung der alten Batterien.

Batterien sind insbesondere deshalb nicht leistungsfähig genug für Hybridfahrzeuge, da sie nicht dafür entworfen worden sind, die wichtigste Anforderung an die sekundäre Energiequelle zu erfüllen: Die Bereitstellung einer hohen Energieabgabe innerhalb einer kurzen Dauer, wie beispielsweise beim Beschleunigen, Bremsen oder Kaltstart. So sind Lithium-Ionen-Batterien zwar ausreichend für Anwendungen, die über längere Zeit mit einem geringen Strom versorgt werden müssen, können aber keine Stromschübe innerhalb sehr kurzer Zeit bereitstellen. Das bedeutet, dass sie ein Fahrzeug zwar ausreichend mit Strom versorgen können während es bei normaler Geschwindigkeit fährt, dass es aber Schwierigkeiten gibt,

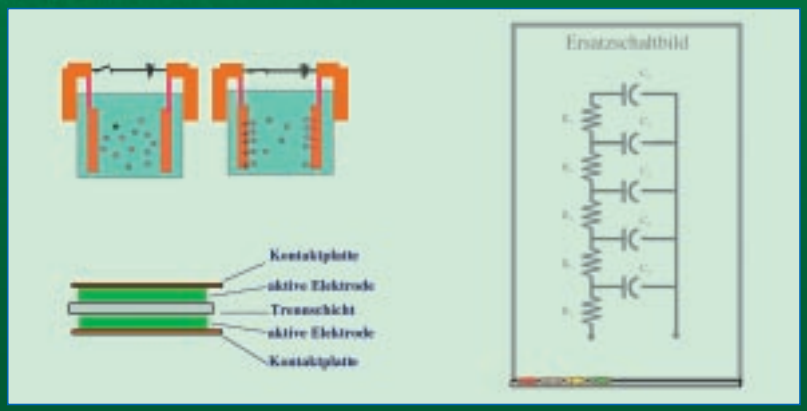


Bild 1: Die Ultrakondensatortechnologie basiert auf dem elektrischen Doppelschicht-Phänomen.

wenn sie einen Spitzenstrombedarf decken sollen, ohne dass diese Batterie dabei beschädigt werden. Dadurch schwächen sie die Fahrzeugleistung bedeutend, und zwar soweit, dass der Verbraucher Hybridfahrzeuge aus Sicherheitsgründen und des fehlenden „Spaß-Faktors“ wegen ablehnen. Aufgrund der geringen Leistungsfähigkeit können die Batterien auch nur schwer regenerative Bremsenergie speichern und gefährden damit ohne jeden Zweifel die mögliche Sparsamkeit im Kraftstoffverbrauch.

Verfügbare Leistung	Bleisäure-Batterie	Ultra-kondensator	Herkömml. Kondensator
Ladedauer	1 – 5 h	0,3 – 30 s	10^{-3} – 10^{-6} s
Endladedauer	0.3 – 3 h	0,3 – 30 s	10^{-3} – 10^{-6} s
Energie (Wh/kg)	10 – 100	1 – 10	< 0.1
Lebensdauer in Zyklen	1,000	>500,000	>500,000
Spezif. Leistung (W/kg)	<1000	<10,000	<100,000
Lade-/Entlade-Effizienz	0,7 – 0,85	0,85 – 0,98	>0.95

Bild 2: Leistungsvergleich zwischen einem herkömmlichen Kondensator und Ultrakondensator.

Einige Hersteller haben einfach die Anzahl der eingesetzten Batterien erhöht, um die geringe Leistungsfähigkeit auszugleichen. Dadurch erhalten sie allerdings ein überdimensioniertes Batteriepack, das das Gewicht das Fahrzeugs erhöht und die durchschnittliche Batterielebensdauer mindert (Grund: die Batterien werden durch die Abdeckung des Spitzenstrombedarfs überlastet). Diese Auswirkungen sind unerwünscht, da sie wiederum die Leistung und Wirtschaftlichkeit im Kraftstoffverbrauch gefährden. Somit wird die Li-Ionen-Technologie für die Entwickler von Hybridfahrzeugen zum „Catch 22“: Indem die Größe der Batterie vergrößert wird, kann zwar mehr oder weniger ausreichend Energie zur Verfügung gestellt werden, aber gleichzeitig wird die Leistung sabotiert, der Wartungsaufwand erhöht und der Umweltbeitrag von Hybridfahrzeugen verringert.

Als Alternative zu Li-Ionen-Batterien wurden auch Ni-MH- und Blei-Batterien für den Einsatz in Hybridfahrzeugen getestet. Diese Batterien können zwar genug Energie für den Spitzenstrombedarf liefern, ihre Lebensdauer wird dadurch aber dramatisch verkürzt. In einem Hybridbus müssten beispielsweise alle ein bis zwei Jahre die Batterien erneuert werden – wobei jedes Mal Kosten von 13.000 bis 18.000 Euro entstünden. Damit sind auch die Batterien, die rein technisch gesehen einsetzbar sind, vom kommerziellen Standpunkt aus nachvollziehbaren Gründen nicht wirtschaftlich.

Kürzlich wurde eine neue vielversprechende Technologie entdeckt, die die Speicherung von Energie in Hybridfahrzeugen nachhaltig verbessern könnte: Ultrakondensatoren. Sie sind auch als Superkondensatoren, Pseudokondensatoren oder Doppelschichtkondensatoren bekannt. Dabei handelt es sich um leistungsfähige Kondensatoren mit langer Lebensdauer (gemessen in Lade- und Entladevorgängen) für hohe Energieanforderungen.

Ultrakondensatoren als Alternative

Die Ultrakondensator-Technologie basiert auf dem elektrischen Doppelschicht-Phänomen, das seit über hundert Jahren bekannt ist, aber erst seit etwa zehn Jahren für wirtschaftliche Anwendungen genutzt wird. Wie in einem herkömmlichen Kondensator generieren zwei Leiter und ein Dielektrikum ein elektrisches Feld, in dem Energie gespeichert wird. Die Doppelschicht wird mit Hilfe einer festen Elektroden-Lösungs-Schnittstelle generiert, und ist dann eine Trennung von Ladungen, die an der Schnittstelle zwischen dem Festkörper und dem Elektrolyt entsteht. Es werden zwei Ladungsschichten geformt, mit einem Elektronen-Überschuss auf der einen und einem Überschuss an positiven Ionen auf der anderen Seite. Die entgegengesetzten Moleküle dazwischen bilden das Dielektrikum. In den meisten Ultrakondensatoren besteht die Elektrode aus Kohlenstoff in Kombination mit einem Elektrolyt. Die Schichten die die Grenzen der Kondensatorplatte bilden, sowie der kleine Zwischenraum zwischen ihnen führen zu einer sehr hohen Kapazität. Die Struktur der Kohlenstoffelektrode, die normalerweise porös ist, erhöht die tatsächliche Oberfläche auf etwa 2000 m^2/g.

Ultrakondensatoren haben eine kompakte Größe (von der Größe einer Briefmarke bis etwa zur Größe von Getränkedosen), können aber unvergleichbar viel mehr Energie als herkömmliche Kondensatoren speichern. Tatsächlich gibt es derzeit Ultrakondensatoren mit einer Kapazität von bis zu 2700 Farad, und sie können diese Energie sowohl schnell als auch langsam abgeben. Sie können auch genau wie Batterien eingesetzt werden, liefern allerdings 10-20 Mal mehr Energie (in Joules/s oder Watt) als diese. Ultrakondensatoren übertreffen Bleibatterien um das Zehnfache, was die spefizische Energie angeht und weisen wesentlich geringere Ladezeiten auf. Sie bieten das Zehn- bis Hundertfache an Energiedichte gegenüber herkömmlichen Kondensatoren. In Bezug auf Energie- und Leistungsdichte liegen Ultrakondensatoren also zwischen Batterie- und Elektrolytkondensator-Technologie. Da sie millionenmal ge- und entladen werden können, sind sie praktisch wartungsfrei über die gesamte Lebensdauer des Produkts, in dem sie eingesetzt werden, hinweg. Folglich müssen sie nicht entsorgt werden, und so stellen sie eine sehr umweltfreundliche Form der Energiespeicherung dar.

Was die Anwendungen betrifft, erfüllen Ultrakondensatoren zwei Zwecke. Erstens werden sie als vorübergehende Backup-Versorgung in elektronischen Geräten eingesetzt.

Gemeinsamer Einsatz mit anderen Energiequellen

Vor den Ultrakondensatoren waren Batterien die einzige Backup-Quelle für sekundäre kurzfristige Notstromversorgungen in Anwendungen, in denen eine primäre Energiequelle nicht ausreicht, um die Funktionsfähigkeit sicherzustellen, wie beispielsweise bei BIOS-Einstellungen von PCs. Aufgrund ihrer großen Kapazität sind Ultrakondensatoren hier eine Alternative zu Batterien geworden. In diesen Anwendungen wird der Ultrakondensator aus der primären Energiequelle gespeist, um als Backup zu dienen, falls die Hauptenergiequelle ausfällt.

Der zweite Einsatzbereich von Ultrakondensatoren – und das ist der interessantere für die Automobilindustrie – liegt in der Bereitstellung von Spitzenstrom für elektronische Geräte. Hier werden Ultrakondensatoren in Systemen, die sowohl eine kontinuierliche, geringe Entladung für Basisfunktionen als auch hohe Stromimpulse für Spitzenbelastungen benötigen, zusammen mit anderen Energiequellen eingesetzt.

Im Fall von Hybridfahrzeugen, die durch Ultrakondensatoren erweitert werden, ist der traditionelle Verbrennungsmotor die Hauptenergiequelle. Er erfüllt alle Dauerlastanforderungen wie normales Fahren und grundlegende elektronische Anforderungen. Die Ultrakondensatoren werden als sekundäre Energiequelle genutzt und sind für Belastungsverteilungen von kurzer Dauer dimensioniert. Da diese kurzzeitigen Anforderungen über die Lebensdauer eines Fahrzeugs mehrere tausend Male auftreten, ist die lange Lebensdauer von Ultrakondensatoren optimal, da diese millionenfach ge- und entladen werden können, ohne dass die Entladungstiefe limitiert wäre.

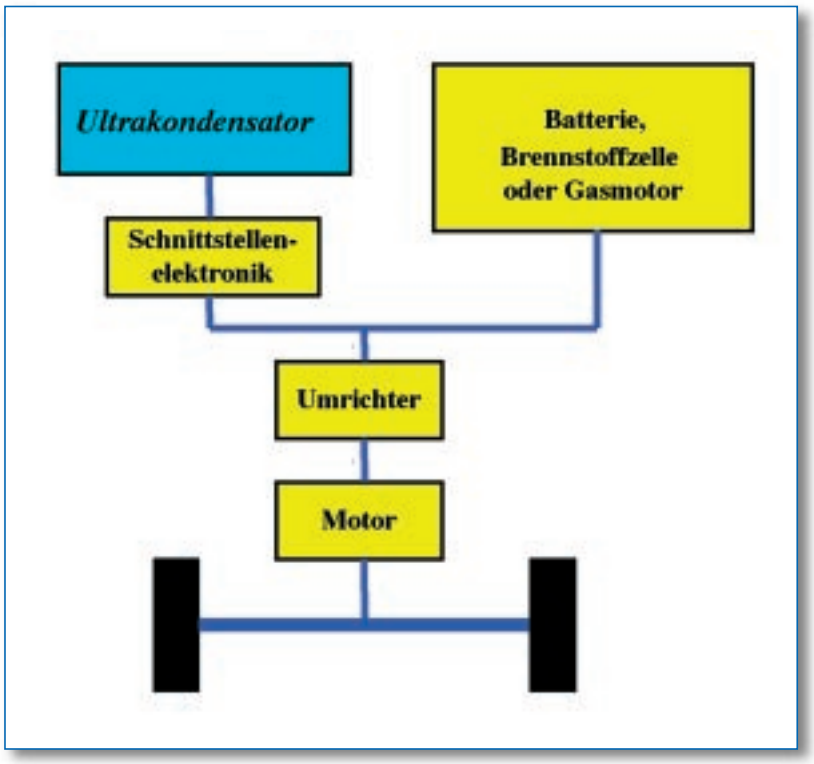


Bild 3: Einsatzmodell des Ultrakondensators im Auto.

Batterien auch künftig notwendig

Ultrakondensatoren können auch das mechanische Design von Hybridfahrzeugen verbessern. Gegenüber Batterien ermöglichen die leistungsfähigeren, kleineren und leichteren Ultrakondensatoren eine allgemeine Verkleinerung des Systems. Im Gegensatz zu Batterien, die bei Minustemperaturen oft ausfallen, arbeiten Ultrakondensatoren außerdem über einen Temperaturbereich bis zu -40 °C zuverlässig.

Ultrakondensatoren werden Batterien in Hybridfahrzeugen mit Sicherheit nicht vollständig ersetzen. Schließlich liegt ihre Stärke darin, eher hohe Leistung als hohe Energie bereitzustellen. Daher sollten Batterien insbesondere für die Versorgung solcher elektrischer Komponenten eingesetzt werden, die keine hohe Leistung erfordern, wie Stereoanlagen und Innenbeleuchtung, wenn der Motor nicht läuft.

Batterien werden auch weiterhin eingesetzt werden, um das Fahrzeug

anzulassen. Der kurzfristige Energiebedarf beim Anlassen des Motors, insbesondere bei kaltem Wetter, ist allerdings ein typischer Anwendungsfall für eine Kombination von Batterie und Ultrakondensator. Obwohl eine kalte Batterie nicht genug Start-Strom bereitstellen kann, um das Fahrzeug anzulassen, enthält sie genug Leistung, um den Ultrakondensator nach und nach aufzuladen – und dieser kann dann genug Leistung für den Start-Strom bereitstellen. Dadurch können kleinere und/oder weniger Batterien eingesetzt werden, die hinsichtlich Energie und Lebensdauer optimiert sind. Batterien werden und sollen also gar nicht komplett ersetzt werden. Fahrzeugkonstruktionen, die das Gleichgewicht zwischen Ultrakondensatorleistung und Batterieenergie optimieren, werden wesentlich günstiger und ansprechender sein als solche, die lediglich Batterien verwenden.

Intelligenter Einsatz in Subsystemen

Zusätzlich zu den Antriebssystemen von Fahrzeugen lassen sich Ultrakondensatoren auch in Subsysteme von Automobilen sehr vorteilhaft einbauen. Kleine Ultrakondensatoren können beispielsweise für die Klimaanlage, automatische Verriegelung und Innenbeleuchtung eingesetzt werden. Da die Designzyklen dieser Subsysteme wesentlich kürzer und die Stückzahlen größer als die von Antriebssystemen sind, dürften sie sicherlich früher in großen Stückzahlen eingesetzt werden.

In 42-Volt-Subsystemen, die langfristig in allen Fahrzeugen, auch in solchen mit Verbrennungsmotor, zu finden sein werden, können Ultrakondensatoren nicht nur zur Bereitstellung von Energie für die Beschleunigung eingesetzt werden, sondern auch, um regenerative Bremsenergie zu speichern.

Um Hybridfahrzeuge erfolgreich verkaufen zu können, müssen Automobilhersteller ihren Kunden einen Mehrwert bieten, um sie von herkömmlichen Motoren zu Hybridantrieben zu bringen. Systemeigenschaften, die einen solchen Mehrwert bieten, sind unter anderem eine lange Lebensdauer des Fahrzeugs, Umweltverträglichkeit und geringe Kosten – zusätzlich zu einer hervorragenden Leistung, die Sicherheit und Fahrspaß mit einschließt.

Hybridfahrtzeuge mit Ultrakondensatoren für viele Anwendungen

Ultrakondensatoren können dazu beitragen, diese Kundenvorstellungen zu erfüllen. Sie bieten eine lange Lebensdauer, sind nicht temperaturanfällig und können den Spitzenstrombedarf abdecken. Auch die Anforderungen bezüglich niedriger Kosten stellen bei den für den Automobilbereich typischen Stückzahlen kein Problem dar, sie werden im Jahr 2004 bei etwa 0,01 Dollar pro Farad liegen, bei einem Fertigungsvolumen im Millionenbereich. Somit können Ultrakondensatoren dazu beitragen, nicht-traditionelle Antriebstechniken auch für den typischen Kunden oder Fahrzeugflottenbesitzer interessant zu machen und dadurch die verheißungsvolle Idee von effizienten, sauberen, erschwinglichen und kundenfreundlichen Elektro-Hybridfahrzeugen Wirklichkeit werden zu lassen.

In größerem Umfang betrachtet sind Ultrakondensatoren für eine Vielzahl von Transport-Anwendungen geeignet. Die typischen Zyklen von Beschleunigen und Bremsen, wie sie beim Betrieb von Zügen, Straßen- und U-Bahnen vorkommen, machen diese zu einem idealen Einsatzgebiet für Ultrakondensatoren. Letztendlich könnten Ultrakondensatoren also eine wichtige Rolle bei der Revolutionierung der gesamten Transportindustrie spielen – einer Industrie, die dringend solche Energieversorgungstechnologien benötigt, welche die umweltfreundlichen, kostenbewussten aber dennoch immer anspruchsvolleren Leistungsanforderungen sicher ermöglichen.

300