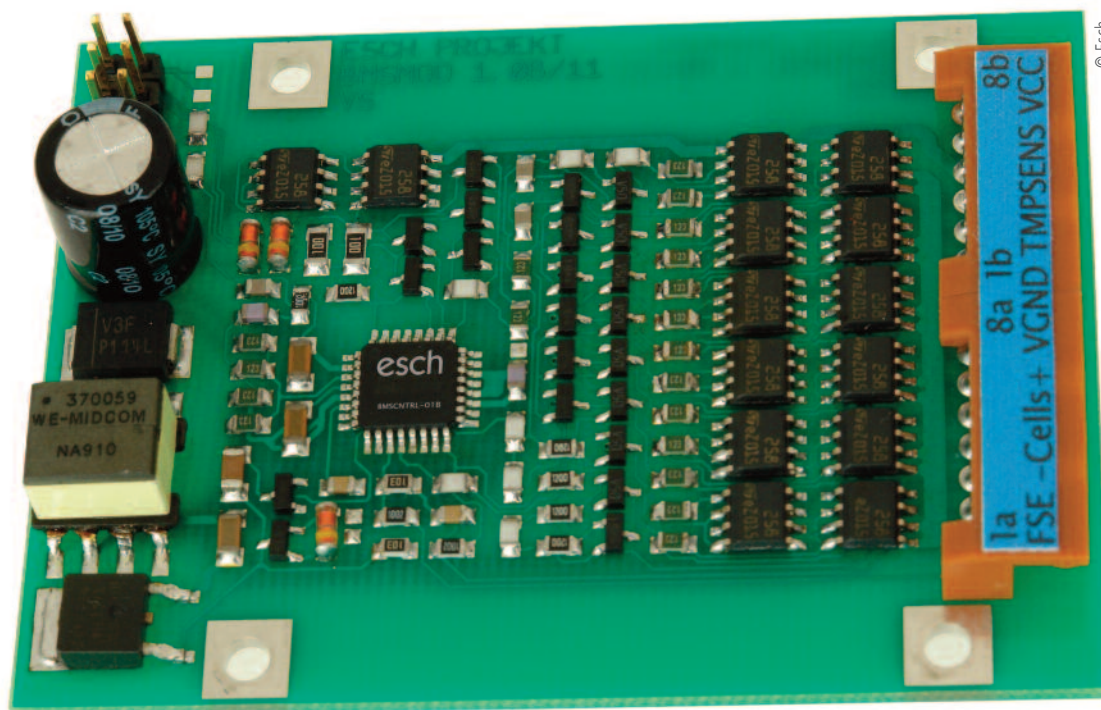


Bild: Herzstück der Module: die BMS-Elektronik



© Esch

Modulare Traktionsbatterien

Moderne Elektroautos, eBikes, Elektroroller, leichte Citymobile, City-Kleintransporter ... Sie alle benötigen sichere, leistungsstarke, langlebige und bezahlbare Batteriesysteme, die an die fahrzeugspezifischen Bedingungen richtig angepasst sind. Die komplexen Anforderungen an solche Traktionsbatterien lassen sich grob in die Bereiche Sicherheit, Performance und Wirtschaftlichkeit gliedern.

Batteriesicherheit betrifft alle für den gefahrlosen und störungsfreien Betrieb relevanten Aspekte: Systemlayout, Zellchemie, Aufbau und Qualität der Einzelzellen, mechanische und elektrische Verbindungen dieser Zellen zur Batterie, die nötige Überwachungselektronik, das verkehrsgerechte Containment des Batteriesystems und dessen Unterbringung im Fahrzeug (Crashsicherheit). Zur Beherrschung der erheblichen Gefahren, die von brennbaren und gesundheitsschädlichen Substanzen der bevorzugten Lithium basierenden Zellen ebenso wie von hohen Energiedichten sowie gegenüber Anwendungen in der Elektronik großen Batteriekapazitäten im Fahrzeug ausgehen, kommt der Elektronik eine zentrale Rolle zu.

Batteriemanagementsystem

Die physikalischen Parameter eines Batteriesystems müssen bis hinunter auf Zellenebene schnell, exakt und kontinuierlich erfasst werden, woraus sich Aussagen sowohl über das Wohlbefinden

der Zellen, deren toleranzbedingte Abweichungen untereinander und den Ladezustand ableiten, als auch entsprechende Ausgleichsvorgänge steuern lassen. Diese Elektronik wird unter dem Begriff Batteriemanagementsystem, kurz BMS, zusammengefasst. Ein BMS kann bei entsprechender Auslegung auch den Ladevorgang steuern, die Batterie freischalten und, vernetzt mit der Fahrzeugelektronik, verlässliche Berechnungen der noch verfügbaren Energiemenge beziehungsweise Reichweite unterstützen oder bei erkannten Problemen notfalls die Batterie ganz oder teilweise abschalten. Selbstverständlich gehören auch ökologische Aspekte des gesamten Stoffkreislaufs zu einer erweiterten Sicherheitsbetrachtung.

Erlebte Realität

Akzeptanz und Attraktivität von Elektrofahrzeugen sind eng mit dem Fahrerlebnis verknüpft. Wer wie ich das Beschleunigungsvermögen und die souveräne Kraftentfaltung beispielsweise eines Grace-e-Bikes oder eines Tesla-Roadster

erproben durfte, für die sind die mannigfaltigen Vorzüge von Elektrofahrzeugen keine Theorie mehr, sondern erlebte Realität. Mit früheren Elektrofahrzeugen, denen das Behelfsmäßige anhaftete, hat diese neue Generation wenig gemeinsam. Diese Leistungsfähigkeit resultiert aus hocheffizienten Elektromotoren, möglichst paarweise in die Räder integriert, aus Form- und Stoffleichtbau, moderner Mikro- und Leistungselektronik und eben aus Traktionsbatterien.

Schlüsselrolle

Dem Batteriesystem kommt insofern eine Schlüsselrolle zu, da es die benötigte Energie für die vorgesehenen Fahrleistungen – Höchstgeschwindigkeit, Reichweite, Beschleunigungs- und Steigungsvermögen – zur Verfügung stellen muss. Je höher diese Werte sein sollen, um so voluminöser und schwerer wird das Batteriesystem, was wiederum dem Erreichen der angestrebten Ziele entgegenwirkt. Bei den heute verfügbaren Lithium basierenden Zellen geht es beim Batteriedesign deshalb stets um den bestmöglichen Kompromiss. Eckpunkte sind, welche Ströme im Betrieb, vor allem beim Anfahren, aber auch Rekuperieren fließen, mit welcher Spannung die Motoren arbeiten, welche Reichweite erzielt werden soll, ob Schnellladen vorgesehen ist oder welche Lebensdauer gefordert wird. Traktionsbatterien, die für eine größere Reichweite ausgelegt wurden, liefern die hohen Anfahrströme meist direkt. Bei knapp bemessenen Batterien, mäßigen Anforderungen an die Reichweite, aber hoher Fahrdynamik kann es erforderlich werden, zwischen der vom Batteriesystem lieferbaren Stromstärke und den Anforderungen der Antriebsseite zu vermitteln, in dem ein sogen. Zwischenkreis, meist bestückt mit Doppelschichtkondensatoren großer Kapazität, eingefügt wird. Ein Zwischenkreis vermeidet kurzzeitige Stromspitzen, die Stress für die Zellen bedeuten und sie schneller altern lassen.

Die Lebensdauer der Batterie

Leichte Fahrzeuge mit geringen Fahrverlusten und hohem Antriebswirkungsgrad punkten, wenn es um die Batteriekosten geht. Die Traktionsbatterie ist das teuerste Bauteil eines Elektrofahrzeugs und übersteigt bei den derzeit noch dominierenden Konversionsdesigns zumeist die Kosten des restlichen Fahrzeugs. Gleich-

zeitig unterliegen die Zellen einer kalendrischen und zyklischen Lebensdauerbegrenzung. Bei optimaler Systemauslegung und kontrollierten Betriebsbedingungen, die unter anderem ein ausgeklügeltes BMS voraussetzen, kann man derzeit 1.500 und mehr Lade/Entladezyklen über einen Zeitraum von etwa zehn Jahren annehmen. Unterstellen wir eine durchschnittliche Reichweite von 120 Kilometer pro Batterieladung, so ist das System fit für rund 180.000 Kilometer und damit praxistauglich für Cityfahrzeuge. Bei ungünstigem Systemdesign, zu hohen Lade- und Entladestromraten (C-Raten) und einem Auf- und Entladen zwischen absoluten Grenzwerten kann die Zyklenzahl allerdings auf einige hundert schrumpfen. Das Lebensdauerende wird unter anderem durch Absinken der Zellenkapazität auf 80 Prozent definiert, was im alltäglichen Fahrbetrieb noch hingenommen werden kann. Eine sinnvolle und wirtschaftlich interessante stationäre Second-Life-Anwendung derart gealterter Batteriesysteme ist im Bereich der fluktuierenden, regenerativen Energieerzeugung zur Pufferung, Spitzentlastabdeckung, Netzregelung und Verbesserung der Netzqualität vorstellbar.

Modularisierte Batterien

Nach diesen Betrachtungen zur Sicherheit, Performance und Wirtschaftlichkeit von Traktionsbatterien möchte ich meinen Systemansatz vorstellen, der auf Modulen gut handhabbarer Größe basiert, die zu einem Cluster verbunden werden. Diese Modularisierung bietet eine Reihe von technischen und wirtschaftlichen Vorteilen. Kompakte und leichte Batteriemodule sind in Fertigung und Service leichter handhabbar als zentnerschwere Batterien und lassen sich sowohl bei Neukonstruktionen als auch bei Konversionsdesigns besser ins Fahrzeug integrieren. Modularisierte Batterien sind prinzipiell sicherer, da Teilausfälle bis hin zur Havarie einzelner Module in der Auswirkung begrenzt sind. Unterschiedliche Fahrzeugkonzepte mit unterschiedlichen Anforderungen an die Leistungsdaten der Batterie sind mit einer entsprechenden Anzahl gleicher Module möglich. Jedes der circa 3,6 Kilogramm schweren Module trägt je nach Zellenbestückung mit 0,5 (Lithium-Eisenphosphat) über 0,65 (Lithium-Mangan) bis 0,9 Kilowattstunden (Lithium-Kobalt) zur Gesamtleistung des Clusters bei. Die eigentlichen Zellenblöcke sind

galvanisch isoliert und vibrationsabsorbierend in den Alu-Modulgehäusen untergebracht. Bis zu 30 dieser Module werden untereinander mit Steckverbindern verschaltet. Jedes Modul ist mehrfach abgesichert und verfügt über ein präzises BMS mit Zellmonitoring und –balancing für optimale Performance sowie Lebensdauer. So entstehen flexible Batteriesysteme bis zu 27 Kilowattstunden und 43 bis 266 Volt mit Redundanzen in der Überwachung. Die Verbindung zwischen Cluster und Fahrzeug stellt der Cluster-Controller her, der einerseits via Sub-Bus mit den Modulen im Dialog steht und andererseits auf einem höheren Level mit der Bordelektronik über den Fahrzeugbus kommuniziert.

Parametrieren und überwachen

Sowohl einzelne Module als auch das Gesamtsystem lassen sich über ein Windows-Programm parametrieren und überwachen. Dieses Programm kann auch alternativ zum Cluster-Controller geeignete Ladegeräte steuern. Das aktive Zellbalancing der Module arbeitet nach einem neuartigen Verfahren (Schutzrechte beim Autor), das jede Zelle mit der für exakten Ladungsausgleich ermittelten Zusatzladung versorgt. Die zusätzliche Aufheizung des Systems ist gegenüber den üblichen analogen Bypass-Systemen, in denen überschüssiger Ladestrom in Wärme umgesetzt wird, äußerst gering. Mit der Alterung der Zellen nimmt die Parameterstreuung zu. Die Folge bei Bypässen ist eine zunehmend stärkere Aufheizung, da alle Zellen auf das Niveau der schlechtesten Zelle heruntergezogen werden. Das hier eingesetzte aktive Balancing, bei dem die Ausgleichsladungen aus der Modulspannung erzeugt werden, arbeitet entgegengesetzt: Die schlechteste Zelle wird dem Zustand der besten Zelle angeglichen. Das wirkt sich positiv auf Leistungsbilanz und Lebensdauer aus. Das System benötigt im inaktiven Zustand keine Energie und verhindert so bei langen Stillstandszeiten mögliche Zellschäden durch Tiefentladung. ■

www.esch-pro.com



Autor: Hans-Jürgen Esch, Entwickler, Konstrukteur und Berater im Bereich Elektromobilität, Esch Projekt Systementwicklung Berlin

