



(10) **DE 10 2019 129 468 A1** 2021.05.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 129 468.1**

(22) Anmeldetag: **31.10.2019**

(43) Offenlegungstag: **06.05.2021**

(51) Int Cl.: **H01M 10/44** (2006.01)

H01M 10/617 (2014.01)

H01M 10/48 (2006.01)

G01R 31/389 (2019.01)

G01R 31/36 (2019.01)

(71) Anmelder:

**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE**

(72) Erfinder:

**Nuernberger, Simon, 83043 Bad Aibling, DE;
Schmidt, Jan Philipp, Dr., 80997 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2009 038 663	A1
DE	10 2017 218 715	A1
US	2017 / 0 077 717	A1
US	2018 / 0 034 283	A1
CN	105 223 487	A

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Schnellladeverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schnellladen eines Batteriesystems, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen umfasst, wobei Einheiten aus einzelnen Zellen oder aus Blöcken parallel geschalteter Zellen in Reihe geschaltet sind, und weiterhin Mittel zum Messen der Spannung und zumindest einer Komponente der Impedanz dieser Zelleneinheiten vorgesehen sind, ausgehend von einem anfänglichen Ladezustand SOC_0 auf einen vorbestimmten Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} , in dem optimierte Schnelllade-Bedingungen unter Einsatz von Impedanzmessungen bzw. Impedanzspektroskopie (EIS) ermittelt werden. Ein weiterer Gesichtspunkt der Erfindung betrifft ein Batteriesystem, in dem das Verfahren implementiert ist.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schnellladen einer Lithiumionenzelle oder eines Batteriesystems, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen umfasst, unter Zuhilfenahme von Impedanzmessungen bzw. Impedanzspektroskopie.

Technischer Hintergrund

[0002] Für Batteriesysteme für automobiler Anwendungen, insbesondere für rein elektrisch betriebene Fahrzeuge, stellt die Schnellladefähigkeit eine spezielle Herausforderung dar. In praktischer Hinsicht wäre es wünschenswert, wenn das Laden des Batteriesystems nicht wesentlich länger als der Auftankvorgang bei einem mit Verbrennungsmotor betriebenen Fahrzeug dauert.

[0003] Hierfür sind hohe Ladeströme erforderlich, beispielsweise im Bereich von 2C oder mehr. Solche Ladeströme können jedoch zu einer starken Selbsterwärmung und damit zu einer zunehmenden Degradation des Elektrolyten und einer beschleunigten Alterung der Batterie führen. Weiterhin besteht bei hohen Strömen die Gefahr, dass an der Anode neben der Interkalation auch metallisches Lithium abgeschieden wird (Li-Plating), was wiederum zu inneren Kurzschlüssen führen kann.

[0004] Erschwerend kommt hinzu, dass die geeigneten Schnelllade-Bedingungen wiederum typischerweise vom Alterungszustand der Zelle (State-of-Health, SOH) abhängen. So kann es vorkommen, dass gewisse Schnelllade-Bedingungen, die anhand von neuen Zellen optimiert wurden, bei Zellen mit schlechtem SOH zu Problemen führen.

[0005] Aktuell werden Schnellladestrategien für Automobile Anwendungen bis 350kW Ladeleistung bei OEMs und Zellherstellern erarbeitet/untersucht. Aufgrund fehlender Information über Einfluss des Schnellladens auf die Alterung und fehlender Felddaten zu diesem use-Case mit Ladeleistungen bis 350 kW, können Ladestrategien nur mit großem Puffer sehr konservativ ausgelegt werden, um auch bei fortschreitender Alterung der Zellen noch zu funktionieren.

Aufgabenstellung

[0006] In den gegenwärtigen Schnellladeverfahren des Standes der Technik werden die Ladebedingungen typischerweise anhand des SOC angepasst, der wiederum aus der Zellspannung (Leerlaufspannung) ermittelt wird. Beispielsweise kann bei niedrigem SOC zunächst mit konstantem Ladestrom (constant current, CC) geladen, bei Überschreiten eines

Grenzwertes wird das CC-Laden mit niedrigerem Ladestrom fortgesetzt, und bei Überschreiten eines weiteren Grenzwerts wird mit konstanter Spannung (constant voltage, CV) weitergeladen, bis ein bestimmter Ziel-SOC (d.h. eine bestimmte Zielspannung) erreicht ist. Jedoch wird die Zellspannung nicht allein durch den SOC bestimmt, sondern kann auch von der Temperatur und dem Alterungszustand abhängen, d.h. die Spannung allein ist nicht unbedingt ein zuverlässiges Maß für den SOC.

[0007] Daneben ist es auch wünschenswert, die Schnellladebedingungen in Abhängigkeit von der Temperatur zu spezifizieren, da in Verbindung mit hohem Ladestrom bei hohen Temperaturen die Elektrolyt-Degradation begünstigt werden kann, während bei niedrigen Temperaturen Li-Plating auftreten kann. Hier stellt sich jedoch die Schwierigkeit, dass die Umgebungstemperatur, die z.B. durch einen am Gehäuse des Batteriesystems oder der Zelle angebrachten Sensor gemessen wird, von der Temperatur im Inneren der Zelle abweichen kann. Schließlich sollte insbesondere auch der Einfluss des Alterungszustands (SOH) als begrenzenden Faktor für den maximalen Ladestrom bzw. die maximale Laderate berücksichtigt werden.

[0008] Zusammenfassend hängen die idealen Schnelllade-Bedingungen einer Lithiumionenzelle insbesondere von der Temperatur, dem SOC bzw. der Zellspannung sowie vom SOH ab. In Anbetracht dieser Problematik stellt sich somit die Aufgabe, ein Schnellladeverfahren zu entwickeln, das diese Abhängigkeiten berücksichtigt und dadurch einerseits eine möglichst kurze Ladezeit ermöglicht, und andererseits eine vorschnelle Alterung oder Beschädigung der Zellen vermeiden kann.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Im Hinblick auf obigen Aufgabenstellung stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Schnellladen eines Batteriesystems bereit, in dem optimierte Schnelllade-Bedingungen in Abhängigkeit von zumindest einem aus Zelltemperatur T, SOC und SOH unter Einsatz von Impedanzmessungen bzw. Impedanzspektroskopie (EIS) ermittelt werden.

[0010] Speziell betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Schnellladen eines Batteriesystems, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen umfasst, wobei Einheiten aus einzelnen Zellen oder aus Blöcken parallel geschalteter Zellen in Reihe geschaltet sind, und weiterhin Mittel zum Messen der Spannung und zumindest einer Komponente der Impedanz dieser Zelleinheiten vorgesehen sind, ausgehend von einem anfänglichen Ladezustand SOC_0 auf einen vorbestimmten Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} , wobei das Verfahren umfasst:

- Kontinuierliches oder intermittierendes Ermitteln der Zellspannungen und Impedanz-Werte der Zelleneinheiten, worin die Impedanz-Werte eine oder mehrere Komponenten der Impedanz bei einer oder mehreren Frequenzen umfassen;

- Bestimmung des Ladezustands SOC des Batteriesystems aus der Zellspannung und optional aus den ermittelten Impedanz-Werten;

- Bestimmung der Temperatur $T_{1...N}$ der einzelnen Zelleneinheiten aus den ermittelten Impedanz-Werten;

- Bestimmung des Alterungszustands $SOH_{1...N}$ der einzelnen Zelleneinheiten, der zumindest den kapazitätsbezogenen Alterungszustand $SOH_C_{1...N}$ und vorzugsweise auch den aus den ermittelten Impedanz-Werten bestimmten innenwiderstandsbezogenen Alterungszustand $SOH_R_{1...N}$ umfasst;

- Laden des Batteriesystems mit einem ersten Ladeprofil P_1 , das anhand der erfassten Werte für SOC_0 sowie für $T_{1...N}$ und $SOH_{1...N}$ ausgewählt wird, bis ein erster Ladezustandsgrenzwert SOC_1 erreicht ist, oder in einer der Zelleneinheiten eine vorbestimmte Maximaltemperatur T_{max} überschritten oder eine Minimaltemperatur T_{min} unterschritten wird,

- Laden des Batteriesystems mit einem oder mehreren weiteren Ladeprofilen $P_{2...M}$, die anhand der jeweils erfassten Werte für den SOC sowie für $T_{1...N}$ und $SOH_{1...N}$ ausgewählt werden, bis für das jeweilige Ladeprofil ein entsprechender Ladezustandsgrenzwert $SOC_{1...N}$ erreicht ist, oder in einer der Zelleneinheiten eine vorbestimmte Maximaltemperatur $T_{max,2...M}$ überschritten oder eine Minimaltemperatur $T_{min,2...M}$ unterschritten wird,

bis der Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} erreicht ist oder der Ladevorgang abgebrochen wird.

[0011] Ein weiterer Gesichtspunkt der Erfindung betrifft ein Batteriesystem, das für die Durchführung des Schnellladeverfahrens eingerichtet ist.

Detaillierte Beschreibung

Batteriesystem

[0012] Das erfindungsgemäße Schnellladeverfahren wird zum Laden eines Batteriesystems eingesetzt, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen umfasst. Die Zellen sind einzeln oder in Blöcken aus parallel geschalteten Zellen strangweise in Reihe geschaltet, um die für den Einsatz in elektrisch betriebenen Fahrzeugen oder (plug-in) hybrid-elektrischen Fahrzeugen typischerweise erforderlichen Gesamtspannungen von 200 bis 500 Volt bereitzustellen. Ein Block aus parallel geschalteten Einzelzellen verhält

sich elektrisch wie eine Einzelzelle mit entsprechend größerer Kapazität. Im Folgenden werden die Einzelzellen oder parallelen Blöcke, die im Batteriesystem seriell geschaltet sind, zusammenfassend als Zelleneinheiten bezeichnet.

[0013] Für jede Zelleneinheit sind Mittel zur Überwachung der Spannung und zur Messung von zumindest einer Komponente der Impedanz bereitgestellt, wobei die Implementierung dieser Mittel nicht speziell beschränkt ist. In einer möglichen Ausführungsform kann jede Zelleneinheit mit einem Steuergerät zur Zellüberwachung (Cell Supervision Circuit, CSC) versehen sein, die zumindest für die Messung der Spannung eingerichtet ist. Die CSCs sind wiederum mit einem zentralen Steuergerät für das Batteriemangement (Battery management unit, BMU) verbunden. Voreilhafterweise dienen die gemessenen Spannungsdaten gleichzeitig zur Bestimmung der Impedanz, wobei die Impedanz-Berechnung wahlweise im CSC oder in der BMU erfolgen kann. Um eine übermäßige Belastung der Kommunikationskanäle mit den Spannungsdaten zu vermeiden, ist eine Berechnung durch den CSC bevorzugt.

[0014] Weiterhin können auch CSCs eingesetzt werden, die eine Mehrzahl von Zelleneinheiten gleichzeitig überwachen, oder die Überwachungsfunktion sämtlicher Zelleinheiten kann in die BMU als einziges Steuergerät integriert sein.

[0015] Die Steuerung des Schnellladeverfahrens erfolgt typischerweise durch die BMU unter Berücksichtigung der Spannungs- und Impedanzdaten der einzelnen Zelleneinheiten. Dazu ist die BMU über eine geeignete Datenverbindung, z.B. einen CAN-Bus, mit einem Ladegerät verbunden, so dass der bereitgestellte Ladestrom bzw. die angelegte Spannung entsprechend geregelt werden kann.

[0016] Das Ladegerät, das den Ladestrom bereitstellt, kann fest in das Batteriesystem bzw. in das Fahrzeug, in dem das Batteriesystem installiert ist, integriert sein, oder es kann ein externes Ladegerät eingesetzt werden, dass mit dem Batteriesystem nur für die Durchführung des Ladevorgangs verbunden wird.

Impedanz-Messung

[0017] Im erfindungsgemäßen Schnellladeverfahren dient die Impedanzmessung bzw. Impedanzspektroskopie insbesondere einem oder mehreren der folgenden Zwecke:

- Bestimmung der Zelltemperatur T ; anhand der Impedanz kann die Temperatur im Inneren der Zelle zum jeweiligen Zeitpunkt direkt ermittelt werden; zeitliche Trägheitseffekte oder räumliche Mittelung über mehrere Zellen wie bei her-

kömmlichen Temperatursensoren können vermieden werden;

- Verbesserung der Bestimmung des SOC; herkömmlicherweise wird der SOC anhand der Leerlaufspannung bestimmt, die aber ggf. auch vom Alterungszustand abhängt und somit den SOC unzureichend wiedergeben könnte;

- Bestimmung des SOH; das Impedanz-Spektrum ermöglicht die Ermittlung der Elektrolytleitfähigkeit und erlaubt Rückschlüsse auf die Kinetik der Li-Interkalation/Deinterkalation an den Elektroden; dadurch kann wiederum der Alterungszustand von Elektrolyt und Elektroden abgeschätzt werden.

- Bestimmung der Li-Plating-Grenzen; dadurch können optimierte Temperatur-Grenzwerte ermittelt werden, bei deren Unterschreitung der Ladestrom verringert bzw. das Laden unterbrochen werden soll.

[0018] Allgemein kann die Impedanz gemessen werden, indem als Anregungssignal ein oszillierendes Stromsignal ($I(t)$, galvanostatisch) oder Spannungssignal ($U(t)$, potentiostatisch) an die Zelle angelegt und das entsprechende Antwortsignal $U(t)$ bzw. $I(t)$ gemessen wird. Die Impedanz lässt sich dann als $U(t)/I(t)$ berechnen und ist im Allgemeinen komplex.

[0019] Vorteilhafterweise wird im erfindungsgemäßen Verfahren als Anregungssignal ein Stromsignal eingesetzt, das beispielsweise auf den Ladestrom ausgeprägt werden kann, und die Mittel zur Spannungsmessung, die für die einzelnen Zelleneinheiten bereitgestellt sind, werden gleichzeitig zur Detektion des Antwortsignals eingesetzt.

[0020] Das Anregungssignal kann eine einzelne Frequenz oder eine Superposition mehrerer Frequenzen umfassen, und es kann kontinuierlich oder gepulst an die Zelle angelegt werden. Die Frequenzen sind nicht speziell beschränkt und können beispielsweise im Bereich von 10 Hz bis 10 kHz liegen, vorteilhafterweise 100Hz bis 5kHz. Grundsätzlich genügt es, eine einzelne Anregungsfrequenz einzusetzen. Alternativ können zwei oder mehrere Anregungsfrequenzen abwechselnd oder überlagert eingesetzt werden, oder es kann eine vorbestimmte Bandbreite an Anregungsfrequenzen durchlaufen werden, um ein Spektrum aufzunehmen. Als weitere Möglichkeit kann die Anregung gepulst erfolgen, beispielsweise in Form eines Impulses, der eine Überlagerung vieler Frequenzen darstellt, und das gemessene Signal wird mittels Fourier-Transformation analysiert. Das so erhaltene Spektrum wird dann mit dem Spektrum des Anregungsimpulses korreliert, um ebenfalls ein Impedanzspektrum zu erhalten.

[0021] Allgemein hat die Frequenz einen Einfluss auf die Prozesse in der Zelle, die zum Antwortsig-

nal beitragen. Bei hohen Frequenzen (z.B. 1 kHz) kommt die Impedanz hauptsächlich durch die ionischen und elektronischen Widerstandsanteile im Elektrolyten sowie in den Elektroden und Ableitern zustande, während bei niedrigen Frequenzen weitere Beiträge hinzukommen, die auf Prozesse mit relativ langsamer Zeitskala wie Festkörperdiffusion oder Ladungsdurchtrittsreaktionen zurückzuführen sind.

[0022] Zudem erhöht sich bei niedrigen Frequenzen auch die Abhängigkeit von anderen Faktoren wie insbesondere dem Ladezustand (SOC) und dem Alterungszustand (SOH) der Zelle. Bei höheren Frequenzen kommt hingegen hauptsächlich der Einfluss des Elektrolyt-Widerstands zum Tragen, der im Wesentlichen von Temperatur und Alterungszustand abhängt.

[0023] Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzabhängigkeit der Einflüsse von Temperatur, SOC und SOH auf die Impedanz (wobei sich zudem auch die Einflüsse auf Realteil bzw. Imaginärteil unterscheiden können) können umgekehrt durch Impedanzmessung bei mehreren unterschiedlichen Frequenzen Temperatur, SOC und SOH ermittelt werden.

[0024] Geeignete Methoden zur Bestimmung von T, SOC und SOH anhand der Impedanz sind im Stand der Technik grundsätzlich bekannt und können für das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden. So beschreibt DE 10 2013 103 921 beispielsweise Zelltemperaturmessung und Degradationsmessung in Lithiumbatteriesystemen von elektrisch betriebenen Fahrzeugen durch Bestimmung der Zellimpedanz basierend auf einem von einem Wechselrichter vorgegebenen Wechselspannungssignal. Dem Verfahren liegt die Beobachtung zugrunde, dass der Verlauf der Auftragung von Impedanz gegen Signalfrequenz temperaturabhängig ist.

[0025] Die Detektion der Li-Plating-Grenzen kann beispielsweise durch Abschätzung der Anoden-Überspannung bei der Messung des Innenwiderstands für die Bestimmung des SOH_R erfolgen.

[0026] In einer möglichen Ausführungsform können Referenzdaten ermittelt werden, indem die Zelle auf vorbestimmte Temperatur- (T-) und SOC-Werte gebracht wird, und die Impedanz bei mehreren Frequenzen f gemessen wird, um die Impedanz als Funktion von T, SOC und f zu erhalten. Aus den Daten kann dann beispielsweise eine Lookup-Tabelle erstellt werden. Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Schnellladeverfahrens können dann aus dieser Tabelle bei Eingabe der gemessenen Impedanzwerte bei den verschiedenen Messfrequenzen z.B. die entsprechenden Werte für T und SOC ausgelesen bzw. interpoliert werden. Zusätzlich kann die Änderung der Daten in Abhängigkeit von der Zyklenzahl und/oder dem Alter der Zelle untersucht werden, um den Einfluss des SOH zu bestimmen.

[0027] Vorzugsweise können dabei weitere Parameter wie insbesondere Zellspannung und Gehäuse-Temperatur zusätzlich berücksichtigt werden. So kann z.B. die Zellspannung als zusätzlicher Input-Parameter für den SOC herangezogen werden, wodurch sich die Freiheitsgrade reduzieren und die Präzision bei der Bestimmung der übrigen Parameter wie T und SOH verbessert werden kann. Die Gehäuse-Temperatur kann z.B. zur Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse herangezogen werden, auch kann z.B. eine Abweichung ein Anzeichen für eine Anomalie sein, beispielsweise einen beginnenden Kurzschluss, was weitere Maßnahmen wie Unterbrechung des Ladevorgangs oder Ausgabe einer Warnmeldung erforderlich machen kann.

[0028] In weiteren Ausführungsform kann die Zelle durch ein Ersatzschaltbild mit einem Serienwiderstand R_s , der den Elektrolytwiderstand darstellt, und mindestens einem RC-Glied, ggf. ergänzt durch ein Warburg-Element, zur Darstellung der Festkörperdiffusion in den Elektroden modelliert werden, wobei R für den Durchtrittswiderstand und C für die Kapazität der Ladungsdoppelschicht steht. Die Parameter des Ersatzschaltbildes werden anschließend aus den Impedanz-Messwerten ermittelt, und mit T sowie SOC und SOH korreliert.

[0029] So hängt R_s im Wesentlichen von der Temperatur und dem Alterungszustand des Elektrolyten ab. R und C hängen hingegen vom SOC, T und ggf. auch dem Alterungszustand der Elektroden ab, wobei sich jedoch die Temperaturabhängigkeit von derjenigen von R_s unterscheidet und näherungsweise ein Arrhenius-Verhalten aufweist. Für die SOC-, SOH- und T-Abhängigkeit der Parameter des Ersatzschaltbildes lassen sich wiederum Referenzdaten erstellen, aus denen dann bei Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, ggf. unter Berücksichtigung von Zellspannung und Außentemperatur, SOC, SOH und T ermittelt werden.

Ladeverfahren

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum Schnellladen des Batteriesystems ausgehend von einem anfänglichen Ladezustand SOC_0 auf einen vorbestimmten Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} .

[0031] Allgemein wird je nach benötigter externer Stromversorgung zwischen Wechselstrom-Laden (AC-Laden) und Gleichstrom-Laden (DC-Laden) unterschieden. Beim AC-Laden ist das Batteriesystem mit einem ins Fahrzeug integrierten Ladegerät (typischerweise $<11kW$) versehen, das an ein Wechselstromnetz angeschlossen wird, um den zum Aufladen des Batteriesystems benötigten Gleichstrom bereitzustellen. Beim DC-Laden wird hingegen ein externes Ladegerät ($>50kW$, bis $350kW$) eingesetzt, das den Ladestrom bereitstellt. Für hohe Ladeströ-

me, wie sie zum Schnellladen erforderlich sind, wird gegenwärtig meist DC-Laden eingesetzt. Das erfindungsgemäße Verfahren ist sowohl in Verbindung mit AC- als auch mit DC-Laden einsetzbar.

[0032] Der Anfangs-SOC SOC_0 ist nicht speziell beschränkt. In der Praxis kommt ein Schnellladen jedoch insbesondere dann in Betracht, wenn das Batteriesystem bereits weitgehend entladen ist und innerhalb kurzer Zeit wieder möglichst weit aufgeladen werden soll, etwa wenn bei einer Fahrt mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug ein „Tank-Stopp“ an einer Ladesäule eingelegt werden muss, und die Fahrt anschließend fortgesetzt werden soll. Daher beträgt SOC_0 typischerweise weniger als 50% der Gesamtkapazität, beispielsweise etwa 10 bis 30%.

[0033] Zur Vermeidung einer vorschnellen Alterung ist der Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} vorzugsweise geringer als 100% der Gesamtkapazität, und beträgt beispielsweise 60 bis 80%. Hierbei kann es sich um einen vorbestimmten Maximal-SOC handeln, für den das Batteriesystem im Hinblick auf das Schnellladen spezifiziert ist. Alternativ kann je nach Anwendungsfall ein gewünschter niedrigerer Ziel-SOC vorgegeben werden, der z.B. in Anbetracht der mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug noch zu fahrenden Strecke gewählt wurde. Als weitere Alternative kann eine zur Verfügung stehende Ladezeit vorgegeben werden, und der in dieser Zeit erreichbare Ziel-SOC wird vom Batteriemanagementsystem berechnet.

[0034] Die Bestimmung des gegenwärtigen SOC erfolgt zumindest anhand der Leerlaufspannung (Zellspannung), die für jede Zelle während des Ladens überwacht wird. Die Korrelation zwischen SOC und Zellspannung ist vorbekannt, beispielsweise durch Aufnahme einer Kennlinie, und ist im Batteriemanagementsystem in Form von Referenzdaten hinterlegt, so dass aus der gemessenen Zellspannung der SOC abgeleitet werden kann.

[0035] Jedoch kann die Zellspannung auch von anderen Einfluss-Faktoren, beispielsweise Temperatur (T) und dem kapazitätsbezogenen Alterungszustand (SOH_C) abhängen. Im erfindungsgemäßen Verfahren werden diese zusätzlichen Einflüsse vorzugsweise ebenfalls berücksichtigt, etwa durch zusätzliche Bestimmung des SOC anhand der Impedanz-Messung und ggf. Korrektur des aus der Zellspannung bestimmten SOC-Werte. Daneben können auch die SOC-Referenzdaten die T- bzw. SOH-Abhängigkeit beinhalten. Anhand der im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzten Impedanzmessung können T und SOH ermittelt werden und in die Ermittlung des SOC einfließen. Die Bestimmung des SOH erfolgt dabei ggf. unter Berücksichtigung weiterer SOH-relevanter Parameter wie insbesondere das Alter der Zelle, die Anzahl der Ladezyklen und/oder die insge-

samt entnommene oder geladene Energiemenge, die im Batteriemanagementsystem aufgezeichnet sind.

[0036] Bei den Ladeprofilen $P_1 \dots P_N$ kann es sich insbesondere um ein Ladeprofil mit konstantem Strom (constant current, CC) oder ein Ladeprofil mit konstanter Spannung (constant voltage, CV) handeln. Beim CC-Laden wird der Strom konstant gehalten, und die Spannung nimmt mit steigendem SOC zu, während beim CV-Laden die Spannung konstant gehalten wird, und der Strom mit steigendem SOC abnimmt. Daneben ist auch ein Ladeprofil mit konstanter Leistung möglich, in dem das Produkt aus Strom und Spannung konstant gehalten wird. Gepulstes Laden, in dem Strompulse, beispielsweise als Rechtecks-Pulse, gefolgt von einer Pause, zugeführt werden, kommt ebenfalls in Betracht. Die Pulse können wiederum eine konstante Stromamplitude oder eine konstante Spannung aufweisen.

[0037] Im erfindungsgemäßen Verfahren wird vorzugsweise als erstes Ladeprofil P_1 ein CC-Ladeprofil eingesetzt und als letztes Ladeprofil P_2 bzw. P_N vor Erreichen des Ziel-SOC ein CV-Ladeprofil. Dazwischen kann bei Erreichen bestimmter SOC-Schwellwerte $SOC_{1 \dots SOC_{N-1}}$ das Ladeprofil gewechselt werden, etwa auf ein weiteres CC-Ladeprofil mit reduziertem Ladestrom.

[0038] Der gewählte Ladestrom in den Ladeprofilen wird typischerweise mit zunehmendem SOC verringert, d.h., der Strom ist normalerweise im ersten Ladeprofil P_1 am größten, wobei der gewählte Wert zumindest vom Anfangs-SOC und ggf. von Temperatur und SOH abhängt. Der Lade- bzw. Entlade-Strom eines Batteriesystems wird allgemein relativ zur Kapazität des Batteriesystems als sogenannte C-Rate angegeben, der als Quotient aus maximalem Strom und (Nenn-)Kapazität definiert ist. Eine C-Rate von 1 bedeutet beispielsweise bei einem Batteriesystem mit 1 Ah Nennkapazität ein Laden bzw. Entladen über 1 h mit einem Strom von 1 A. Beim Schnellladen sind Ladezeiten von weniger als 30 Minuten, beispielsweise etwa 10 bis 15 Minuten wünschenswert, was dementsprechend einem theoretischen Ladestrom von etwa 2,0 bis 6,0 C entspricht. Jedoch ist der Anfangs-SOC typischerweise größer als 0% und der Ziel-SOC geringer als 100%, d.h., die zuzuführende Ladung ist geringer als die Nennkapazität, so dass auch geringere Ladeströme in Betracht kommen. Andererseits wird der Ladestrom typischerweise in Abhängigkeit vom SOC gewählt und kann anfänglich höher sein und mit steigendem SOC verringert werden. In einem anfänglichen SOC-Bereich von etwa 10-30% kann der Ladestrom somit beispielsweise 2,0 bis 10,0 C, vorzugsweise 2,5 bis 5,0 C betragen. Mit zunehmendem SOC kann dann zu einem geringeren Ladestrom übergegangen werden, beispielsweise 1,0 bis 5,0 C, vorzugsweise 1,5 bis 3,0 C für einen SOC von 30-50, und nachfolgend kann der Strom weiter verrin-

gert oder zu einem Ladeprofil mit konstanter Leistung oder konstanter Spannung gewechselt werden.

[0039] Gegebenenfalls kann es erforderlich sein, zunächst für P_1 ein Ladeprofil mit geringerem Strom zu wählen, etwa um bei tiefen Temperaturen der Gefahr von Li-Plating vorzubeugen. Die Zellen erwärmen sich beim Laden, so dass beim Erreichen eines bestimmten Temperatur-Grenzwert auf ein Ladeprofil mit größerem Strom gewechselt werden kann.

[0040] Die Zelltemperaturen werden im erfindungsgemäßen Verfahren aus den Impedanz-Daten für die einzelnen Zellen ermittelt, um das Ladeprofil an die Temperatur anzupassen. Bei zu hohen Temperaturen, beispielsweise oberhalb von 50°C, besteht die Gefahr der vorschnellen Alterung, während bei zu niedrigen Temperaturen, beispielsweise unterhalb von 10°C, Li-Plating auftreten kann, insbesondere in Verbindung mit großem Ladestrom.

[0041] Falls die Zelltemperatur einen bestimmte Temperatur-Grenzwerte T_{max} bzw. T_{min} über- bzw. unterschreitet, kann daher auf ein entsprechend angepasstes Ladeprofil mit verringertem Ladestrom gewechselt werden, oder das Schnellladen kann unterbrochen werden, um die Zelle zunächst durch Kühlen bzw. Erwärmen auf Soll-Temperatur zu bringen. Es können auch mehrere Temperatur-Grenzwerte $T_{max,1 \dots N}$ bzw. $T_{min,1 \dots N}$ gewählt werden, wobei beim Über- bzw. Unterschreiten zunächst jeweils eine sukzessive Verringerung des Ladestroms und schließlich ein Unterbrechen des Ladevorgangs erfolgt.

[0042] Der SOH gibt den Alterungszustand der Zelle wieder. Mit zunehmendem Alter der Zelle, sowohl zeitlich als auch im Hinblick auf die Zyklenzahl und die insgesamt umgesetzte Energiemenge, können irreversible Degradationsvorgänge wie insbesondere Elektrolyt-Zersetzung, Verlust von Lithium, Degradation des Aktivmaterials oder Korrosionseffekte auftreten. Diese führen zu einer Zunahme des Innenwiderstands und zu einem Verlust der nutzbaren Kapazität im Vergleich zur ursprünglichen Nenn-Kapazität. Dementsprechend wird zwischen dem kapazitätsbezogenen SOH (SOH_C) und dem widerstandsbezogenen SOH (SOH_R) unterschieden.

[0043] Der SOH_C kann durch den Kapazitätsverlust charakterisiert werden, beispielsweise als Verhältnis von nutzbarer Kapazität zu ursprünglicher Nennkapazität. Die nutzbare Kapazität lässt sich aus den vom Batteriemanagementsystem ermittelten SOC-Daten in Verbindung mit den entnommenen bzw. beim Laden zugeführten Ladungsmengen bestimmen, und wird für jede Zelleneinheit im Speicher des Batteriemanagementsystems hinterlegt und während des Betriebs fortlaufend aktualisiert.

[0044] Der SOH_R gibt die Zunahme des Innenwiderstands durch Alterung des Elektrolyten wider und kann aus den Impedanz-Daten bestimmt werden. Die Bestimmung des SOH im erfindungsgemäßen Verfahren zumindest die Bestimmung des SOH_C, vorzugsweise sowohl SOH_C als auch SOH_R. Daneben können in die Bestimmung des SOH auch weitere Kriterien wie beispielsweise das Alter der Zelle, die Anzahl der Ladezyklen oder die insgesamt umgesetzte Energiemenge einfließen.

[0045] Im erfindungsgemäßen Verfahren werden bei schlechtem SOH Ladeprofile mit niedrigerem Ladestrom gewählt. Daneben können die Temperaturgrenzwerte T_{max} bzw. T_{min}, bei denen das Ladeprofil gewechselt oder das Laden unterbrochen wird, um die Zelle(n) zu temperieren, in Abhängigkeit vom SOH festgelegt werden, so dass bei Zellen mit schlechtem SOH engere Grenzwerte gelten, um einer weiteren Beschleunigung des Alterns vorzubeugen und mögliche Schäden zu verhindern.

[0046] Die Auswahl der Ladeprofile P_{1...N} erfolgt somit zumindest in Abhängigkeit vom SOC des Batteriesystems sowie von T und SOH der Zelleneinheiten. Jedoch kann die Auswahl auch unter Berücksichtigung weiterer externer Bedingungen erfolgen, beispielsweise einer Vorgabe für die zur Verfügung stehende Ladezeit. Steht eine ausreichende Zeit zur Verfügung, können gegebenenfalls konservativere Ladeprofile mit niedrigerem Ladestrom gewählt werden, um einer vorschnellen Alterung des Batteriesystems vorzubeugen.

[0047] Daneben kann das Laden auch vor Erreichen des Ziel-SOCs abgebrochen werden, etwa durch Benutzer-Eingabe oder auch durch das Batteriemanagementsystem, um Schäden zu verhindern, beispielsweise bei Detektion eines abnormalen Betriebszustands in einer der Zellen (z.B. starke Temperaturzunahme) während des Ladens.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102013103921 [0024]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schnellladen eines Batteriesystems, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen umfasst, wobei Einheiten aus einzelnen Zellen oder aus Blöcken parallel geschalteter Zellen in Reihe geschaltet sind, und weiterhin Mittel zum Messen der Spannung und zumindest einer Komponente der Impedanz dieser Zelleneinheiten vorgesehen sind, ausgehend von einem anfänglichen Ladezustand SOC_0 auf einen vorbestimmten Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} , wobei das Verfahren umfasst:

- Kontinuierliches oder intermittierendes Ermitteln der Zellspannungen und Impedanz-Werte der Zelleneinheiten, worin die Impedanz-Werte eine oder mehrere Komponenten der Impedanz bei einer oder mehreren Frequenzen umfassen;

- Bestimmung des Ladezustands SOC des Batteriesystems aus der Zellspannung und optional aus den ermittelten Impedanz-Werten;

- Bestimmung der Temperatur $T_{1...N}$ der einzelnen Zelleneinheiten aus den ermittelten Impedanz-Werten;

- Bestimmung des Alterungszustands $SOH_{1...N}$ der einzelnen Zelleneinheiten, der zumindest den kapazitätsbezogenen Alterungszustand $SOH_{C_{1...N}}$ und vorzugsweise auch den aus den ermittelten Impedanz-Werten bestimmten innenwiderstandsbezogenen Alterungszustand $SOH_{R_{1...N}}$ umfasst;

- Laden des Batteriesystems mit einem ersten Ladeprofil P_1 , das anhand der erfassten Werte für SOC_0 sowie für $T_{1...N}$ und $SOH_{1...N}$ ausgewählt wird, bis ein erster Ladezustandsgrenzwert SOC_1 erreicht ist, oder in einer der Zelleneinheiten eine vorbestimmte Maximaltemperatur $T_{max,1}$ überschritten oder eine Minimaltemperatur $T_{min,1}$ unterschritten wird,

- Laden des Batteriesystems mit einem oder mehreren weiteren Ladeprofilen $P_{2...M}$, die anhand der jeweils erfassten Werte für den SOC sowie für $T_{1...N}$ und $SOH_{1...N}$, ausgewählt werden, bis für das jeweilige Ladeprofil ein entsprechender Ladezustandsgrenzwert $SOC_{1...N}$ erreicht ist, oder in einer der Zelleneinheiten eine vorbestimmte Maximaltemperatur $T_{max,2...M}$ überschritten oder eine Minimaltemperatur $T_{min,2...M}$ unterschritten wird,

bis der Ziel-Ladezustand SOC_{Ziel} erreicht ist oder der Ladevorgang abgebrochen wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, worin die Ladeprofile $P_{1...N}$ aus Ladeprofilen mit konstantem Strom, Ladeprofilen mit konstanter Spannung, Ladeprofilen mit konstanter Leistung und Kombinationen davon ausgewählt sind.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, worin das Laden gepulst erfolgt.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, worin SOC_0 10-30% der Kapazität beträgt und P_1 ein

Ladeprofil mit konstantem Ladestrom im Bereich von 2,0 bis 10,0 C ist.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, worin das letzte Ladeprofil P_2 bzw. P_N vor Erreichen von SOC_{Ziel} ein Ladeprofil mit konstanter Spannung ist.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, worin SOC_{Ziel} 60-80% beträgt.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, worin die Impedanz-Werte Realteil und Imaginärteil bei mindestens zwei verschiedenen Frequenzen umfassen.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, worin das Verfahren bei Überschreiten von $T_{max,1}$ bzw. $T_{max,2}$ oder Unterschreiten von $T_{min,1}$ bzw. $T_{min,2}$ weiterhin das Unterbrechen des Ladevorgangs und Temperieren des Batteriesystems auf eine Solltemperatur umfasst, bevor der Ladevorgang fortgesetzt wird.

9. Batteriesystem, das für die Durchführung des Verfahrens gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 konfiguriert ist, umfassend:

- eine Mehrzahl von Zelleneinheiten aus einzelnen Lithiumionenzellen oder von Blöcken parallel geschalteter Lithiumionenzellen, die jeweils seriell miteinander verbunden sind;

- einen Signalgenerator, der zum Anlegen eines Wechselstromsignals als Anregungssignal an alle Zellen oder Blöcke gemeinsam eingerichtet ist, oder einen oder mehrere Signalgeneratoren zum Anlegen des Anregungssignals an die Zellen oder Blöcke einzeln,

- mindestens eine Spannungsmesseinrichtung für jede Zelle oder jeden Block, eingerichtet zur Messung der gesamten Zellspannung U und des Wechselspannungsanteils;

- ein oder mehrere Steuergeräte, eingerichtet für die Bestimmung der Impedanz-Werte aus dem Anregungssignal und dem Wechselspannungsanteil der Zellspannung; und

- ein Batteriemanagement-Steuergerät für die Steuerung des Ladevorgangs, das für die Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 eingerichtet ist.

Es folgen keine Zeichnungen