

(12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50138/2022 (51) Int. Cl.: H02J 7/00 (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 02.03.2022 G01R 31/367 (2019.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(56) Entgegenhaltungen: US 2018145527 A1 CN 112051504 A Nemes Raul Octavian et al., 'Parameters identification using experimental measurements for equivalent circuit Lithium-Ion cell models', 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) 2019, 28.03.2019, p. 1 - 6, XP033553252, doi:10.1109/ATEE.2019.8724878 Kupper Martin et al., 'Fractional Extended and Unscented Kalman Filtering for State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries', Annual American Control Conference (ACC) 2018, 27.06.2018, p. 3855 - 3862, XP033387080, doi:10.23919/ACC.2018.8430859 Tjandra Rudy et al., 'State of charge estimation considering OCV hysteresis in lithium iron phosphate battery for UPS applications', IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC) 2015, 18.10.2015, p. 1 - 6, XP032968722, doi:10.1109/INTELEC.2015.7572446	(71) Patentanmelder: AVL DiTest GmbH 8020 Graz (AT) (72) Erfinder: SCHOBER Manuel 8333 Riegersburg (AT) (74) Vertreter: Patentanwälte Pinter & Weiss OG 1040 Wien (AT)
---	--

(54) Verfahren und System zum Konditionieren eines Batteriemoduls

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Konditionieren eines Batteriemoduls (BM), insbesondere eines Batteriemoduls (BM) einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene Zielspannung (Uz) sowie ein zugehöriges System. Das Batteriemodul (BM) wird von einer Konditionierungseinheit (MB) oder einem Ladegerät (MB) mit einem Ladestrom (IL) geladen oder entladen (101), bis eine Spannung (Ut), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung (Ua1) erreicht (102). Bei Erreichen der ersten Abschaltspannung (Ua1) wird der Ladestrom (IL) abgeschaltet und von der Konditionierungseinheit (MB) während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) gemessen (103). Aus diesem gemessenen Relaxationsverlauf wird von einer Analyseeinheit (AE) ein Modell des Batteriemoduls (BM) abgeleitet (104), mit dessen Hilfe der gesamte Relaxationsverlauf ermittelt wird (105). Aus dem ermittelten gesamten Relaxationsverlauf wird dann von der Analyseeinheit

(AE) eine zweite Abschaltspannung (Ua2) derart bestimmt (105), dass nach Abschalten des Ladestroms (IL) bei Erreichen der zweiten Abschaltspannung (Ua2) die vorgegebene Zielspannung (Uz) als Ruhespannung vom Batteriemodul (BM) angenommen wird.

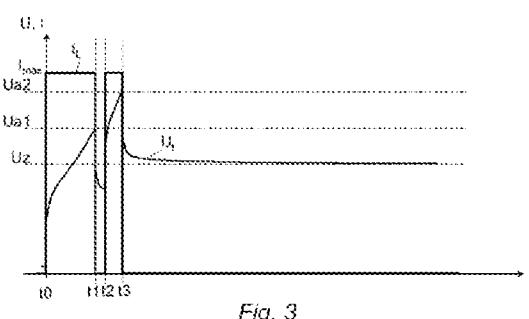


Fig. 3

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Konditionieren eines Batteriemoduls (BM), insbesondere eines Batteriemoduls (BM) einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene Zielspannung (Uz) sowie ein zugehöriges System. Das Batteriemodul (BM) wird von einer Konditionierungseinheit (MB) oder einem Ladegerät (MB) mit einem Ladestrom (I_L) geladen oder entladen (101), bis eine Spannung (Ut), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung (Ua1) erreicht (102). Bei Erreichen der ersten Abschaltspannung (Ua1) wird der Ladestrom (I_L) abgeschaltet und von der Konditionierungseinheit (MB) während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) gemessen (103). Aus diesem gemessenen Relaxationsverlauf wird von einer Analyseeinheit (AE) ein Modell des Batteriemoduls (BM) abgeleitet (104), mit dessen Hilfe der gesamte Relaxationsverlauf ermittelt wird (105). Aus dem ermittelten gesamten Relaxationsverlauf wird dann von der Analyseeinheit (AE) eine zweite Abschaltspannung (Ua2) derart bestimmt (105), dass nach Abschalten des Ladestroms (I_L) bei Erreichen der zweiten Abschaltspannung (Ua2) die vorgegebene Zielspannung (Uz) als Ruhespannung vom Batteriemodul (BM) angenommen wird. Das Batteriemodul (BM) wird dann solange mit dem Ladestrom (I_L) weiter geladen oder entladen, bis von der zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfallenden Spannung (Ut) die zweite Abschaltspannung (Ua2) erreicht wird (107). Dann wird der Ladestrom (I_L) abgeschaltet und am Batteriemodul (BM) stellt sich durch den Relaxationsverlauf die vorgegebenen Zielspannung (Uz) ein (108).

Fig. 3

Verfahren und System zum Konditionieren eines Batteriemoduls

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Konditionieren eines Batteriemoduls, insbesondere eines Batteriemoduls einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene 5 Zielspannung. Weiterhin bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein zugehöriges System zur Durchführung des Verfahrens zum Konditionieren des Batteriemoduls.

Stand der Technik

Heutzutage werden, wie in vielen elektrisch antreibbaren Systemen (z.B. Mobiltelefonen, elektronischen Geräten, etc.), auch in elektrisch antreibbaren Fahrzeugen, wiederaufladbare 10 Batterien bzw. so genannte Sekundärbatterien eingesetzt. Elektrofahrzeuge oder Hybridfahrzeuge weisen üblicherweise im Antriebsstrang neben einer elektrischen Antriebsmaschine bzw. einem Elektromotor zum Antreiben des Fahrzeugs eine Hochvoltbatterie auf, welche als Antriebs- oder Traktionsbatterie elektrische Energie für die 15 elektrische Antriebsmaschine des Fahrzeugs bereitstellt. Diese Batterien sind üblicherweise wiederaufladbar und umfassen meist mehrere zusammengeschaltete Batteriemodule. Derartige Batteriemodule bestehen beispielsweise aus einigen wenigen bis zu einer Vielzahl an parallel und seriell zusammengeschalteten Akkumulator-Zellen oder Zellblöcken. Antriebsbatterien werden je nach den Materialien unterschieden, welche für die Akkumulator-Zellen verwendet werden. So können z.B. Bleiakkumulator-System, Nickel-Cadmium- 20 Akkumulator-System, Lithium-Ionen-Akkumulator-Systeme, etc. als Antriebsbatterien in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen eingesetzt werden.

Wird in einer Antriebsbatterie eines Hybrid- oder Elektrofahrzeugs ein defektes Batteriemodul erkannt, so ist es meist notwendig, das defekte Batteriemodul durch ein neues Batteriemodul ersetzen. Üblicherweise werden Batteriemodule in einem Zustand gelagert, 25 welcher auf eine optimale, langfristige Lagerung ausgerichtet ist – z.B. in einem Ladezustand von 30%, etc. Vor einem Einbau in ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug muss ein neues Batteriemodul allerdings an den Ladezustand – den so genannten State of Charge (kurz: SoC) – der anderen Batteriemodule der Antriebsbatterie angepasst werden, damit die Antriebsbatterie nach dem Austausch des Batteriemoduls aktiviert werden kann und das 30 gesamte Batteriesystem im Auto ordnungsgemäß funktioniert.

Vor dem Einbau und einer Inbetriebnahme in einen praktischen Betrieb wird das Batteriemodul daher einem speziellen Ladevorgang (d.h. einem speziellen Laden oder Entladen) unterzogen, welcher auch als „Konditionieren“ bezeichnet wird. Für diesen speziellen Vorgang, welcher das Batteriemodul auf den Einbau vorbereitet, kann 35 beispielsweise eine so genannte Konditionierungseinheit oder ein Modul-

- Konditionierungssystem verwendet werden. Das einzubauende Batteriemodul wird z.B. über Anschlussleitungen mit der Konditionierungseinheit verbunden und z.B. durch entsprechendes Laden oder Entladen auf einen gewünschten Ladezustand gebracht und damit an den aktuellen Ladezustand der Batteriemodule der Antriebsbatterie angeglichen.
- 5 Von der Konditionierungseinheit wird dabei eine Zielspannung vorgegeben, welche dem für das Batteriemodul gewünschten Ladezustand entspricht. Dabei wird als Zielspannung beispielsweise eine Spannung angestrebt, welche sich nach Ende des Konditionierungsvorgangs – d.h. nach dem Lade- oder Entladenvorgang – als eingeschwungener Zustand einer Leerlaufspannung des Batteriemoduls ergibt. Unter
- 10 Leerlaufspannung wird dabei eine von jeweiligen Ladezustand abhängige Spannung verstanden, welche ohne angeschlossene Last zwischen einem positiven Anschluss und einem negativen Anschluss des Batteriemoduls anliegt. Die sich im eingeschwungenen Zustand einstellende Leerlaufspannung wird auch als Ruhespannung des Batteriemoduls bezeichnet.
- 15 Zum Laden von wiederaufladbaren Batteriemodulen können unterschiedliche Ladeverfahren eingesetzt werden. Die Ladeverfahren unterscheiden sich dabei durch eine unterschiedliche Steuerung von Strom und Spannung beim Laden des Batteriemoduls. Üblicherweise werden Batteriemodule mit Hilfe eines konstanten Stroms oder einer konstanten Spannung geladen. Für Batteriemodule, wie z.B. Lithium-Ionen-Akkumulator-Systeme, wird als Ladeverfahren
- 20 z.B. ein so genanntes IU-Ladeverfahren verwendet. Das IU-Verfahren verbindet das Konstantstrom-Ladeverfahren mit dem Konstantspannungs-Ladeverfahren und wird auch als „constant current constant voltage“- oder kurz: CCCV-Verfahren bezeichnet. Beim CCCV-Verfahren wird zuerst mit einem konstanten Ladestrom geladen, bis eine vorgegebene Spannungsgrenze, z.B. eine Ladeschlussspannung, zwischen den Anschlüssen des
- 25 Batteriemoduls – üblicherweise bei angeschlossener Ladeeinheit bzw. Konditionierungseinheit – erreicht wird. Danach wird mit konstanter Spannung weiter geladen, wobei sich der Ladestrom gegen Ende des Ladens selbsttätig verringert. Erreicht bzw. unterschreitet der Ladestrom eine definierte Stromgrenze bzw. ist eine vorgegebene Zeitdauer abgelaufen, wird das Laden des Batteriemoduls beendet. Durch das CCCV-
- 30 Verfahren wird zwar sichergestellt, dass eine maximal zulässige Spannung und ein – meist vom Hersteller empfohlener – Ladestrom nicht überschritten wird, aber es ist mit diesem Ladeverfahren nur mit großem Zeitaufwand möglich, ein Batteriemodul auf einen gewünschten Ladezustand zu laden bzw. eine als Zielspannung vorgegebene Ruhespannung einzustellen.
- 35 Weiterhin kann es notwendig sein, einen gezielten Entladenvorgang durchzuführen, um eine vorgegebene Zielspannung am Batteriemodul bzw. eine gewünschte Entladetiefe – eine so genannte Depth of Discharge (kurz: DoD) – des Batteriemoduls zu erreichen. Allerdings

können auch dabei Abweichungen von der vorgegebenen Zielspannung auftreten. Nach Beendigung des Entladevorgangs steigt beispielsweise nach Abschalten eines Entladestroms die Spannung zwischen den Anschlüssen des Batteriemoduls bis zum Erreichen der Ruhespannung an. Diese Spannungsänderung nach Beendigung des

5 Entladens verursacht ebenfalls eine Abweichung von der vorgegebenen Zielspannung. Die sich am Batteriemodul einstellende Ruhespannung liegt dann meist über der gewünschten Zielspannung.

Aus der Schrift WO 2020/227821 A1 ist beispielsweise ein angepasstes Ladeverfahren für eine Batterie bekannt, um ein Laden einer Batterie zu beschleunigen. Dazu wird während

10 eines Ladevorgangs einer Batterie zumindest ein Entladeimpuls auf die Batterie angewendet und während eines dem Entladeimpuls folgenden Relaxationsvorgangs ein erster Wert einer Relaxationsspannung und nach einer vorgegebenen Wartezeit ein zweiter Wert einer Relaxationsspannung gemessen. Auf Basis einer Differenz der beiden gemessenen Spannungswerte werden dann Ladeparameter für den Ladevorgang angepasst. Damit kann

15 mit dem in der Schrift WO 2020/227821 A1 gegebenenfalls der Ladevorgang der Batterie beschleunigt werden. Es ist allerdings mit dem Verfahren kaum möglich, der Batterie eine gewünschte Zielspannung vorzugeben, welche nach dem Laden als Ruhespannung erreicht werden soll.

Darstellung der Erfindung

20 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie ein zugehöriges System anzugeben, welche es ermöglichen, eine vorgegebene Zielspannung an einem Batteriemodul zeiteffizient und mit relativ hoher Genauigkeit einzustellen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren sowie ein System gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den

25 abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Erfindungsgemäß erfolgt die Lösung der Aufgabe durch ein Verfahren eingangs genannter Art, bei welchem ein Batteriemodul mit einem Ladestrom geladen oder entladen wird, bis von einer Spannung, welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss des Batteriemoduls abfällt, eine erste Abschaltspannung erreicht wird. Nach Erreichen der ersten

30 Abschaltspannung wird der Ladestrom abgeschaltet und während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss des Batteriemoduls gemessen. Aus dem gemessenen Relaxationsverlauf wird ein Modell des Batteriemoduls abgeleitet und mit Hilfe dieses Modells der gesamte Relaxationsverlauf ermittelt. Aus dem ermittelten Relaxationsverlauf wird eine zweite Abschaltspannung derart

35 bestimmt, dass sich nach Abschalten des Ladestrom bei der zweiten Abschaltspannung die vorgegebene Zielspannung als Ruhespannung vom Batteriemodul einstellt. Dann wird das

Batteriemodul mit dem Ladestrom solange weiter geladen oder entladen, bis die zwischen dem positiven und negativen Anschluss des Batteriemoduls abfallenden Spannung die zweite Abschaltspannung erreicht. Vorzugsweise wird das Batteriemodul mit einem konstanten Ladestrom geladen oder entladen.

- 5 Der Hauptaspekt der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Lösung besteht darin, dass das Batteriemodul mit einem bestimmten vorgegebenen, vorzugsweise konstanten, Ladestrom geladen bzw. entladen werden kann. Dadurch wird das Laden bzw. Entladen des Batteriemoduls auf einen gewünschten Lade- bzw. Entladezustand maßgeblich beschleunigt. Weiterhin kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens – vor allem durch Verwendung
- 10 des aus einem gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs ermittelten Modells des Batteriemoduls, des mit Hilfe des Modells bestimmten gesamten Relaxationsverlaufs und auf Basis der daraus abgeleiteten, zweiten Abschaltspannung die vorgegebene Zielspannung nach Beendigung des Lade- bzw. Entladeprozesses mit relativ hoher Genauigkeit am Batteriemodul eingestellt werden. Nach dem Abschalten des Ladestroms bei Erreichen der
- 15 zweiten Abschaltspannung relaxiert das Batteriemodul und es stellt sich am Batteriemodul relativ genau die vorgegebene Zielspannung als Ruhespannung ein.

Für einen Ladevorgang wird die erste Abschaltspannung zweckmäßigerweise derart vorgegeben, dass eine Ruhespannung, welche sich nach dem Relaxationsverlauf für die erste Abschaltspannung am Batteriemodul einstellt, kleiner ist als die vorgegebene Zielspannung. Analog kann für einen Entladevorgang die erste Abschaltspannung derart vorgegeben werden, dass eine Ruhespannung, welche sich nach dem Relaxationsverlauf für die erste Abschaltspannung am Batteriemodul einstellt, größer ist als die vorgegebene Zielspannung. Dabei ist wichtig, dass die erste Abschaltspannung für das jeweils zu ladende oder entladende Batteriemodul so gewählt wird, dass die erste Abschaltspannung in der Nähe der vorgegebenen Zielspannung liegt, damit im Folgenden ein Relaxationsverlauf zwischen positivem und negativem Anschluss des Batteriemoduls gemessen wird, welche annähernd dem Relaxationsverlauf auf die Zielspannung als Ruhespannung entspricht. Die erste Abschaltspannung kann dazu beispielsweise so gewählt werden, dass diese innerhalb eines vorgebbaren Bereichs oberhalb und/oder unterhalb der vorgegebenen Zielspannung liegt oder beispielsweise um einen vorgebbaren Prozentwert von der Zielspannung abweicht. Der vorgebbare Bereich bzw. der vorgebbare Prozentwert kann beispielsweise auf Basis von Erfahrungswerten festgelegt werden. Weiterhin kann die erste Abschaltspannung im Laufe der Nutzung des Verfahrens auf Basis von gemessenen Daten (z.B. Klemmenspannung während des Verfahrens, gemessener Relaxationsverläufe, etc.) für unterschiedliche Batteriemodultypen und vorgegebenen Zielspannungen angepasst werden, um das zu konditionierende Batteriemodul noch genauer auf den gewünschten Lade- bzw. Entladezustand zu laden bzw. zu entladen.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn für das Modell des Batteriemoduls ein elektrisches Ersatzschaltbild des Batteriemoduls verwendet wird, welches mittels eines adaptiven Rechenverfahrens auf Basis des gemessenen Relaxationsverlaufs parametriert wird. Dies ermöglicht auf einfache Weise, Eigenschaften und Verhalten des Batteriemoduls möglichst genau anzunähern und zu simulieren und damit am Batteriemodul die vorgegebene Zielfrequenz möglichst genau einzustellen.

Es ist dabei günstig, wenn als adaptives Rechenverfahren für die Parametrierung des elektrischen Ersatzschaltbildes des Batteriemoduls eine Least-Square-Methode oder deutsch eine Methode der kleinsten Fehlerquadrate verwendet wird. Mit dieser Methode können reale Daten – wie z.B. der gemessene Abschnitt des Relaxationsverlaufs – untersucht werden. Unter der Annahme, dass die gemessenen Daten nahe an den zugrunde liegenden „richtigen“ Daten liegen und dass zwischen den gemessenen Daten ein bestimmter Zusammenhang besteht, kann mit dieser Methode eine Funktion gefunden werden, welche diesen Zusammenhang möglichst gut beschreibt. D.h. eine Ersatzschaltbild bzw. eine Funktion, welche die Eigenschaften des Batteriemoduls möglichst genau beschreiben.

Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass für eine Parametrierung des elektrischen Ersatzschaltbildes des Batteriemoduls jeweils obere Grenzwerte und untere Grenzwerte für jeweilige Parameter des Ersatzschaltbildes des Batteriemoduls vorgegeben werden. Eine Vorgabe von Grenzwerten verhindern auf einfache Weise, dass die Parameter des Ersatzschaltbildes auch unrealistische Werte annehmen. So wird dadurch z.B. verhindert, dass von Spannungen und/oder Zeitkonstanten Werte kleiner Null angenommen werden.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch ein System zum Konditionieren eines Batteriemoduls auf eine vorgegebene Zielfrequenz, welches zumindest eine Konditionierungseinheit und eine Analyseeinheit aufweist, wobei mit dem System ein Batteriemodul effizient und zeitsparend auf eine vorgegebene Zielfrequenz geladen oder entladen werden kann.

Die Konditionierungseinheit ist dazu über Anschlussleitungen mit dem positiven und dem negativen Anschluss des Batteriemoduls verbindbar. Weiterhin ist die Konditionierungseinheit dazu eingerichtet, eine zwischen dem positiven und negativen Anschluss des Batteriemoduls abfallende Spannung zu messen und mit einer ersten Abschaltspannung und mit einer zweiten Abschaltspannung zu vergleichen; einen Ladestrom jeweils bei Erreichen der ersten und der zweiten Abschaltspannung abzuschalten und einen Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss des Batteriemoduls für eine vorgegebene Zeitdauer zu messen.

Die Analyseeinheit ist dazu eingerichtet, aus dem von der Konditionierungseinheit für die vorgegebene Zeitdauer gemessenen Relaxationsverlauf ein Modell des Batteriemoduls abzuleiten, mit welchem der gesamte Relaxationsverlauf ermittelbar ist, und aus dem gesamten Relaxationsverlauf eine zweite Abschaltspannung zu bestimmen. Die

- 5 Analyseeinheit kann als eigenständige Einheit ausgeführt sein und eine Kommunikationsverbindung mit der Konditionierungseinheit aufweisen. Dadurch könnte die Analyseeinheit sehr einfach mit unterschiedlichen Konditionierungseinheiten genutzt oder sehr einfach ausgetauscht werden.

Alternativ kann die Analyseeinheit auch in die Konditionierungseinheit integriert sein.

- 10 Dadurch würden Konditionierungseinheit und Analyseeinheit eine gemeinsame Einheit bilden, welche z.B. einfach zu handhaben oder transportieren wäre.

Idealerweise können obere und untere Grenzwerte, welche für die Parametrierung des Modells des Batteriemoduls im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens genutzt werden, in der Analyseeinheit hinterlegt sein. Dazu kann die Analyseeinheit beispielsweise eine

- 15 Speichereinheit oder einen Speicherbereich aufweisen. Es wäre auch denkbar, dass die Grenzwerte für die Parametrierung z.B. über eine Ein-/Ausgabeeinheit eingegeben und dann in der Analyseeinheit hinterlegt werden. Weiterhin können in der Speichereinheit oder im Speicherbereich Messdaten (z.B. Spannungsverläufe, Relaxationsverläufe, etc.) für z.B. unterschiedliche Batteriemodultypen und Zielpotenziale hinterlegt werden, welche dann 20 beispielsweise für Analysezweck und/oder zum Adaptieren der ersten Abschaltspannung genutzt werden können. Alternativ könnten diese Daten auch direkt in der Konditionierungseinheit gespeichert werden.

Eine zweckmäßige Ausführungsvariante der Erfindung sieht vor, dass die Konditionierungseinheit einen Temperatursensor aufweist, mit welchem eine aktuelle

- 25 Batterietemperatur ermittelt werden kann. Damit kann beispielsweise auch ein temperaturabhängiges Verhalten des Batteriemoduls – z.B. unterschiedliche Relaxationsverläufe bei unterschiedlichen Temperaturen, etc. – beim Konditionieren des Batteriemoduls berücksichtigt werden.

Kurzbeschreibung der Figuren

- 30 Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Konditionieren eines Batteriemoduls

- 35 Fig. 2 ein vereinfachtes, elektrisches Ersatzschaltbild des Batteriemoduls

Fig. 3 einen Verlauf von Strom und Spannung während eines Ladevorgangs des Batteriemoduls gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren

Fig. 4 ein System zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Konditionieren eines Batteriemoduls

5

Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt einen beispielhaften Ablauf des Verfahrens zum Konditionieren eines Batteriemoduls BM. Dazu werden beispielsweise Anschlüsse K_p, K_n des Batteriemoduls BM – d.h. ein positiver Anschluss K_p und ein negativer Anschluss K_n des Batteriemoduls BM – über Anschlussleitungen L mit einer Konditionierungseinheit MB oder einem Ladegerät MB verbunden. Von der Konditionierungseinheit MB bzw. dem Ladegerät MB wird ein Ladestrom I_L zur Verfügung gestellt, mit welchem das Batteriemodul BM dann auf eine vorgegebene Zielfassung U_z und damit auf einen gewünschten Ladezustand geladen oder auf eine gewünschte Entladetiefe entladen werden kann.

Zum Starten des Verfahrens wird für einen ersten Ladeschritt 101 ein Ladestrom I_L eingeschaltet. Der Ladestrom I_L ist vorgegeben, beispielsweise in Höhe oder als zeitlicher Verlauf eines Stromes, und kann beispielsweise ein konstanter Ladestrom I_L sein. Dabei wird beispielsweise ein für das jeweilige Batteriemoduls BM maximal zulässiger Ladestrom I_L gewählt, welcher z.B. durch den Hersteller und/oder einen verwendeten Batterietyp vorgegeben sein kann, was das Laden oder Entladen beschleunigen kann. Das Batteriemodul BM wird während des ersten Ladeschritts 101 mit dem Ladestrom I_L bei einem Ladevorgang entsprechend geladen bzw. bei einem Entladevorgang entsprechend entladen. Weiterhin wird während des ersten Ladeschritts 101 und dem weiteren Verfahren laufend eine zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss K_p, K_n des Batteriemoduls BM abfallende Spannung U_t gemessen.

In einem ersten Prüfschritt 102 wird geprüft, ob von der gemessenen Spannung U_t eine erste Abschaltspannung U_{a1} erreicht wird. Wird im ersten Prüfschritt 102 festgestellt, dass die zwischen dem positiven und negativen Anschluss K_n, K_p des Batteriemoduls BM gemessene Spannung U_t die erste Abschaltspannung U_{a1} erreicht, so wird der Ladestrom I_L abgeschaltet. Dadurch wird im Batteriemodul BM ein Relaxationsprozess ausgelöst. In einem Messschritt 103 wird ein Verlauf des Relaxationsprozess bzw. ein Relaxationsverlauf für eine vorgegebene Zeitdauer z.B. von der Konditionierungseinheit MB oder vom Ladegerät MB gemessen. Dazu wird beispielsweise während der vorgegebenen Zeitdauer ein Verlauf der zwischen dem positiven und negativen Anschluss K_p, K_n des Batteriemoduls BM abfallenden Spannung U_t aufgezeichnet. Als Ergebnis des Messschritts 103 wird ein Abschnitt des Relaxationsverlaufs des Batteriemoduls BM erhalten.

Die erste Abschaltspannung U_{a1} , bei welcher der Ladestrom I_L abgeschaltet wird, wird dabei beispielsweise für einen Ladevorgang so gewählt, dass sich nach einem gesamten Relaxationsverlauf eine Ruhespannung am Batteriemodul BM einstellen würde, welche kleiner als die vorgegebene Zielspannung ist. Analog wird beispielsweise für einen

- 5 Entladevorgang eine erste Abschaltspannung U_{a1} so gewählt, dass sich nach einem gesamten Relaxationsverlauf am Batteriemodul BM eine Ruhespannung einstellen würde, welche größer als die Zielspannung ist. Die Auswahl der ersten Abschaltspannung U_{a1} kann beispielsweise anhand von Erfahrungswerten für das jeweils zu konditionierende Batteriemodul BM erfolgen. So kann beispielsweise ein Spannungswert für die erste
- 10 Abschaltspannung U_{a1} gewählt werden, welcher innerhalb eines vorgebbaren Bereichs oberhalb und/oder unterhalb der vorgegebenen Zielspannung U_z liegt oder welcher um einen vorgebbaren Prozentsatz von der vorgegebenen Zielspannung U_z abweicht. Wichtig bei der Auswahl der ersten Abschaltspannung U_{a1} ist, dass diese in der Nähe der vorgegebenen Zielspannung U_z liegt, damit das Batteriemodul annähernd dasselbe
- 15 Relaxationsverhalten aufweist.

Die erste Abschaltspannung U_{a1} kann außerdem für verschiedene Batteriemodultypen und vorgegebene Zielspannungen U_z bzw. Ladezustände oder Entladezustände im Laufe der Zeit adaptiert werden. Dazu kann beispielsweise für einen erstmaligen Lade- oder

- 20 Entladevorgang eines Batteriemodultyps auf eine vorgegebene Zielspannung U_z die erste Abschaltspannung U_{a1} – wie oben aufgeführt – vorgegeben werden. Bei jeder Ausführung des Konditionierungsverfahrens für den jeweiligen Batteriemodultyp können Daten (z.B. Spannungsverlauf zwischen den Anschlüssen K_p , K_n , Relaxationsverlauf, etc.) gesammelt und in der Folge ausgewertet werden. Die erste Abschaltspannung U_{a1} kann dann auf Basis dieser gemessenen Daten angepasst werden, um die vorgegebenen Zielspannung U_z am
- 25 Batteriemodul BM noch genauer einzustellen.

Als Zeitdauer, während der im Messschritt 103 der Relaxationsverlauf bzw. der Verlauf der Spannung U_t zwischen dem positiven und negativen Anschluss K_p , K_n des Batteriemoduls BM gemessen wird, können beispielsweise einige Minuten, z.B. idealerweise zwei Minuten, vorgegeben werden. Da die stärksten Veränderungen im Relaxationsverlauf (z.B. transienter

- 30 Spannungsabfall beim Laden, transienter Spannungsanstieg beim Entladen, etc.) meist unmittelbar nach Abschalten des Ladestroms I_L auftreten, wird die vorgegebene Zeitdauer derart gewählt, dass im gemessenen Relaxationsverlauf diese Veränderungen erfasst werden.

Aus dem gemessenen Relaxationsverlauf kann dann in einem Modellierungsschritt 104 ein

- 35 Modell für das Batteriemodul BM abgeleitet werden, welches eine gute Näherung eines Verhaltens des Batteriemoduls BM darstellt. Als Ausgangspunkt für das Modell des Batteriemoduls BM wird beispielsweise ein elektrisches Ersatzschaltbild verwendet, durch

welches Eigenschaften und Verhalten des Batteriemoduls BM möglichst genau angenähert werden können.

Figur 2 zeigt beispielsweise ein derartiges vereinfachtes, elektrisches Ersatzschaltbild, welches beispielsweise im Modellierungsschritt 104 zum Ableiten des Modells des

- 5 Batteriemoduls BM verwendet wird.

Dieses Ersatzschaltbild weist z.B. eine ideale Spannungsquelle U_{oc} , von welcher eine Leerlaufspannung U_{oc} des Batteriemoduls BM beschrieben wird. Die Leerlaufspannung U_{oc} ist vom jeweils aktuellen Ladezustand des Batteriemoduls BM abhängig und ist umso größer, je mehr das Batteriemodul BM aufgeladen ist. In Serie zur Spannungsquelle U_{oc} ist ein

- 10 Widerstand R_o angeordnet, welcher einen Innenwiderstand R_o des Batteriemoduls beschreibt. Auch der Widerstand R_o ist vom jeweiligen Ladezustand des Batteriemoduls BM abhängig. Ein Wert für den Innenwiderstand R_o kann beispielsweise aus der Messung des Relaxationsverlaufs im Messschritt 103 – z.B. aus einem Spannungssprung zu Beginn der Messung – mitbestimmt werden. Alternativ kann der Wert des Innenwiderstands R_o
 15 beispielsweise auch aus Datenblättern des jeweiligen Batteriemoduls BM entnommen werden. Ein Strom I_L beschreibt den Ladestrom I_L des Batteriemoduls BM. Je nach dem Vorzeichen des Stroms I_L wird das Batteriemodul BM entweder geladen oder entladen.
 Zwischen einem positiven Anschluss K_p und einem negativen Anschluss K_n des
 20 Ersatzschaltbildes fällt eine zeitabhängige Spannung U_t ab. Diese Spannung U_t entspricht der Leerlaufspannung U_{oc} , wenn das Batteriemodul vollständig relaxiert ist – d.h. sich in einem eingeschwungenen Zustand befindet und keine Last zwischen den Anschlüssen K_p , K_n angeschlossen ist.

- Weiterhin sind zwischen dem Innenwiderstand R_o und dem positiven Anschluss K_p des Batteriemoduls BM mehrere RC-Glieder R_1C_1, \dots, R_iC_i in Serie angeordnet. Die RC-Glieder
 25 R_1C_1, \dots, R_iC_i weisen jeweils eine Parallelschaltung aus einem Widerstand R_1, \dots, R_i und einer Kapazität C_1, \dots, C_i auf. Die jeweiligen Kapazitäten C_1, \dots, C_i repräsentieren ein kapazitives Verhalten im Inneren des Batteriemoduls BM. Die Widerstände R_1, \dots, R_i ergeben sich aufgrund von Ladungstransporten im Inneren des Batteriemoduls BM. Die RC-Glieder R_1C_1, \dots, R_iC_i dienen im Ersatzschaltbild dazu, um mit entsprechenden
 30 Zeitkonstanten ein dynamisches bzw. zeitabhängiges Verhalten des Batteriemoduls BM, wie z.B. ein Relaxationsverhalten des Batteriemoduls BM modellieren zu können. Für eine gute Annäherung des Relaxationsverhaltens werden im Ersatzschaltbild beispielsweise zumindest zwei RC-Glieder R_1C_1, R_2C_2 vorgesehen. Um eine gute Genauigkeit bei einem möglichst geringen Rechenaufwand zu erzielen, werden im Ersatzschaltbild beispielsweise drei RC-Glieder R_1C_1, \dots, R_3C_3 vorgesehen.

Im Modellierungsschritt 104 wird beispielsweise auf Basis eines vereinfachten, elektrischen Ersatzschaltbildes – wie in Figur 2 dargestellt – ein Modell des Batteriemoduls BM ermittelt. Dazu wird das Ersatzschaltbild des Batteriemoduls BM mit Hilfe des aus dem im Messschritt 103 gemessenen Relaxationsverlaufs parametriert. D.h. es werden aus dem gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs passende Parameterwerte für die Leerlaufspannung U_{oc}, den Innenwiderstand R₀ sowie für die jeweils für das Ersatzschaltbild verwendeten RC-Glieder R_{1C1}, ..., R_{iCi} abgeleitet.

Für die Berechnung der passenden Parameterwerte wird beispielsweise eine so genannte Least-Squares-Methode verwendet. Die Least-Square-Methode bezieht ihr Optimalitätskriterium direkt aus den jeweils bekannten Daten, wie z.B. dem im Messschritt 103 gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs. Dieses Kriterium beschreibt eine deterministische Fehlerfunktion, welche aus der Summe der quadrierten Abweichungen der vorgegebenen Funktion besteht, weshalb die Methode auf Deutsch auch als Methode der kleinsten Fehlerquadrate bezeichnet wird. Die Berechnung passender Parameterwerte aus dem gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs mit Hilfe der Least-Square-Methode kann beispielsweise mit Hilfe einer Berechnungssoftware wie z.B. GNU Octave durchgeführt werden. GNU Octave ist eine freie Software für numerische Lösungen mathematischer Probleme (z.B. Matrizenrechnung, (Differential-)Gleichungssysteme, Integration, etc.).

Um die Parameterwerte für das elektrische Ersatzschaltbild des Batteriemoduls BM und damit das Modell des Batteriemoduls BM aus dem gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs ermitteln zu können, wird der Relaxationsverlauf nach einem Ladevorgang für das elektrische Ersatzschaltbild mit beispielsweise drei RC-Gliedern R_{1C1}, ..., R_{3C3} mit folgender Formel beschrieben:

$$U_t = U_{oc} + I_{L0} * R_1 * e^{-\frac{t}{R_1 \cdot C_1}} + I_{L0} * R_2 * e^{-\frac{t}{R_2 \cdot C_2}} + I_{L0} * R_3 * e^{-\frac{t}{R_3 \cdot C_3}}$$

Dabei bezeichnen:

- U_t eine zeitabhängige Spannung zwischen den Anschlüssen K_p, K_n des Batteriemoduls BM;
- U_{oc} bzw. U_o die Leerlaufspannung bzw. Ruhespannung, auf welche der Relaxationsverlauf nach langer Zeit abfällt;
- I_{L0} den Ladestrom I_L, mit welchem das Batteriemodul BM bis zum Erreichen der ersten Abschaltspannung U_{a1} geladen wurde;
- R₁, R₂, R₃ Widerstandswerte der RC-Glieder im Ersatzschaltbild;
- C₁, C₂, C₃ Kapazitätswerte der RC-Glieder im Ersatzschaltbild;
- t eine Zeitvariable; und

- e die Euler'sche Zahl.

Diese Formel kann vereinfacht werden, indem die jeweiligen Widerstandswerte R1, R2, R3 und Kapazitätswerte C1, C2, C3 zu Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_3 zusammengefasst werden.

Anhand der Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_3 kann abgeschätzt werden, wie lange das jeweilige RC-

- 5 Glied R1C1, ..., R3C3 benötigt, bis sich die am jeweiligen RC-Glied R1C1, ..., R3C3 abfallende Spannung $I_{L0} * R1, I_{L0} * R2, I_{L0} * R3$ entladen hat. Dabei können die Produkte aus dem Strom I_{L0} und dem jeweiligen Widerstandswert R1, R2, R3 zu Spannungsabfällen U1, U2, U3 am jeweiligen RC-Glied R1C1, ..., R3C3 zusammengefasst werden. Damit ergibt sich eine vereinfachte Formel für die zeitabhängige Spannung Ut zwischen den Anschlüssen
- 10 Kp, Kn, von welcher der Relaxationsverlauf des Batteriemoduls BM nach einem Ladevorgang beschrieben wird:

$$U_t = U_0 + U_1 * e^{-\frac{t}{\tau_1}} + U_2 * e^{-\frac{t}{\tau_2}} + U_3 * e^{-\frac{t}{\tau_3}}$$

- Mit Hilfe dieser vereinfachten Formel und des im Messschritt 103 gemessenen Abschnitts des Relaxationsverlaufs können dann Parameterwerte für die Spannungen U0, U1, U2, U3 sowie für die Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_3 ermittelt werden. Damit diese Parameterwerte keine unrealistischen Werte (z.B. negative Werte, etc.) annehmen können, werden für die einzelnen Parameterwerte der Spannungen U0, U1, U2, U3 und Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_3 obere und untere Grenzwerte festgelegt. Durch die Vorgabe von oberen und unteren Grenzwerten können zusätzlich Rollen für der einzelnen Parameter festgelegt werden. Dabei
- 20 gibt z.B. der Parameterwert der Spannung U0 einen Spannungswert an, auf welchen die Spannung Ut nach langer Zeit abfällt. Dieser Spannungswert U0 entspricht damit der Ruhespannung des Batteriemoduls BM. Ein oberer Grenzwert und ein unterer Grenzwert der Spannung U0 wird beispielsweise prozentual aus einem ersten Messwert der Spannung Ut, nach einem transienten Spannungsabfall nach Abschalten des Ladestroms I_L ermittelt. D.h.
 - 25 für die Grenzwerte der Spannung U0 wird der erste Messwert des im Messschritt 103 gemessenen Relaxationsverlaufs nach dem transienten Spannungsabfall herangezogen.

- Die Parameterwerte der Spannungen U1, U2, U3 sowie die entsprechenden Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_3 bestimmen weitgehend die jeweiligen exponentiellen Spannungsabfälle, wobei beispielsweise eine erste Spannung U1 und eine erste Zeitkonstante τ_1 einen ersten, schnellen Bereich des Spannungsabfalls, eine zweite Spannung U2 und eine zweite Zeitkonstante τ_2 einen zweiten, mittleren Bereich des Spannungsabfalls und eine dritte Spannung U3 und eine dritte Zeitkonstante τ_3 einen dritten, langsamem Bereich des Spannungsabfalls im Relaxationsverlauf nach dem Ladevorgang des Batteriemoduls Bm beschreiben. Dabei liegt der untere Grenzwert für die Parameterwerte der Spannungen U1,

U₂, U₃ z.B. bei einem Wert von Null, um negative Spannungswerte zu vermeiden. Als oberer Grenzwert der Spannungsparameter U₁, U₂, U₃ kann beispielsweise ein Wert von 1 Volt gewählt werden. In Abhängigkeit vom zu konditionierenden Batteriemodul BM und dessen Eigenschaften können aber auch andere Spannungswerte für den oberen Grenzwert des jeweiligen Spannungsparameters U₁, U₂, U₃ verwendet werden. Die oberen und unteren Grenzwerte der Zeitkonstanten τ₁, τ₂, τ₃ können beispielsweise so vorgegeben werden, dass der jeweilige Bereich des Spannungsabfalls (d.h. schnell, mittel oder langsam) entsprechend berücksichtigt wird.

Analog zur Modellierung des Relaxationsverlaufs des Batteriemoduls BM nach einem Ladevorgang kann im Modellierungsschritt 104 auch ein Relaxationsverlauf für das Batteriemodul nach einem Entladevorgang modelliert werden. Dazu wird ebenfalls ein im Messschritt 103 für die vorgegebene Zeitspanne (z.B. 2 Minuten) gemessener Abschnitt des Relaxationsverlaufs – diesmal nach Abschalten des Ladestroms I_L beim Entladevorgang – sowie das oben beschriebene vereinfachte, elektrische Ersatzschaltbild des Batteriemoduls BM herangezogen. Die entsprechenden Parameterwerte werden dann beispielsweise wieder mittels Least-Squares-Methode bestimmt. Dazu kann beispielsweise von folgender Formel für die zeitabhängige Spannung U_t an den Anschlüssen K_p, K_n des Batteriemoduls BM ausgegangen werden:

$$U_t = U_0 + U_1 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) + U_2 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) + U_3 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}})$$

Dabei gibt die Spannung U₀ einen Spannungswert an, welcher weitgehend der Ruhespannung des Batteriemoduls BM entspricht bzw. auf welchen die zeitabhängige Spannung U_t nach langer Zeit ansteigt. Die Spannungsparameter U₁, U₂, U₃ und die Zeitkonstanten τ₁, τ₂, τ₃ bestimmen dabei jeweils exponentielle Spannungsanstiege, wobei zwischen einem schnellen, mittleren und langsamen Bereich des Spannungsanstiegs unterschieden wird. Für die Ermittlung des Modells des Batteriemoduls BM beim Entladevorgang können ebenfalls – entsprechende adaptierte – obere und untere Grenzwerte für die Parameterwerte der Spannungen U₁, U₂, U₃ und der Zeitkonstanten τ₁, τ₂, τ₃ vorgegeben werden.

Nachdem im Modellierungsschritt 104 die Parameterwerte für die Spannungen U₀, U₁, U₂, U₃ und Zeitkonstanten τ₁, τ₂, τ₃ beispielsweise mittels der Least-Square-Methode aus dem im Messschritt 103 gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs bestimmt wurden, kann in einem Simulationsschritt 105 der gesamte Relaxationsverlauf für den jeweiligen Ladevorgang oder für den jeweiligen Entladevorgang des Batteriemoduls BM ermittelt werden. D.h. es wird der Verlauf der zeitabhängigen Spannung U_t vom Abschalten des Ladestroms I_L bis zum Erreichen der Ruhespannung U₀ zwischen den Anschlüssen K_p, K_n

des Batteriemoduls BM simuliert. Aus diesem ermittelten, gesamten Relaxationsverlauf kann eine Gesamtdifferenz zwischen der Spannung beim Abschalten des Ladestroms I_L an den Anschlüssen Kp, Kn des Batteriemoduls BM – d.h. der ersten Abschaltspannung Ua1 – und einer sich am Batteriemodul BM nach langer Zeitdauer (z.B. zumindest einer Stunde bis zu

- 5 mehreren Stunden) einstellenden Ruhespannung Uo bestimmt werden. Daraus kann dann im Simulationsschritt 105 eine zweite Abschaltspannung Ua2 derart bestimmt werden, dass nach Abschalten des Ladestroms I_L bei der zweiten Abschaltspannung Ua2 die vorgegebenen Zielspannung Uz als Ruhespannung vom Batteriemodul angenommen wird.

In einem zweiten Ladeschritt 106 wird das Batteriemodul BM mit dem Ladestrom I_L , welcher 10 beispielsweise dem maximal zulässigen Ladestrom I_L für das Batteriemodul BM entspricht, weiter geladen oder entladen. Dabei wird in einem zweiten Prüfschritt 107 überprüft, ob die Spannung Ut, welche zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss Kp, Kn des Batteriemodul BM abfällt und laufend gemessen wird, die im Simulationsschritt 105 ermittelte, zweite Abschaltspannung Ua2 erreicht.

- 15 Wird im zweiten Prüfschritt 107 festgestellt, dass die zweite Abschaltspannung Ua2 von der zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss Kp, Kn abfallenden Spannung Ut erreicht wird, so wird in einem Abschaltsschritt 108 der Ladestrom I_L neuerlich bzw. endgültig abgeschaltet. Nach Abschalten des Ladestroms I_L beginnt im Batteriemodul BM wieder ein Relaxationsprozess. Dabei sinkt die Spannung Ut am Batteriemodul BM im Abschaltsschritt 20 108 nach dem Ladevorgang auf eine Ruhespannung ab, welche der vorgegebenen Zielspannung Uz entspricht. Nach einem Entladevorgang steigt die Spannung Ut am Batteriemodul BM nach Abschalten des Ladestroms I_L im Abschaltsschritt 108 auf eine Ruhespannung an, welche der vorgegebenen Zielspannung Uz entspricht.

In Figur 3 sind beispielhaft ein zeitlicher Verlauf der Spannung Ut zwischen dem positiven 25 Anschluss Kp und dem negativen Anschluss Kn des Batteriemoduls sowie ein zeitlicher Verlauf des, hier konstanten, Ladestroms I_L während eines Ladevorgangs des Batteriemoduls BM dargestellt. Dabei wird zum Laden des Batteriemoduls BM auf einen gewünschten Ladezustand bzw. zum Einstellen der vorgegebenen Zielspannung Uz das erfundungsgemäße Konditionierungsverfahren angewendet. Auf einer horizontalen Achse ist

- 30 die Zeit t aufgetragen. Auf einer vertikalen Achse sind Spannung U sowie Strom I aufgetragen. Weiterhin sind auf der vertikalen Achse die vorgegebene Zielspannung Uz, welche sich am Batteriemodul BM nach Beendigung des beispielhaften Ladevorgangs als Ruhespannung einstellen soll, sowie die erste Abschaltspannung Ua1 und die zweite Abschaltspannung Ua2 eingetragen. Auf der vertikalen Achse ist weiterhin ein für das 35 Batteriemodul BM zulässiger maximaler Ladestromwert I_{max} eingezeichnet.

- Zu einem Startzeitpunkt t_0 wird beispielsweise der Ladevorgang des Batteriemoduls BM begonnen. Dazu wird zum Startzeitpunkt t_0 der Ladestrom I_L eingeschaltet, um das Batteriemodul BM z.B. mit dem maximal zulässigen Wert I_{max} für den Ladestrom I_L zu laden. Dadurch fängt die zeitabhängige Spannung U_t zwischen dem positiven und negativen
- 5 Anschluss Kp, Kn des Batteriemoduls BM an zu steigen. Wird in einem ersten Zeitpunkt t_1 von der zeitabhängigen Spannung U_t die erste Abschaltspannung U_{a1} erreicht, so wird der Ladestrom I_L abgeschaltet. Die Zeitspanne vom Startzeitpunkt t_0 bis zum ersten Zeitpunkt t_1 entspricht damit dem ersten Ladeschritt 101. Die Abschaltspannung U_{a1} , um den ersten Ladeschritt 101 im ersten Zeitpunkt t_1 zu beenden, ist dabei derart gewählt, dass für die
- 10 erste Abschaltspannung U_{a1} nach einem gesamten Relaxationsprozess eine Ruhespannung einstellt, welche unterhalb der Zielspannung U_z liegt. Für die Auswahl der ersten Abschaltspannung U_{a1} ist weiterhin wichtig, dass diese in der Nähe der vorgegebenen Zielspannung U_z liegt, damit das Batteriemodul BM annähernd dasselbe Relaxationsverhalten wie bei der Zielspannung U_z aufweist. In Figur 3 wurde beispielsweise
- 15 ein Spannungswert für die erste Abschaltspannung U_{a1} gewählt, welcher z.B. einige Millivolt z.B. innerhalb eines vorgebbaren Bereichs über der Zielspannung U_z liegt. Es wäre auch denkbar, für die erste Abschaltspannung U_{a1} einen Spannungswert zu wählen, welcher einige Millivolt beispielsweise innerhalb eines vorgebbaren Bereichs unterhalb der Zielspannung U_z liegt.
- 20 Durch Abschalten des Ladestroms I_L zum ersten Zeitpunkt t_1 wird ein Relaxationsprozess im Batteriemodul BM erzeugt und die Spannung U_t beginnt durch den Relaxationsprozess zu sinken. Der Relaxationsverlauf bzw. der Verlauf der Spannung U_t wird dabei im Messschritt 103 für eine vorgegebene Zeitspanne (z.B. zwei Minuten) gemessen. Der Messschritt 103 wird z.B. zum ersten Zeitpunkt t_1 gestartet und nach Ablauf der vorgegebenen Zeitspanne bei
- 25 einem zweiten Zeitpunkt t_2 beendet. Aus dem zwischen dem ersten Zeitpunkt t_1 und dem zweiten Zeitpunkt t_2 gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs wird dann im Modellierungsschritt 104 das Modell des Batteriemoduls BM ermittelt, mit welchem im Simulationsschritt 105 der gesamte Relaxationsverlauf des Batteriemoduls für einen gewünschten Ladezustand sowie die zweite Abschaltspannung U_{a2} ermittelt werden kann.
- 30 Zum zweiten Zeitpunkt t_2 wird auch der Ladestrom I_L wieder eingeschaltet, um das Batteriemodul mit dem maximal zulässigen Wert I_{max} des Ladestroms I_L weiterzuladen. D.h. im zweiten Zeitpunkt t_2 beginnt der zweite Ladeschritt 106. Das Batteriemodul BM wird weitergeladen, bis zu einem dritten Zeitpunkt t_3 die Spannung U_t die zweite Abschaltspannung U_{a2} erreicht. Zum dritten Zeitpunkt t_3 wird dann der Ladestrom I_L
- 35 endgültig abgeschaltet. Ab dem dritten Zeitpunkt t_3 bzw. nach Abschalten des Ladestroms I_L sinkt die Spannung U_t – entsprechend dem Relaxationsverlauf – gegen die Ruhespannung ab, welche der vorgegebenen Zielspannung U_z entspricht. Der Ladevorgang kann – wie in

Figur 3 dargestellt – mit dem maximal zulässigen Ladestrom I_{max} zeiteffizient durchgeführt werden, wobei die Spannung U_t nach Beendigung des Ladevorgangs mit relativ großer Genauigkeit auf die vorgegebene Zielspannung U_z absinkt. Allerdings muss beim Ladevorgang beachtet werden, dass die zweite Abschaltspannung U_{a2} innerhalb eines für 5 das Batteriemodul BM zulässigen Spannungsbereichs liegt, da das Batteriemodul bis zu diesem Spannungswert U_{a2} überladen wird.

Figur 4 zeigt beispielhaft und schematisch ein System, welches zur Durchführung des anhand von Figur 1 beispielhaft dargestellten Konditionierungsverfahrens für ein Batteriemodul BM, insbesondere ein Batteriemodul BM für eine Traktions- oder 10 Antriebsbatterie, eingerichtet ist. Das Batteriemodul BM kann für einen Konditionierungsvorgang – d.h. zum Laden oder Entladen auf einen gewünschten Ladezustand bzw. auf eine gewünschte Entladetiefe – über Anschlussleitungen L mit einer Konditionierungseinheit MB oder einem Ladegerät MB verbunden werden. Dazu sind beispielsweise ein positiver Anschluss K_p und ein negativer Anschluss K_n des 15 Batteriemoduls BM über jeweils eine Anschlussleitung L mit der Konditionierungseinheit MB verbunden, um durch entsprechendes Laden oder Entladen des Batteriemoduls BM die vorgegebene Zielspannung U_z am Batteriemodul BM einzustellen. Die Zielspannung U_z soll nach Beendigung des entsprechenden Lade- bzw. Entladevorgangs im eingeschwungenen Zustand des Batteriemoduls BM zwischen dem positiven Anschluss K_p und dem negativen 20 Anschluss K_n als Ruhespannung abfallen.

Für die Durchführung des Verfahrens ist die Konditionierungseinheit MB – neben einem Laden oder Entladen des Batteriemoduls BM mit dem Ladestrom I_L – dazu eingerichtet, die sich durch den jeweiligen Lade- oder Entladevorgang zeitlich ändernde Spannung U_t zu messen, wobei die Spannung U_t zwischen dem positiven Anschluss K_p und dem negativen 25 Anschluss K_n des Batteriemoduls BM abfällt. Weiterhin vergleicht die Konditionierungseinheit MB die gemessene Spannung U_t z.B. im ersten Prüfschritt 102 mit der ersten Abschaltspannung U_{a1} und im zweiten Prüfschritt 107 mit der zweiten Abschaltspannung U_{a2} , um jeweils beim Erreichen der ersten bzw. der zweiten Abschaltspannung U_{a1}, U_{a2} den Ladestrom I_L abzuschalten. Weiterhin ist die 30 Konditionierungseinheit MB dazu eingerichtet, nach dem Abschalten des Ladestrom I_L bei Erreichen der ersten Abschaltspannung U_{a1} einen Relaxationsverlauf – d.h. den Verlauf der Spannung U_t zwischen dem positiven und negativen Anschluss K_p, K_n des Batteriemoduls BM – für eine vorgegebene Zeitdauer zu messen.

Weiterhin kann die Konditionierungseinheit MB einen Temperatursensor (z.B. einen Infrarot- 35 Temperatursensor) aufweisen. Mit dem Temperatursensor kann z.B. eine aktuelle Batterietemperatur ermittelt und überwacht werden. Die ermittelte Temperatur des

Batteriemoduls BM kann dann beispielsweise in das Konditionierungsverfahren einfließen, um die vorgegebene Zielfestspannung Uz noch genauer zu erreichen.

Weiterhin weist das System eine Analyseeinheit AE auf, welche z.B. als eigenständige Einheit ausgeführt sein kann und über eine Kommunikationsverbindung KV mit der

- 5 Konditionierungseinheit MB verbunden ist. Alternativ kann die Analyseeinheit AE auch in die Konditionierungseinheit MB integriert sein. Die Analyseeinheit AE ist dazu eingerichtet, aus einem von der Konditionierungseinheit MB für die vorgegebene Zeitdauer gemessenen Abschnitt des Relaxationsverlaufs ein Modell des Batteriemoduls BM abzuleiten. Dazu kann die Analyseeinheit AE beispielsweise ein vereinfachtes, elektrisches Ersatzschaltbild des
- 10 Batteriemoduls BM heranziehen, welche z.B. in Figur 2 dargestellt ist, und für dieses mittels eines adaptiven Rechenverfahrens, wie z.B. mit dem Least-Squares-Verfahren, Parameterwerte ermitteln. Für die Parametrierung des Ersatzschaltbildes können in der Analyseeinheit AE beispielsweise in einer Speichereinheit SE obere und untere Grenzwerte für die jeweiligen Parameter hinterlegt sein, welche z.B. an jeweils gängige, gewünschte
- 15 Ladezustände (z.B. SoC 60%) oder Entladetiefen (z.B. DoD 30%) des Batteriemoduls BM adaptiert sind. Die Speichereinheit SE kann z.B. in die Analyseeinheit AE integriert sein oder als externe Speichereinheit SE ausgestaltet sein, welche mit der Analyseeinheit AE verbunden ist.

Weiterhin ist die Analyseeinheit AE dazu eingerichtet, mit Hilfe des abgeleiteten Modells des

- 20 Batteriemoduls BM den gesamten Relaxationsverlauf – d.h. den gesamten Verlauf der Spannung Ut zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss Kp, Kn vom ersten Abschalten des Ladestroms I_L bei der ersten Abschaltspannung U_{a1} bis zum Erreichen der Ruhespannung am Batteriemodul BM – zu ermitteln bzw. zu simulieren. Aus dem ermittelten bzw. simulierten gesamten Relaxationsverlauf bestimmt die Analyseeinheit AE dann die
- 25 zweite Abschaltspannung U_{a2} und kann diese z.B. an die Konditionierungseinheit MB weiterleiten, welche dann den Konditionierungsvorgang bis zur zweiten Abschaltspannung U_{a2} fortsetzen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Konditionieren eines Batteriemoduls (BM), insbesondere eines Batteriemoduls (BM) einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene Zielspannung (Uz),
 - 5 ***dadurch gekennzeichnet, dass*** das Batteriemodul (BM) mit einem Ladestrom (I_L) geladen oder entladen wird (101), bis von einer Spannung (Ut), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung (Ua1) erreicht wird (102), ***dass*** der Ladestrom (I_L) abgeschaltet wird und während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) gemessen wird (103), ***dass*** aus dem gemessenen Relaxationsverlauf ein Modell des Batteriemoduls (BM) abgeleitet wird (104),
 - 10 ***dass*** mit Hilfe des Modells des Batteriemoduls (BM) der gesamte Relaxationsverlauf ermittelt wird und aus dem gesamten Relaxationsverlauf eine zweite Abschaltspannung (Ua2) derart bestimmt wird (105), dass nach Abschalten des Ladestroms (I_L) bei Erreichen
 - 15 der zweiten Abschaltspannung (Ua2) die vorgegebene Zielspannung (Uz) als Ruhespannung vom Batteriemodul (BM) angenommen wird, ***und dass*** das Batteriemodul (BM) mit dem Ladestrom (I_L) solange weiter geladen oder entladen wird (106), bis von der zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfallenden Spannung (Ut) die zweite Abschaltspannung (Ua2) erreicht wird (107).
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** das Batteriemodul (BM) mit einem konstanten Ladestrom (I_L) geladen oder entladen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** für einen Ladevorgang die erste Abschaltspannung (Ua1) derart vorgegeben wird, dass eine sich für die erste Abschaltspannung (Ua1) nach dem Relaxationsverlauf einstellende Ruhespannung kleiner als die vorgegebene Zielspannung ist. (102).
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 1, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** für einen Entladevorgang die erste Abschaltspannung (Ua1) derart vorgegeben wird, dass eine sich für die erste Abschaltspannung (Ua1) nach dem Relaxationsverlauf einstellende Ruhespannung größer als die vorgegebene Zielspannung (Uz) ist. (102).
- 30 5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** für das Modell des Batteriemoduls (BM) ein elektrisches Ersatzschaltbild des Batteriemoduls (BM) verwendet wird, welche mittels eines adaptiven Rechenverfahrens auf Basis des gemessenen Relaxationsverlaufs parametriert wird (104).
- 35 6. Verfahren nach Anspruch 5, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** als adaptives Rechenverfahren eine Least-Square-Methode verwendet wird (104).

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** für eine Parametrierung des elektrischen Ersatzschaltbildes des Batteriemoduls (BM) jeweils obere Grenzwerte und untere Grenzwerte für jeweilige Parameter des Ersatzschaltbildes des Batteriemoduls (BM) vorgegeben werden (104).
- 5 8. System zum Konditionieren eines Batteriemoduls (BM), insbesondere eines Batteriemoduls (BM) einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene Zielfestspannung (Uz), ***dadurch gekennzeichnet, dass***, zumindest vorgesehen sind:
- eine Konditionierungseinheit (MB), welche über Anschlussleitungen (L) mit einem positiven Anschluss (Kp) und negativen Anschluss (Kn) des Batteriemoduls (BM) verbindbar ist, und
- 10 welche zumindest dazu eingerichtet ist, eine zwischen dem positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) abfallende Spannung (Ut) zu messen und mit einer ersten Abschaltspannung (Ua1) und einer zweiten Abschaltspannung (Ua2) zu vergleichen; einen Ladestrom (I_L) jeweils bei Erreichen der ersten und der zweiten Abschaltspannung (Ua1, Ua2) abzuschalten und einen Relaxationsverlauf zwischen dem
- 15 positiven und negativen Anschluss (Kp, Kn) des Batteriemoduls (BM) für eine vorgegebene Zeitdauer zu messen; und
- eine Analyseeinheit (AE), welche zumindest dazu eingerichtet ist, aus dem von der Konditionierungseinheit (MB) für die vorgegebene Zeitdauer gemessenen Relaxationsverlauf ein Modell des Batteriemoduls (BM) abzuleiten, mit welchem der gesamte Relaxationsverlauf ermittelbar ist, und aus dem gesamten Relaxationsverlauf eine zweite Abschaltspannung (Ua2) zu bestimmen.
- 20 9. System nach Anspruch 8, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Analyseeinheit (AE) als eigenständige Einheit ausgeführt ist, wobei die Analyseeinheit (AE) eine Kommunikationsverbindung (KV) mit der Konditionierungseinheit (MB) aufweist.
- 25 10. System nach Anspruch 8, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Analyseeinheit (AE) in die Konditionierungseinheit (MB) integriert ist.
11. System nach einem der Ansprüche 8 bis 10, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** in der Analyseeinheit (AE) obere Grenzwerte und untere Grenzwerte für eine Parametrierung des Modells des Batteriemoduls hinterlegt sind.
- 30 12. System nach einem der Ansprüche 8 bis 11, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Konditionierungseinheit (MB) zum Ermitteln einer aktuellen Batterietemperatur einen Temperatursensor aufweist.

1/4

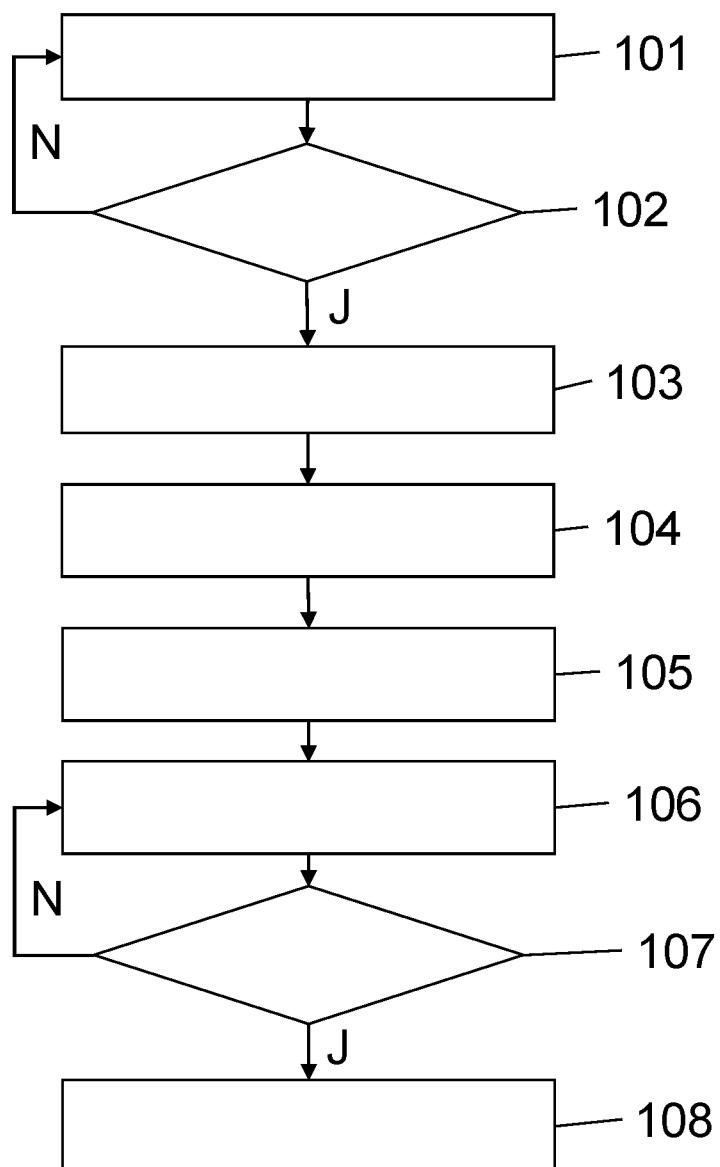


Fig. 1

2/4

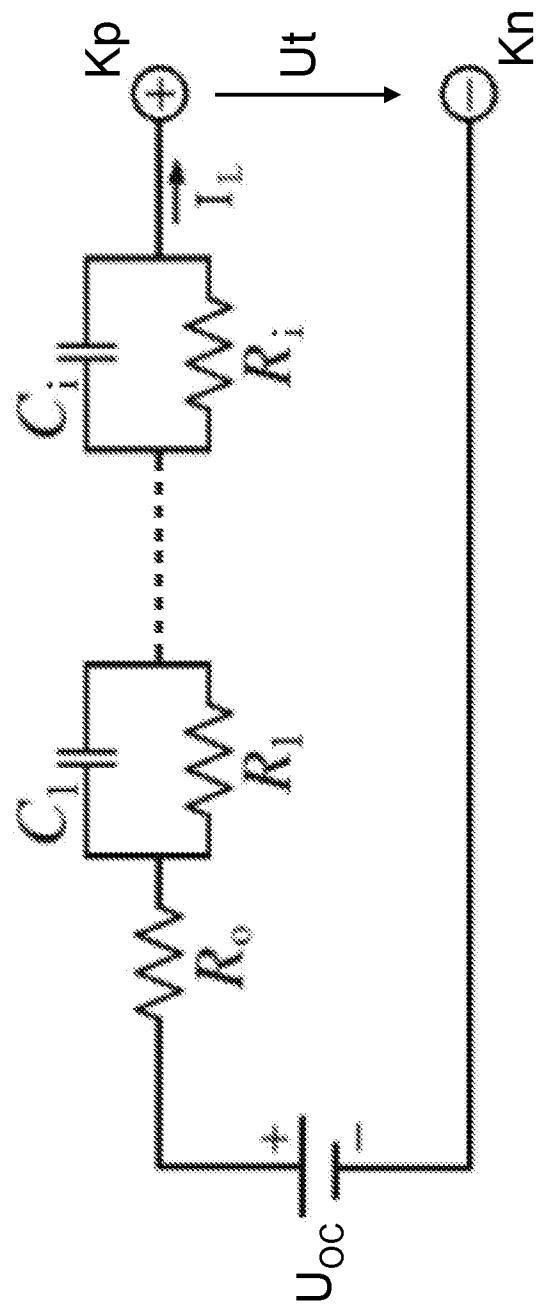


Fig. 2

3/4

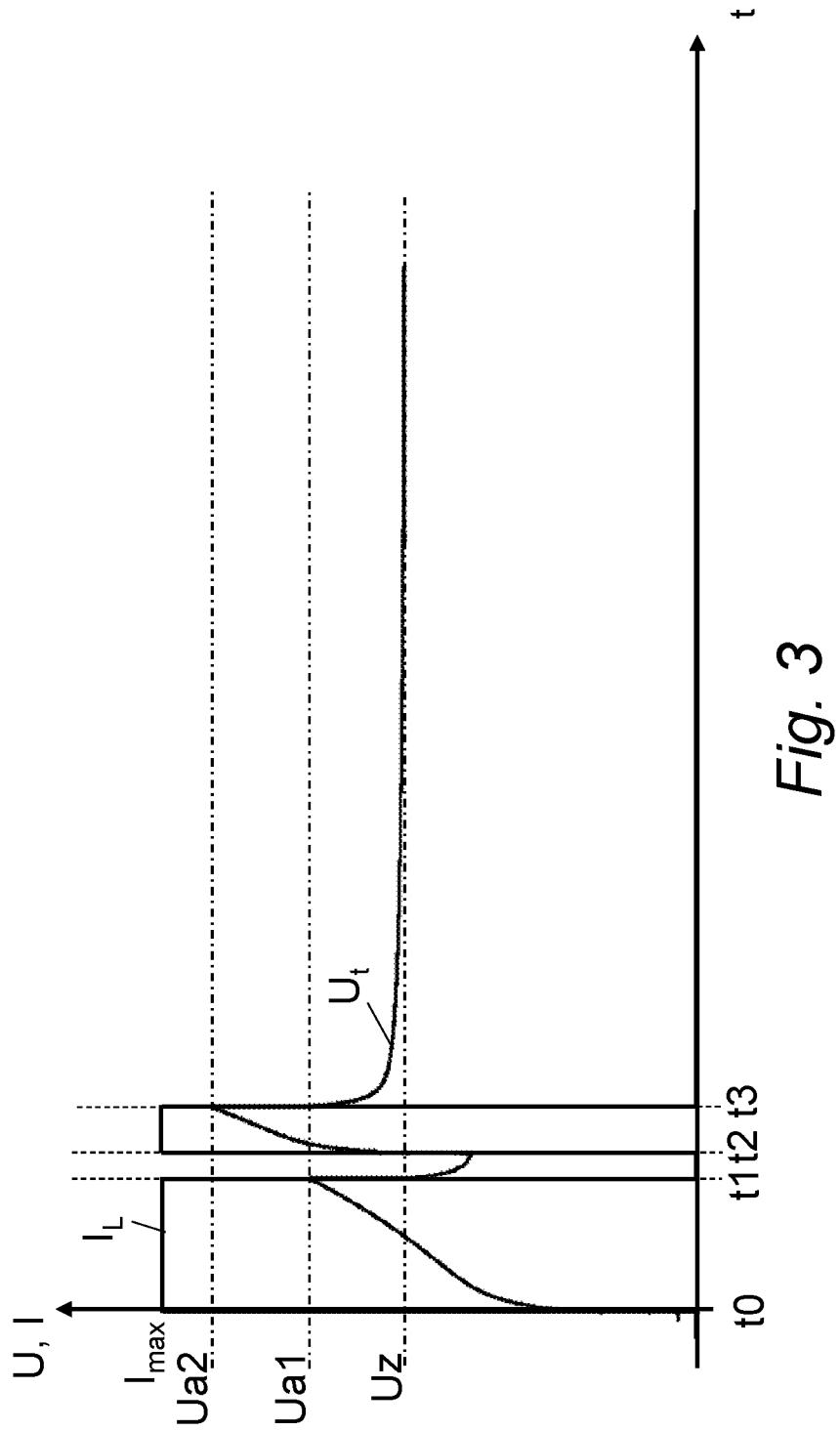


Fig. 3

4/4

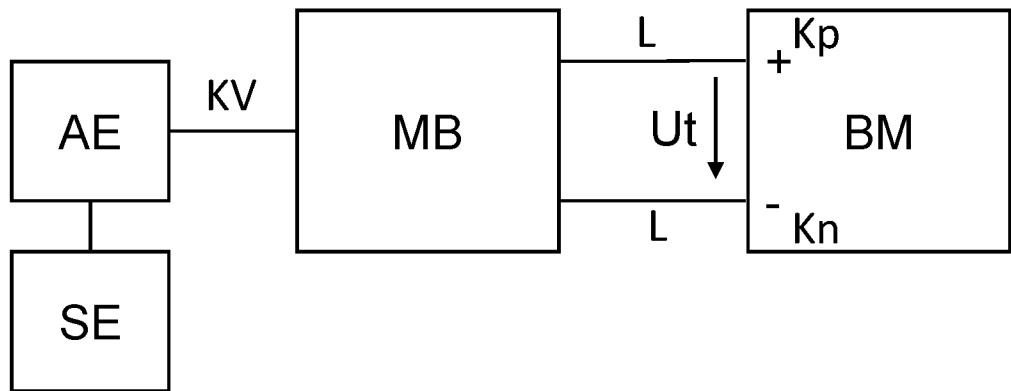


Fig. 4

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
H02J 7/00 (2006.01); **G01R 31/367** (2019.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
H02J 7/007186 (2020.01); **H02J 7/0069** (2020.01); **G01R 31/367** (2019.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H02J, G01R

Konsultierte Online-Datenbank:

PATDEW, PATENW, XPI3E, XPIEE, XPESP, XPRD

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **02.03.2022** eingereichten Ansprüchen **1 - 12** erstellt.

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 2018145527 A1 (RAVI NIKHIL [US], SUBBARAMAN ANANTHARAMAN [US], KLEIN REINHARDT [US], KRUPADANAM ASHISH [US], MIRTABATABAEI ANAHITA [US], SCHMIDT GERD SIMON [US], KLEE CHRISTOPH [DE]) 24. Mai 2018 (24.05.2018) Zusammenfassung; Fig. 13; Absätze [0008] - [0009], [0033], [0041] - [0047], [0072], [0077] - [0087]	1 - 12
X	CN 112051504 A (UNITED AUTOMOTIVE ELECT SYS CO) 08. Dezember 2020 (08.12.2020) (übersetzt) [online] [abgerufen am 21.11.2022]. Abgerufen von EPOQUE: TXPMTCEA Fig. 1; Absätze [0028] - [0029], [0035] - [0044], [0054], [0067]; Ansprüche 1 - 2, 7 - 8	1 - 12
A	Nemes Raul Octavian et al., 'Parameters identification using experimental measurements for equivalent circuit Lithium-Ion cell models', 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) 2019, 28.03.2019, p. 1 - 6, XP033553252, doi:10.1109/ATEE.2019.8724878 gesamtes Dokument	1 - 12
A	Kupper Martin et al., 'Fractional Extended and Unscented Kalman Filtering for State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries', Annual American Control Conference (ACC) 2018, 27.06.2018, p. 3855 - 3862, XP033387080, doi:10.23919/ACC.2018.8430859 gesamtes Dokument	1 - 12
A	Tjandra Rudy et al., 'State of charge estimation considering OCV hysteresis in lithium iron phosphate battery for UPS applications', IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC) 2015, 18.10.2015, p. 1 - 6, XP032968722, doi:10.1109/INTLEC.2015.7572446 gesamtes Dokument	1 - 12

Datum der Beendigung der Recherche: 21.11.2022	Seite 1 von 1	Prüfer(in): ENGLISCH Martin
*) Kategorien der angeführten Dokumente:		
X	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
Y	Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmelde datum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.