

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50138/2022  
(22) Anmeldetag: 02.03.2022  
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **H02J 7/00** (2006.01)  
**G01R 31/367** (2019.01)

(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 ( $U_z$ ) 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 ( $U_t$ ), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) erreicht (102). Bei Erreichen der ersten Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) wird der Ladestrom (IL) abgeschaltet und von der Konditionierungseinheit (MB) während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) 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 ( $U_{a2}$ ) derart bestimmt (105), dass nach Abschalten des Ladestroms (IL) bei Erreichen der zweiten Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) die vorgegebene Zielspannung ( $U_z$ ) als Ruhespannung vom Batteriemodul (BM) angenommen wird.

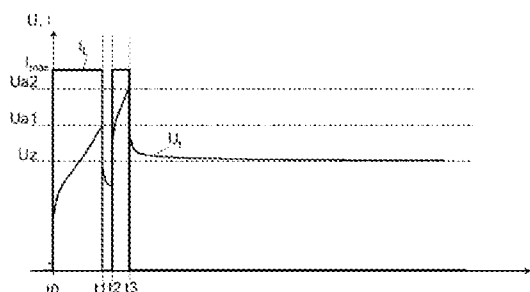


Fig. 3

### Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Konditionieren eines Batteriemoduls (BM), insbesondere eines Batteriemoduls (BM) einer Traktionsbatterie, auf eine vorgegebene Zielspannung ( $U_z$ ) 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 ( $U_t$ ), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) erreicht (102). Bei Erreichen der ersten Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) wird der Ladestrom ( $I_L$ ) abgeschaltet und von der Konditionierungseinheit (MB) während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) 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 ( $U_{a2}$ ) derart bestimmt (105), dass nach Abschalten des Ladestroms ( $I_L$ ) bei Erreichen der zweiten Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) die vorgegebene Zielspannung ( $U_z$ ) 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 ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) abfallenden Spannung ( $U_t$ ) die zweite Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) erreicht wird (107). Dann wird der Ladestrom ( $I_L$ ) abgeschaltet und am Batteriemodul (BM) stellt sich durch den Relaxationsverlauf die vorgegebenen Zielspannung ( $U_z$ ) 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 elektrische Antriebsmaschine des Fahrzeugs bereitstellt. Diese Batterien sind üblicherweise  
15 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 Entladevorgang – 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 Batteriemoduls 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 Entladevorgang 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 Ladestroms bei der zweiten Abschaltspannung die vorgegebene Zielspannung als Ruhespannung vom Batteriemodul einstellt. Dann wird das

Batterieminodul 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
- 20 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
- 25 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
- 30 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
- 35 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 parametrisiert wird. Dies ermöglicht auf einfache Weise, Eigenschaften und Verhalten des Batteriemoduls möglichst genau anzunähern und zu simulieren und damit am Batteriemodul die vorgegebene Zielspannung 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 Zielspannung, welches zumindest eine Konditionierungseinheit und eine Analyseeinheit aufweist, wobei mit dem System ein Batteriemodul effizient und zeitsparend auf eine vorgegebene Zielspannung 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 Zielspannungen 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 Kp, Kn des Batteriemoduls BM – d.h. ein positiver Anschluss Kp und ein negativer Anschluss Kn 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 Zielspannung  $U_z$  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 Batteriemodul 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 Kp, Kn 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 Kn, Kp 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 Kp, Kn 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 Ersatzschaltbildes fällt eine zeitabhängige Spannung  $U_t$  ab. Diese Spannung  $U_t$  entspricht  
20 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 dynamischen 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-  
35 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 parametrisiert. D.h. es werden aus dem gemessenen

5 Abschnitt des Relaxationsverlaufs passende Parameterwerte für die Leerlaufspannung  $U_{oc}$ , den Innenwiderstand  $R_o$  sowie für die jeweils für das Ersatzschaltbild verwendeten RC-Glieder  $R_1C_1$ , ...,  $R_iC_i$  abgeleitet.

Für die Berechnung der passenden Parameterwerte wird beispielsweise eine so genannte Least-Squares-Methode verwendet. Die Least-Square-Methode bezieht ihr

10 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

15 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

20 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  $R_1C_1$ , ...,  $R_3C_3$  mit folgender Formel beschrieben:

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

25 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;
- 30 -  $I_{L0}$  den Ladestrom  $I_L$ , mit welchem das Batteriemodul BM bis zum Erreichen der ersten Abschaltspannung  $U_{a1}$  geladen wurde;
- $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  Widerstandswerte der RC-Glieder im Ersatzschaltbild;
- $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  Kapazitätswerte der RC-Glieder im Ersatzschaltbild;
- $t$  eine Zeitvariable; und

- e die Euler'sche Zahl.

Diese Formel kann vereinfacht werden, indem die jeweiligen Widerstandswerte  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und Kapazitätswerte  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  zu Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  zusammengefasst werden.

Anhand der Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  kann abgeschätzt werden, wie lange das jeweilige RC-

- 5 Glied  $R_1C_1$ , ...,  $R_3C_3$  benötigt, bis sich die am jeweiligen RC-Glied  $R_1C_1$ , ...,  $R_3C_3$  abfallende Spannung  $I_{L0} \cdot R_1$ ,  $I_{L0} \cdot R_2$ ,  $I_{L0} \cdot R_3$  entladen hat. Dabei können die Produkte aus dem Strom  $I_{L0}$  und dem jeweiligen Widerstandswert  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  zu Spannungsabfällen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  am jeweiligen RC-Glied  $R_1C_1$ , ...,  $R_3C_3$  zusammengefasst werden. Damit ergibt sich eine vereinfachte Formel für die zeitabhängige Spannung  $U_t$  zwischen den Anschlüssen
- 10  $K_p$ ,  $K_n$ , 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  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$

- 15 sowie für die Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  ermittelt werden. Damit diese Parameterwerte keine unrealistischen Werte (z.B. negative Werte, etc.) annehmen können, werden für die einzelnen Parameterwerte der Spannungen  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  und Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  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  $U_0$  einen Spannungswert an, auf welchen die Spannung  $U_t$  nach langer Zeit abfällt. Dieser Spannungswert  $U_0$  entspricht damit der Ruhespannung des Batteriemoduls BM. Ein oberer Grenzwert und ein unterer Grenzwert der Spannung  $U_0$  wird beispielsweise prozentual aus einem ersten Messwert der Spannung  $U_t$ , nach einem transienten Spannungsabfall nach Abschalten des Ladestroms  $I_L$  ermittelt. D.gh.
- 25 für die Grenzwerte der Spannung  $U_0$  wird der erste Messwert des im Messschritt 103 gemessenen Relaxationsverlaufs nach dem transienten Spannungsabfall herangezogen.

Die Parameterwerte der Spannungen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  sowie die entsprechenden Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  bestimmen weitgehend die jeweiligen exponentiellen Spannungsabfälle, wobei

- beispielsweise eine erste Spannung  $U_1$  und eine erste Zeitkonstante  $\tau_1$  einen ersten,
- 30 schnellen Bereich des Spannungsabfalls, eine zweite Spannung  $U_2$  und eine zweite Zeitkonstante  $\tau_2$  einen zweiten, mittleren Bereich des Spannungsabfalls und eine dritte Spannung  $U_3$  und eine dritte Zeitkonstante  $\tau_3$  einen dritten, langsamen Bereich des Spannungsabfalls im Relaxationsverlauf nach dem Ladevorgang des Batteriemoduls BM beschreiben. Dabei liegt der untere Grenzwert für die Parameterwerte der Spannungen  $U_1$ ,

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  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  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 Zeitdauer (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 Kp, Kn 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  $U_0$  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  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  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  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  vorgegeben werden.

Nachdem im Modellierungsschritt 104 die Parameterwerte für die Spannungen  $U_0$ , U1, U2, U3 und Zeitkonstanten  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  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  $U_0$  zwischen den Anschlüssen Kp, Kn

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  $U_{a1}$  – und einer sich am Batteriemodul BM nach langer Zeitdauer (z.B. zumindest einer Stunde bis zu mehreren Stunden) einstellenden Ruhespannung  $U_0$  bestimmt werden. Daraus kann dann im Simulationsschritt 105 eine zweite Abschaltspannung  $U_{a2}$  derart bestimmt werden, dass nach Abschalten des Ladestroms  $I_L$  bei der zweiten Abschaltspannung  $U_{a2}$  die vorgegebenen Zielspannung  $U_z$  als Ruhespannung vom Batteriemodul angenommen wird.

In einem zweiten Ladeschritt 106 wird das Batteriemodul BM mit dem Ladestrom  $I_L$ , welcher 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  $U_t$ , 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  $U_{a2}$  erreicht.

Wird im zweiten Prüfschritt 107 festgestellt, dass die zweite Abschaltspannung  $U_{a2}$  von der zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss Kp, Kn abfallenden Spannung  $U_t$  erreicht wird, so wird in einem Abschaltschritt 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  $U_t$  am Batteriemodul BM im Abschaltschritt 108 nach dem Ladevorgang auf eine Ruhespannung ab, welche der vorgegebenen Zielspannung  $U_z$  entspricht. Nach einem Entladevorgang steigt die Spannung  $U_t$  am Batteriemodul BM nach Abschalten des Ladestroms  $I_L$  im Abschaltschritt 108 auf eine Ruhespannung an, welche der vorgegebenen Zielspannung  $U_z$  entspricht.

In Figur 3 sind beispielhaft ein zeitlicher Verlauf der Spannung  $U_t$  zwischen dem positiven 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  $U_z$  das erfindungsgemäße Konditionierungsverfahren angewendet. Auf einer horizontalen Achse ist die Zeit  $t$  aufgetragen. Auf einer vertikalen Achse sind Spannung  $U$  sowie Strom  $I$  aufgetragen. Weiterhin sind auf der vertikalen Achse die vorgegebene Zielspannung  $U_z$ , welche sich am Batteriemodul BM nach Beendigung des beispielhaften Ladevorgangs als Ruhespannung einstellen soll, sowie die erste Abschaltspannung  $U_{a1}$  und die zweite Abschaltspannung  $U_{a2}$  eingetragen. Auf der vertikalen Achse ist weiterhin ein für das 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 Anschluss  $K_p$ ,  $K_n$  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 Zeitdauer 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 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 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.

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 Zeitdauer (z.B. zwei Minuten) gemessen. Der Messschritt 103 wird z.B. zum ersten Zeitpunkt  $t_1$  gestartet und nach Ablauf der vorgegebenen Zeitdauer bei 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.

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  $I_L$  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 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 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 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 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 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 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-Temperatursensor) aufweisen. Mit dem Temperatursensor kann z.B. eine aktuelle Batterietemperatur ermittelt und überwacht werden. Die ermittelte Temperatur des

Batteriemeduls BM kann dann beispielsweise in das Konditionierungsverfahren einfließen, um die vorgegebene Zielspannung  $U_z$  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.

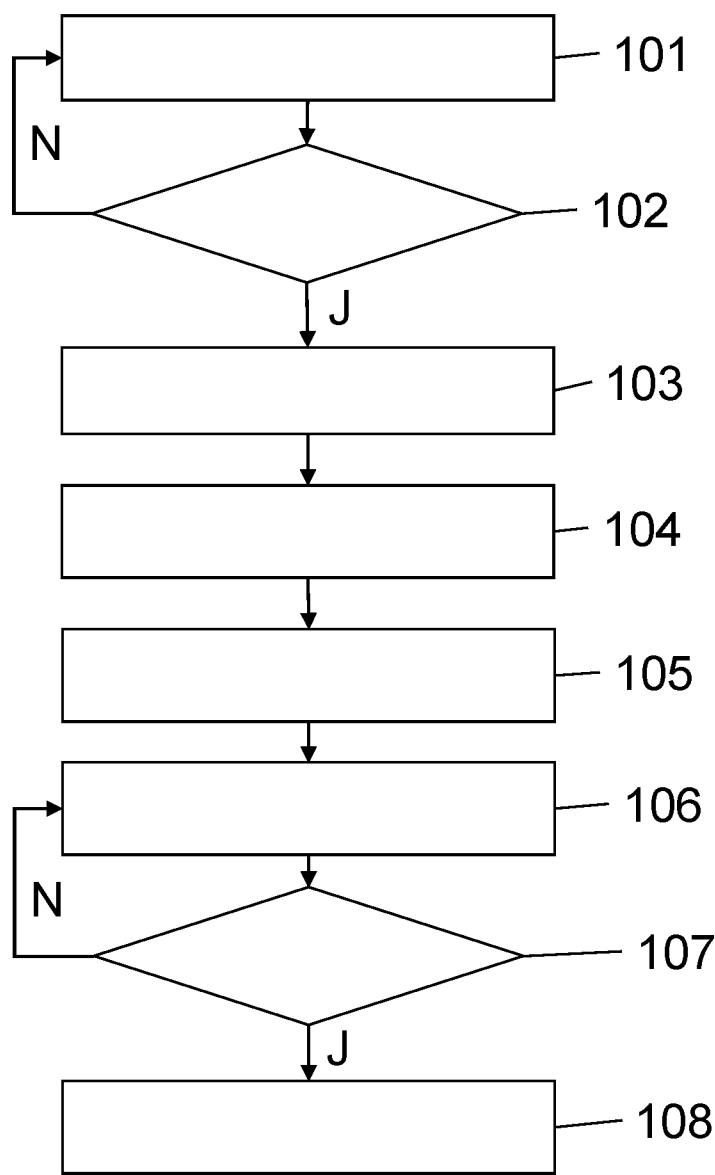
- Weiterhin ist die Analyseeinheit AE dazu eingerichtet, mit Hilfe des abgeleiteten Modells des
- 20 Batteriemoduls BM den gesamten Relaxationsverlauf – d.h. den gesamten Verlauf der Spannung  $U_t$  zwischen dem positiven und dem negativen Anschluss  $K_p$ ,  $K_n$  vom ersten Abschalten des Ladestroms  $I_L$  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 ( $U_z$ ),  
 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Batteriemodul (BM) mit einem Ladestrom ( $I_L$ ) geladen oder entladen wird (101), bis von einer Spannung ( $U_t$ ), welche zwischen einem positiven und einem negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) abfällt, eine erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) erreicht wird (102), **dass** der Ladestrom ( $I_L$ ) abgeschaltet wird und während einer vorgegebenen Zeitdauer ein Relaxationsverlauf zwischen dem positiven und  
 10 negativen Anschluss ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) gemessen wird (103), **dass** aus dem gemessenen Relaxationsverlauf ein Modell des Batteriemoduls (BM) abgeleitet wird (104), **dass** mit Hilfe des Modells des Batteriemoduls (BM) der gesamte Relaxationsverlauf ermittelt wird und aus dem gesamten Relaxationsverlauf eine zweite Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) derart bestimmt wird (105), dass nach Abschalten des Ladestroms ( $I_L$ ) bei Erreichen  
 15 der zweiten Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) die vorgegebene Zielspannung ( $U_z$ ) 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 ( $K_p$ ,  $K_n$ ) des Batteriemoduls (BM) abfallenden Spannung ( $U_t$ ) die zweite Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) 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 ( $U_{a1}$ ) derart vorgegeben wird, dass eine sich für die erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) nach dem Relaxationsverlauf einstellende Ruhespannung kleiner  
 25 als die vorgegebene Zielspannung ist. (102).
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für einen Entladevorgang die erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) derart vorgegeben wird, dass eine sich für die erste Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) nach dem Relaxationsverlauf einstellende Ruhespannung größer als die vorgegebene Zielspannung ( $U_z$ ) 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 parametrisiert wird (104).
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als adaptives  
 35 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 Zielspannung ( $U_z$ ), **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 ( $U_t$ ) zu messen und mit einer ersten Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ) und einer zweiten Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) zu vergleichen; einen Ladestrom ( $I_L$ ) jeweils bei Erreichen der ersten und der zweiten Abschaltspannung ( $U_{a1}$ ,  $U_{a2}$ ) 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
  - 20 ermittelbar ist, und aus dem gesamten Relaxationsverlauf eine zweite Abschaltspannung ( $U_{a2}$ ) zu bestimmen.
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

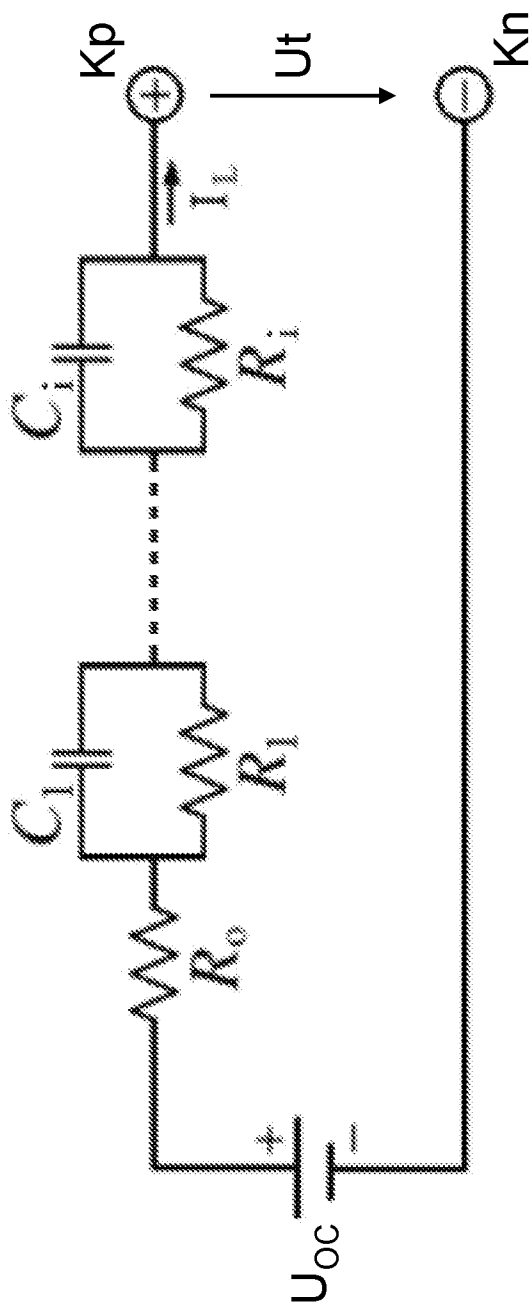


Fig. 2

3/4

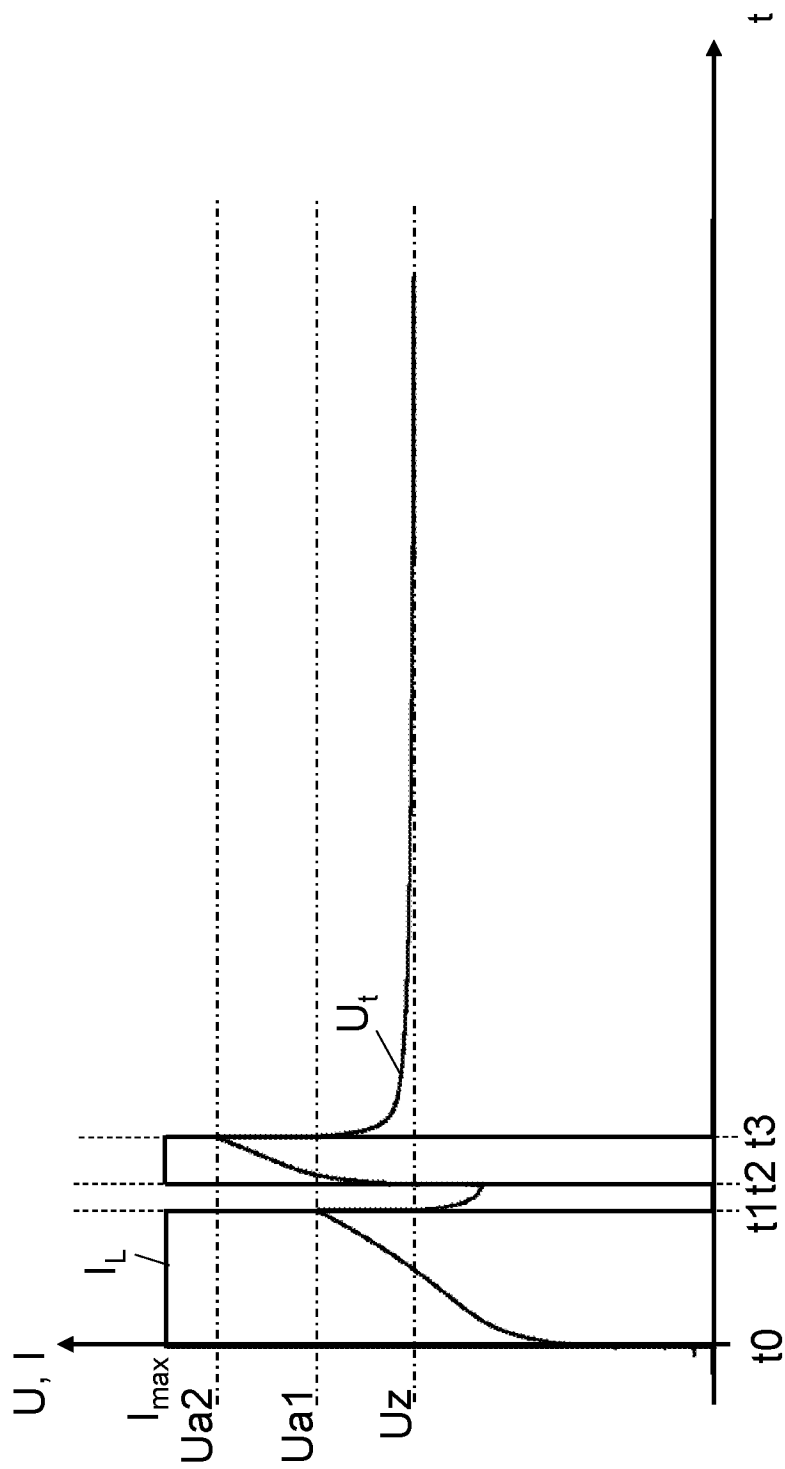
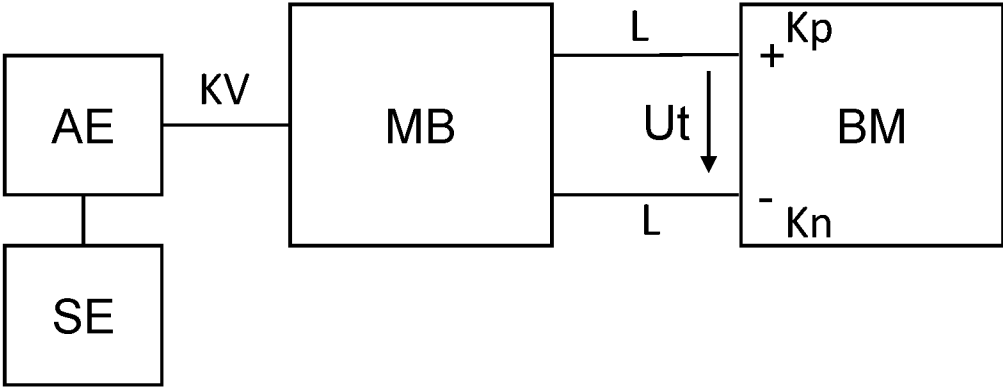


Fig. 3

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 <sup>*)</sup>	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		

<sup>\*)</sup> Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer 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.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
- 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 Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.