

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. April 2021 (15.04.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/069232 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 31/367 (2019.01) G01R 31/392 (2019.01)
G01R 31/378 (2019.01) B60L 58/16 (2019.01)
G01R 31/389 (2019.01) H01M 10/48 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/076766

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. September 2020 (24.09.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 127 384.6
10. Oktober 2019 (10.10.2019) DE

(71) Anmelder: **BAYERISCHE MOTOREN WERKE AK-
TIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Petuelring 130, 80809
München (DE).

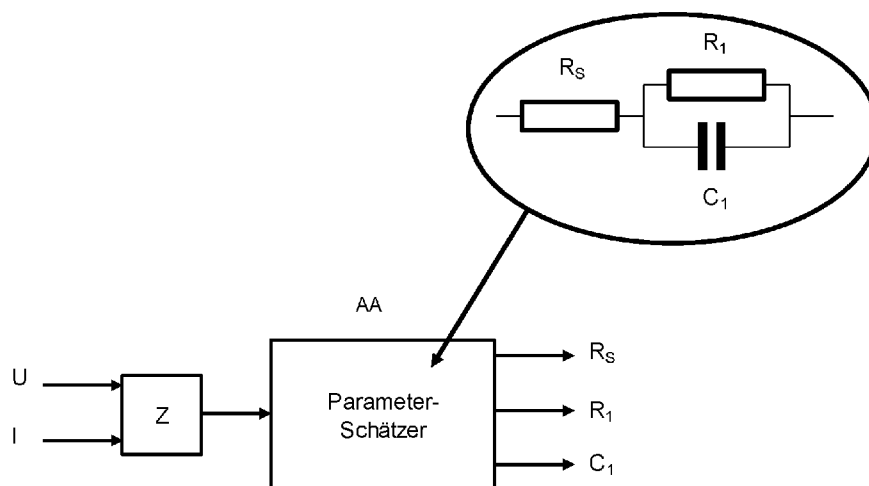
(72) Erfinder: **THIEM, Tobias**; Hufelandstr. 26 - 28, 80939
München (DE). **ROEMERSPERGER, Stefan**; Säbener
Str. 37, 81547 München (DE). **WAGNER, Christopher**;
Siglstraße 13, 80686 München (DE). **SCHMIDT, Jan Phil-
ipp**; Hohlweg 5 / 2, 73271 Holzmaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,

(54) Title: METHOD FOR PARAMETER ESTIMATION IN AN IMPEDANCE MODEL OF A LITHIUM ION CELL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR PARAMETERSCHÄTZUNG IN EINEM IMPEDANZ-MODELL EINER
LITHIUMIONENZELLE

Figur 1



AA Parameter estimator

(57) Abstract: The present invention relates to a method for determining the parameters of an equivalent circuit for representation of the impedance of a lithium ion cell, wherein the equivalent circuit comprises at least one RC element having an ohmic resistor R_1 and a capacitor C_1 and a series resistor R_s , which is characterized in that the series resistor R_s is determined by impedance measurement. The invention furthermore relates to a model-supported battery monitoring method, which uses the parameter determining method and a battery system which comprises a plurality of lithium ion cells and a battery management system (BMS), wherein the BMS is configured for carrying out the method.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Parameter eines Ersatzschaltbildes zur



WO 2021/069232 A1

NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Darstellung der Impedanz einer Lithiumionenzelle, worin das Ersatzschaltbild zumindest einen RC-Glied mit einem Ohm'schen Widerstand R_1 und einer Kapazität C_1 sowie einen Serienwiderstand R_S umfasst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Serienwiderstand R_S durch Impedanzmessung bestimmt wird. Weiterhin betrifft die Erfindung ein modellgestütztes Batterieüberwachungsverfahren, das das Parameterbestimmungsverfahren einsetzt sowie ein Batteriesystem, das eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen und ein Batteriemanagementsystem (BMS) umfasst, worin das BMS für die Durchführung des Verfahrens konfiguriert ist.

Verfahren zur Parameterschätzung in einem Impedanz-Modell einer Lithiumionenzelle

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Parameter eines Ersatzschaltbildes zur Darstellung der Impedanz einer Lithiumionenzelle, sowie ein Batterieüberwachungsverfahren und ein Batteriesystem, das das Verfahren einsetzt.

Technischer Hintergrund

Die Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) ist ein etabliertes Verfahren, das unter anderem zur Charakterisierung von Lithiumionenzellen eingesetzt werden kann.

Es beinhaltet die Anwendung eines Anregungssignals auf die Zelle, das ein Wechselstromsignal ($I(t)$, galvanostatisch) oder ein Wechselspannungssignal ($U(t)$, potentiostatisch) sein kann, die Messung des entsprechenden Antwortsignals ($U(t)$ bzw. $I(t)$) und die Berechnung der im Allgemeinen komplexen Impedanz Z aus dem Anregungssignal und dem Antwortsignal als $U(t)/I(t)$. Zur Aufnahme eines Spektrums kann die Frequenz des Anregungssignals variiert werden, oder es können mehrere Frequenzen überlagert sein. Alternativ kann auch ein Puls, der eine Überlagerung vieler Frequenzen darstellt, eingesetzt werden, und das Spektrum wird durch Fourier-Transformation erhalten.

Die Analyse der gemessenen Impedanz bzw. des Impedanzspektrums kann modellbasiert mit Hilfe von Ersatzschaltbildern („Equivalent Circuit“) erfolgen, die aus Bauteilen mit definierter Impedanz, insbesondere Ohm'schen Widerständen R , Kapazitätanz-Elementen C („Kondensator“) und Induktanz-Elementen

L („Spule“) zusammengesetzt sind. Im Fall von elektrochemischen Systemen, in denen die Diffusionsgeschwindigkeit der Ladungsträger bei der elektrischen Leitung eine Rolle spielt, können noch sogenannte Warburg-Elemente W hinzukommen.

Die Elektrode einer elektrochemischen Zelle wird typischerweise zumindest als RC-Glied modelliert, worin C die Kapazität der elektrochemischen Doppelschicht an der Elektrodengrenzfläche und R den Ladungstransfer-Widerstand widerspiegeln soll. Der elektrische Widerstand des Elektrolyten wird als Serienwiderstand R_s wiedergegeben. Eine Lithiumionenzelle besitzt zwei Elektroden, daher kann das Ersatzschaltbild beispielsweise zumindest zwei RC-Glieder und einen Serienwiderstand umfassen. Vereinfachte Modelle mit einem einzigen RC-Glied und einem Serienwiderstand sind jedoch ebenfalls möglich. Weiterhin können die Modelle eine serielle Induktivität L aufweisen, um der Induktanz der Zuleitungen und des geometrischen Aufbaus Rechnung zu tragen, die ebenfalls in das Messergebnis einer Auswerteelektronik eingeht. Zwar ist die physikalische Aussagekraft von L über die Vorgänge in der Zelle gering, doch entstünde durch die Überlagerung im Frequenzbereich mit Anteilen weiterer RC-Glieder ein Fehler, wenn diese Induktanz vernachlässigt würde.

Durch Fitten der Modell-Parameter (d.h., von R_s , den verschiedenen R und C der RC-Glieder, usw.) an das gemessene Impedanzspektrum können Rückschlüsse auf die internen Vorgänge in der Zelle, beispielsweise auf die Elektrolytleitfähigkeit und die Kinetik der Elektrodenvorgänge, geschlossen werden, was letztlich eine Diagnose des Zellzustandes ermöglicht.

Eine solche Technik kann bei der Herstellung und Qualitätskontrolle von Lithiumionenzellen zum Einsatz kommen. Hierbei wird beispielsweise auf die US 2009/0096459 verwiesen, die ein Verfahren zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Impedanz beschreibt, um die Mobilität der Ladungen auf der Oberfläche der negativen und der positiven Elektrode einer Lithiumionenzelle zu bestimmen. Dabei kommen spezielle

Verfahren zur Erstellung von Ersatzschaltbildern und Bestimmung der Parameter zur Modellierung des Zellverhaltens zum Einsatz.

Ein weiterer Anwendungsbereich neben der Qualitätskontrolle bei der Herstellung ist die Diagnose des Zellzustands von im Gebrauch befindlichen Zellen, etwa um deren Alterungszustand festzustellen und zu ermitteln, ob die Zelle ausgetauscht werden muss. Hierzu kann die Zelle beispielsweise in vorgegebenen Wartungsintervallen im Labor oder in der Werkstatt vom Netz getrennt, auf einen definierten Ladungszustand (SOC) und eine definierte Temperatur (T) gebracht und dann mittels EIS untersucht werden.

Aufgabenstellung

Insbesondere wenn die Zelle starken und schwankenden Belastungen ausgesetzt ist, wie sie etwa beim Einsatz in elektrisch betriebenen Fahrzeugen vorkommen, ist es wünschenswert, wenn die Diagnose mittels EIS auch online im laufenden Betrieb erfolgen kann. Vorzugsweise soll das Batteriemanagementsystem (BMS) jederzeit in der Lage sein, modellbasiert anhand der Strom- und Spannungsdaten unter Verwendung eine Prognose über den Alterungszustand der Zelle abzugeben. Dazu ist es nötig, die Modellparameter im laufenden Betrieb bestimmen zu können.

Im Gegensatz zum oben skizzierten stationären Test im Labor oder in der Werkstatt tritt hierbei jedoch die Schwierigkeit auf, dass die Zelle nicht ohne weiteres auf einen definierten Zustand hinsichtlich SOC und T gebracht werden kann.

Stattdessen müssen entweder der jeweils vorliegende SOC- bzw. T-Werte unabhängig gemessen werden und fließen zusammen mit den Impedanzparametern in die Prognose ein, oder sie müssen ebenfalls aus dem Impedanzmodell vorhergesagt werden. Im ersten Fall wird die Zuverlässigkeit der Prognose durch die begrenzte Messgenauigkeit für SOC und T begrenzt, im zweiten

Fall durch die zusätzlichen Freiheitsgrade des Systems bezüglich SOC und T, die die Güte des Fits bzw. der numerischen Parameterbestimmung verringern.

Neben diesen prinzipiellen Schwierigkeiten der erhöhten Komplexität bei reduzierter Präzision der Randbedingungen bezüglich T und SOC sind auch praktische Gesichtspunkte relevant, etwa in Bezug auf die hohe Anforderung an die Signalqualität und Synchronizität von Strom- und Spannungssignal, die erforderlichen Datenraten bei der Signalaufnahme oder die nötige Rechenleistung zur Optimierung der Parameter. Bei der Diagnose im laufenden Betrieb müssen diese Faktoren durch die Bordelektronik, etwa durch das Batteriemanagementsystem (BMS) bereitgestellt werden. Es kann nicht auf eine dedizierte Labor-EIS-Vorrichtung zurückgegriffen werden, die grundsätzlich beliebig hohe Signalqualität, Synchronizität und Rechenleistung liefern kann.

Insgesamt besteht bei der Online-Parameterbestimmung im laufenden Betrieb somit die Schwierigkeit, dass einerseits die Komplexität aufgrund der zusätzlichen freien bzw. zu messenden Parameter SOC und T zunimmt und andererseits die Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Mess- und Auswertungseinrichtungen im Hinblick auf Signalqualität, Synchronizität und Rechenleistung begrenzt ist.

In Anbetracht dieser Problematik besteht Bedarf für Verfahren zur Ermittlung der Modellparameter des Ersatzschaltbildes mit reduzierter Komplexität, das eine verbesserte Zuverlässigkeit der Online-Diagnose einer Lithiumionenzelle im laufenden Betrieb ermöglicht.

Zusammenfassung der Erfindung

Zur Lösung der obigen Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Ermittlung der Parameter eines Ersatzschaltbildes zur Darstellung der Impedanz einer

Lithiumionenzelle bereitgestellt, worin das Ersatzschaltbild zumindest ein RC-Glied mit einem Ohm'schen Widerstand R_1 und einer Kapazität C_1 sowie einen Serienwiderstand R_s umfasst, und die Parameter zumindest R_s , R_1 und C_1 umfassen, worin das Verfahren die folgenden Schritte enthält:

- (a) Durchführung einer ersten Messung, um zumindest den Realteil und wahlweise auch den Imaginärteil der Impedanz der Zelle bei einer ersten Frequenz oberhalb von 300 Hz zu bestimmen;
- (b) Ermittlung des Serienwiderstands R_s aus dem gemessenen Realteil der Impedanz;
- (c) Durchführung mindestens einer weiteren Messung, um Realteil und Imaginärteil und/oder Betrag und Phase der Impedanz der Zelle bei mindestens einer weiteren Frequenz, die niedriger ist als die erste Frequenz, zu bestimmen;
- (d) Subtraktion zumindest des Serienwiderstand R_s vom Ergebnis der weiteren Messung(en);
- (e) Ermittlung der übrigen Modellparameter, einschließlich R_1 und C_1 aus dem Ergebnis.

Vorzugsweise weist das Ersatzschaltbild (Impedanzmodell) auch eine Serieninduktivität L auf, die dem möglichen Einfluss der Induktanz des elektrischen Aufbaus Rechnung trägt. Sie kann als vorbestimmter Fixparameter in das Modell eingehen oder wie auch der Serienwiderstand R_s durch Messung bestimmt werden.

Weitere Gesichtspunkte der Erfindung betreffen ein Batterieüberwachungsverfahren, in dem ein Impedanzmodell zum Einsatz kommt, dessen Parameter durch das erfindungsgemäße Verfahren ermittelt werden, ein Batteriemanagementsystem, in dem das Batterieüberwachungsverfahren implementiert ist, sowie ein Batteriesystem, das das Batteriemanagementsystem umfasst.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt schematisch ein Verfahren des Standes der Technik zur Ermittlung der Parameter R_s , R_1 und C_1 eines Impedanzmodells, das einen Serienwiderstand und ein RC-Glied umfasst. Auf Basis des Spannungs- und Stromsignals wird die Impedanz berechnet, und alle drei Parameter werden aus den erhaltenen Impedanz-Daten numerisch ermittelt.

Figur 2 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren. Bei hoher Frequenz (z.B. 500 Hz) verschwindet die Impedanz des RC-Gliedes, so dass der Serienwiderstand in einer separaten Messung direkt ermittelt werden kann. R_s muss nicht mehr durch den Schätzalgorithmus bestimmt werden, sondern fließt als zusätzliches Eingangssignal neben dem Strom- und Spannungssignal ein, und verbessert so die Abschätzung von R_1 und C_1 .

Figur 3 zeigt schematisch die Auftragung von Real- und Imaginärteil der Impedanz (Nyquist-Plot) eines RC-Gliedes mit und ohne Serienwiderstand (R_s -RC- bzw. RC-Modell) für unterschiedliche Frequenzen. Die Auftragung hat idealisiert die Form eines Kreisbogens, dessen Scheitelpunkt bei $\omega = 1/R_1C_1 = 1/\tau$ liegt, worin τ die Zeitkonstante des RC-Gliedes darstellt; die linke Seite des Kreisbogens zeigt die Impedanz bei höheren Frequenzen und die rechte Seite bei niedrigeren Frequenzen. Der Serienwiderstand R_s bewirkt eine Verschiebung entlang der $\text{Re}(Z)$ -Achse.

Figur 4 zeigt schematisch die Auftragung von Real- und Imaginärteil der Impedanz eines RC-Gliedes mit Serienwiderstand und Serieninduktivität (L - R_s -RC-Modell) für unterschiedliche Frequenzen. Die Serieninduktivität bewirkt eine Verschiebung von $\text{Im}(Z)$ um $i\omega L$ (d.h. nach „unten“ auf der $-\text{Im}(Z)$ -Achse), so dass bei hohen Frequenzen zunehmende Abweichungen vom R_s -RC-Modell auftreten.

Figur 5 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren für ein L - R_s -RC-Modell.

Detaillierte Beschreibung

Allgemeines

Wie oben im Abschnitt zum technischen Hintergrund ausgeführt, können Lithiumionenzellen durch ein Ersatzschaltbild modelliert werden, das zumindest ein RC-Glied und einen Serienwiderstand R_s umfasst. Der Serienwiderstand R_s spiegelt im Wesentlichen die Elektrolyt-Leitfähigkeit wieder, die ihrerseits hauptsächlich von der Temperatur und vom Alterungszustand (SOH) abhängt. Das RC-Glied dient zur Modellierung der Elektrodenvorgänge, wobei C die Doppelschicht-Kapazität und R den Widerstand beim Ladungsübertritt angibt. R und C können von der Temperatur, dem Alterungszustand und auch dem Ladungszustand (SOC) abhängen, der das elektrochemische Potential der Elektrode beeinflusst.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Modellparameter eines solchen Impedanzmodells. Unter Modellparametern werden hierbei insbesondere die Widerstandswerte, Kapazitäten, Induktivitäten und gegebenenfalls auch Warburg-Elemente der im Ersatzschaltbild vorkommenden Schaltungselemente verstanden. Somit umfassen die Modellparameter den Widerstandswert des Serienwiderstands R_s (der erfindungsgemäß durch Messung ermittelt wird) sowie die Kapazität C_1 und der Widerstand R_1 des mindestens einen RC-Gliedes.

Des Weiteren kann bei höheren Frequenzen (mehr als 100Hz) bereits mit Einflüssen der Induktanz gerechnet werden. Die Induktanz wird durch die räumliche Anordnung der beteiligten metallischen Leiter (Ableiterfolien, Verkabelung, usw.) bestimmt und ist im Wesentlichen unabhängig von Temperatur und SOC. Jedoch kann sie abhängig vom Temperaturbereich (bzw. den Werten für R_s , R und C , die wiederum temperaturabhängig sind) den Frequenzbereich der anderen Effekte leicht überlagern. Daher weist das Ersatzschaltbild im erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise eine serielle Induktanz L auf, die

beispielsweise als vorher bestimmter Fix-Wert (Apparatekonstante) in das Modell einfließen kann, oder aber ebenfalls, wie auch der Serienwiderstand R_s , durch Impedanzmessung bestimmt werden kann.

Bei komplexeren Modellen können zudem als weitere Parameter beispielsweise C_2 und R_2 für ein zweites RC-Glied hinzukommen, gegebenenfalls auch weitere RC-Glieder oder auch Warburg-Elemente A_W .

Die vorliegende Erfindung basiert auf dem Umstand, dass bei hohen Frequenzen die Beiträge der RC-Glieder (einschließlich gegebenenfalls enthaltener Warburg-Elemente) vernachlässigbar werden. Die Impedanz wird dann im Wesentlichen durch den Elektrolytwiderstand sowie durch den elektrischen Widerstand und die Induktivität der beteiligten metallischen Leiter (Ableiterfolien, Verkabelung, usw.) bestimmt.

Im erfindungsgemäßen Verfahren muss der Serienwiderstand folglich nicht als weiterer Parameter durch Fit an die Strom- und Spannungsdaten abgeschätzt werden, wie in Figur 1 illustriert, was einen zusätzlichen Freiheitsgrad darstellt und die Genauigkeit der Abschätzung verringert. Stattdessen wird R_s explizit gemessen und fließt als Fixparameter in das Modell ein (siehe Figur 2). Damit verringert sich die Anzahl der Freiheitsgrade (d.h. der durch den Fit zu bestimmenden Parameter), und die Genauigkeit der Abschätzung kann verbessert werden.

Funktionsprinzip

Das oben skizzierte Funktionsprinzip soll nachfolgend für den einfachsten Fall eines einfachen RC-Gliedes (C_1 und R_1) mit Serienwiderstand R_s (R_s -RC-Modell) illustriert werden. In der nachfolgenden Diskussion werden im Hinblick auf die Einfachheit der Notation sowohl Frequenzen f (Hz) und Kreisfrequenzen ω ($=2\pi f$) nebeneinander verwendet und kollektiv

als „Frequenz“ bezeichnet. Anhand des Symbols (ω bzw. f) ist ersichtlich, welche Frequenz gemeint ist.

R_s ist rein reell, und für das aus C_1 und R_1 gebildete RC-Glied sind Real- und Imaginärteil der Impedanz Z frequenzabhängig mit:

$$\begin{aligned} Z_{RC}(R_1C_1, \omega) &= R_1/(1 + i\omega R_1C_1) \\ &= R_1/(1 + (\omega R_1C_1)^2) - i \omega R_1^2C_1/(1 + (\omega R_1C_1)^2) \end{aligned}$$

wobei ω die Kreisfrequenz des Anregungssignals ist. Bei $\omega = 0$ verschwindet der Imaginärteil und der Nenner des Realteils geht gegen 1, d.h. die Impedanz entspricht dem Widerstand R_1 . Wenn ω gegen unendlich geht, gehen sowohl der Realteil als auch der Imaginärteil gegen null. Bei $\omega = 1/R_1C_1$ ($= 1/\tau$; τ : Zeitkonstante des RC-Gliedes) betragen Realteil und Imaginärteil jeweils $R_1/2$ bzw. $-iR_1/2$, d.h. der Phasenwinkel der Impedanz beträgt 45° . Trägt man also Real- und Imaginärteil der Impedanz für Frequenzen von null bis unendlich auf, so entsteht ein Halbkreis mit Radius $R_1/2$. Ohne Serienwiderstand würde dieser auf der reellen Achse von 0 bis R verlaufen. Der Serienwiderstand ist eine additive Konstante und bewirkt eine Verschiebung um R_s entlang der reellen Achse, wie in Figur 3 gezeigt.

Somit lässt sich also R_s bei sehr hohen Anregungsfrequenzen, bei denen die Impedanz des RC-Gliedes gegen null geht, direkt messen, R_s entspricht dann dem Schnittpunkt des Plots mit der reellen Achse. Dies entspricht dem Punkt f_2 in Figur 3. In einem reinen Modell aus Serienwiderstand und RC-Glied (R_s -RC-Modell) würde es bereits genügen, dass der Realteil der Impedanz des RC-Gliedes gegen null geht, was bereits bei niedrigeren Frequenzen der Fall ist und in Figur 3 dem Punkt f_1 entspricht. Auch wenn der Imaginärteil noch einen erheblichen Wert hat, entspricht der Realteil am Punkt f_1 bereits in guter Näherung dem Wert am Schnittpunkt.

Jedoch kann es aufgrund der Induktivität zu erheblichen Abweichungen von diesem Verhalten kommen, wobei das Ausmaß der

Abweichung einerseits vom Betrag von L und andererseits von den Werten von R_s , R_1 und C_1 und damit von der Temperatur abhängt. Bei hohen Temperaturen (beispielsweise oberhalb von 25°C) ist die Impedanz $Z_{RC}(R_1C_1, \omega)$ des RC-Gliedes klein und die charakteristische Zeitkonstante (d.h. der „Scheitel“ des Kreisbogens in Figur 3) stark zu höheren Frequenzen hin verschoben. Andererseits ist der Beitrag der Induktivität L proportional zur Frequenz und beträgt $i\omega L$, d.h., L bewirkt mit steigender Frequenz eine zunehmende Verschiebung in imaginärer Richtung. Somit kann es zu einer Überlagerung dieser Effekte kommen, wie in Figur 4 gezeigt. Da auf der imaginären Achse - $\text{Im}(Z)$ aufgetragen ist, findet die Verschiebung im Plot nach „unten“ statt.

Aufgrund dieser Überlagerung kann sich der Realteil am Punkt f_1 deutlich vom Wert für das R_s -RC-Modell unterscheiden und stellt nicht notwendigerweise mehr eine gute Näherung für R_s dar. Im erfindungsgemäßen Verfahren kommt daher vorzugsweise ein Modell mit zusätzlicher Serieninduktivität L (L - R_s -RC-Modell) zum Einsatz. Die Gesamtimpedanz beträgt damit:

$$Z_{\text{Ges}} = R_s + i\omega L + Z_{RC}(R_1C_1, \omega)$$

In einer Ausführungsform kann die Induktivität L als vorbekannte Konstante angesetzt werden, die beispielsweise durch eine separate Messung bestimmt wurde und in das Modell als Fixparameter eingeht. In diesem Fall kann die Impedanz der Induktivität ($i\omega L$) einfach berechnet und vom Messwert subtrahiert werden, und anschließend wird das Verfahren auf die gleiche Weise wie im R_s -RC-Modell fortgeführt.

Alternativ kann die Induktivität L auch durch Impedanzmessung bestimmt werden. Hierzu kann beispielsweise die erste Messung zusätzlich den Imaginärteil erfassen und bei einer hohen Frequenz von beispielsweise 1 kHz oder mehr, vorzugsweise 5 kHz oder mehr durchgeführt werden. Bei genügend hoher Frequenz ist das RC-Glied wiederum weitestgehend entkoppelt, so dass der Realteil der Impedanz näherungsweise R_s und der

Imaginärteil näherungsweise $-i\omega L$ entspricht (siehe Punkt f_2 in Figur 4). Damit können R_s und L aus dem Real- bzw. Imaginärteil der Impedanz ermittelt werden. Der dadurch erhaltene Wert von L kann dann zur Berechnung des Impedanz-Beitrags der Induktanz bei den weiteren Messungen bei niedrigeren Frequenzen eingesetzt werden, der wiederum subtrahiert wird, um das Verfahren auf die gleiche Weise wie im R_s -RC-Modell fortzuführen.

Als weitere Alternative, insbesondere wenn ausreichend hohe Frequenzen, bei denen die Impedanz des RC-Gliedes vernachlässigbar wird, nicht zur Verfügung stehen, kann auch eine Messung von Realteil und Imaginärteil bei zwei oder mehreren Frequenzen (z.B. f_1 und f_2 in Figur 4) durchgeführt werden, und L wird aus den gemessenen Impedanzwerten durch Fitting bestimmt, wobei beispielsweise zunächst aktuelle Schätzwerte für R_1 und C_1 zugrunde gelegt werden können, die anschließend iterativ verfeinert werden können.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden zumindest vier verschiedene Frequenzen eingesetzt f_1 , f_2 , f_3 und f_4 eingesetzt, wie in Figur 4 gezeigt.

f_1 liegt vorzugsweise in der Nähe des Nulldurchgangs ($\text{Im}(Z)=0$) im Nyquist-Plot, d.h. im L - R_s -RC-Modell heben sich der Beitrag von L und der Imaginärteil des Beitrags des RC-Gliedes gerade auf, also gilt $i\omega L = i\omega R^2 C / (1 + (\omega RC)^2)$ und damit $\omega = (1/LC - 1/R^2 C^2)^{1/2}$. Da R und C temperaturabhängig sind, kann die Nulldurchgangsfrequenz mit dieser variieren, und liegt beispielsweise zwischen 300 Hz und 1kHz.

f_2 liegt vorzugsweise beim mindestens 5-fachen von f_1 , insbesondere beim mindestens 10-fachen, oder kann z.B. auch der höchsten Frequenz entsprechen, die durch die eingesetzte Messanordnung gemessen werden kann, und liegt beispielsweise bei mehr als 1 kHz, vorzugsweise mindestens 5 kHz.

f_3 ist geringer als f_1 und liegt vorzugsweise im Hochpunkt der Kurve, d.h. bei $d\text{Im}(Z)/d\omega = 0$.

f_4 ist die niedrigste Frequenz und liegt vorzugsweise im Bereich von $0,1f_3$, beispielsweise zwischen 10 bis 50 Hz.

Die Werte für f_1 , f_2 , f_3 und f_4 können aus den anfänglichen oder aktuellen Schätzwerten der Parameter des L- R_s -RC-Modell unter Berücksichtigung von SOC und Temperatur ermittelt werden. Die anfänglich gewählten Frequenzen können anschließend im Hinblick auf die Vereinfachung der Messung beibehalten werden, oder sie können an die im erfindungsgemäßen Verfahren geschätzten Parameter bzw. die Änderungen von SOC und Temperatur kontinuierlich angepasst werden. Es ist auch möglich, beispielsweise die Randwerte f_2 und f_4 beizubehalten und nur f_1 und f_3 an die geänderten Schätzwerte anzupassen.

Entsprechendes gilt auch für Ersatzschaltbilder mit mehreren RC-Gliedern. Hierbei liefert jedes RC-Glied bei der Auftragung der Impedanz für unterschiedliche Frequenzen einen Kreis mit unterschiedlicher Zeitkonstante τ und damit unterschiedlicher Lage in der Auftragung nach Figur 3. Entscheidend ist jedoch, dass für jedes RC-Glied die obige Formel gilt und bei genügend hoher Frequenz sowohl der Real- als auch der Imaginärteil verschwinden, d.h., $Z_{RC}(R_1C_1, \omega)$ null wird, so dass als Impedanz Z nur der reelle Beitrag von R_s und der imaginäre Beitrag von L übrigbleiben. Somit kann bei genügend hoher Anregungsfrequenz der Serienwiderstand direkt aus dem Realteil der Impedanz bestimmt werden.

Anschließend kann dann eine erneute Messung der Impedanz Z_{Ges} bei einer niedrigeren Frequenz ω durchgeführt werden. Von Z_{Ges} wird der vorher gemessene Wert R_s und der Beitrag der Induktanz subtrahiert, um die Impedanz des RC-Gliedes, $Z_{RC}(R_1C_1, \omega)$ zu erhalten. Falls sowohl Real- als auch Imaginärteil von der Impedanz gemessen wurden, lassen sich R_1 und C_1 direkt anhand der obigen Gleichungen berechnen. Alternativ kann z.B. nur der Realteil oder nur der Betrag bei einer ersten Frequenz ω_1 und zusätzlich der Realteil bzw. der Betrag bei einer zweiten Frequenz ω_2 gemessen werden; in jedem Fall wird ein System mit

zwei Gleichungen und zwei Unbekannten erhalten, aus dem dann R_1 und C_1 berechnet werden können.

Analoges gilt entsprechend für den Fall mehrerer RC-Glieder, wobei dann gegebenenfalls mehrere Messungen durchzuführen sind, um alle Parameter zu erhalten. Da jedes RC-Glied zwei weitere Parameter (R_2 , C_2 , usw.) enthält, wären theoretisch zwei Messwerte pro RC-Glied nötig, beispielsweise Realteil und Imaginärteil der Impedanz bei einer weiteren Frequenz f_5 , die vorzugsweise im Bereich der Zeitkonstante des RC-Gliedes liegt (Scheitelpunkt des zugehörigen Kreisbogens im Nyquist-Plot mit $d\text{Im}/df = 0$). Analog zu obigen Ausführungen zu f_1 - f_4 lässt sich f_5 beispielsweise aus dem aktuellen geschätzten Parametersatz des Modells ermitteln, und kann ggf. an die geänderten Schätzwerte angepasst werden.

In jedem Fall werden von den gemessenen Impedanzwerten der Beitrag von R_s und ggf. von L subtrahiert, und aus dem Ergebnis die übrigen Modellparameter berechnet. Falls eine analytische Lösung nicht in Betracht kommt, etwa weil das zugehörige Gleichungssystem über- oder unterbestimmt ist, können die Parameter auch durch übliche Fitting-Verfahren (z.B. least squares fitting) numerisch ermittelt werden.

Impedanzmessung

Allgemein kann die Impedanz gemessen werden, indem als Anregungssignal ein oszillierendes Stromsignal ($I(t)$, galvanostatisch) oder Spannungssignal ($U(t)$, potentiostatisch) an die Zelle angelegt und das entsprechende Antwortsignal $U(t)$ bzw. $I(t)$ gemessen wird. Die Impedanz lässt sich dann als $U(t)/I(t)$ berechnen und ist im Allgemeinen komplex. Da in üblichen Batteriesystemen typischerweise Einrichtungen zur Spannungsüberwachung an jeder Zelle ohnehin vorgesehen sind, ist es erfindungsgemäß bevorzugt, als Anregungssignal ein Stromsignal einzusetzen und die Spannung als Antwortsignal zu messen.

Das Anregungssignal kann eine einzelne Frequenz oder eine Superposition mehrerer Frequenzen umfassen, und es kann kontinuierlich oder gepulst an die Zelle angelegt werden. Die Frequenzen sind nicht speziell beschränkt und können beispielsweise im Bereich von 10 Hz bis 10 kHz liegen.

Die Messung des Serienwiderstands R_s sowie gegebenenfalls der Induktivität L erfolgt bei einer Frequenz von 300 Hz oder mehr, vorzugsweise 500 Hz bis 5 kHz. Für solche Frequenzen liegt ω deutlich oberhalb der reziproken Zeitkonstanten der beteiligten RC-Glieder, so dass R_s aus dem Realteil der Impedanz abgelesen werden kann und L aus dem Imaginärteil berechnet werden kann.

Zur Bestimmung der Parameter R_1 und C_1 sowie der Parameter eventueller weiterer Schaltungselemente werden weiterhin eine oder mehrere Impedanzmessungen bei entsprechend niedrigeren Frequenzen durchgeführt, so dass ω vorzugsweise im Bereich der reziproken Zeitkonstanten der beteiligten Schaltungselemente liegt. Beispielsweise können ein oder mehrere Messungen bei Frequenzen im Bereich von 10 bis 200 Hz, vorzugsweise 20 bis 100 Hz durchgeführt werden. Wie oben dargelegt können die Frequenzen entweder vorbestimmt sein, beispielsweise anhand der aus den anfänglichen Modellparametern berechneten Zeitkonstanten, oder sie können an die durch das erfindungsgemäße Verfahren geschätzten Parameter kontinuierlich angepasst werden. Bei jeder Messung werden Real- und Imaginärteil bzw. Betrag und Phase der Impedanz bestimmt.

Batteriesystem

Das erfindungsgemäße Verfahren ist typischerweise Bestandteil eines Batterieüberwachungsverfahrens zur Vorhersage des Alterungszustands und Prognostizierung der zukünftigen Leistungscharakteristika von Lithiumionenzellen, das im

Managementsystem eines Batteriesystems (BMS) implementiert ist. Somit betrifft die vorliegende Erfindung auch ein modellbasiertes Batterieüberwachungsverfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Modellparameter durch das erfindungsgemäße Verfahren ermittelt werden, sowie ein Batteriesystem, das für die Durchführung des Verfahrens konfiguriert ist.

Insbesondere kann es sich dabei um ein Batteriesystem für ein elektrisch oder hybrid-elektrisch betriebenes Fahrzeug handeln. Ein solches Batteriesystem umfasst eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen, die durch ein Batteriemanagement-System (BMS) kontrolliert werden.

Typischerweise sind die Zellen gruppenweise seriell und/oder parallel zu Batteriepacks verschaltet und jeweils mit einer Zellüberwachungseinheit (CSC) verbunden, die zumindest die Zellspannung überwacht und auch den Ladungsausgleich (Balancing) steuert. Hierbei kann jede einzelne Zelle mit einer Zellüberwachungseinheit versehen sein, oder es kann eine Mehrzahl von Zellen mit einer Zellüberwachungseinheit verbunden sein. Diese kann mehrere Eingangskanäle zur Spannungsmessung aufweisen, um die mit ihr verbundenen Zellen gleichzeitig überwachen zu können, oder die Überwachung kann über ein Multiplexverfahren erfolgen. Die Gesamtheit der Zellen und Zellüberwachungseinheiten wird wiederum von einer Batteriemanagementeinheit (BCU, Battery Control Unit) überwacht.

Vorzugsweise wird das Anregungssignal für die Impedanzmessung als Wechselstromsignal aufgeprägt, was zellenweise, z.B. über den Balancing-Strom, oder global von außen erfolgen kann. Es können erfindungsgemäß ein erstes Anregungssignal mit einer Frequenz oberhalb von 300 Hz zur Messung von R_s und mindestens ein weiteres Anregungssignal mit einer Frequenz von 10 bis 200 Hz bereitgestellt werden, oder es können alternativ auch die erforderlichen Frequenzen in einem einzelnen Anregungssignal überlagert werden.

Das Antwortsignal ist ein Spannungssignal, das die gleiche Frequenz aufweist wie das Anregungssignal, aber gegebenenfalls phasenverschoben sein kann. Es kann beispielsweise durch die ohnehin vorhandene Spannungsmessfunktion des CSC detektiert werden.

Falls die Spannung mit hinreichend hoher Sampling-Rate und Auflösung digital aufgezeichnet wird, kann das Antwortsignal aus dem hochfrequenten Anteil der bei der Spannungsmessung erfassten Sampling-Daten ermittelt werden. Die Sampling-Rate sollte dabei gemäß Abtast-Theorem mindestens das Doppelte der höchsten Anregungsfrequenz betragen, vorzugsweise mindestens das Vierfache. Sampling-Raten von 1-20 kHz sind für das erfindungsgemäße Verfahren typischerweise ausreichend. Andernfalls kann der hochfrequente Anteil beispielsweise durch einen Hochpassfilter abgetrennt werden, und wird über eine separate Vorrichtung bzw. einen separaten Messeingang mit geeignet hoher Sampling-Rate und Auflösung aufgezeichnet. Aus dem Anregungssignal und dem Antwortsignal werden die erfindungsgemäß erforderlichen Impedanzwerte ermittelt.

Das Batteriemanagementsystem ist so konfiguriert, dass es eine modellbasierte Vorhersage des Alterungszustands und Prognostizierung der zukünftigen Leistungscharakteristika der einzelnen Zellen vornehmen kann, wozu die Modellparameter bekannt sein müssen, die durch das erfindungsgemäße Verfahren geschätzt werden.

R_s wird hauptsächlich durch den Elektrolytwiderstand bestimmt, der einerseits von der Temperatur und andererseits vom Alterungszustand abhängt. Die Temperatur kann durch Sensoren gemessen oder anhand bekannter Verfahren aus der Impedanz ermittelt werden, so dass der Temperatureinfluss eliminiert und der Alterungszustand des Elektrolyten bestimmt werden kann.

Weitere Einflussfaktoren für R_s sind die Kontaktwiderstände an den Elektroden, die beispielsweise durch Delamination, Deckschichtbildung oder Quellen (Swelling) zustandekommen.

Diese Effekte können wiederum aufgrund des unterschiedlichen Temperaturverhaltens von der Elektrolytleitfähigkeit separiert werden.

Das RC-Glied modelliert hingegen die elektrochemischen Vorgänge an der Elektrodenoberfläche. Hierbei stellt R den Ladungsdurchtrittswiderstand dar, der beispielsweise durch Deckschichtbildung oder Phasenumwandlung im Material sowie Particle-Cracking und Delamination beeinflusst wird, andererseits aber auch von der Temperatur und dem chemischen Potential des Aktivmaterials und damit vom Ladungszustand (SOC) abhängt. C steht für die Doppelschicht-Kapazität und wird z.B. ebenfalls durch Particle-Cracking und die damit einhergehende Vergrößerung der Oberfläche beeinflusst. Bei Kenntnis und Eliminierung des Einflusses von T und SOC erlauben R und C somit eine Diagnose des Alterungszustands der Elektrode.

Insgesamt ermöglichen die Modellparameter unter Berücksichtigung von Temperatur und SOC somit detaillierte Rückschlüsse auf den Alterungs- und Gesundheitszustand der Zelle. So führt z.B. eine Delamination der Elektroden in etwa gleichem Maße zu einem Anstieg von R_s und R, während die Degradation des Elektrolyten im Wesentlichen R_s alleine erhöht. Folglich kann durch die Kenntnis der einzelnen Parameter eine fundiertere Aussage über den Gesundheitszustand der Zelle getroffen werden und damit die Abschätzung zum Restwert und verbleibenden Lebensdauer der Zelle verbessert werden. Dies ermöglicht z.B. eine Anpassung der Betriebsgrenzen der Zelle, um die Sicherheit zu erhalten und die weitere Alterung zu minimieren.

Figur 5 illustriert schematisch den Aufbau eines Batteriesystems, in dem das erfindungsgemäße Verfahren implementiert ist. Die gezeigten Funktionsblöcke umfassen die Impedanzmessung und den Parameterschätzer für jede Zelle sowie das Zellmodell, mit dem aus den Parametern sowie aus den Temperatur- und SOC-Daten beispielsweise der Alterungszustand ermittelt bzw. prognostiziert werden kann. Die Funktionen

können dabei im gleichen oder in unterschiedlichen Steuergeräten implementiert sein. Beispielsweise können Impedanzmessung und Parameterschätzung von den Zellüberwachungseinheiten durchgeführt werden, während die modellbasierte Prognostizierung von SOH und weiterer Lebensdauer in der BCU durchgeführt wird.

Ansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Parameter eines Ersatzschaltbildes zur Darstellung der Impedanz einer Lithiumionenzelle,

worin das Ersatzschaltbild zumindest einen RC-Glied mit einem Ohm'schen Widerstand R_1 und einer Kapazität C_1 sowie einen Serienwiderstand R_s umfasst, und die Parameter zumindest R_s , R_1 und C_1 umfassen,

worin das Verfahren die folgenden Schritte enthält:

- (a) Durchführung einer ersten Messung, um zumindest den Realteil und wahlweise auch den Imaginärteil der Impedanz der Zelle bei einer ersten Frequenz oberhalb von 300 Hz zu bestimmen;
- (b) Ermittlung des Serienwiderstands R_s aus dem gemessenen Realteil der Impedanz;
- (c) Durchführung mindestens einer weiteren Messung, um Realteil und Imaginärteil und/oder Betrag und Phase der Impedanz der Zelle bei mindestens einer weiteren Frequenz, die niedriger ist als die erste Frequenz, zu bestimmen;
- (d) Subtraktion zumindest des Serienwiderstand R_s vom Ergebnis der weiteren Messung(en);
- (e) Ermittlung der übrigen Modellparameter, einschließlich R_1 und C_1 aus dem Ergebnis.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, worin das Ersatzschaltbild weiterhin eine Serieninduktivität L umfasst, und das Verfahren in Schritt (d) weiterhin die Subtraktion des Impedanz-Beitrags der Induktivität $i\omega L$ aufweist, worin $\omega = 2\pi f$ und f die Frequenz ist, bei der die jeweilige Messung durchgeführt wurde.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, worin in Schritt (a) auch der Imaginärteil gemessen wird und die Induktivität aus dem Imaginärteil berechnet wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 oder 3, worin für die Messungen in Schritt (a) und (c) die folgenden Frequenzen f_1 , f_2 , f_3 und f_4 zum Einsatz kommen:

- f_1 als Frequenz, bei der ein Nyquist-Plot der Impedanz des Ersatzschaltbildes einen Nulldurchgang aufweist;
- f_2 als Frequenz mit 300 Hz oder mehr, die zudem das mindestens 5-fache von f_1 beträgt;
- f_3 als Frequenz, bei der ein Nyquist-Plot der Impedanz des Ersatzschaltbildes einen Extremwert aufweist; und
- f_4 als Frequenz im Bereich von 10 bis 50 Hz;

wobei f_2 als größte Frequenz der Frequenz in Schritt (a) entspricht.

5. Verfahren nach Anspruch 4, worin f_1 und f_3 aus den anfänglichen Parametern oder den durch einen vorhergehenden Durchlauf des Verfahrens geschätzten Parametern des Ersatzschaltbildes berechnet werden.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, worin das Ersatzschaltbild mindestens ein weiteres RC-Glied mit den Parametern R_2 und C_2 umfasst.

7. Modellbasiertes Verfahren zur Überwachung einer Lithiumionenzelle und Prognostizierung der zukünftigen Leistungscharakteristika, umfassend:

- Bereitstellung eines Ersatzschaltbildes zur Darstellung der Impedanz der Lithiumionenzelle, worin das Ersatzschaltbild zumindest ein RC-Glied mit einem

Ohm'schen Widerstand R_1 und einer Kapazität C_1 sowie einen Serienwiderstand R_s umfasst;

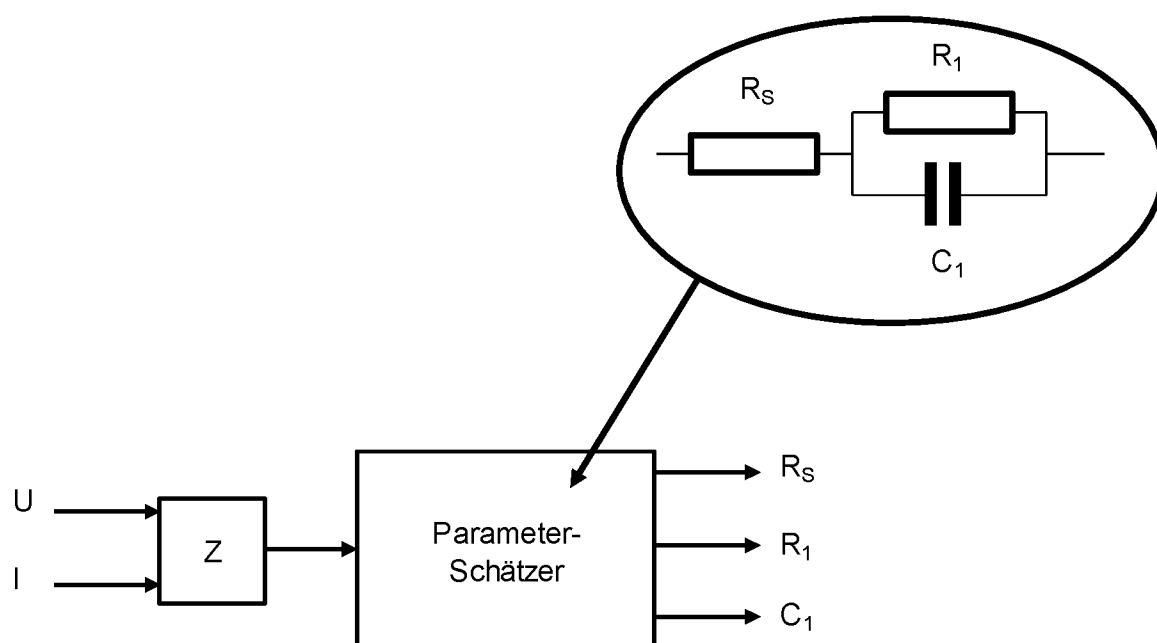
- Ermittlung der Parameter des Ersatzschaltbildes, einschließlich R_s , R_1 und C_1 , durch das Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6;
- Ermittlung der Temperatur und des SOC;
- Ermittlung des SoH und Prognostizierung der zukünftigen Leistungscharakteristika der Zelle auf Basis der Parameter des Ersatzschaltbildes unter Einbeziehung von Temperatur und SOC.

8. Batteriesystem, umfassend:

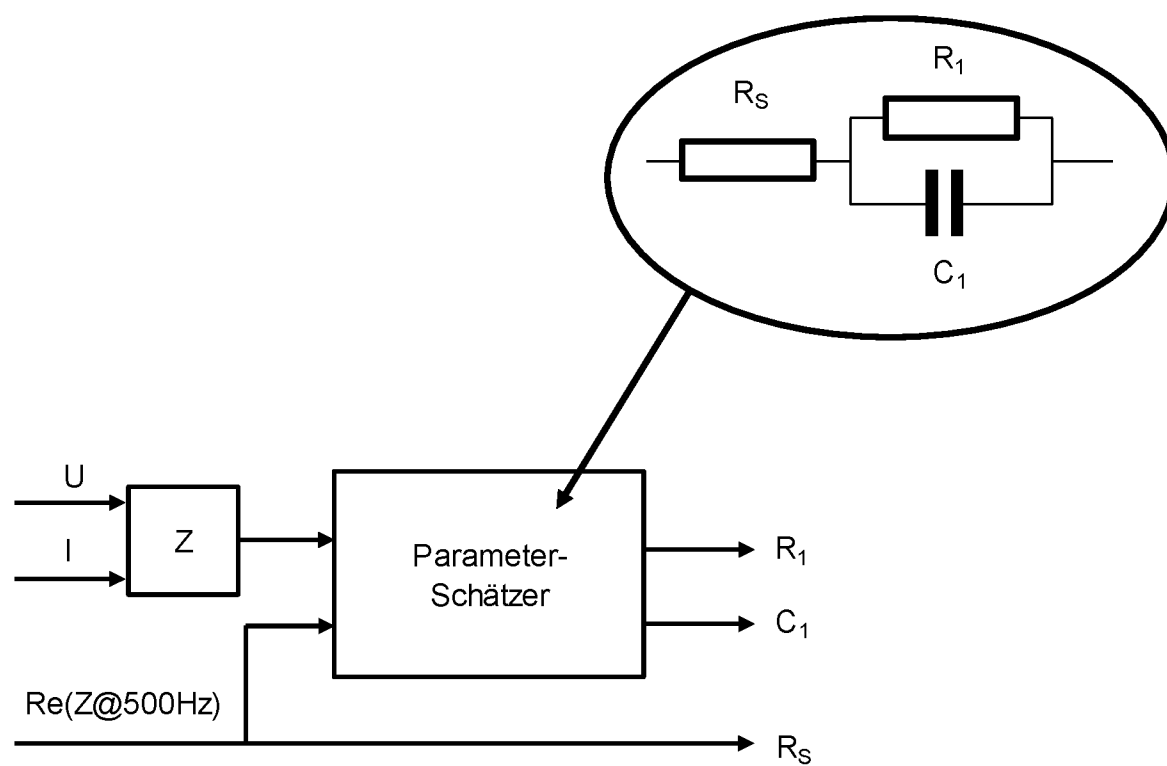
- Eine Mehrzahl von Lithiumionenzellen;
- einen Signalgenerator zur Erzeugung des Strom- oder Spannungssignals als Anregungssignal, sofern das System nicht für den Einsatz mit externem Anregungssignal vorgesehen ist;
- Eine Spannungs- bzw. Stromesseinrichtung für jede Zelle, die zur Messung des Antwortsignals in Reaktion auf das Anregungssignal eingerichtet ist;
- Ein Batteriemanagementsystem, das ein Steuergerät umfasst, in dessen Speicher ein Ersatzschaltbild zur Darstellung der Impedanz der Lithiumionenzelle bereitgestellt ist, worin das Ersatzschaltbild zumindest ein RC-Glied mit einem Ohm'schen Widerstand R_1 und einer Kapazität C_1 sowie einen Serienwiderstand R_s umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass das Batteriemanagementsystem für die Überwachung der Lithiumionenzellen gemäß des Verfahrens nach Anspruch 7 eingerichtet ist.

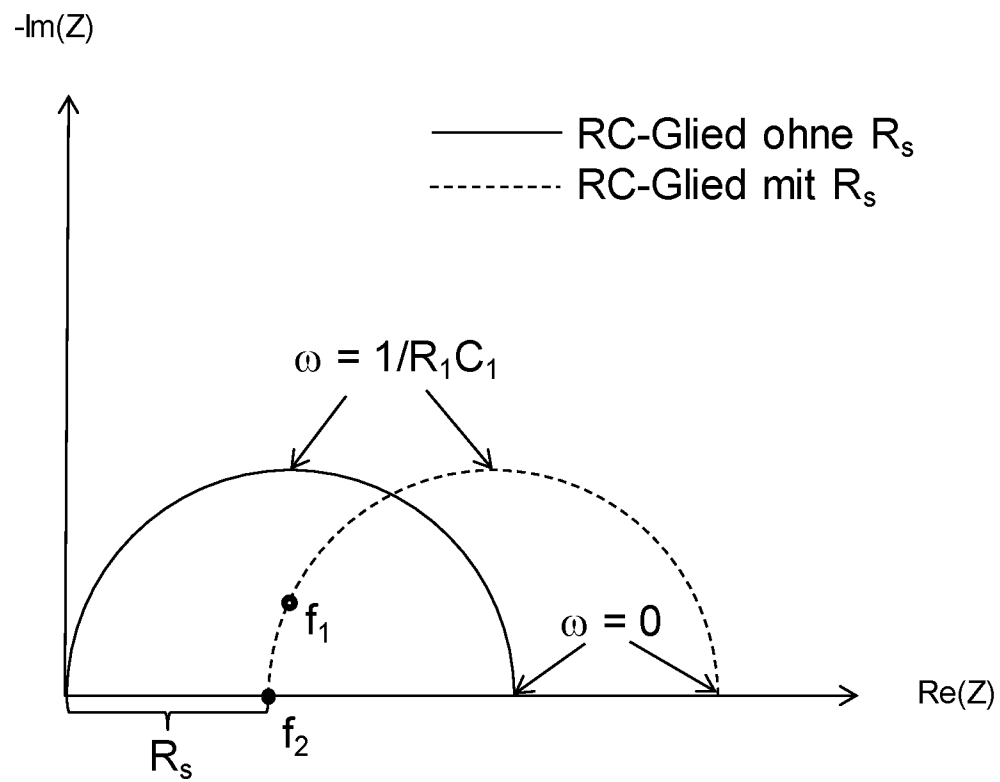
Figur 1



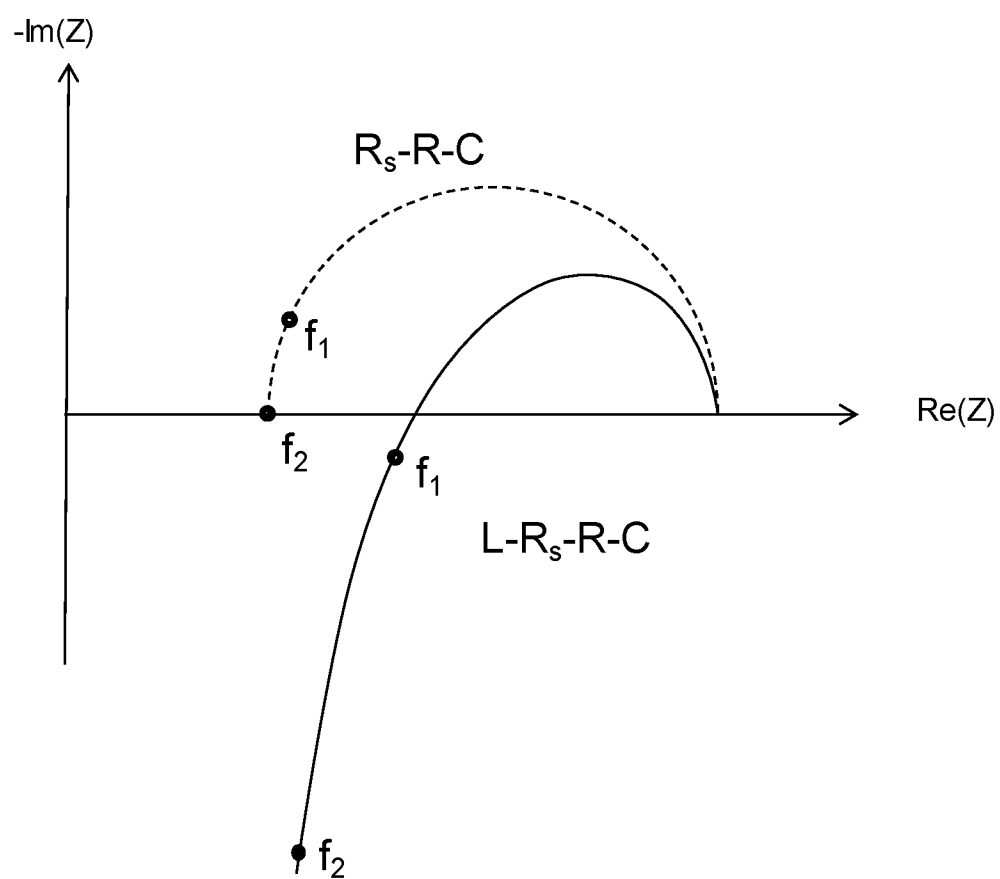
Figur 2



Figur 3

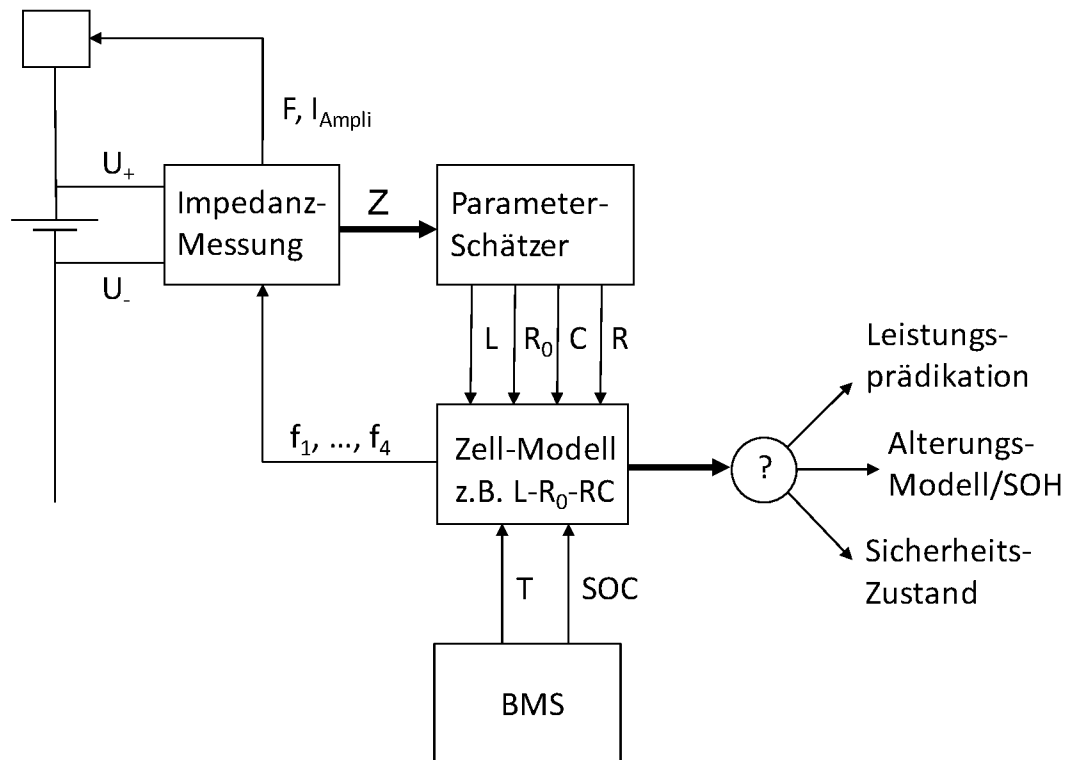


Figur 4



Figur 5

Anregungsschaltung



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/076766

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/367(2019.01)i; **G01R 31/378**(2019.01)i; **G01R 31/389**(2019.01)i; **G01R 31/392**(2019.01)i; **B60L 58/16**(2019.01)i; **H01M 10/48**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R; H01M; B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014287287 A1 (OSAKA TETSUYA [JP] ET AL) 25 September 2014 (2014-09-25) paragraph [0010] - paragraph [0071] figures 1-13	1-8
A	US 2019146038 A1 (MATSUMOTO YASUO [JP] ET AL) 16 May 2019 (2019-05-16) paragraphs [0055], [0058], [0060], [0061] figures 2,8	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 December 2020

Date of mailing of the international search report

22 December 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sedlmaier, Stefan

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/076766

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2014287287	A1	25 September 2014	JP	5850492	B2	03 February 2016
				JP	2013088148	A	13 May 2013
				US	2014287287	A1	25 September 2014
				WO	2013054813	A1	18 April 2013
US	2019146038	A1	16 May 2019	CN	109782183	A	21 May 2019
				JP	6577990	B2	18 September 2019
				JP	2019090684	A	13 June 2019
				US	2019146038	A1	16 May 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G01R31/367	G01R31/378
	H01M10/48	
ADD.	G01R31/389	G01R31/392
		B60L58/16
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G01R H01M B60L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/287287 A1 (OSAKA TETSUYA [JP] ET AL) 25. September 2014 (2014-09-25) Absatz [0010] - Absatz [0071] Abbildungen 1-13	1-8
A	US 2019/146038 A1 (MATSUMOTO YASUO [JP] ET AL) 16. Mai 2019 (2019-05-16) Absätze [0055], [0058], [0060], [0061] Abbildungen 2,8	1-8
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. Dezember 2020		22/12/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Sedlmaier, Stefan

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/076766

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2014287287 A1	25-09-2014	JP 5850492 B2	03-02-2016
		JP 2013088148 A	13-05-2013
		US 2014287287 A1	25-09-2014
		WO 2013054813 A1	18-04-2013

US 2019146038 A1	16-05-2019	CN 109782183 A	21-05-2019
		JP 6577990 B2	18-09-2019
		JP 2019090684 A	13-06-2019
		US 2019146038 A1	16-05-2019
