

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/146723 A1

(43) Date de la publication internationale
11 juillet 2024 (11.07.2024)

(51) Classification internationale des brevets :
G01R 31/367 (2019.01) G01R 31/389 (2019.01)
G01R 31/3842 (2019.01)

(72) Inventeurs : **EL OUTMANI**, Sohaib ; 143 Avenue Maurice Thorez, 94200 Ivry Sur Seine (FR). **CONRAD**, Timoté ; 45 Rue Mallifaud, 38000 Grenoble (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2023/084179

(74) Mandataire : **INNOV-GROUP** ; 310 avenue Berthelot, 69372 LYON Cedex 08 (FR).

(22) Date de dépôt international :
04 décembre 2023 (04.12.2023)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, 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,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2300123 05 janvier 2023 (05.01.2023) FR

(71) Déposant : **ENTROVIEW** [FR/FR] ; 39 RUE DE LA GARE DE REUILLY, 75012 PARIS (FR).

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATICALLY ESTIMATING THE STATE OF CHARGE OF A CELL OF A BATTERY

(54) Titre : PROCÉDÉ AUTOMATIQUE D'ESTIMATION DE L'ÉTAT DE CHARGE D'UNE CELLULE D'UNE BATTERIE

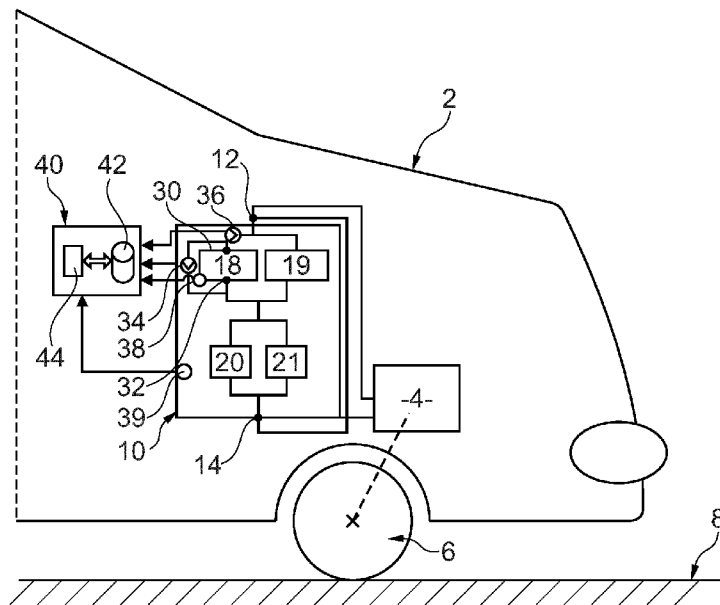


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method comprising a phase (116) of estimating the state of charge of the cell at a time k based on an estimated entropy change ΔS , this phase (116) comprising, for a physical quantity chosen from among the group consisting of an internal temperature of the cell and a voltage across the terminals of the cell, the following steps: - calculating (118) an estimate of this physical quantity using an electrical model if the physical quantity is the voltage across the terminals of the cell and using a thermal model if the physical quantity is the internal temperature, then calculating (122) a difference between this estimate of the physical quantity and a measurement of this physical quantity, and then - constructing (122) the estimate of the state of charge at time k using the calculated difference.



WO 2024/146723 A1

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
 - en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.
-

(57) Abrégé : Ce procédé comporte une phase (116) d'estimation de l'état de charge de la cellule à un instant k à partir d'une variation ΔS d'entropie estimée, cette phase (116) comportant, pour une grandeur physique choisie dans le groupe composé d'une température interne de la cellule et d'une tension entre les bornes de la cellule, les étapes suivantes : - le calcul (118) d'une estimation de cette grandeur physique à l'aide d'un modèle électrique si la grandeur physique est la tension entre les bornes de la cellule et à l'aide d'un modèle thermique si la grandeur physique est la température interne, puis le calcul (122) d'un écart entre cette estimation de la grandeur physique et une mesure de cette grandeur physique, puis - la construction (122) de l'estimation de l'état de charge à l'instant k à l'aide de l'écart calculé.

Procédé automatique d'estimation de l'état de charge d'une cellule d'une batterie

[1] L'invention concerne un procédé automatique d'estimation de l'état de charge d'une cellule d'une batterie ainsi qu'un support d'enregistrement et un système électronique de gestion de batterie pour mettre en œuvre ce procédé. L'invention a également pour objet un véhicule automobile comportant ce système de gestion de batterie.

[2] La demande WO2020064959A1 décrit un procédé d'estimation de l'état de charge SOC d'une cellule d'une batterie à partir d'estimations de la variation d'entropie ΔS et de la variation d'enthalpie ΔH de la cellule de cette batterie. Plus précisément, l'état de charge SOC est estimé à l'aide de la relation suivante : $SOC = \alpha \cdot \Delta S + \beta \cdot \Delta H + \gamma$, où α , β et γ sont des constantes prédéterminées lors d'une phase de calibration. La variation d'enthalpie ΔH de la cellule est estimée à l'aide de la relation suivante : $\Delta H = -F \cdot OCV - T_i \cdot \Delta S$, où :

- OCV est la tension en circuit ouvert de la cellule de la batterie,
- T_i est la température interne mesurée de la cellule de la batterie, et
- F est la constante de Faraday.

[3] Pour estimer la tension OCV en circuit ouvert, la demande WO2020064959A1 utilise un modèle électrique de la batterie. Pour estimer la variation d'entropie ΔS , la demande WO2020064959A1 utilise un modèle thermique de la batterie. Le procédé décrit dans la demande WO2020064959A1 est avantageux en ce qu'il peut être mis en œuvre lors d'une utilisation normale de la cellule et donc dans un système électronique de gestion d'une batterie. Ces systèmes de gestion d'une batterie sont plus connus sous l'acronyme BMS (« Battery Management System »).

[4] Il a été noté par les inventeurs que l'utilisation de la variation d'entropie ΔS pour estimer l'état de charge d'une cellule d'une batterie devrait permettre d'obtenir une estimation bien plus précise de cet état de charge notamment dans le cas d'une cellule de batterie dont la tension en circuit ouvert varie peu en fonction de son état de charge. De telles cellules dont la tension en circuit ouvert varie peu en fonction de son état de

charge sont notamment utilisées dans les batteries LFP (« Lithium Fer Phosphate ») ou Li-IP (Lithium Iron Phosphate) en anglais. En effet, dans les cellules de batteries LFP, la variation d'entropie ΔS de la cellule varie de façon importante en fonction de son état de charge ce qui devrait permettre d'obtenir une plus grande précision sur l'estimation de son état de charge. Toutefois, en pratique, cet avantage attendu n'a pas été obtenu de façon flagrante en utilisant le procédé décrit dans la demande WO2020064959A1.

[5] L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant un procédé automatique d'estimation de l'état de charge d'une cellule d'une batterie plus précis que celui décrit dans la demande WO2020064959A1 tout en conservant ses avantages.

[6] L'invention est exposée dans le jeu de revendications joint.

[7] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une illustration schématique partielle d'un véhicule automobile équipé d'une batterie électrique,

- la figure 2 est une illustration schématique d'un modèle électrique d'une cellule de la batterie du véhicule de la figure 1 ;

- la figure 3 est une illustration schématique d'un agencement d'estimateurs utilisé pour estimer l'état de charge d'une cellule de la batterie du véhicule de la figure 1,

- la figure 4 est un organigramme d'un procédé d'estimation de l'état de charge d'une cellule à l'aide des estimateurs de la figure 3 ;

- la figure 5 est un graphe illustrant l'évolution au cours du temps de l'estimation de l'état de charge d'une cellule en mettant en œuvre le procédé de la figure 4.

[8] Dans cette description, dans un premier chapitre, la terminologie et les conventions utilisées dans ce texte sont définies. Dans un chapitre II, un exemple détaillé de mode de réalisation est décrit en référence aux figures dans le cas particulier où la cellule dont l'état de charge est estimé est une cellule d'une batterie d'un véhicule électrique. Ensuite, dans un chapitre III, des variantes de ces modes de réalisation sont introduits. Enfin, les avantages des différents modes de réalisation sont précisés dans un chapitre IV.

[9] Chapitre I : Terminologie et convention :

[10] Dans les figures, les mêmes références sont utilisées pour désigner les mêmes éléments. Dans la suite de cette description, les caractéristiques et fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détails.

5 [11] Dans cette description par « puissance de calcul », on désigne le nombre d'opérations à exécuter par un calculateur électronique. Ainsi, diminuer la puissance de calcul signifie diminuer le nombre d'opérations à réaliser pour atteindre le même résultat ou un résultat de même nature.

[12] Le terme « température interne » désigne la température qui règne au cœur de
10 la cellule. Si la température à l'intérieur de la batterie est relativement homogène, la température interne est proche de la température mesurable sur la surface extérieure de la cellule de la batterie. Ainsi, la température interne désigne aussi la température de la surface extérieure de la cellule.

[13] Dans cette description, le symbole « \top » désigne l'opération transposée
15 mathématique. L'opération multiplication est représentée par l'opérateur « . ».

[14] Chapitre II : Exemple de mode de réalisation

[15] La figure 1 représente un véhicule automobile 2 à tractions électriques plus
20 connu sous le terme de « véhicule électrique ». Les véhicules électriques sont bien connus et seuls les éléments structurels nécessaires pour comprendre la suite de cette description sont présentés. Le véhicule 2 comporte :

- un moteur électrique 4, apte à entraîner en rotation des roues motrices 6 pour faire rouler le véhicule 2 sur une chaussée 8, et
- une batterie 10 qui alimente en énergie électrique le moteur 4.

25 [16] La batterie 10 comporte deux bornes 12, 14 de raccordement électrique et plusieurs cellules électriques raccordées électriquement entre ces bornes 12 et 14. Les bornes 12 et 14 sont raccordées aux charges électriques à alimenter. Ici, elles sont donc notamment raccordées au moteur électrique 4.

[17] Pour simplifier la figure 1, seules quatre cellules électriques 18 à 21 sont
30 représentées. Typiquement, ces cellules électriques sont regroupées en plusieurs étages et ces étages sont raccordés en série entre les bornes 12 et 14. Ici, seuls deux

étages sont représentés. Le premier étage comporte les cellules 18 et 19, et le second étage comporte les cellules 20 et 21. Chaque étage comporte plusieurs branches raccordées en parallèle. Chaque branche d'un étage comporte une cellule électrique ou plusieurs cellules électriques en série. Ici, le premier étage comporte deux branches, et
5 chaque branche comporte une seule cellule électrique. Le deuxième étage est structurellement identique au premier étage dans l'exemple représenté sur la figure 1.

[18] Ici, toutes les cellules de la batterie 10 sont structurellement identiques aux tolérances de fabrication près. Par conséquent, seule la cellule 18 est maintenant décrite plus en détail.

10 [19] La cellule 18 comporte deux bornes de raccordement électrique 30, 32 qui la raccorde électriquement aux autres cellules et aux bornes 12 et 14 de la batterie 10. La cellule 18 est aussi fixée mécaniquement, sans aucun degré de liberté aux autres cellules de la batterie 10 pour former ce que l'on appelle fréquemment un « pack » de cellules. La cellule 18 est capable de stocker de l'énergie électrique lorsqu'elle n'est pas
15 sollicitée. Cette énergie électrique stockée est ensuite utilisée pour alimenter le moteur 4, ce qui décharge la cellule 18. A d'autres moments, la cellule 18 peut aussi recevoir de l'énergie électrique ce qui la charge.

[20] La cellule 18 est une cellule de type connu, par exemple, il s'agit d'une cellule LFP.

20 [21] La cellule 18 se caractérise notamment par une capacité nominale $Capa$, une résistance interne R_0 , et une tension OCV en circuit ouvert. La capacité $Capa$ est la capacité de la cellule 18. La capacité d'une cellule représente la quantité maximale d'énergie électrique qui peut être stockée dans cette cellule. Cette capacité est exprimée en Ah (Ampère-heure). Ici, pour simplifier la description de ce mode de
25 réalisation, la capacité $Capa$ est considérée comme constante au cours du temps.

[22] La résistance interne R_0 est la valeur de la résistance interne de la cellule 18. La résistance interne d'une cellule est une grandeur physique que l'on retrouve dans la plupart des modèles électriques d'une cellule électrique. Lorsque la cellule vieillit, typiquement, la résistance interne augmente. À l'instant k , la valeur de la résistance
30 interne R_0 de la cellule 18 est notée $R_{0,k}$.

[23] La tension OCV est également connue sous le terme de « tension à vide ». La tension OCV est la tension mesurable entre les bornes 30 et 32 après que la cellule 18 ait été isolée électriquement de toute charge électrique pendant plusieurs heures. La tension OCV varie en fonction de l'état de charge de la cellule.

5 [24] L'état de charge à l'instant k de la cellule 18 est noté SOC_k . L'état de charge représente le taux de remplissage de la cellule 18. Il est égal à 100 % lorsque la quantité d'énergie électrique stockée dans la cellule 18 est égale à sa capacité $Capa$. Il est égal à 0 % lorsque la quantité d'énergie stockée dans la cellule 18 est nulle, c'est-à-dire qu'il ne peut plus être extrait d'énergie électrique de la cellule 18 pour alimenter une
10 charge électrique.

[25] Les paramètres $Capa$ et la valeur initiale $R_{0,0}$ de la résistance interne R_0 sont des paramètres connus de la cellule 18. Par exemple, ils sont donnés par le constructeur de la cellule ou sont déterminés expérimentalement à partir de mesures réalisées sur cette cellule.

15 [26] La batterie 10 comporte également pour chaque cellule :
- un voltmètre qui mesure la tension entre les bornes de cette cellule,
- un ampèremètre qui mesure l'intensité du courant qui traverse cette cellule, et
- un thermomètre qui mesure la température intérieure de la cellule.

[27] Pour simplifier la figure 1, seuls un voltmètre 34, un ampèremètre 36 et un
20 thermomètre 38 de la cellule 18 ont été représentés.

[28] Ici, pour mesurer la température intérieure de la cellule 18, le thermomètre 38 est directement en contact thermique et mécanique avec l'enveloppe extérieure de la cellule 18. Le thermomètre 38 est directement fixé sur la cellule 18.

[29] Enfin, la batterie comporte également un capteur 39 qui mesure une grandeur
25 physique représentative de la température ambiante T_a . La température ambiante T_a est la température du milieu extérieur dans lequel baigne la cellule 18. Par exemple, ici, le capteur 39 est un thermomètre logé entre une enveloppe extérieure de la batterie 10 et les enveloppes extérieures des différentes cellules 18 à 21.

[30] Contrairement aux différents paramètres de la cellule 18 introduits
30 précédemment, l'état de charge SOC de la cellule 18 n'est pas directement mesurable. Il doit donc être estimé. À cet effet, le véhicule 2 comporte un système électronique 40

de gestion de la batterie 10 plus connu sous l'acronyme BMS (« Battery Management System »). Ce système 40 a notamment pour fonction de déterminer l'état de charge de la batterie 10. Pour déterminer cet état de charge, le système 40 est capable d'estimer l'état de charge de chaque cellule de la batterie 10.

5 [31] Pour réaliser ces différentes estimations, le système 40 est électriquement raccordé à chaque capteur de la batterie 10 pour acquérir les mesures nécessaires à l'estimation de l'état de charge de chaque cellule.

[32] Ici, le système 40 comporte une mémoire 42 et un calculateur électronique 44 programmable, apte à exécuter des instructions enregistrées dans la mémoire 42. À cet
10 effet, la mémoire 42 comporte les instructions nécessaires pour l'exécution du procédé de la figure 4. Cette mémoire 42 comporte aussi les valeurs initiales des différents paramètres nécessaires à l'exécution de ce procédé.

[33] La figure 2 représente un modèle électrique 50 de la cellule 18. Ce modèle est connu sous le terme de « Modèle de Thévenin du premier ordre » ou «Electrical lumped
15 parameter model ». Il comporte successivement, raccordé en série en partant de la borne 32 jusqu'à la borne 30 :

- un générateur 52 de la tension à vide OCV,
- un circuit RC parallèle 54, et
- la résistance interne R_0 .

20 [34] Le circuit 54 comporte un condensateur de capacité C_1 raccordé en parallèle avec une résistance de valeur R_1 . Par la suite, on considère que ces deux paramètres C_1 et R_1 du modèle 50 sont connus et constants au cours du temps. La tension aux bornes du circuit 54 est notée V_1 . La tension entre les bornes 30 et 32 de la cellule 18 est notée V et l'intensité du courant qui traverse la cellule 18 est notée i . La valeur de la
25 tension OCV à l'instant k est notée OCV_k .

[35] La figure 3 représente un premier mode de réalisation d'un agencement d'estimateurs 60, 62 et 64 implémentés dans le système 40 pour estimer l'état de charge de la cellule 18. Chaque estimateur 60, 62 et 64 est implémenté sous la forme d'un algorithme d'estimation exécuté par le calculateur 40. Ainsi, on parlera par la suite
30 aussi bien « d'exécution d'un estimateur » que « d'exécution d'un algorithme d'estimation ».

[36] L'estimateur 60 estime les valeurs des paramètres R_0 et OCV du modèle électrique 50 à partir des valeurs mesurées de la tension V et de l'intensité i du courant qui traverse la cellule 18. L'estimateur 60 est exécuté à chaque instant k_1 d'une suite temporelle d'instantants $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k_1 ; k_1+1 ; \dots\}$. Ici, ces instants k_1 se répètent à une
5 fréquence f_1 constante. La durée de l'intervalle constant entre deux instants k_1 et k_1+1 immédiatement consécutifs est notée Δt_1 . La durée Δt_1 est égale à $1/f_1$. La durée Δt_1 est typiquement comprise entre 0,1 s et 60 s et, de préférence, comprise entre 0,1 s et 10 s. Ici, la durée Δt_1 est égale à 0,2 s.

[37] Par la suite, les valeurs des paramètres R_0 et OCV estimées à l'instant k_1 sont
10 notées R_{0,k_1} et OCV_{k_1} . Les valeurs mesurées de la tension V et de l'intensité i à l'instant k_1 sont notées $V_{m_{k_1}}$ et $i_{m_{k_1}}$. L'estimateur 60 est ici implémenté comme décrit dans la demande WO2020064959A1. Il exécute donc, à chaque instant k_1 , un algorithme des moindres carrés récursif pour déterminer la valeur OCV_{k_1} et les valeurs b_{0,k_1} , b_{1,k_1} et b_{3,k_1} des coefficients de la relation (1) suivante à partir des mesures $V_{m_{k_1}}$ et $i_{m_{k_1}}$
15 acquises entre les instants k_1 et k_1-N_1 :

$$V_{m_{k_1}} = b_{0,k_1} \cdot i_{m_{k_1}} + b_{1,k_1} \cdot i_{m_{k_1-1}} + b_{2,k_1} \cdot (OCV_{k_1-1} - V_{m_{k_1-1}}) + OCV_{k_1}$$

[38] La relation (1) découle du modèle électrique 50. N_1 est un nombre entier supérieur à deux et, de préférence, supérieur à cent ou mille.

[39] Les valeurs b_{0,k_1} , b_{1,k_1} et b_{3,k_1} des coefficients de la relation (1) sont reliées aux
20 valeurs des paramètres du modèle 50 par les relations suivantes :

$$b_{0,k_1} = R_{0,k_1}$$

$$b_{1,k_1} = -R_{0,k_1} + (\Delta t_1/C_1) + (\Delta t_1 \cdot R_{0,k_1}/(C_1 \cdot R_1))$$

$$b_{2,k_1} = \Delta t_1/(C_1 \cdot R_1) - 1$$

[40] Ainsi, à chaque instant k_1 , l'estimateur 60 délivre de nouvelles valeurs R_{0,k_1} et
25 OCV_{k_1} pour les paramètres, respectivement, R_0 et OCV du modèle 50.

[41] L'estimateur 62 estime la variation d'entropie ΔS de la cellule 18 à partir des valeurs mesurées de la tension V , de l'intensité i du courant qui traverse la cellule 18, de la température interne T_i et de la température ambiante T_a . L'estimateur 62 est exécuté à chaque instant k_2 d'une suite temporelle d'instantants $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k_2 ;$
30 $k_2+1 ; \dots\}$. Ici, ces instants k_2 se répètent à une fréquence f_2 constante. La durée de

l'intervalle constant entre deux instants k_2 et k_2+1 immédiatement consécutifs est notée Δt_2 . La durée Δt_2 est égale à $1/f_2$. La température de la cellule 18 varie plus lentement que la tension et le courant. Ainsi, typiquement, la fréquence f_2 est choisie égale à la fréquence f_1 ou plus petite que la fréquence f_1 . Par exemple, ici, la durée Δt_2 est égale à 5 s. Dans ce cas, l'ensemble des instants k_2 est un sous-ensemble de l'ensemble des instants k_1 . Entre deux instants successifs k_2 et k_2+1 , il existe donc plusieurs instants k_1 .

[42] Par la suite, la valeur de la variation d'entropie ΔS estimée à l'instant k_2 est notée ΔS_{k_2} . Les valeurs mesurées de la tension V , de l'intensité i et des températures T_i et T_a à l'instant k_2 sont notées, respectivement, $V_{m_{k_2}}$, $i_{m_{k_2}}$, $T_{i_{m_{k_2}}}$ et $T_{a_{m_{k_2}}}$. L'estimateur 62 est ici aussi implémenté comme décrit dans la demande WO2020064959A1. L'estimateur 62 utilise donc le modèle thermique suivant de la cellule 18 :

$$m \cdot C_p \frac{dT_i}{dt} = i \cdot (V - OCV) + i \cdot T_i \cdot \frac{\Delta S}{F} + h \cdot A \cdot (T_i - T_a)$$

15 où :

- m est la masse de la cellule 18,
- C_p est la capacité calorifique de la cellule 18,
- dT_i/dt est la dérivée première de la température T_i par rapport au temps,
- F est la constante de Faraday,
- 20 - h est le coefficient d'échange thermique de la cellule 18 avec le milieu extérieur,
- A est l'aire de la cellule 18 en contact avec le milieu extérieur, et
- T_a est la température ambiante.

[43] Ce modèle thermique est particulièrement précis car il prend en compte les échanges thermiques entre la cellule et le milieu extérieur, la création de chaleur au sein de la cellule par effet joule, et la variation d'entropie causée par le mouvement d'ions comme les ions lithium.

[44] A chaque instant k_2 , l'estimateur 62 exécute un algorithme des moindres carrés récursif pour déterminer les valeurs a_{0,k_2} , a_{1,k_2} et a_{3,k_2} des coefficients de la relation (2) suivante à partir des mesures $V_{m_{k_2}}$, $i_{m_{k_2}}$, $T_{i_{m_{k_2}}}$ et $T_{a_{m_{k_2}}}$ acquises entre les instants k_2 et k_2-N_2 :

$$\bar{T}im_{k2} - \bar{T}im_{k2-1} = a_{0,k2} [im_{k2} \cdot (Vm_{k2} - OCV_{k2})] + a_{1,k2} \cdot im_{k2} \cdot \bar{T}im_{k2} + a_{2,k2} \cdot (\bar{T}im_{k2} - Tam_{k2})$$

[45] La relation (2) découle du modèle thermique présenté ci-dessus. N_2 est un nombre entier supérieur à deux et, de préférence, supérieur à dix ou cinquante ou cent. Dans la relation (2), la valeur OCV_{k2} est la valeur du paramètre OCV estimée par l'estimateur 60 à l'instant $k1$ égal à l'instant $k2$ ou à l'instant $k1$ qui précède l'instant $k2$ et qui est le plus proche de l'instant $k2$.

[46] Les valeurs $a_{0,k2}$, $a_{1,k2}$ et $a_{3,k2}$ sont reliées aux valeurs des paramètres du modèle thermique par les relations suivantes :

$$a_{0,k2} = \Delta t^2 / (m \cdot C_p)$$

$$10 \quad a_{1,k2} = \Delta t^2 \cdot \Delta S_{k2} / (m \cdot C_p \cdot F)$$

$$a_{2,k2} = \Delta t^2 \cdot h \cdot A / (m \cdot C_p).$$

[47] Ainsi, l'estimateur obtient une estimation des valeurs des paramètres du modèle thermique à l'aide des relations suivantes :

$$m \cdot C_p = \Delta t^2 / a_{0,k2}$$

$$15 \quad \Delta S_{k2} = a_{1,k2} \cdot F / a_{0,k2}$$

$$h \cdot A = a_{2,k2} / a_{0,k2}.$$

[48] Ainsi, à chaque instant $k2$, l'estimateur 60 délivre une nouvelle valeur ΔS_{k2} du paramètre ΔS du modèle thermique. Par contre, les produits $m \cdot C_p$ et $h \cdot A$ varient généralement peut en fonction du temps. Ainsi, dans ce mode de réalisation, les produits $m \cdot C_p$ et $h \cdot A$ sont considérés comme constants. Les valeurs de ces produits $m \cdot C_p$ et $h \cdot A$ sont par exemple déterminées à partir des données fournies par le fabricant de la cellule 18 ou mesurées expérimentalement lors d'une phase de calibration. Ensuite, les valeurs des produits $m \cdot C_p$ et $h \cdot A$ sont enregistrées dans la mémoire 42 et ne sont plus estimées par l'estimateur 62.

25 [49] L'estimateur 64 estime l'état de charge SOC de la cellule 18 à partir de la variation d'entropie ΔS estimée par l'estimateur 62.

[50] L'estimateur 64 est exécuté à chaque instant k d'une suite temporelle d'instant $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k ; k+1 ; \dots\}$. Ici, ces instants k se répète à une fréquence f constante. La durée de l'intervalle constant entre deux instants k et $k+1$ immédiatement consécutifs est notée Δt . La durée Δt est égale à $1/f$. Typiquement, la durée Δt est comprise entre 30 0,2 s et 1 min. Par exemple, ici, la fréquence f est égale à la fréquence f_1 et la durée

Δt est égale à la durée Δt_1 . Ainsi, ici, l'ensemble des instants k et l'ensemble des instants k_1 sont identiques.

[51] Par la suite, la valeur de l'état de charge SOC estimée à l'instant k est notée SOC_k . Les valeurs mesurées de la tension V , de l'intensité i et des températures T_i et T_a à l'instant k sont notées, respectivement, V_{m_k} , i_{m_k} , T_{i_k} et T_{a_k} .

[52] L'estimateur 64 compense les erreurs introduites par l'utilisation des modèles électrique et thermique par les estimateurs 60 et 62 pour améliorer la précision de l'estimation de l'état de charge SOC. A cet effet, l'estimateur 64 estime la valeur SOC_k de l'état de charge SOC en prenant en plus en compte les écarts suivants :

- 10 - un écart $V_{e_k} - V_{m_k}$, où V_{e_k} est l'estimation, à l'instant k , de la tension V entre les bornes 30 et 32 obtenue en utilisant le modèle 50, et
- un écart $T_{i_k} - T_{i_{m_k}}$, où T_{i_k} est l'estimation, à l'instant k , de la température T_i obtenue en utilisant le modèle thermique de l'estimateur 62.

[53] A cet effet, l'estimateur 64 est ici implémenté sous la forme d'un filtre de Kalman. Le modèle thermique est non linéaire. À cause de cela, l'estimateur 64 implémente la version étendue du filtre de Kalman, plus connue sous l'acronyme EKF (Extended Kalman Filter). L'implémentation et le fonctionnement d'un filtre de Kalman étendu sont bien connus de l'homme du métier. Par exemple, l'implémentation et le fonctionnement d'un filtre de Kalman étendue sont décrits en détail dans l'article suivant : L. Plett, et al. : « *Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs* », journal of Power Sources, 2004, page 252-292. Par la suite, cet article est désigné par l'abréviation « Plett 2004 ». Ainsi, par la suite, seuls les modèles d'état et d'observation du filtre de Kalman de l'estimateur 64 sont décrits.

[54] Dans cet exemple de mode de réalisation, le vecteur d'état x_k est égal à $[SOC_k, T_{i_k}, V_{1k}]^T$. Le filtre de Kalman utilise une représentation d'état qui permet d'obtenir une prédiction $x_{k/k-1}$ du vecteur d'état x_k à l'instant k seulement à partir des mesures réalisées entre les instants 0 à $k-1$ et à partir du précédent vecteur d'état x_{k-1} . Cette représentation d'état est construite à partir des modèles électrique et thermique utilisés par les estimateurs 60 et 62. Ainsi, cette représentation d'état utilise les mêmes paramètres que ceux utilisés par les modèles électrique et thermique précédemment décrits. Par exemple, ici, la représentation d'état est définie par la relation (3) suivante :

$$x_{k/k-1} = \begin{pmatrix} SOC_{k/k-1} \\ \bar{T}_{k/k-1} \\ V_{1,k/k-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SOC_{k-1/k-1} + \frac{\Delta t}{Capa} im_k \\ \bar{T}_{k-1/k-1} + \frac{R_{0,k} \cdot \Delta t}{m \cdot C_p} im_k^2 + \frac{h \cdot A \cdot \Delta t}{m \cdot C_p} (Tam_k - \bar{T}_{k-1/k-1}) + \frac{im_k \cdot \Delta S_k \cdot \Delta t}{F \cdot m \cdot C_p} \bar{T}_{k-1/k-1} \\ (1 - \frac{\Delta t}{R_1 \cdot C_1}) V_{1,k-1/k-1} + \frac{\Delta t}{C_1} im_k \end{pmatrix}$$

- l'indice k/k-1 indique qu'il s'agit d'une prédiction obtenue à l'instant k et faite en prenant en compte seulement les mesures réalisées entre les instants 0 et k-1,
- l'indice k-1/k-1 indique qu'il s'agit de l'estimation obtenue à l'instant k-1 en prenant en compte l'ensemble des mesures réalisées entre les instants 0 et k-1,
- im_k est la mesure de l'intensité du courant i à l'instant k,
- $R_{0,k}$ est l'estimation de la résistance interne R_0 fournie par l'estimateur 60 à l'instant k1 égal à l'instant k ou précédent immédiatement l'instant k,
- Tam_k est la mesure de la température ambiante à l'instant k,
- ΔS_k est la valeur de la variation d'entropie ΔS fournie par l'estimateur 62 à l'instant k2 égal à l'instant k ou précédent immédiatement l'instant k, et
- $V_{1,k/k-1}$ et $V_{1,k-1/k-1}$ sont, respectivement, la valeur prédite de la tension V_1 à l'instant k et la valeur prédite et corrigée de la tension V_1 à l'instant k-1.

[55] Le modèle d'observation utilisée dans ce filtre de Kalman est défini par la relation (4) suivante :

$$\hat{z}_k = \begin{pmatrix} Tie_k \\ Ve_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{T}_{k/k-1} \\ OCV_k + R_{0,k} \cdot im_k + V_{1,k/k-1} \end{pmatrix}$$

où :

- Tie_k et Ve_k sont les estimations des mesures, respectivement, Tim_k et Vem_k , à l'instant k,
- OCV_k et $R_{0,k}$ sont les estimations, respectivement, de la tension OCV et de la résistance interne R_0 fournies par l'estimateur 60 à l'instant k1 égal à l'instant k ou précédent immédiatement l'instant k.

[56] Le fonctionnement du système 40 va maintenant être décrit à l'aide du procédé de la figure 4 et dans le cas particulier de l'estimation de l'état de charge de la cellule 18.

[57] Le procédé débute par une phase 100 d'initialisation des valeurs des différents paramètres des modèles électrique et thermique. Par exemple, les paramètres sont initialisés à partir des valeurs de ces paramètres obtenues à l'issue d'une précédente utilisation du système 40 ou d'une utilisation d'un système similaire au système 40 avec une cellule similaire. La phase 100 comprend aussi l'initialisation des matrices Q_{64} et R_{64} de covariance nécessaires pour exécuter l'estimateur 64. La matrice Q_{64} exprime les incertitudes sur le modèle utilisé. Par exemple, les différents coefficients de la matrice Q_{64} sont obtenus à partir du carré de l'erreur provenant de la modélisation de la cellule. Pour cela, une méthode utilisable est de comparer, sur une certaine plage de temps donnée, l'état de charge réel, mesuré en laboratoire, à un instant t et le niveau de charge prédit par le modèle à cet instant t en connaissant l'état de charge réel à l'instant précédent. L'erreur quadratique moyenne entre les prédictions et l'état de charge réel sur toute la plage de temps donnée permet d'obtenir une estimation de l'erreur inhérente au modèle.

[58] La matrice R_{64} exprime les incertitudes sur les mesures utilisées. Par exemple, les différents coefficients de la matrice R_{64} sont obtenus à partir du carré de l'écart type du bruit gaussien sur chaque mesure.

[59] Par la suite, les matrices de covariances Q_{64} et R_{64} sont considérées comme étant constantes. Ces matrices Q_{64} et R_{64} sont pré-enregistrées dans la mémoire 42.

[60] Une fois la phase 100 d'initialisation terminée, une phase 102 d'utilisation du système 40 pour estimer l'état de charge de la cellule 18 au cours de son fonctionnement au sein du véhicule 2 peut commencer.

[61] Lors d'une phase 110 de mesure, à chaque instant k , le voltmètre 34, l'ampèremètre 36 et le thermomètre 38 et le capteur 39 mesurent, respectivement, la tension V , l'intensité i et les températures T_i et T_a . Ces mesures V_{m_k} , i_{m_k} , T_{i_k} et T_{a_k} sont immédiatement acquises par le système 40 et enregistrées dans la mémoire 42. La phase 110 est réitérée à chaque instant k . Puisque les instants k_2 sont un sous-ensemble des instants k , la phase 110 permet aussi d'obtenir les mesures $V_{m_{k_2}}$, $i_{m_{k_2}}$, $T_{i_{k_2}}$ et $T_{a_{k_2}}$.

[62] En parallèle, à chaque instant k_1 , l'estimateur 60 exécute une phase 112 d'estimation des valeurs R_{0,k_1} et OCV_{k_1} des paramètres R_0 et OCV du modèle électrique

50. Pour cela, l'estimateur 60 utilise les N_1 mesures de la tension V et de l'intensité i acquises suite aux N_1 précédentes itérations de la phase 110 de mesure. La phase 112 est réalisée comme décrit dans la demande WO2020064959A1. Ainsi, la phase 112 n'est pas décrite plus en détail.

5 [63] En parallèle des phases 110 et 112, à chaque instant k_2 , l'estimateur 62 exécute une phase 114 d'estimation de la valeur ΔS_{k_2} de la variation d'entropie ΔS de la cellule 18. Pour cela, l'estimateur 62 utilise les N_2 mesures de la tension V , de l'intensité i et des températures T_i et T_a acquises aux instants k compris entre l'instant k_2 courant et $k_2 - N_2$. La phase 114 est réalisé comme décrit dans la demande WO2020064959A1.
10 Ainsi, la phase 114 n'est pas décrite plus en détail.

[64] En parallèle, des phases 110, 112 et 114, à chaque instant k , l'estimateur 64 exécute une phase 116 d'estimation de l'état de charge à l'instant k de la cellule 18.

[65] Pour cela, lors d'une étape 118, l'estimateur 64 calcule la prédiction $x_{k/k-1}$ du vecteur d'état x_k à l'aide de la représentation d'état définie par la relation (3). La
15 prédiction $x_{k/k-1}$ est calculée à partir :

- des mesures im_k et T_{am_k} acquise par le système 40 à l'instant k ,
- des estimations $T_{i,k-1/k-1}$ et $V_{1,k-1/k-1}$, respectivement, de la température T_i et de la tension V_1 obtenue par l'estimateur 64 à l'issue de l'exécution de la phase 114 pour l'instant $k-1$.

20 [66] Lors d'une étape 120, l'estimateur 64 calcule également une prédiction $P_{k/k-1}$ d'une matrice de covariance d'erreur d'estimation sur le vecteur d'état x_k . Typiquement, cela est réalisé à l'aide de la relation suivante : $P_{k/k-1} = F_{k-1}P_{k-1/k-1}F_{k-1}^T + Q_{64}$, où :

- $P_{k-1/k-1}$ est l'estimation de la matrice de covariance P_{k-1} de l'erreur à l'instant $k-1$ obtenue en prenant en compte toutes les mesures acquises jusqu'à l'instant $k-1$, et
- 25 - $P_{k/k-1}$ est la prédiction de la matrice de covariance P_k à l'instant k obtenue en prenant seulement en compte les mesures acquises jusqu'à l'instant $k-1$.

[67] La matrice F_{k-1} est la matrice d'état. Elle est obtenue à partir de la relation (3). Par exemple, pour cela, ici la relation (3) est linéarisée au voisinage du vecteur x_k en utilisant un développement en série de Taylor au voisinage du vecteur x_k . Puis on
30 néglige les contributions des dérivées à partir du second ordre. La matrice F_{k-1} est ainsi ici définie par la relation suivante :

$$F_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{i m_k \cdot \Delta t}{F \cdot m \cdot C_p} T_{i_{k-1/k-1}} \frac{d \Delta S_k}{dSOC_{k-1}} & 1 - \frac{h \cdot A \cdot \Delta t}{m \cdot C_p} + \frac{i m_k \cdot \Delta S_k \cdot \Delta t}{F \cdot m \cdot C_p} & 0 \\ 0 & 0 & \left(1 - \frac{\Delta t}{R_1 \cdot C_1}\right) \end{bmatrix}$$

Dans cette matrice F_{k-1} , la dérivée $d\Delta S_k/dSOC_{k-1}$ est par exemple calculée à l'aide de la relation suivante : $d\Delta S_k/dSOC_{k-1} = (\Delta S_{k2} - \Delta S_{k2-1}) / (SOC_{k2} - SOC_{k2-1})$, où :

- l'instant $k2$ dans cette relation est l'instant $k2$ le plus récent auquel l'estimation de la variation d'entropie ΔS a été mise à jour par l'estimateur 62, et

- SOC_{k2} et SOC_{k2-1} sont les états de charge de la cellule 18 déterminés par l'estimateur 64 pour les instants k les plus proches, respectivement, des instants $k2$ et $k2-1$.

[68] Lors d'une étape 122, l'estimateur 64 corrige la prédiction $x_{k/k-1}$ du vecteur d'état pour construire le vecteur d'état corrigé $x_{k/k}$. Le vecteur $x_{k/k}$ corrigé est construit en

fonction d'un écart l_k entre :

- un vecteur \hat{z}_k des estimations des grandeurs physiques à l'instant k , et

- un vecteur z_k des mesures de ces mêmes grandeurs physiques à l'instant k .

[69] L'écart l_k est connu sous le nom de "innovation". Ici, les grandeurs physiques mesurées sont la température T_i et la tension V . Le vecteur z_k est donc égal à $[T_{im_k},$

$V_{m_k}]^T$. L'innovation l_k est calculée à l'aide de la relation suivante : $l_k = z_k - \hat{z}_k$.

L'innovation l_k est donc définie par la relation suivante :

$$I_k = \begin{pmatrix} T_{ie_k} - T_{im_k} \\ V_{e_k} - V_{m_k} \end{pmatrix},$$

où les estimations T_{ie_k} et V_{e_k} sont celles obtenues à l'aide du modèle d'observation défini par la relation (4).

[70] Typiquement, lors de l'étape 122, l'estimateur 64 corrige la prédiction $x_{k/k-1}$ en y ajoutant l'innovation l_k multipliée par le gain K_k de Kalman. Le gain K_k est calculé à l'aide de la relation suivante : $K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_{64})^{-1}$, où :

- la matrice R_{64} est la matrice de covariance du bruit sur les grandeurs physiques mesurées, et

- H_k est une matrice d'observation.

[71] La matrice d'observation H_k est obtenue à partir de la relation (4).

[72] Ensuite, le vecteur d'état $x_{k/k}$ est construit à l'aide de la relation suivante : $x_{k/k} = x_{k/k-1} + K_k l_k$.

5 [73] La matrice mise à jour de covariance de l'erreur à l'instant k est calculée à l'aide de la relation suivante : $P_{k/k} = (I - K_k H_k) P_{k/k-1}$, où I est la matrice identité.

[74] La matrice $P_{k/k}$ exprime les marges d'erreur sur les estimations $SOC_{k/k}$, $T_{ik/k}$ et $V_{1,k/k}$. La valeur SOC_k de l'estimation de l'état de charge à l'instant k est égale à $SOC_{k/k}$.

[75] La figure 5 est un graphe qui représente l'évolution au cours du temps de l'état de charge de la cellule 18 estimée à l'aide de différents algorithmes. Sur ce graphe, la courbe 150 représente l'évolution de l'état de charge de la cellule 18 mesuré en laboratoire. Cette mesure en laboratoire est considérée comme étant celle qui approche au mieux la valeur réelle de l'état de charge. Toutefois, la méthodologie mise en œuvre pour faire cette estimation en laboratoire ne peut pas être mise en œuvre lors d'une
10 utilisation de la cellule 18 en fonctionnement au sein d'un véhicule 2.

[76] La courbe 152 représente l'évolution de l'état de charge estimé à l'aide du procédé de la figure 4 et donc en utilisant à la fois les écarts $V_{ek} - V_{mk}$ et $T_{iek} - T_{imk}$.

[77] La courbe 156 représente l'évolution de l'état de charge estimé à l'aide d'un procédé identique à celui de la figure 4 sauf que seul l'écart $V_{ek} - V_{mk}$ est pris en compte
20 pour corriger l'estimation $SOC_{k/k-1}$.

[78] La courbe 158 représente l'évolution de l'état de charge estimé à l'aide d'une méthode conventionnelle connue sous le terme anglais de « Coulomb Counting ».

[79] On peut voir (courbe 156) que la correction de la prédiction $SOC_{k/k-1}$ en utilisant l'écart $V_{ek} - V_{mk}$ permet déjà d'obtenir une estimation bien meilleure que celle obtenue à
25 l'aide de la méthode conventionnelle (courbe 158).

[80] On peut aussi voir (courbe 152) que la meilleure estimation est obtenue en corrigeant la prédiction $SOC_{k/k-1}$ en utilisant à la fois l'écart $V_{ek} - V_{mk}$ et l'écart $T_{iek} - T_{imk}$.

[81] Enfin, bien que ce ne soit pas représenté sur la figure 5 pour améliorer sa lisibilité, il est souligné que la correction de la prédiction $SOC_{k/k-1}$ en utilisant seulement
30 l'écart $T_{iek} - T_{imk}$ permet d'obtenir une estimation meilleure que celle obtenue en utilisant

seulement l'écart $V_{e_k} - V_{m_k}$ mais moins bonne que celle obtenue en mettant en œuvre le procédé de la figure 4.

[82] Chapitre II : Variantes :

5 [83] Variantes du modèle électrique :

[84] D'autres modèles électriques sont utilisables. Par exemple, en variante, le modèle électrique comporte plusieurs circuits RC parallèles montés en série entre une borne de la source de tension continue et la borne 30 de la cellule. Dans ce cas, le nombre de paramètres à estimer du modèle électrique est plus grand. Toutefois, 10 comme précédemment, les valeurs de ces paramètres supplémentaires peuvent être estimées en mettant en œuvre une méthode des moindres carrés récursives.

[85] En variante, les paramètres R_1 et C_1 ne sont pas considérés comme étant constants. Dans ce cas, par exemple, ils sont estimés à chaque instant k_1 de façon similaire à ce qui est décrit pour les paramètres R_0 et OCV du modèle électrique.

15 [86] Dans un mode de réalisation simplifié, la valeur du paramètre R_0 est considérée comme étant constante au cours du temps. Dans ce cas, la valeur R_{0,k_1} n'est pas estimée à chaque instant k_1 .

[87] D'autres algorithmes, que l'algorithme des moindres carrés récursif, sont utilisables pour estimer les valeurs des paramètres du modèle électrique. Par exemple, 20 les valeurs R_{0,k_1} et OCV_{k_1} peuvent aussi être estimées à l'aide d'un filtre de Kalman supplémentaire dédié à cette tâche. Un exemple de filtre de Kalman supplémentaire conçu pour estimer la valeur R_{0,k_1} est décrit dans dans la demande WO2016083754A1 ou dans le chapitre 4.2.1 de l'article Plett2004. Un exemple d'utilisation d'un filtre de Kalman pour estimer la valeur du paramètre OCV est aussi décrite dans la demande 25 US2017146608A1.

[88] Variantes du modèle thermique :

[89] D'autres modèles thermiques sont possibles. Par exemple, le modèle thermique utilisé par l'estimateur 62 peut aussi être celui défini par la relation suivante :

$$m \cdot C_p \frac{dT_i}{dt} = R_0 \cdot i^2 + i \cdot T_i \cdot \frac{\Delta S}{F} + h \cdot A \cdot (T_i - T_a)$$

[90] Dans un autre mode de réalisation, le modèle thermique utilisé pour estimer la variation d'entropie ΔS est celui de l'équation (5) de la demande US2017146608A1. Dans ce cas, le modèle thermique relie la valeur ΔS_{k2} de l'entropie à sa valeur ΔS_{k2-1} et aux valeurs T_{ik2} , T_{ik2-1} , OCV_{k2} et OCV_{k2-1} . Dans ce cas, la température ambiante n'est pas utilisée pour estimer la variation d'entropie ΔS et le capteur 39 peut être omis.

[91] En variante, la valeur du produit $m.C_p$ et/ou la valeur du produit $h.A$ ne sont pas considérées comme constant. Dans ce cas, les valeurs de ces produits sont estimées à chaque instant $k2$, par exemple, en mettant en œuvre l'algorithme des moindres carrés récursif.

[92] La grandeur physique T_a représentative de la température ambiante peut être différente d'une température. Par exemple, lorsque la batterie est équipée d'un système de refroidissement des cellules, la grandeur physique T_a peut être la commande de ce système de refroidissement. En effet, plus la commande de refroidissement est importante, plus la température ambiante de la cellule est élevée.

[93] La valeur ΔS_{k2} de l'entropie peut être estimée en mettant en œuvre une autre méthode que la méthode des moindres carrés récursive. Par exemple, en variante, la valeur ΔS_{k2} est estimée à l'aide d'un filtre de Kalman dédié à cette tâche.

[94] En variante, les instants $k2$ sont aussi fréquents que les instants k ou $k1$.

[95] Variante de l'estimation de l'état de charge :

[96] Dans une variante simplifiée, seul l'écart $V_{ek} - V_{mk}$ ou seul l'écart $T_{ie_k} - T_{im_k}$ est utilisé pour corriger la prédiction $SOC_{k/k-1}$ de l'état de charge. Dans ce cas, l'innovation l_k ne comporte qu'un seul écart.

[97] Dans l'exemple de matrice F_{k-1} donné, la dérivée $d\Delta S_k/dSOC_{k-1}$ peut être calculée différemment. Par exemple, lors d'une phase de calibration, une approximation polynomiale de l'évolution de la variation ΔS d'entropie en fonction de l'état de charge SOC est construite. Ensuite, la valeur de la dérivée $d\Delta S_k/dSOC_{k-1}$ est prise égale à la valeur de la dérivée du polynôme construit au niveau l'abscisse égale à SOC_{k-1} .

[98] L'estimateur 64 peut être implémenté en utilisant d'autres formes de filtre de Kalman que la forme EKF.

[99] Dans une autre variante, l'estimateur 64 n'est pas implémenté sous la forme d'un filtre de Kalman mais sous une autre forme. Par exemple, l'estimateur 64 est

implémenté sous la forme d'une machine d'apprentissage qui, après une phase d'apprentissage sur une base de données, associe une valeur SOC_k en fonction des mesures i_{m_k} et V_{m_k} et des écarts $V_{e_k}-V_{m_k}$ et $T_{i_k}-T_{m_k}$. Pour cela, la base de données comporte, pour un grand nombre d'instant k , une valeur SOC_k mesurée expérimentalement à l'instant k associée aux mesures i_{m_k} , V_{m_k} et aux écarts $V_{e_k}-V_{m_k}$ et $T_{i_k}-T_{m_k}$ calculés pour le même instant k en utilisant les modèles électrique et thermique. L'estimateur 64 peut aussi être implémenté en utilisant une première et une seconde machine d'apprentissage. La première machine d'apprentissage est configurée pour générer les écarts $V_{e_k}-V_{m_k}$ et $T_{i_k}-T_{m_k}$ à partir des mesures i_{m_k} , v_{m_k} , T_{i_k} et $T_{a_m_k}$ et de la valeur ΔS_{k2} de la variation d'entropie ΔS estimée à l'instant $k2$ le plus proche de l'instant k . Ensuite, la seconde machine d'apprentissage est configurée pour fournir la valeur estimée SOC_k de l'état de charge de la cellule 18 à partir des écarts $V_{e_k}-V_{m_k}$ et $T_{i_k}-T_{m_k}$ générés par la première machine d'apprentissage et de la valeur estimée ΔS_{k2} .

15 [100] En variante, les instants k sont moins fréquents que les instants $k1$.

[101] Le procédé d'estimation de l'état de charge décrit ici dans le cas particulier d'une cellule d'une batterie s'applique aussi à une batterie qui contient un pack de plusieurs cellules. Dans ce cas, la batterie est traitée comme s'il s'agissait d'une seule cellule. Autrement dit, ce qui a été décrit ici s'applique au cas d'une batterie elle-même

20 formée de plusieurs cellules électriquement raccordées les unes aux autres.

[102] Autres variantes :

[103] Le thermomètre 38 peut être logé à l'intérieur de l'enveloppe de la cellule 18.

[104] Le capteur 39 peut être placé en dehors de l'enveloppe extérieure de la batterie

10.

25 [105] Ce qui a été décrit dans le cas particulier d'une cellule LFP s'applique à toute technologie de cellules. Par exemple, cela s'applique aussi à une cellule LiPB (Lithium-ion Polymer Battery) ou Li-IP ou autre.

[106] En variante, la capacité $Capa$ de la cellule n'est pas constante et change au cours du temps. Dans ce cas, la valeur de la capacité $Capa$ peut aussi être estimée. Un

30 exemple de procédé pour estimer la valeur de la capacité $Capa$ est décrit dans le

chapitre 4.2.2 de l'article Plett2004, part3. Un autre exemple est décrit dans la demande WO2016083754A1.

[107] L'enseignement donné ici dans le cas particulier d'une cellule et d'une batterie d'un véhicule électrique s'applique à toutes cellules et toutes batteries qu'elles soient ou
5 non utilisées dans un véhicule électrique. Cela s'applique aussi aux cellules et batteries usagées comme aux cellules et batteries neuves.

[108] Plusieurs des variantes décrites ci-dessus peuvent être combinées dans un même mode de réalisation.

[109] Chapitre III : Avantages des modes de réalisation décrits :

10 [110] Le fait d'estimer l'état de charge SOC de la cellule à partir de la variation ΔS d'entropie permet d'accroître la précision de l'estimation de l'état de charge notamment lorsque la tension OCV ne varie pas beaucoup en fonction de l'état de charge SOC. De plus, le fait de calculer la valeur SOC_k en fonction d'au moins un des écarts $V_{e_k} - V_{m_k}$ et $T_{i_k} - T_{m_k}$ permet de compenser les erreurs causées par l'utilisation des modèles
15 électrique et thermique par les estimateurs 60 et 62. Grâce à cela, la valeur SOC_k ainsi calculée est plus précise notamment, par exemple, vis-à-vis du procédé proposé dans la demande WO2020064959A1.

[111] Le fait de corriger l'estimation de la valeur SOC_k à la fois à l'aide de l'écart $V_{e_k} - V_{m_k}$ et de l'écart $T_{i_k} - T_{m_k}$ permet d'accroître la précision de l'état de charge estimé.

20 [112] Le fait d'utiliser un modèle thermique qui tient compte de l'intensité i du courant qui traverse la cellule et d'une mesure de la température ambiante, permet d'accroître la précision sur l'estimation de la variation ΔS d'entropie et donc d'accroître la précision de l'estimation de l'état de charge.

[113] L'utilisation d'un filtre de Kalman pour estimer la valeur SOC_k permet
25 d'accélérer l'exécution du procédé d'estimation de cette valeur SOC_k .

Revendications

1. Procédé automatique d'estimation de l'état de charge d'une cellule d'une batterie par un système électronique de gestion de batterie, ce procédé comportant :
 - une première phase (112) d'estimation de la résistance interne et de la tension en circuit ouvert de la cellule à l'aide d'un modèle électrique reliant une tension V entre des bornes de la cellule et l'intensité i du courant qui traverse la cellule, ce modèle électrique comportant un paramètre R_0 qui correspond à la résistance interne de la cellule et un paramètre OCV qui correspond à la tension en circuit ouvert de la cellule,
 - une deuxième phase (114) d'estimation d'une variation ΔS d'entropie de la cellule à l'aide d'un modèle thermique de la cellule, ce modèle thermique reliant une variation de la température interne de la cellule à la variation ΔS d'entropie, ce modèle thermique comportant un paramètre choisi dans le groupe composé des paramètres R_0 et OCV et dont la valeur a été estimée lors de la première phase d'estimation,
 - à chaque instant k d'une succession temporelle d'instantes $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k ; k+1 ; \dots\}$,
- 5
10
15
20
25
- une troisième phase (116) d'estimation de l'état de charge de la cellule à l'instant k à partir de la variation ΔS d'entropie estimée lors de la deuxième phase d'estimation, caractérisé en ce que la troisième phase (116) d'estimation comporte, pour au moins une grandeur physique choisie dans le groupe composé de la température interne de la cellule et de la tension entre les bornes de la cellule, les étapes suivantes :
 - le calcul (118) d'une estimation de cette grandeur physique à l'aide du modèle électrique si la grandeur physique est la tension entre les bornes de la cellule et à l'aide du modèle thermique si la grandeur physique est la température interne, puis le calcul (122) d'un écart entre cette estimation de la grandeur physique et une mesure de cette grandeur physique, puis
 - la construction (122) de l'estimation de l'état de charge à l'instant k à l'aide de l'écart calculé.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la troisième phase d'estimation comporte :

- le calcul (118) d'une estimation V_{ek} de la tension entre les bornes de la cellule à l'instant k à l'aide du modèle électrique, puis le calcul (122) d'un premier écart entre l'estimation V_{ek} et la mesure V_{mk} , et
- le calcul (118) d'une estimation T_{iek} de la température interne de la cellule à l'instant k à l'aide du modèle thermique, puis le calcul (122) d'un second écart entre l'estimation T_{iek} et la mesure T_{imk} , et
- la construction (122) de l'estimation de l'état de charge à l'aide des premier et second écarts calculés pour compenser les erreurs introduites par l'utilisation des modèles électrique et thermique lors des estimations des paramètres R_0 , OCV et de la variation ΔS d'entropie.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le modèle thermique relie également la variation de la température interne de la cellule :
- à l'intensité du courant qui traverse la cellule, et
 - à la température ambiante du milieu dans lequel la cellule baigne.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'estimation de l'état de charge est obtenue en mettant en œuvre un filtre de Kalman dans lequel l'innovation comporte les premier et second écarts.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la représentation d'état utilisée par le filtre de Kalman pour prédire l'état $x_{k/k+1}$ des variables d'états est définie par la relation suivante :

$$x_{k/k-1} = \begin{pmatrix} SOC_{k/k-1} \\ T_{i,k/k-1} \\ V_{1,k/k-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SOC_{k-1/k-1} + \frac{\Delta t}{Capa} im_k \\ T_{i,k-1/k-1} + \frac{R_{0,k} \cdot \Delta t}{m \cdot C_p} im_k^2 + \frac{h \cdot A \cdot \Delta t}{m \cdot C_p} (T_{amb,k} - T_{i,k-1/k-1}) + \frac{im_k \cdot \Delta S_k \cdot \Delta t}{F \cdot m \cdot C_p} T_{i,k-1/k-1} \\ \left(1 - \frac{\Delta t}{R_1 \cdot C_1}\right) V_{1,k-1/k-1} + \frac{\Delta t}{C_1} im_k \end{pmatrix}$$

- 25 - $x_{k/k-1}$ est l'estimation d'un vecteur d'état obtenue à l'instant k et faite en prenant en compte seulement les mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,

- $SOC_{k/k-1}$ est la prédiction de l'état de charge obtenue à l'instant k et faite en prenant en compte seulement les mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - $SOC_{k-1/k-1}$ est l'estimation de l'état de charge obtenue à l'instant $k-1$ et faite en prenant en compte l'ensemble des mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - 5 - $Ti_{k/k-1}$ est la prédiction de la température interne obtenue à l'instant k et faite en prenant en compte seulement les mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - $Ti_{k-1/k-1}$ est l'estimation de la température interne obtenue à l'instant $k-1$ et faite en prenant en compte l'ensemble des mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - $V_{1,k/k-1}$ est la prédiction d'une tension V_1 aux bornes d'un circuit RC du modèle
 - 10 électrique obtenue à l'instant k et faite en prenant en compte seulement les mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - $V_{1,k-1/k-1}$ est l'estimation de la tension V_1 obtenue à l'instant $k-1$ et faite en prenant en compte l'ensemble des mesures réalisées entre les instants 0 et $k-1$,
 - Δt est la durée écoulée entre deux instants k et $k-1$ immédiatement consécutifs,
 - 15 - $Capa$ est la valeur de la capacité de la cellule,
 - im_k est la mesure de l'intensité du courant qui traverse la cellule à l'instant k ,
 - $R_{0,k}$ est l'estimation de la résistance interne R_0 obtenue à l'issue de la première phase d'estimation exécutée à un instant $k1$ égal à l'instant k ou précédent immédiatement l'instant k ,
 - 20 - m est la masse de la cellule,
 - C_p est la capacité calorifique de la cellule,
 - h est le coefficient d'échange thermique de la cellule avec un milieu extérieur,
 - A est l'aire de la cellule en contact avec le milieu extérieur,
 - Tam_k est la mesure de la température ambiante du milieu extérieur à l'instant k ,
 - 25 - ΔS_k est la valeur de la variation d'entropie ΔS obtenue à l'issue de la deuxième phase d'estimation exécutée à un instant $k2$ égal à l'instant k ou précédent immédiatement l'instant k ,
 - F est la constante de Faraday.
- 30 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la première phase d'estimation comporte :

- à chaque instant k_1 d'une succession temporelle d'instantes $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k_1 ; k_1+1 ; \dots\}$, l'acquisition (110) d'une mesure $V_{m_{k_1}}$ de la tension entre les bornes de la cellule et d'une mesure $i_{m_{k_1}}$ de l'intensité du courant qui traverse la cellule, l'indice k_1 identifiant l'instant k_1 auxquels les mesures $V_{m_{k_1}}$ et $i_{m_{k_1}}$ sont acquises, puis
- 5 - à partir des mesures de la tension et de l'intensité acquises entre les instants k_1 et k_1-N_1 , où N_1 est un nombre entier prédéterminé supérieur à trois, l'estimation des valeurs R_{0,k_1} et OCV_{k_1} , respectivement, des paramètres R_0 et OCV du modèle électrique de la cellule en mettant en œuvre un algorithme des Moindres Carrés Récursif.
- 10 7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel les valeurs R_{0,k_1} et OCV_{k_1} des paramètres R_0 et OCV du modèle électrique sont estimées en utilisant la relation suivante :

$$V_{m_{k_1}} = b_{0,k_1} \cdot i_{m_{k_1}} + b_{1,k_1} \cdot i_{m_{k_1-1}} + b_{2,k_1} \cdot (OCV_{k_1-1} - V_{m_{k_1-1}}) + OCV_{k_1}$$

où :

- 15 - $V_{m_{k_1}}$ et $V_{m_{k_1-1}}$ sont les mesures de la tension entre les bornes de la cellule aux instants, respectivement, k_1 et k_1-1 ,
- $i_{m_{k_1}}$ et $i_{m_{k_1-1}}$ sont les mesures de l'intensité du courant qui traverse la cellule aux instants, respectivement, k_1 et k_1-1 ,
- OCV_{k_1-1} est la valeur du paramètre OCV estimée à l'instant k_1-1 ,
- 20 - b_{0,k_1} , b_{1,k_1} et b_{2,k_1} sont les valeurs des coefficients du modèle électrique mises à jour à l'instant k_1 , la valeur R_{0,k_1} du paramètre R_0 à l'instant k_1 étant égale à la valeur b_{0,k_1} .

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la deuxième phase d'estimation comporte :

- 25 - à chaque instant k_2 d'une succession temporelle d'instantes $\{0 ; 1 ; 2 ; \dots ; k_2 ; k_2+1 ; \dots\}$, l'acquisition d'une mesure $V_{im_{k_2}}$ de la tension entre les bornes de la cellule, d'une mesure de l'intensité $i_{m_{k_2}}$ du courant qui traverse la cellule, d'une mesure $T_{im_{k_2}}$ de la température interne de la cellule et d'une mesure $T_{am_{k_2}}$ d'une grandeur physique représentative de la température ambiante du milieu dans lequel est plongé la cellule,

l'indice k2 identifiant l'instant k2 auxquels les mesures $V_{im_{k2}}$, $i_{m_{k2}}$, $T_{im_{k2}}$ et $T_{am_{k2}}$ sont acquises, puis

- à partir des mesures de la tension entre les bornes de la cellule, de l'intensité du courant qui traverse la cellule, de la température interne et de la grandeur physique représentative de la température ambiante acquises entre les instants k2 et k2-N2, où N2 est un nombre entier prédéterminé supérieur à deux, et à partir d'une valeur de la résistance interne ou d'une valeur de la tension en circuit ouvert obtenue à l'issue de l'exécution de la première phase d'estimation, l'estimation d'une valeur ΔS_{k2} de la variation ΔS d'entropie en mettant en œuvre un algorithme des Moindres Carrés Récuratif.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la valeur ΔS_{k2} de la variation ΔS d'entropie est estimée en utilisant la relation suivante :

$$T_{im_{k2}} - T_{im_{k2-1}} = a_{0,k2} [i_{m_{k2}} \cdot (V_{m_{k2}} - OCV_{k2})] + a_{1,k2} \cdot i_{m_{k2}} \cdot T_{im_{k2}} + a_{2,k2} \cdot (T_{im_{k2}} - T_{am_{k2}})$$

15 où :

- $T_{im_{k2}}$ et $T_{im_{k2-1}}$ sont les valeurs de la température interne de la cellule mesurées, respectivement, aux instants k2 et k2-1,
- $i_{m_{k2}}$ est la valeur de l'intensité du courant qui traverse la cellule mesurée à l'instant k2,
- $T_{am_{k2}}$ est la valeur de la grandeur physique représentative de la température ambiante mesurée à l'instant k2,
- OCV_{k2} est la valeur du paramètre OCV obtenue à l'issue de l'exécution de la première phase d'estimation à un instant égal ou précédent immédiatement l'instant k2,
- $a_{0,k2}$, $a_{1,k2}$ et $a_{2,k2}$ sont les valeurs des coefficients du modèle thermique mises à jour à l'instant k2, la valeur ΔS_{k2} de la variation ΔS d'entropie à l'instant k2 étant égale à $a_{1,k1} \cdot F / a_{0,k2}$, où F est la constante de Faraday.

10. Support (42) d'enregistrement d'informations lisible par un calculateur électronique, caractérisé en ce qu'il comporte des instructions pour l'exécution d'un procédé d'estimation conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, lorsque ces instructions sont exécutées par le calculateur électronique.

11. Système électronique de gestion d'une batterie équipé d'au moins une cellule, ce système comportant un calculateur électronique (44) programmé pour exécuter un procédé automatique d'estimation de l'état de charge d'une cellule d'une batterie, caractérisé en ce que le calculateur (44) est programmé pour exécuter le procédé automatique d'estimation de l'état de charge conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9.

12. Véhicule automobile comportant :

- 10 - au moins une roue motrice (6),
- un moteur électrique (4) apte à entraîner en rotation cette roue motrice pour déplacer le véhicule automobile,
- une batterie (10) comportant au moins une cellule (18-21) apte à stocker de l'énergie électrique et, en alternance, à restituer de l'énergie électrique pour alimenter le moteur électrique, cette cellule comportant deux bornes (30, 32) par l'intermédiaire desquelles elle est électriquement raccordée au moteur électrique,
- un voltmètre (34) raccordé électriquement entre les bornes de la cellule pour mesurer la tension entre ces bornes,
- un ampèremètre (36) raccordé en série avec la cellule électrique pour mesurer l'intensité du courant qui traverse cette cellule,
- un thermomètre (38) apte à mesurer une température interne de la cellule électrique, et
- un système (40) de gestion de la batterie raccordé au voltmètre et à l'ampèremètre, ce système de gestion comportant un calculateur électronique (44) programmable apte à estimer l'état de charge de la cellule de la batterie à partir des mesures du voltmètre et de l'ampèremètre,

25 caractérisé en ce que le système (40) de gestion de la batterie est conforme à la revendication 11.

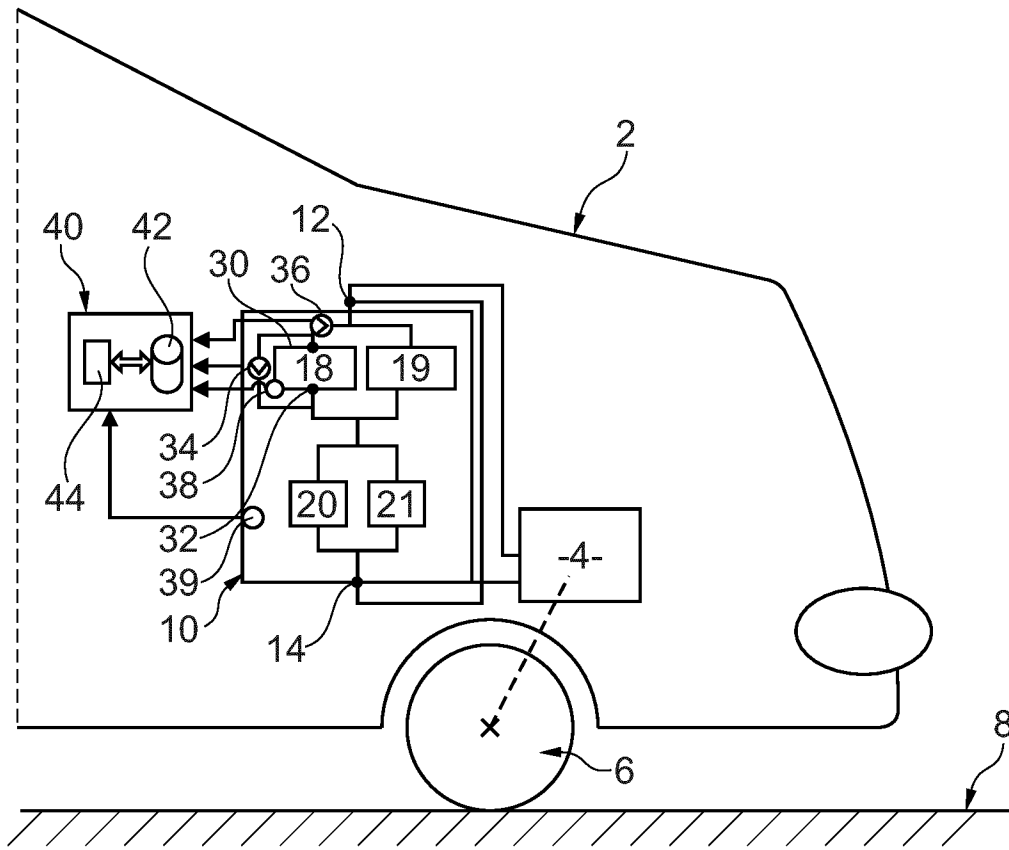


Fig. 1

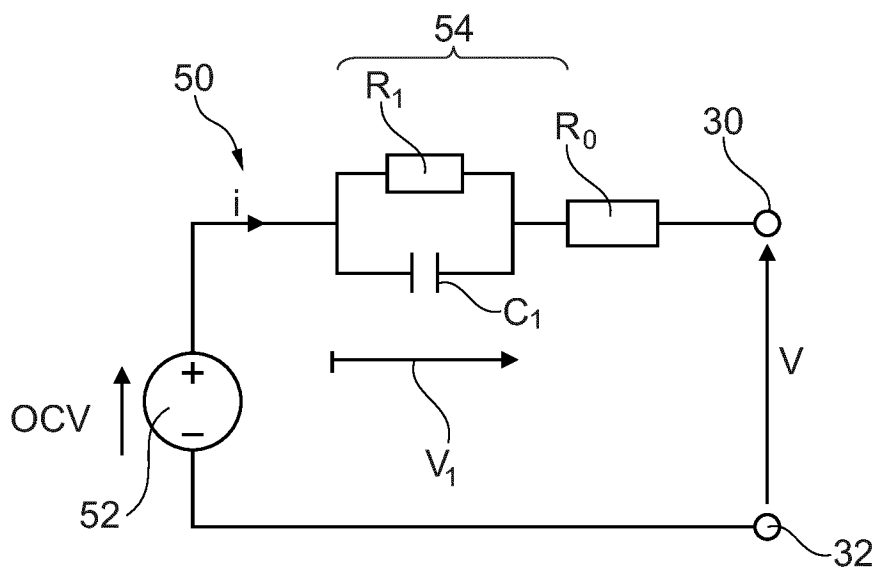


Fig. 2

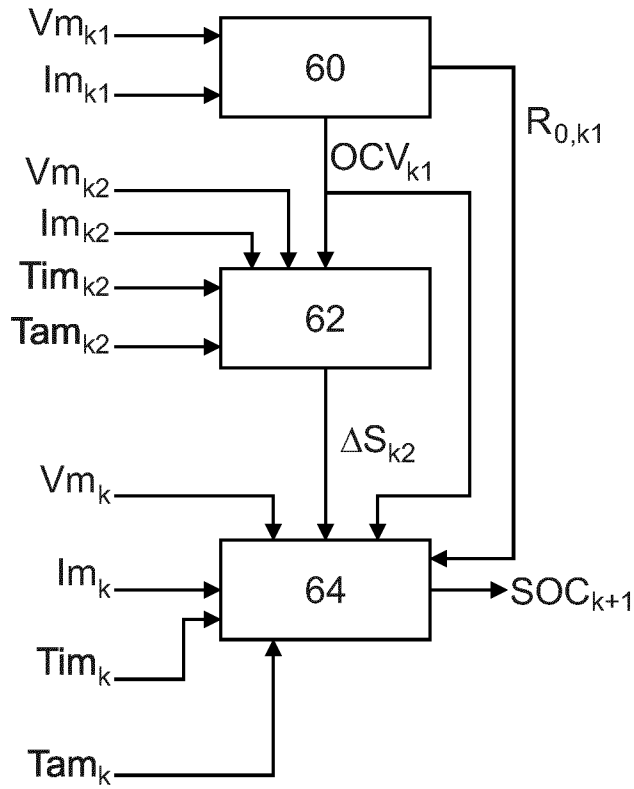


Fig. 3

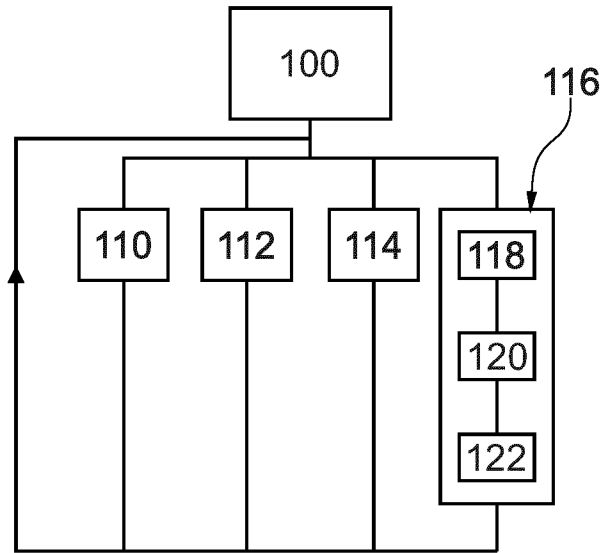


Fig. 4

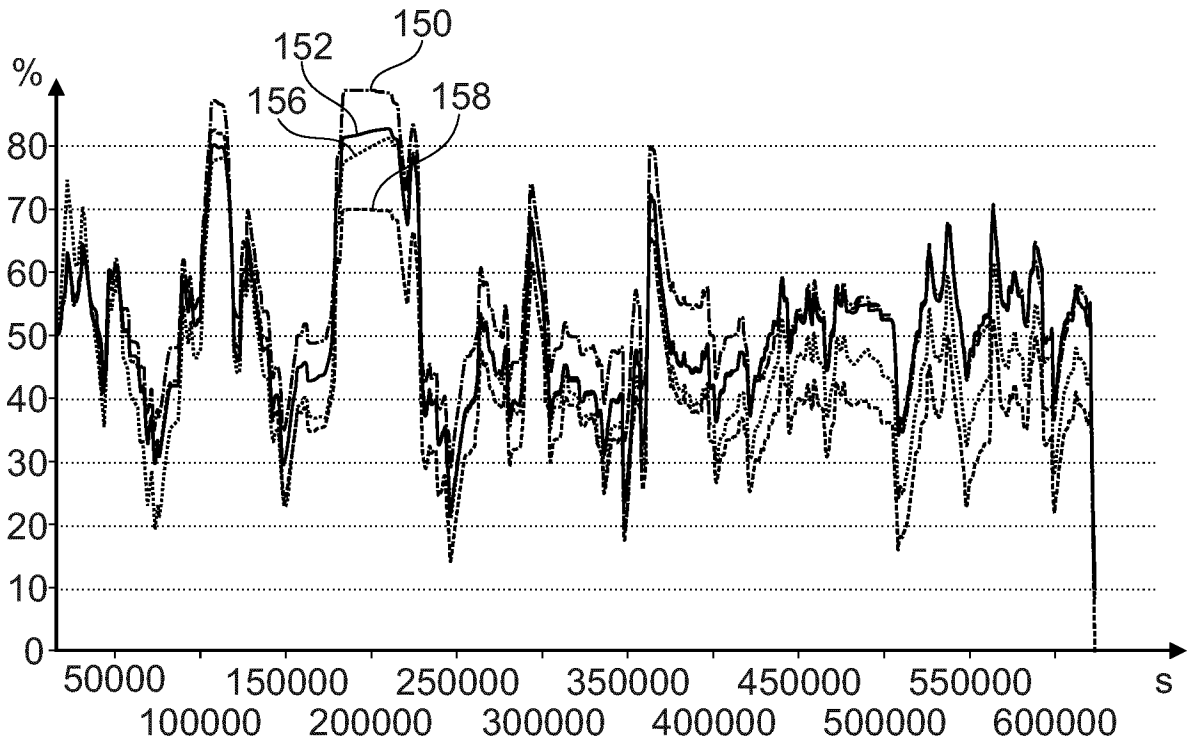


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/084179

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01R 31/367</i> (2019.01)i; <i>G01R 31/3842</i> (2019.01)i; <i>G01R 31/389</i> (2019.01)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		
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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2020064959 A1 (INST POLYTECHNIQUE GRENOBLE [FR]) 02 April 2020 (2020-04-02) cited in the application the whole document	1-12
A	US 2017146608 A1 (LEE SANG-GUG [KR] ET AL) 25 May 2017 (2017-05-25) cited in the application the whole document	1-12
A	US 2021057926 A1 (YAZAMI RACHID [SG]) 25 February 2021 (2021-02-25) the whole document	1-12
A	KR 20210046890 A (KERI KOREA ELECTROTECHNOLOGY RES INST [KR]) 29 April 2021 (2021-04-29) the whole document	1-12
A	WO 2019066278 A1 (KOREA ADVANCED INST SCI & TECH [KR]) 04 April 2019 (2019-04-04) the whole document	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 19 February 2024		Date of mailing of the international search report 07 March 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Bergado Colina, J Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/084179

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZHANG WENYU ET AL. "A Combined Thermodynamics & Computational Method to Assess Lithium Composition in Anode and Cathode of Lithium Ion Batteries" <i>ELECTROCHIMICA ACTA, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL</i> , Vol. 214, 03 August 2016 (2016-08-03), pages 56-67 DOI: 10.1016/J.ELECTACTA.2016.07.032 ISSN: 0013-4686, XP029714832 the whole document	1-12
A	WO 2016083754 A1 (RENAULT SAS [FR]) 02 June 2016 (2016-06-02) cited in the application the whole document	1-12
A	GREGORY L. PLETT. "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs" <i>JOURNAL OF POWER SOURCES</i> , Vol. 134, No. 2, 18 May 2004 (2004-05-18), pages 277-292 DOI: 10.1016/j.jpowsour.2004.02.033 ISSN: 0378-7753, XP055218097 cited in the application the whole document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/084179

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2020064959	A1	02 April 2020	CA	3114194	A1	02 April 2020
				CN	112840496	A	25 May 2021
				EP	3857639	A1	04 August 2021
				FR	3086802	A1	03 April 2020
				JP	2022503861	A	12 January 2022
				KR	20210096076	A	04 August 2021
				US	2022034973	A1	03 February 2022
				WO	2020064959	A1	02 April 2020

US	2017146608	A1	25 May 2017	KR	20170059208	A	30 May 2017
				US	2017146608	A1	25 May 2017

US	2021057926	A1	25 February 2021	CN	111670526	A	15 September 2020
				EP	3721527	A1	14 October 2020
				US	2021057926	A1	25 February 2021
				WO	2019111220	A1	13 June 2019

KR	20210046890	A	29 April 2021	NONE			

WO	2019066278	A1	04 April 2019	KR	101946784	B1	12 February 2019
				WO	2019066278	A1	04 April 2019

WO	2016083754	A1	02 June 2016	CN	107209227	A	26 September 2017
				EP	3224635	A1	04 October 2017
				FR	3029297	A1	03 June 2016
				JP	6831325	B2	17 February 2021
				JP	2017538929	A	28 December 2017
				KR	20170092589	A	11 August 2017
				US	2018031639	A1	01 February 2018
				WO	2016083754	A1	02 June 2016

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2023/084179

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01R31/367 G01R31/3842 G01R31/389 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01R		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2020/064959 A1 (INST POLYTECHNIQUE GRENOBLE [FR]) 2 avril 2020 (2020-04-02) cité dans la demande le document en entier -----	1-12
A	US 2017/146608 A1 (LEE SANG-GUG [KR] ET AL) 25 mai 2017 (2017-05-25) cité dans la demande le document en entier -----	1-12
A	US 2021/057926 A1 (YAZAMI RACHID [SG]) 25 février 2021 (2021-02-25) le document en entier -----	1-12
A	KR 2021 0046890 A (KERI KOREA ELECTROTECHNOLOGY RES INST [KR]) 29 avril 2021 (2021-04-29) le document en entier -----	1-12
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe	
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément	
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)	"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
19 février 2024	07/03/2024	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Bergado Colina, J	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>WO 2019/066278 A1 (KOREA ADVANCED INST SCI & TECH [KR]) 4 avril 2019 (2019-04-04) le document en entier</p> <p>-----</p>	1-12
A	<p>ZHANG WENYU ET AL: "A Combined Thermodynamics & Computational Method to Assess Lithium Composition in Anode and Cathode of Lithium Ion Batteries", ELECTROCHIMICA ACTA, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 214, 3 août 2016 (2016-08-03), pages 56-67, XP029714832, ISSN: 0013-4686, DOI: 10.1016/J.ELECTACTA.2016.07.032 le document en entier</p> <p>-----</p>	1-12
A	<p>WO 2016/083754 A1 (RENAULT SAS [FR]) 2 juin 2016 (2016-06-02) cité dans la demande le document en entier</p> <p>-----</p>	1-12
A	<p>GREGORY L. PLETT: "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs", JOURNAL OF POWER SOURCES, vol. 134, no. 2, 18 mai 2004 (2004-05-18), pages 277-292, XP055218097, ISSN: 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2004.02.033 cité dans la demande le document en entier</p> <p>-----</p>	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2023/084179

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2020064959 A1	02-04-2020	CA 3114194 A1	02-04-2020
		CN 112840496 A	25-05-2021
		EP 3857639 A1	04-08-2021
		FR 3086802 A1	03-04-2020
		JP 2022503861 A	12-01-2022
		KR 20210096076 A	04-08-2021
		US 2022034973 A1	03-02-2022
		WO 2020064959 A1	02-04-2020
US 2017146608 A1	25-05-2017	KR 20170059208 A	30-05-2017
		US 2017146608 A1	25-05-2017
US 2021057926 A1	25-02-2021	CN 111670526 A	15-09-2020
		EP 3721527 A1	14-10-2020
		US 2021057926 A1	25-02-2021
		WO 2019111220 A1	13-06-2019
KR 20210046890 A	29-04-2021	AUCUN	
WO 2019066278 A1	04-04-2019	KR 101946784 B1	12-02-2019
		WO 2019066278 A1	04-04-2019
WO 2016083754 A1	02-06-2016	CN 107209227 A	26-09-2017
		EP 3224635 A1	04-10-2017
		FR 3029297 A1	03-06-2016
		JP 6831325 B2	17-02-2021
		JP 2017538929 A	28-12-2017
		KR 20170092589 A	11-08-2017
		US 2018031639 A1	01-02-2018
		WO 2016083754 A1	02-06-2016