

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 045 218

②1 N° d'enregistrement national : **15 62274**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 M 10/48 (2017.01), G 01 R 31/36, B 60 L 11/18**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 **Date de dépôt** : 14.12.15.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 16.06.17 Bulletin 17/24.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE — FR, INSTITUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX — FR et UNIVERSITE DE BORDEAUX Etablissement public — FR.

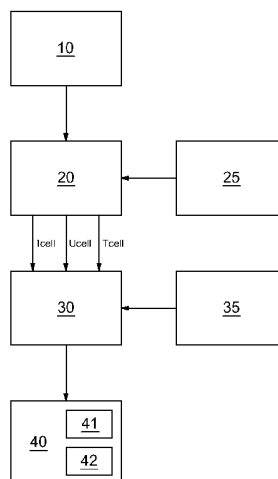
⑦2 **Inventeur(s)** : GUILLEMARD FRANCK, NOURY AGNIESZKA, MOZÉ MATHIEU, SABATIER JOCELYN, LAVIGNE LOÏC et FRANCISCO MBALA JUNIOR.

⑦3 **Titulaire(s)** : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, INSTITUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX, UNIVERSITE DE BORDEAUX Etablissement public.

⑦4 **Mandataire(s)** : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme.

⑤4 **DETERMINATION DE PARAMETRES D'UN MODELE DYNAMIQUE POUR UNE CELLULE ELECTROCHIMIQUE DE BATTERIE.**

⑤7 Procédé de détermination de paramètres d'un modèle de réponse en tension (U_{cell}) d'une cellule électrochimique de batterie à une intensité de courant sortant (I_{cell}), comprenant des étapes de mesure (20) d'au moins une réponse en tension en fonction du temps de la cellule à un échelon de courant, puis évaluation (41), à l'aide de ladite réponse mesurée, d'une pulsation de coupure pour une fonction de transfert entre l'intensité de courant sortant et une charge de la cellule causée par une diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à des variations d'intensité de courant, et évaluation (42) d'une résistance de la cellule en prenant en compte une tension causée par un état de charge de la cellule comprenant une charge causée par une diffusion d'ions évaluée par ladite fonction de transfert paramétrée par ladite pulsation de coupure évaluée.



FR 3 045 218 - A1



**« DETERMINATION DE PARAMETRES D'UN MODELE DYNAMIQUE POUR UNE
CELLULE ELECTROCHIMIQUE DE BATTERIE »**

5 [0001] Contexte technique

L'invention porte sur un procédé de détermination des paramètres d'un modèle de cellule électrochimique. Ce procédé est appliqué en particulier pour la modélisation des batteries Lithium-ion (Li⁺ ou Li-ion), ainsi que pour l'étude du vieillissement des batteries et le recalage des paramètres de leur modèle. Le modèle considéré est un modèle de réponse en tension à la valeur d'intensité de courant sortant dans le circuit dans lequel est insérée la batterie. Il est qualifié de modèle dynamique, car la variation d'intensité est prise en compte dans le modèle.

15 [0002] L'invention décrite s'inscrit dans le cadre du développement des moyens de stockage d'énergie électrique par exemple pour véhicule automobile. Dans un véhicule automobile, ces moyens de stockage permettent d'assurer l'alimentation en courant de l'ensemble des consommateurs électriques du véhicule, et du moteur dans le cadre d'une chaîne de traction hybride (électrique et thermique par exemple) ou seulement électrique.

20 [0003] Les véhicules électriques et hybrides nécessitent l'usage d'une batterie dite batterie de puissance. Celle-ci représente une partie du surcoût de ce type de véhicule par rapport aux véhicules traditionnels. Afin de réduire autant que possible ce surcoût, la batterie doit être dimensionnée au juste nécessaire et munie d'un système de pilotage (ou BMS pour « Battery Management System » en anglais) efficace. La batterie est constituée de cellules.

25 [0004] Une des tâches du BMS est de fournir précisément et en temps réel l'ensemble des indicateurs de performances de la batterie et de ses cellules. Par performances, on entend les grandeurs indispensables à la gestion de l'énergie et donc de la batterie au sein du véhicule qui vont permettre un usage optimisé du fonctionnement électrique du véhicule.

[0005] À titre d'exemple, parmi les indicateurs fournis par le BMS, l'état de charge nommé SOC pour « State Of Charge » en anglais est utilisé pour le calcul de la quantité d'énergie disponible dans la batterie ou dans une de ses cellules. De manière générale, les indicateurs fournis par le BMS sont basés sur une
5 connaissance fine des caractéristiques physiques de la batterie, dynamiques, électriques et thermiques.

[0006] Parmi ces caractéristiques, la Courbe de Tension à Vide (CTV) nommée aussi OCV pour « Open Circuit Voltage » est d'une grande importance. Elle permet de connaître la tension aux bornes de la batterie ou de l'une de ses cellules en
10 l'absence de courant sortant. D'autres caractéristiques physiques, notamment la diffusion des espèces, notamment les espèces ioniques, sont également prises en compte au moyen d'un modèle dynamique afin de rendre plus précises les informations produites par le BMS. Ainsi, l'énergie maximale récupérable d'une cellule dans les limites fixées par ses tensions de fonctionnement maximale et
15 minimale peut être déterminée par la mise en œuvre d'un moyen d'observation intégrant un modèle dynamique. La fiabilité de ces indicateurs dépend donc fortement de la précision du modèle dynamique à reproduire le comportement du moyen de stockage.

[0007] Or, les caractéristiques des cellules d'une batterie évoluent au cours du
20 temps sous l'effet du vieillissement qui intervient alors que la durée de vie recherchée est pourtant celle du véhicule. Il s'ensuit alors une dégradation de l'aptitude de la batterie à délivrer du courant.

[0008] Ceci se traduit par une baisse de performance du véhicule liée à une perte de son rendement, défavorable au bilan de consommation du véhicule. D'autres
25 surcoûts à l'usage pour l'utilisateur apparaissent, tel un changement de batterie, ainsi que pour le constructeur, qui doit fournir une nouvelle batterie, la batterie initiale pouvant faire l'objet d'une garantie.

[0009] Le modèle dynamique est propre à chaque cellule constituant la batterie. Ceci est en particulier dû aux dispersions de fabrication des cellules
30 électrochimiques mais aussi au vieillissement différencié des cellules, les cellules

d'une même batterie ayant chacune une histoire propre et donc un vieillissement spécifique. Il est donc nécessaire de savoir mettre à jour le modèle de chaque cellule d'une batterie et ce quel que soit le niveau de vieillissement de celle-ci.

5 [0010] L'invention permet dans ce contexte de mettre en œuvre un recalage des paramètres du modèle dynamique de chacune des cellules d'une batterie de technologie Lithium-ion. Cette invention ouvre la voie à la mise au point d'un système complet de contrôle et commande de la batterie prenant en compte le vieillissement.

10 [0011] L'invention est appliquée sur une batterie de technologie Lithium-Ion (Li-ion) pour véhicule automobile. Le développement de cette invention n'est cependant pas restrictif aux éléments de stockage d'énergie électrique destinés aux véhicules automobiles. Son caractère général permet de l'appliquer à l'ensemble des batteries de technologie Lithium, et ce indépendamment du dispositif embarquant la batterie (batterie de démarrage, appareils de l'électronique grand public, stockage de l'énergie, etc.).

15 [0012] Dans les paragraphes qui suivent, nous passons en revue, avant de décrire l'invention, des méthodes de prise en compte du vieillissement des cellules, en particulier pour un contexte automobile, dans lequel les puissances de calcul sont limitées et l'environnement potentiellement bruité.

20 [0013] Des techniques d'estimation de l'état de charge SOC reposent sur une estimation conjointe des paramètres du modèle. L'identification des paramètres est délicate pour les modèles électrochimiques. La tension à vide, quant à elle, est prise en compte selon la nature du modèle. Dans les modèles électriques, la tension à vide peut faire partie des variables d'état de la cellule. La courbe CTV n'est alors pas connue d'avance et sa valeur instantanée doit être réactualisée périodiquement
25 selon l'évolution de l'état de charge. Le fait de ne pas disposer de la CTV peut induire des incertitudes.

[0014] Certains auteurs évitent cet écueil en concevant des techniques de prédiction de la tension à vide par exemple en exprimant la réponse en tension de la cellule durant une phase de relaxation par un modèle empirique.

[0015] De manière générale, la littérature traite peu de l'évolution et de la reconstruction de la CTV avec le vieillissement, comme le confirme la revue de Unterrieder, C., M. Lunglmayr, S. Marsili, and M. Huemer. 2012. "Battery State-of-Charge Estimation Using Polynomial Enhanced Prediction." *Electronics Letters* 48 (21): 1363. Or la tension à vide CTV est importante dans le modèle d'une cellule Li-ion.

[0016] Une approche repose sur l'estimation de la CTV par mesure de la capacité entre ses deux tensions limites. Lorsque l'état de charge est défini par rapport à la capacité réelle $Q_{\text{réel}}$, ce qui est souvent le cas, une méthode d'estimation de la CTV repose sur la mesure de la capacité $Q_{\text{réel}}$ lors du vieillissement de la batterie. Cette mesure peut par exemple être réalisée en garage ou encore lors de la recharge du véhicule par l'utilisateur. Il est également supposé que la CTV ainsi définie est invariante avec le vieillissement à condition de réactualiser la capacité $Q_{\text{réel}}$.

[0017] Un inconvénient de cette méthode réside dans la mesure de la capacité $Q_{\text{réel}}$. Chaque cellule ayant sa propre CTV, il faut mesurer $Q_{\text{réel}}$ pour chaque cellule, ce qui nécessite, pour toutes les cellules d'une batterie, de charger et décharger complètement toutes les cellules. Le temps de mise en œuvre de la mesure de $Q_{\text{réel}}$ peut donc être long et induire des dépenses énergétiques liées à la décharge complète des cellules. Même si un cycle de charge et décharge complètes est possible dans le cas d'un véhicule électrique ou hybride plug-in (c'est à dire disposant d'un chargeur), la méthode est néanmoins difficile à mettre en œuvre car il faut pouvoir équilibrer en tension toutes les cellules de la batterie à la tension minimale et encore à la tension maximale. Dans le cas d'un véhicule hybride classique (HEV) il n'y a pas de chargeur, ce qui rend quasiment impossible la mesure de $Q_{\text{réel}}$ pour ces véhicules. Enfin, l'hypothèse faite sur la non dépendance au vieillissement de la CTV par rapport au SOC, le SOC étant défini ici par rapport à $Q_{\text{réel}}$, ne tient pas pour tous les types d'électrochimie.

[0018] Ainsi, si la méthode permet d'obtenir une CTV complète, elle présente des défauts, parmi lesquels, la nécessité de deux phases d'équilibrage du fait de la mesure de $Q_{\text{réel}}$, un temps de mise en œuvre long du fait de la mesure de $Q_{\text{réel}}$, des dépenses énergétiques liées à la décharge complète des cellules, l'hypothèse sur la

non dépendance au vieillissement de la CTV par rapport au SOC ou l'inapplicabilité de la méthode aux véhicules hybrides classiques (HEV).

[0019] Une deuxième approche repose sur l'estimation de la CTV par approche statistique, par décomposition en composantes principales.

5 [0020] La CTV peut être estimée comme la limite, lorsque le courant tend vers zéro, d'un modèle donnant la tension de la cellule en réponse à une sollicitation de type courant constant. Il est considéré le cas d'une cellule subissant plusieurs cycles de charge et décharge complets pour différentes valeurs de courant décroissantes.

10 [0021] Des courbes de charge et décharge sont associées aux différentes valeurs de courant. Chaque courbe de charge et de décharge est alors fonction du courant I , de l'état de charge, de la température T et des paramètres du modèle.

15 [0022] L'idée dans cette approche est d'exprimer la dépendance de la tension en fonction du courant I et ceci sur une large plage de valeurs d'état de charge. Pour obtenir la CTV il ne reste alors plus qu'à extrapoler la CTV en faisant tendre le courant I vers 0 dans le modèle précédemment obtenu.

[0023] La modélisation est réalisée en trois temps : décomposition en composantes principales, modélisation de la dépendance au courant, puis extrapolation de la CTV.

20 [0024] Mais alors que la CTV est obtenue de manière complète, la méthode présente des défauts, tels que la lourdeur de la procédure de calcul à implémenter en temps réel, la difficile prise en compte du vieillissement, et la longueur de la procédure. De plus, la méthode semble inapplicable aux véhicules HEV.

25 [0025] Enfin, une autre méthode estime la CTV par approche électrochimique. Cette méthode repose sur la connaissance du potentiel d'équilibre de chaque électrode. La méthode est difficile à appliquer en temps réel. Ainsi, si la méthode permet l'obtention d'une CTV complète, elle présente des défauts tels que la nécessité de connaître le potentiel d'équilibre de chaque électrode, la mise en œuvre difficile en temps réel et l'impossibilité de quantifier le vieillissement.

[0026] Une revue sur les méthodes d'identification de la résistance interne peut être trouvée dans Schweiger, H.-G. et al., 2010. « Comparison of several methods for determining the internal resistance of lithium ion cells » Sensors, 10(6), pp.5604–25. Les auteurs distinguent des méthodes d'application d'un échelon de courant, 5 d'application d'un courant alternatif, de spectroscopie d'impédance et de mesure des pertes thermiques.

[0027] FR2988523 décrit un procédé de charge d'une batterie, utilisant une table de référence et des mesures de la capacité de la batterie pour au moins deux paliers 10 intermédiaires de charge, et permettant l'estimation de valeurs de vieillissement capacitif et résistif.

[0028] Ces méthodes ne permettent pas la caractérisation complète de la cellule de manière rapide.

[0029] Définition de l'invention

[0030] Pour obtenir une caractérisation complète et rapide d'une cellule et ainsi 15 surmonter les problèmes ainsi évoqués, il est proposé un procédé de détermination de paramètres d'un modèle de réponse en tension d'une cellule électrochimique de batterie à une intensité de courant sortant, comprenant une étape de mesure d'au moins une réponse en tension de la cellule à un courant sortant. Le procédé est tel que la réponse est une réponse en fonction du temps à un échelon de courant, le 20 procédé comprenant de plus une étape d'évaluation, à l'aide d'un modèle prédéfini de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant en fonction d'un état de charge de la cellule, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de pulsation de coupure pour une fonction de transfert entre une intensité variable de courant sortant et une charge de la cellule causée par une 25 diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à une intensité variable de courant sortant, le procédé comprenant de plus une étape d'évaluation, en utilisant ledit modèle prédéfini de tension à vide, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de résistance de la cellule en prenant en compte une tension causée par un état de charge de la cellule comprenant une charge causée

par une diffusion d'ions évaluée par ladite fonction de transfert paramétrée par ladite valeur évaluée de pulsation de coupure.

[0031] Grâce à ces principes, l'identification des paramètres du modèle et le suivi du vieillissement des cellules sont individualisés, cellule par cellule, et des paramètres du modèle peuvent être identifiés sans que cela ne nécessite une charge ou une décharge complète de la batterie ni une phase d'équilibrage. Le vieillissement peut être apprécié grâce à cette méthode.

[0032] La prise en compte du vieillissement des batteries dans les véhicules hybrides et électriques permet une amélioration de la précision et de la fiabilité de l'indicateur de niveau d'énergie présent dans la batterie, une amélioration de la précision de pilotage de la batterie par le BMS, associée à une augmentation de la durée de vie de la batterie, un dimensionnement juste nécessaire de la batterie, associé à une réduction de masse et de coût, tant à l'achat qu'à l'usage, et la connaissance de son état de santé, nécessaire lors d'une phase éventuelle de revente de la batterie.

[0033] L'invention peut de plus présenter l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes :

- plusieurs mesures de réponse en tension sont effectuées pour évaluer ladite valeur de pulsation de coupure par dichotomie ;

- plusieurs mesures de réponse en tension sont effectuées pour évaluer ladite valeur de résistance et on moyenne des valeurs de résistance obtenues pour chaque mesure pour évaluer la résistance ;

- l'état de charge est égal dans le modèle à la somme de la charge causée par ladite diffusion évaluée par ladite fonction de transfert paramétrée par la pulsation ainsi évaluée et d'une charge définie par une capacité de référence de la cellule et un état de charge initial ;

- après l'étape de mesure d'une réponse, le procédé comprend une étape de détermination ou de mise à jour du modèle prédéfini de tension à vide ;

- l'échelon est appliqué pendant une charge ou une décharge de la batterie.

[0034] L'invention concerne aussi un dispositif de détermination de paramètres d'un modèle de réponse en tension d'une cellule électrochimique de batterie à une intensité de courant sortant, comprenant des moyens de mesure d'au moins une
5 réponse en tension de la cellule à un courant sortant, le dispositif étant caractérisé en ce que la réponse est une réponse en fonction du temps à un échelon de courant, le dispositif comprenant de plus des moyens d'évaluation, à l'aide d'un modèle prédéfini de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant en
10 fonction d'un état de charge de la cellule, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de pulsation de coupure pour une fonction de transfert entre une intensité variable de courant sortant et une charge de la cellule causée par une diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à une intensité variable de courant sortant, le dispositif comprenant de plus des moyens d'évaluation, en utilisant ledit modèle prédéfini de tension à vide, et également à
15 l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de résistance de la cellule en prenant en compte une tension causée par un état de charge de la cellule comprenant une charge causée par une diffusion d'ions évaluée par ladite fonction de transfert paramétrée par ladite valeur évaluée de pulsation de coupure.

[0035] L'invention porte aussi sur une batterie à au moins une cellule
20 électrochimique, la batterie comprenant un dispositif de détermination selon l'invention pour le pilotage de la batterie.

[0036] L'invention porte aussi sur un véhicule automobile comprenant une batterie selon l'invention pour la traction du véhicule.

[0037] Liste des figures

25 L'invention va maintenant être décrite en relation avec les dessins.

- la figure 1 présente un modèle de cellule électrochimique pour batterie,
- la figure 2 présente des étapes d'une mise en œuvre d'un procédé selon l'invention,
- la figure 3 présente un aspect d'une étape d'un procédé selon l'invention,

- la figure 4 présente un aspect d'un mode de réalisation, portant sur la même étape que la figure 3,
 - la figure 5 présente un aspect d'une autre étape d'un procédé selon l'invention,
 - la figure 6 présente un aspect d'un mode de réalisation portant sur la même
- 5 étape que la figure 5.

[0038] Description détaillée

La procédure de recalage est basée sur un modèle de type mono-électrode. La structure de ce modèle est présentée sur la **figure 1**. Il s'agit d'un modèle mono-électrode d'une cellule Lithium-ion.

- 10 [0039] La tension U aux bornes de la cellule est d'après le modèle égale à la somme du produit de l'intensité I circulant aux bornes de la cellule (ou sortante) par une résistance R de la cellule, et d'une tension E qualifiée de tension à vide, définie comme une tension dépendant essentiellement de l'état de charge, et donc indépendante, de préférence, de l'intensité I circulant, autrement que par ses effets
- 15 sur l'état de charge.

[0040] La résistance R est un agrégat de la résistance interne de la cellule et de la résistance surfacique de contact du collecteur de courant.

[0041] Le bloc CTV relie l'état de charge de la cellule (ou SOC pour « State Of Charge », en anglais) à sa tension à vide E par un polynôme de la forme

20
$$E = \sum_{k=0}^N D_k \cdot (\alpha \cdot SOC + \beta)^k. \quad (1)$$

- dans lequel D_k , α et β sont des paramètres permettant de modéliser la courbe induite par la relation (1). Le paramètre α est très sensible au vieillissement de la cellule. On note qu'une valeur de $\alpha=1$ indique l'état initial (à neuf) de la cellule, alors qu'une valeur de $\alpha>1$ indique que la cellule a perdu en capacité restituable. La cellule peut
- 25 alors être considérée comme ayant vieilli. C'est typiquement le cas rencontré en pratique.

[0042] L'état de charge SOC est défini dans le modèle comme la somme d'une charge due à la diffusion des ions SOC_D et d'une charge correspondant à un simple

comportement linéaire de type intégrateur (intégration du courant) de la cellule SOC_C . SOC_C intègre une charge à vide SOC_0 .

[0043] La charge liée à la diffusion SOC_D est définie dans le modèle à l'aide d'une fonction de transfert H dont la variable est l'intensité.

5 [0044] La fonction de transfert $H(p)$ est définie par la relation

$$H(p) = \frac{K}{p} \left(\left(1 + \frac{p}{\omega_c} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right). \quad (2)$$

où ω_c et K sont respectivement la pulsation prenant en compte les phénomènes de diffusion de la phase solide à la cathode, et l'inverse de la capacité de référence notée Q_{ref} et définie en A.s.

10 [0045] La charge liée à l'effet capacitif SOC_C est définie dans le modèle comme la somme d'une charge initiale SOC_0 et du produit de l'intégrale de l'intensité par l'inverse de la capacité de référence de la cellule.

[0046] Le dispositif de recalage décrit ici ne porte que sur les paramètres ω_c et R , et s'inscrit dans un procédé en trois étapes, après l'enregistrement de mesures :

- 15 - une étape de prise de décision de recalage, liée à une détection d'un écart entre le comportement dynamique d'une cellule et de son modèle initial ;
- une étape de recalage de la loi de la courbe de tension à vide ; et
- une étape de recalage des paramètres du modèle dynamique de la cellule sur des signaux de courant et de tension mesurés lors de la recharge de la batterie selon un profil de charge, comme par exemple celui décrit dans le document FR 2988523.
- 20

Cette dernière étape constitue un élément avantageux de l'invention.

[0047] Des aspects avantageux de l'invention pour le recalage du modèle dynamique et leur agencement sont représentés sur la **figure 2**.

[0048] La batterie 10 est composée de plusieurs cellules aux bornes desquelles on mesure la tension. Pour alléger les notations ainsi que les illustrations, les mesures de courant et de tension ne sont considérées que pour une seule cellule. Cette considération n'est pas restrictive car le raisonnement est identique dans le cas pratique et pour n'importe quelle autre cellule de la batterie.

[0049] Le bloc fonctionnel 20 correspond à une étape d'enregistrement des données. Ensuite est prise une décision de recalage, en utilisant des informations 25 d'aide à la prise de décision, comme le temps et l'instant de début d'un profil de charge.

10 [0050] Le bloc fonctionnel 20 transmet à un bloc fonctionnel 30 « Identification de la CTV » des données enregistrées qui sont, au moins, les valeurs d'intensité sortantes I_{cell} , de tension aux bornes de la cellule U_{cell} et de température de la cellule T_{cell} .

[0051] Le bloc fonctionnel 30 « Identification de la CTV » peut être mis en œuvre selon l'art antérieur. Il utilise les résultats d'un processus initial 35 de caractérisation de la tension des cellules neuves servant à la calibration de l'algorithme embarqué. Il fournit une courbe de tension à vide, constituant un modèle prédéterminé à partir de ce moment.

[0052] Le bloc fonctionnel 40 « Identification des paramètres du modèle dynamique par méthode dichotomique » est décrit ci-après. Il comprend un sous-bloc 41 d'identification de la pulsation de coupure ω_c , et un sous-bloc 42 d'identification de la résistance R.

[0053] La méthode d'identification des paramètres R et ω_c , développée ici, s'affranchit de la nécessité de linéariser la CTV autour d'un point de fonctionnement. La méthode nécessite donc une bonne identification de la CTV. Les identifications de R et ω_c ont lieu de manière ordonnée, en premier lieu la pulsation ω_c puis vient, grâce à l'estimation de ω_c , l'identification de la résistance R. La méthode est dite « dichotomique » en référence à la technique de recherche de ω_c . Cette identification est effectuée lors des phases de recharge de la batterie sur les profils de charges décrits par exemple dans le procédé du document FR 2988523 qui soumet la cellule

à plusieurs échelons de courants et permet donc de mesurer la réponse indicielle en tension de la cellule.

[0054] L'identification de la pulsation ω_c s'appuie sur le fait que dans la réponse indicielle, l'expression de la différence de tension d entre deux instants T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$), ne comporte pas la résistance R . Ainsi, pourvu que T_1 et T_2 soient suffisamment grands et distants l'un de l'autre de sorte que la contribution de la pulsation de coupure de ω_c ait eu le temps de s'établir, d vaut :

$$d(T_1, T_2, \omega) = U(T_2) - U(T_1) = E \left(\widetilde{SOC}(T_2, \omega) \right) - E \left(\widetilde{SOC}(T_1, \omega) \right). \quad (3)$$

$\widetilde{SOC}(\dots)$ désignant une estimation de l'état de charge réel de la batterie au moyen par exemple du modèle discuté précédemment.

[0055] La différence de tension d doit être mesurée au début de la réponse indicielle, comme illustré sur la **figure 3**, c'est-à-dire avant que l'effet de la diffusion des ions Li^+ par exemple dans la phase solide ne s'estompe.

[0056] Pour obtenir cette différence d , on mesure une première réponse en tension de la cellule à un premier échelon de courant en deux instants T_1 et T_2 suffisamment éloignés l'un de l'autre pendant la diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à l'échelon pour évaluer la pulsation ω_c .

[0057] Il est avancé ici que l'erreur $err(\omega)$ entre $d(T_1, T_2, \omega)$ obtenue par le modèle et la mesure $(U(T_2) - U(T_1))$ est essentiellement monotone en ω et ne s'annule de ce fait que pour une seule valeur de ω . C'est ainsi que le zéro de $err(\omega)$ fournit une estimation de ω_c .

Afin de ne pas dépendre uniquement de deux points de mesure, lesquels pourraient facilement être entachés de bruit de mesure, le principe est étendu à un jeu de $M_\omega - 1$ mesures $d(T_1, t_k, \omega)$, avec $T_1 < t_2 < \dots < t_{M_\omega}$. Les notations adoptées sont ainsi :

$$D_{mesure} = \begin{pmatrix} U(t_2) - U(t_1) \\ \vdots \\ U(t_{M_\omega}) - U(t_1) \end{pmatrix} \quad (4)$$

et

$$D(\omega) = \begin{pmatrix} E(\widetilde{SOC}(t_2, \omega)) - E(\widetilde{SOC}(t_1, \omega)) \\ \vdots \\ E(\widetilde{SOC}(t_{M_\omega}, \omega)) - E(\widetilde{SOC}(t_1, \omega)) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

L'estimée $\widehat{\omega}_c$ optimale minimise dans un mode de réalisation la variance de l'erreur d'estimation donnée par le critère J suivant :

$$J(\omega) = \min_{\omega} \|D_{mesure} - D(\omega)\|^2. \quad (6)$$

5 [0058] Comme l'illustre la **figure 4**, le critère J présente un minimum global en ω et peut ainsi être minimisé par une approche dichotomique.

[0059] On recherche ensuite une estimation de la résistance R. La résistance R contribue à limiter la puissance que peut fournir chaque cellule et donc toute la batterie. Sa bonne identification est donc avantageuse pour garantir les performances des algorithmes de limitation de puissance et de prédiction de puissance disponible.

10

[0060] La méthode retenue ici consiste à nouveau à appliquer un échelon de courant. Dans cette méthode l'identification de la résistance R se réduit à effectuer le rapport de la réponse indicielle, mesurée à un instant t_R comme illustré sur la **figure 5**, sur l'amplitude de l'échelon de courant :

15

$$R = \frac{\Delta U(t_R)}{A_{éch}}. \quad (7)$$

[0061] Si ce calcul est correct dans le principe, sa précision dépend néanmoins du choix de l'instant de mesure t_R . Il est ainsi admis que l'identification de la résistance interne par la relation (7) nécessite une fréquence d'échantillonnage bien supérieure à 1 Hz. Une manière d'échapper au choix arbitraire de l'instant t_R , consiste à exploiter la connaissance de la courbe de tension à vide (CTV) et de l'estimée de la pulsation $\widehat{\omega}_c$ acquise au paragraphe précédent. En effet, la contribution résistive $A_{éch}R$ est censée être constante, du moins sur une courte plage de temps, et représenter l'écart entre la tension mesurée $U(t)$ et la contribution de la tension à vide $E(\widetilde{SOC}(t, \widehat{\omega}_c))$. Les composantes CTV et $\widehat{\omega}_c$ étant connues, la

20

25

variable $\widetilde{SOC}(t, \widehat{\omega}_c)$ peut être déduite. Ainsi, à un instant t_k suffisamment grand de sorte que la contribution de la résistance ait eu le temps de s'établir (prendre par exemple $t_k > 5s$), la résistance \widehat{R}_k est estimée par :

$$\widehat{R}_k = \frac{U(t_k) - E(\widetilde{SOC}(t_k, \widehat{\omega}_c))}{A_{éch}}. \quad (8)$$

- 5 [0062] Ainsi, on mesure une deuxième réponse sur tension à un deuxième échelon de courant pour évaluer la résistance de la cellule en prenant en compte un état de charge comprenant au moins la charge causée par la diffusion évaluée par la fonction de transfert, et le modèle prédéterminé de tension à vide. La tension donnée par le modèle est déduite de la tension mesurée, au cours de la deuxième réponse.
- 10 [0063] Afin de ne pas dépendre uniquement d'un seul point de mesure, lequel pourrait facilement être entaché de bruit, le principe est étendu à un jeu de mesures R_k comme représenté en **figure 6**. L'estimée \widehat{R} est choisie comme étant la moyenne des estimées précédentes.

[0064] Les deux méthodes d'identification précédemment développées sont
15 validées sur des données expérimentales. Le modèle mono-électrode est soumis à un profil de courant correspondant à une utilisation de la batterie dans un véhicule automobile sur route. La CTV est pour sa part identifiée selon une méthode de l'art antérieur. Les résultats sont satisfaisants.

[0065] L'invention est mise en œuvre en particulier dans une batterie embarquée
20 dans un véhicule automobile et servant pour la traction de celui-ci, et est utilisée pour améliorer le pilotage de la batterie.

[0066] L'invention s'applique à tous les types de batteries au lithium. Le procédé est implémentable dans tout type d'environnement embarquant la batterie (téléphonie mobile, appareils ménagers, véhicule hybride ou électrique, etc.).

REVENDEICATIONS

5 1. Procédé de détermination de paramètres (ω_c , R) d'un modèle de
réponse en tension (U) d'une cellule électrochimique de batterie à une intensité de
courant sortant (I), comprenant une étape de mesure (20) d'au moins une réponse
en tension de la cellule à un courant sortant, le procédé étant **caractérisé en ce que**
la réponse est une réponse en fonction du temps à un échelon de courant, le
10 procédé comprenant de plus une étape d'évaluation (41), à l'aide d'un modèle
prédéfini (CTV) de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant
en fonction d'un état de charge de la cellule, et également à l'aide de ladite au moins
une réponse mesurée, d'une valeur de pulsation de coupure (ω_c) pour une fonction
de transfert (H) entre une intensité variable de courant sortant et une charge de la
15 cellule (SOC_D) causée par une diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à
ladite intensité variable de courant sortant, le procédé comprenant de plus une étape
d'évaluation (42), en utilisant ledit modèle prédéfini (CTV) de tension aux bornes de
la cellule en l'absence de courant sortant en fonction d'un état de charge de la
cellule, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur
20 de résistance (R) de la cellule en prenant en compte une tension (E) causée par un
état de charge de la cellule (SOC) comprenant une charge (SOC_D) causée par une
diffusion d'ions évaluée par ladite fonction de transfert (H) paramétrée par ladite
valeur évaluée de pulsation de coupure (ω_c).

25 2. Procédé de détermination de paramètres selon la revendication 1,
caractérisé en ce que plusieurs mesures d'une réponse en tension sont effectuées
pour évaluer ladite valeur de pulsation de coupure (ω_c) par dichotomie.

30 3. Procédé de détermination de paramètres selon la revendication 1 ou la
revendication 2, caractérisé en ce que plusieurs mesures d'une réponse en tension
sont effectuées pour évaluer ladite valeur de résistance (R) en moyennant des
valeurs de résistance obtenues pour chaque mesure.

 4. Procédé de détermination de paramètres selon l'une des revendications
1 à 3, caractérisé en ce que ledit état de charge de la cellule (SOC) est égal à la

somme de la charge (SOC_D) causée par ladite diffusion évaluée par ladite fonction de transfert (H) paramétrée par la valeur évaluée de pulsation (ω_c) et d'une charge (SOC_C) définie par une capacité de référence de la cellule (K) et un état de charge initial (SOC_0).

5 5. Procédé de détermination de paramètres selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'après l'étape de mesure (20) d'au moins une réponse, le procédé comprend une étape de détermination ou de mise à jour (30) du modèle prédéfini (CTV) de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant en fonction d'un état de charge de la cellule prenant en compte la mesure.

10 6. Procédé de détermination de paramètres selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'échelon de courant est appliqué pendant une charge ou une recharge de la batterie.

15 7. Dispositif de détermination de paramètres (ω_c , R) d'un modèle de réponse en tension (U) d'une cellule électrochimique de batterie à une intensité de courant sortant (I), comprenant des moyens de mesure d'au moins une réponse en tension de la cellule à un courant sortant, le dispositif étant **caractérisé en ce que** la réponse est une réponse en fonction du temps à un échelon de courant, le dispositif comprenant de plus des moyens d'évaluation, à l'aide d'un modèle prédéfini (CTV) de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant en fonction d'un état de charge de la cellule, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de pulsation de coupure (ω_c) pour une fonction de transfert (H) entre une intensité variable de courant sortant et une charge de la cellule (SOC_D) causée par une diffusion d'ions au sein de la cellule en réaction à ladite intensité variable de courant sortant, le dispositif comprenant de plus des moyens d'évaluation, en utilisant ledit modèle prédéfini (CTV) de tension aux bornes de la cellule en l'absence de courant sortant en fonction d'un état de charge de la cellule, et également à l'aide de ladite au moins une réponse mesurée, d'une valeur de résistance (R) de la cellule en prenant en compte une tension (E) causée par un état de charge de la cellule (SOC) comprenant une charge (SOC_D) causée par une diffusion d'ions évaluée par ladite fonction de transfert (H) paramétrée par ladite valeur évaluée de pulsation de coupure (ω_c).

25 8. Batterie à au moins une cellule électrochimique, la batterie comprenant un dispositif selon la revendication 7 pour le pilotage de la batterie.

9. Véhicule automobile comprenant une batterie selon la revendication 8 pour la traction du véhicule.

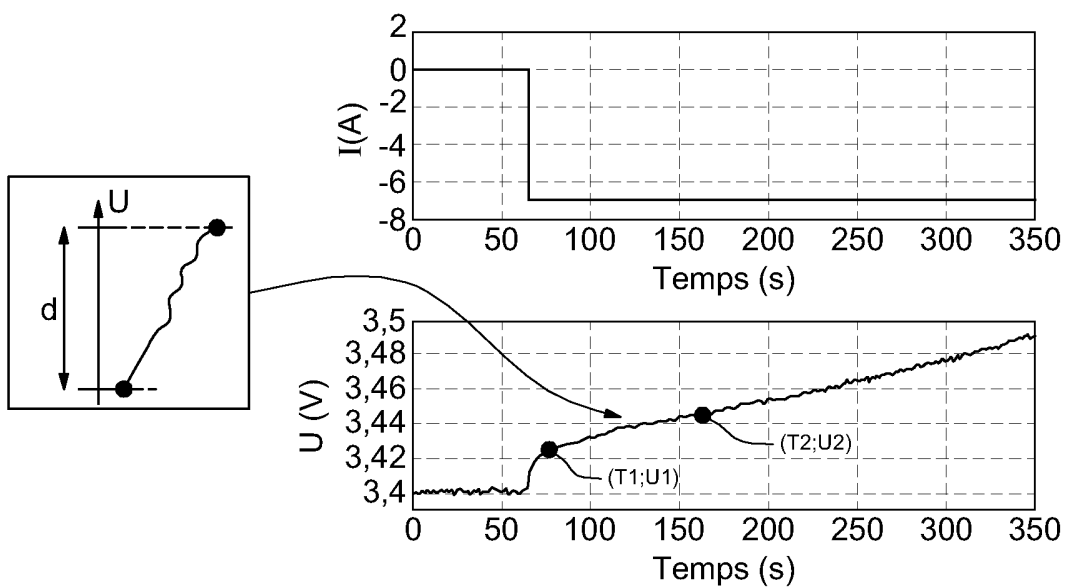
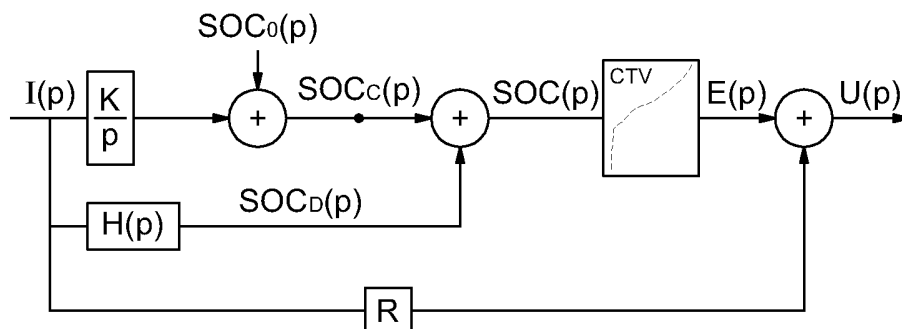
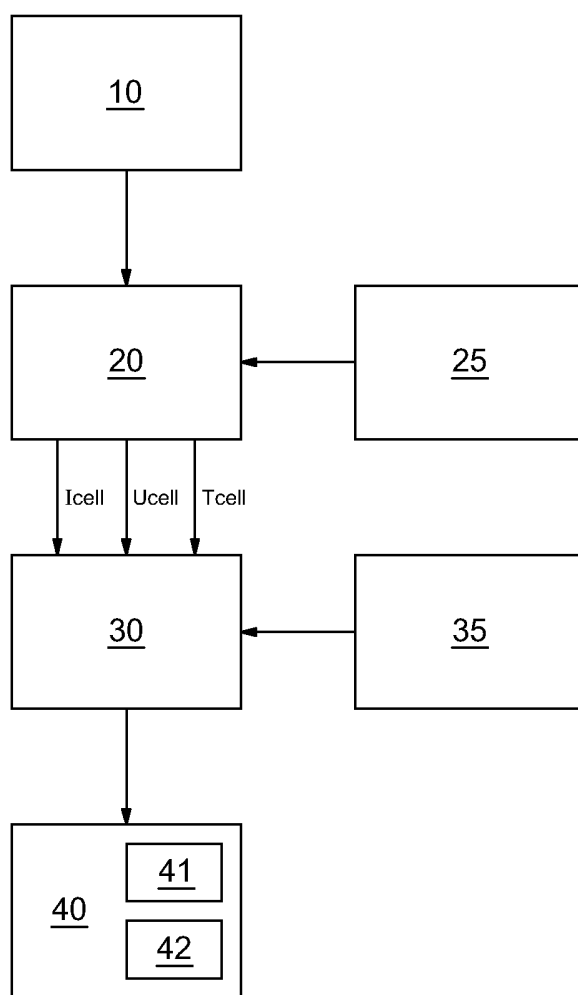
Fig.1*Fig.3*

Fig.2

3/4

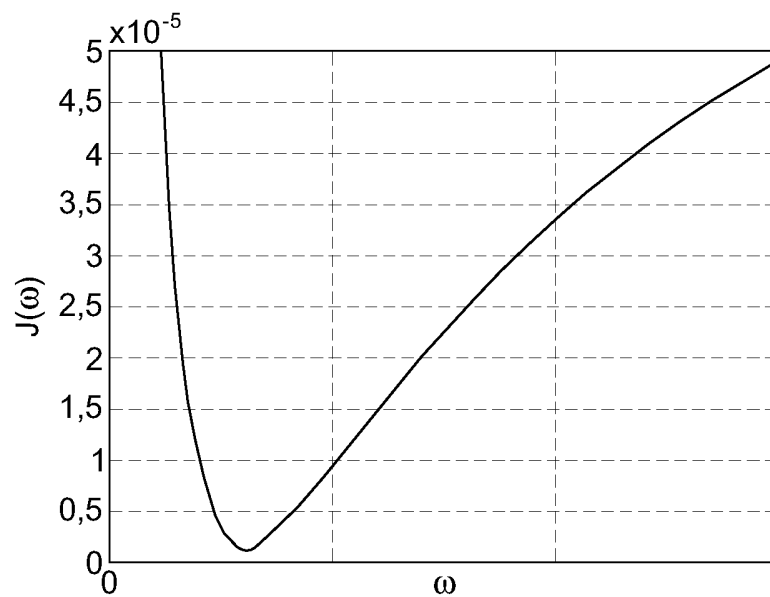
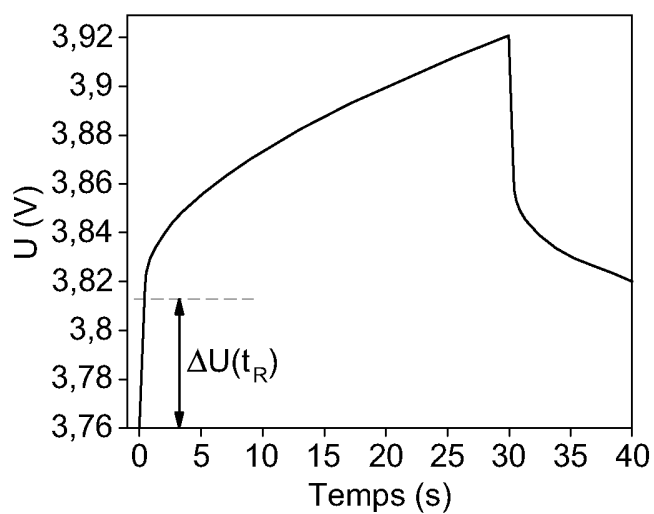
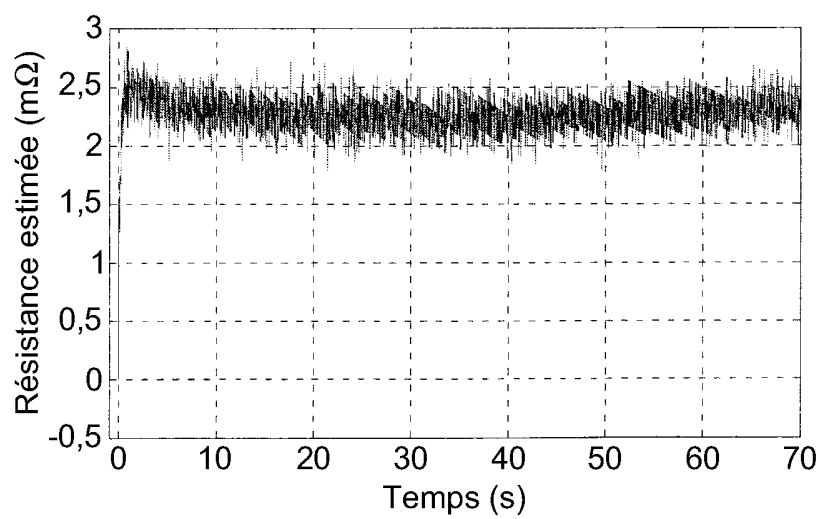
Fig.4Fig.5

Fig.6




**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
N° d'enregistrement
national
 établi sur la base des dernières revendications
dépôtées avant le commencement de la recherche

 FA 820616
FR 1562274

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|--|--|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| X | FR 2 963 434 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 3 février 2012 (2012-02-03) * page 6, ligne 1 - page 22, ligne 30; revendications 1-10; figures 1-6 * ----- | 1-9 | H01M10/48 G01R31/36 B60L11/18 |
| A | FR 2 973 517 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV) 5 octobre 2012 (2012-10-05) * page 6, ligne 3 - page 18, ligne 22; revendications 1-15; figures 1-2 * ----- | 1-9 | |
| A | FR 2 973 516 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV) 5 octobre 2012 (2012-10-05) * page 6, ligne 6 - page 31, ligne 25; revendications 1-15; figures 1-2 * ----- | 1-9 | |
| A | FR 2 961 352 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 16 décembre 2011 (2011-12-16) * le document en entier * ----- | 1-9 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| | | | G01R H01M |
| | | Date d'achèvement de la recherche | Examineur |
| | | 3 août 2016 | Bilzer, Claus |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire | | | |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1562274 FA 820616**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **03-08-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|----|------------------------|---|------------------------|
| FR 2963434 | A1 | 03-02-2012 | AUCUN | |
| FR 2973517 | A1 | 05-10-2012 | AUCUN | |
| FR 2973516 | A1 | 05-10-2012 | AUCUN | |
| FR 2961352 | A1 | 16-12-2011 | AUCUN | |