

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
**INSTITUT NATIONAL  
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
 COURBEVOIE

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

**3 154 236**

②1 N° d'enregistrement national : **23 10878**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 M 10/44 (2023.01), H 01 M 10/48, 10/46, H 02 J 7/00, G 01 R 31/36**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 11.10.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 18.04.25 Bulletin 25/16.

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) : *PSA AUTOMOBILES SA Société par actions simplifiée (SAS) — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : BENIERE ARNAUD.

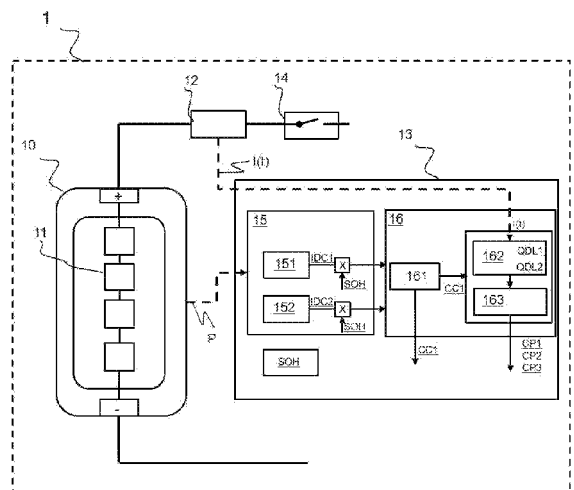
⑦3 Titulaire(s) : STELLANTIS AUTO SAS Société par actions simplifiée.

⑦4 **PROCÉDE DE PROTECTION D'UN SYSTEME DE BATTERIE EN FONCTION D'UNE ESTIMATION D'UNE QUANTITE DE DEPOSITION DE LITHIUM.**

⑤7 La présente invention a pour objet un procédé de protection d'un système de batterie (1) comprenant un élément de stockage d'énergie (10), le procédé comprenant une phase de charge comprenant la détermination d'une consigne du courant de charge maximum autorisé (CC1) et la mesure d'un courant de charge instantané (I(t)) du système de batterie (1),

la surveillance si le courant mesuré (I(t)) est supérieur à la consigne (CC1), et selon l'invention, en cas de détection que le courant mesuré (I(t)) est supérieur à la consigne (CC1), le calcul d'un premier paramètre représentatif d'une quantité de déposition de lithium (QDL1) en surface d'une électrode de l'élément de stockage (10) de la batterie (1) pendant la durée de détection, et la commande d'une protection dépendante du premier paramètre (QDL1). L'invention s'applique aux véhicules électrifiés.

Figure 1.



FR 3 154 236 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : PROCÉDE DE PROTECTION D'UN SYSTEME DE BATTERIE EN FONCTION D'UNE ESTIMATION D'UNE QUANTITE DE DEPOSITION DE LITHIUM**

[0001] Le domaine de l'invention concerne un procédé de contrôle de courant d'un système de batterie à cellules électrochimiques.

[0002] Les systèmes de batterie des véhicules électrifiés sont aujourd'hui majoritairement équipés de cellules électrochimiques de type lithium-ion. En fonctionnement, ces cellules sont susceptibles de se dégrader si elles ne sont pas utilisées dans des conditions de fonctionnement nominal, c'est-à-dire dans les limites thermiques, de courants et de tension définies par les constructeurs de cellules. En effet, en cas de température trop basse ou de pilotage de courants trop importants, les électrodes d'une cellule peuvent se saturer d'atomes de lithium en surface, ce qui peut conduire à la formation de dendrites à l'origine de courts-circuits internes. La gestion des courants de charge et décharge des cellules doit être opérées dans des conditions sécuritaires tout en assurant une gestion énergétique optimale et un usage de la batterie le moins contraignant possible, notamment en durée de charge et autonomie de roulage.

[0003] Le transport de lithium dans une électrode négative en graphite est généralement plus lent que dans les électrodes positives et, par conséquent, est le phénomène limitatif du courant de charge. Ce phénomène s'appelle dépôt de lithium ou placage de lithium, désigné aussi par le terme « Lithium Plating » en anglais. Une concentration de lithium trop élevée peut entraîner la formation de dendrites et provoquer une augmentation de la résistance interne, voire un court-circuit. Durant la charge les ions lithium se réduisent en métal lithium sur la surface de la structure en graphite lors de l'échange d'électron. Le taux de réduction des ions lithium est proportionnel au courant et la diffusion dans la structure de graphite suit les lois de diffusion. Le taux de diffusion dépend du gradient de concentration en métal lithium et d'un coefficient de diffusion, lequel dépend de l'état de charge, de la température et du vieillissement d'une cellule. La loi de Fick régit la diffusion des ions de lithium dans les différents composants de la batterie, tels que l'électrolyte et les électrodes.

[0004] On peut citer le document brevet EP-A1-2266181 décrivant un procédé de charge adaptative se basant sur une technique d'estimation d'une durée de diffusion et d'une concentration de lithium en surface à partir de la durée de diffusion, la capacité de la cellule et le courant de charge mesuré. Ensuite, à partir de la concentration, un courant de charge est calculé. Ce document enseigne de mesurer la durée de diffusion pendant une phase de relaxation à partir de la mesure d'une tension à vide suivant l'application

d'un courant continu pendant une durée fixe. Cette technique d'estimation de la concentration de surface en lithium concerne les charges en branchement sur borne, couramment appelées charges « Plug-in ». Cette technique n'est pas donc applicable en freinage récupératif du fait de la dynamique de roulage et de l'impossibilité d'imposer une relaxation des cellules, en particulier dans le cas d'un véhicule à motorisation entièrement électrique.

[0005] On connaît de l'état de la technique le document WO-A1-2022237476 qui enseigne une solution de calibration de tables d'impulsions de courant de charge à partir de modèles électrochimiques et thermiques établis par voie expérimentale. Ces modèles électrochimiques comportent également une loi de coefficient de diffusion des ions lithium au niveau des électrodes. Ce document enseigne un principe de commande par impulsion de courant d'une durée donnée, par exemple 10 secondes, dont une condition d'arrêt peut être dépendante de la tension de la cellule par rapport à un seuil de tension haut, d'une valeur de potentiel d'électrode entre l'électrode négative et le séparateur ou d'une température de cellule. Ces tables d'impulsion ont pour objectif de piloter des courants maximums respectant les contraintes électrochimiques des cellules, notamment au regard du dépôt de lithium.

[0006] On connaît en outre le document brevet WO-A1-2022032460 décrivant une solution comportant un procédé de détection de placage de lithium sur une électrode de cellule de batterie comportant la détermination d'une valeur de potentiel en temps réel de l'électrode négative et dans lequel, si ce potentiel devient inférieur ou égal à un seuil de zéro volt, le procédé détecte un placage de lithium. Ce document enseigne l'usage d'un modèle embarqué dans un véhicule pour déterminer ce potentiel en fonction du courant de charge, état de charge et température. Ce document enseigne un principe de commande du courant de charge visant à réduire la valeur de courant en fonction de ce potentiel. L'inconvénient d'un modèle de calcul en temps réel est qu'il est particulièrement énergivore.

[0007] Le problème des solutions actuelles réside dans la difficulté d'estimer un état d'endommagement sur la durée d'utilisation d'un véhicule. En particulier, la calibration des seuils de courants et du temps de confirmation pour déclencher une protection électrique est particulièrement complexes car ces protections ne doivent pas conduire à des limitations de performance dues à la marge de sécurité nécessaire. Par exemple, il peut ne pas être un problème de rester occasionnellement à 106 % de la limite de courant maximale pendant 10 secondes, mais si la confirmation est réglée à 10 secondes, il peut y avoir de nombreux dépassements de 105 % pendant moins de 10 secondes, ce qui peut devenir un problème sur une durée prolongée. A l'inverse, réduire le temps de confirmation aurait tendance à augmenter le risque de fausses détections.

- [0008] Il existe donc un besoin de pallier les problèmes précités. Un objectif de l'invention est de proposer une fonction d'estimation de l'état de surface en dépôt de Lithium des cellules électrochimique d'une batterie permettant d'améliorer la protection des batteries et de réduire les limitations de performances électriques.
- [0009] Plus précisément, l'invention concerne un procédé de protection d'un système de batterie comprenant un élément de stockage d'énergie, le procédé étant mis en œuvre par une unité de commande dudit système de batterie et comprenant les étapes suivantes :
- [0010] - une phase de charge comprenant la détermination d'une consigne du courant de charge maximum autorisé et la mesure d'un courant de charge instantané du système de batterie,
- [0011] - la surveillance si le courant mesuré est supérieur à la consigne,
- [0012] - en cas de détection que le courant mesuré est supérieur à la consigne, le calcul d'un premier paramètre représentatif d'une quantité de déposition de lithium en surface d'une électrode de l'élément de stockage de la batterie pendant la durée de détection,
- [0013] - la commande d'une protection dépendante du premier paramètre.
- [0014] Le procédé selon l'invention peut comporter les caractéristiques additionnelles suivantes, seules ou en combinaison :
- [0015] - Le premier paramètre est calculé à partir d'une fonction d'estimation se basant sur la loi de Faraday et une valeur de courant correspondant à la différence entre le courant mesuré et la consigne pendant la durée de détection.
- [0016] - La fonction d'estimation comporte un coefficient de diffusion paramétrable appliqué à la valeur de la consigne.
- [0017] - Le calcul d'un deuxième paramètre représentatif de la quantité de déposition de lithium cumulée et qui est calculée à partir de la somme de valeurs du premier paramètre calculées lors de plusieurs phases de charge.
- [0018] - La commande d'une protection comporte au moins une première commande pour limiter la consigne de courant de charge lorsque le deuxième paramètre franchit un premier seuil de déposition.
- [0019] - La commande d'une protection comporte une deuxième commande pour l'ouverture d'un commutateur de la ligne de charge du système de batterie lorsque le deuxième paramètre est supérieur à un deuxième seuil de déposition maximale.
- [0020] - La commande d'une protection comporte une troisième commande pour l'ouverture définitive d'un commutateur de la ligne de charge du système de batterie lorsque le deuxième paramètre est supérieur à un troisième seuil de déposition, la troisième commande d'ouverture définitive interdisant une utilisation postérieure de l'élément de stockage.
- [0021] - La consigne est délivrée par une première table de courant continu prenant en

entrée des paramètres électriques mesurés lors de la phase de charge, la première table délivrant des valeurs de la consigne applicable pendant une première durée fixe à partir d'un état de référence de l'élément de stockage correspondant aux paramètres électriques mesurés.

- [0022] Il est prévu selon l'invention, système de batterie comportant un élément de stockage d'énergie et une unité de commande configurée spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé de protection selon l'une quelconque des modes de réalisation précédents.
- [0023] Il est prévu en outre un véhicule électrifié comportant un tel système.
- [0024] Il est prévu selon l'invention un système de batterie comportant un élément de stockage d'énergie et une unité de commande spécifiquement configurée pour la mise en œuvre du procédé de protection selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.
- [0025] Il est prévu un programme-ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par une unité de commande d'un système de batterie, conduisent celui-ci à mettre en œuvre l'un quelconque des modes de réalisation du procédé de protection selon l'invention.
- [0026] Il est prévu un support d'enregistrement lisible par ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre l'un quelconque des modes de réalisation du procédé de protection selon l'invention.
- [0027] L'invention met en œuvre un paramètre d'estimation d'une quantité de déposition de lithium améliorant le diagnostic et la protection des systèmes de batterie. L'invention permet d'améliorer le suivi d'endommagement des batteries afin de prévenir une déposition excessive empêchant le recyclage des cellules.
- [0028] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée qui suit comprenant des modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par les dessins annexés, dans lesquels :
- [0029] [Fig.1] représente schématiquement un système de batterie selon l'invention.
- [0030] [Fig.2] représente schématiquement une structure d'électrode négative illustrant le principe de diffusion des atomes de lithium dans une structure à particules de graphite.
- [0031] [Fig.3] représente un bloc diagramme d'un mode de réalisation du procédé de protection selon l'invention.
- [0032] [Fig.4] représente un véhicule électrifié prévu pour la mise en œuvre de l'invention.
- [0033] L'invention s'applique aux systèmes de stockage d'énergie à cellules électrochimiques, en particulier de type lithium-ion. Le procédé selon l'invention vise à fournir une estimation d'une déposition de lithium en surface d'une électrode de cellules de batterie et commander une protection dépendante de cette estimation.

L'invention concerne tout type de véhicule électrifié, c'est-à-dire comprenant une machine électrique motrice et de l'électronique de puissance, 100% électriques ou hybrides, de préférence les véhicules automobiles, mais pas seulement, tels un aéronef, tracteur, vélo électrique, navires, camion.

[0034] La [Fig.1] représente schématiquement un système de batterie 1 comprenant un élément de stockage d'énergie 10 comportant au moins une cellule électrochimique 11 conformément à l'invention. L'élément de stockage 10 peut comporter une pluralité de cellules 11 ou groupement de cellules (appelé également cluster de cellules) reliées électriquement en parallèle et/ou en série.

[0035] Une cellule électrochimique est un accumulateur d'énergie électrique ayant deux bornes, une électrode positive et une électrode négative, et présentant une tension de quelques volts, le plus souvent comprise entre 2,3V et 4,2V, environ. Les cellules peuvent être de type lithium-ion. Plus précisément, une cellule lithium-ion est composée principalement d'une électrode positive poreuse, une électrode négative poreuse, un séparateur et un électrolyte (pouvant être liquide, polymérique ou solide). Un oxyde de Nickel Manganèse Cobalt lithié NMC ou un phosphate lithié de fer LFP peuvent être cités à titre d'exemples de matières actives d'électrode positive, Nickel Cadmium (Ni-cd), ou Nickel-Métal-Hydrure (Ni-MH) par exemple. L'électrode négative peut être une structure en graphite ou un alliage métallique, par exemple. Le principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion repose sur l'échange réversible d'ions lithium entre les deux électrodes poreuses.

[0036] Le système de batterie 1 comporte en outre des moyens de mesure, estimation ou capteur de paramètres électriques parmi lesquels au moins un capteur de courant 12 apte à mesurer ou estimer une valeur de courant traversant l'élément de stockage 10, un capteur de tension et un capteur de température pour des cellules 11 ou chaque cellule 11 de l'élément de stockage d'énergie 10. Le système de batterie 1 comporte en outre des moyens de commutation 14 pour l'ouverture et la fermeture de la ligne de courant. Ces moyens de commutation de puissance sont par exemple des relais de puissance, ou transistors pilotables adaptés pour connecter et déconnecter électriquement les éléments de stockage de la batterie d'une interface de recharge ou d'un réseau électrique alimenté par la batterie. Dans une application de véhicule électrifié, les moyens de commutation comprennent le ou les commutateurs reliant la batterie au boîtier de prise de recharge par exemple.

[0037] Le système de batterie 1 comporte en outre une unité de commande 13 (appelée également ECU pour « Electronic Control Unit » ou BMS pour « Battery Management system »). L'unité de commande 13 est munie d'un calculateur à circuits intégrés et de mémoires électroniques, le calculateur et les mémoires étant configurés pour exécuter le procédé de protection selon l'invention. Mais cela n'est pas obligatoire. En effet, le

calculateur pourrait être externe à l'unité de commande de la batterie, tout en étant couplé à cette dernière. L'unité de commande 13, selon l'invention, peut être réalisé sous la forme de modules logiciels (ou informatiques (ou encore « software »)), ou bien de circuits électroniques (ou « hardware »), ou encore d'une combinaison de circuits électroniques et de modules logiciels.

- [0038] L'invention propose un procédé de protection de la batterie se basant sur les propriétés physiques de diffusion de lithium en surface d'une électrode et sur la loi de Faraday permettant d'estimer une quantité de déposition de lithium durant une charge en fonction d'une différence entre le courant de charge et une consigne de courant maximal autorisé.
- [0039] Pour illustrer le phénomène de dépôt de lithium, en [Fig.2], une structure d'électrode négative en graphite est représentée schématiquement pour différents taux de charge. Le schéma 2a représente l'électrode à courant nul où la concentration en surface est uniforme à la concentration interne de la structure en graphite. Le schéma 2b illustre l'électrode pour un courant de charge modéré où la concentration de surface est supérieure à la concentration interne mais reste inférieure à un niveau de saturation. Le schéma 2c illustre l'électrode pour un courant de charge élevé où se forment des dépôts de lithium en surface de l'électrode. Le lithium réduit est proportionnel au courant et ne peut être inséré dans sa totalité. Du dépôt de lithium apparait, représenté par les motifs en forme ovale.
- [0040] De ces observations, il est obtenu soit par modélisation numérique, soit par voie expérimentale des informations de calibration de tables de courant continu pour une durée fixe, prenant en entrée des paramètres électriques comprenant l'état de charge (SOC) et la température d'un élément de stockage d'énergie, d'une cellule ou d'un groupe de cellule. Ces tables de courant continu délivrent des valeurs de courant applicables pendant la durée fixée. Un protocole expérimental réalisé sur des cellules en conditions maîtrisées peut être une modélisation numérique à partir des équations de concentration de lithium décrites ci-avant. Un autre protocole expérimental peut être la mesure d'un potentiel de référence de l'électrode négative correspondant à une tension mesurée entre l'électrode négative et une électrode dite de référence, généralement en lithium, connectée à l'électrolyte. Durant une charge, lorsque cette tension atteint 0 volt, cette condition indique que le niveau de saturation est atteint.
- [0041] Une première table délivre des valeurs d'un premier courant de charge continu applicables pendant la première durée au maximum en fonction de paramètres électriques mesurés. Les valeurs de courant sont applicables jusqu'à atteindre un niveau de saturation de dépôt de lithium en surface d'une électrode négative dudit élément de stockage en fin de la première durée. Les paramètres mesurés comprennent l'état de charge SOC et la température d'un élément de stockage, pour une plage de [0%,100%]

en SOC et pour une plage de température [-20°C, 60°C] par exemple. On envisage d'obtenir plusieurs premières tables pour des durées applicables différentes par exemple des durées comprises entre 1 seconde et 180 secondes, par exemple une table pour une durée 10 secondes, une autre table pour une durée 30 secondes et une autre table pour une durée 180 secondes. Ce sont des tables de courant prévues pour une situation dynamique de charge en roulage d'un véhicule, telle le freinage récupératif par exemple.

- [0042] Une deuxième table, pour le pilotage d'un courant continu pour une deuxième durée donnée, se différencie de la première table en ce que la deuxième durée applicable du courant est supérieure à celle de la première table ou les premières tables, c'est-à-dire supérieure à plusieurs minutes, comprise entre plusieurs minutes et plusieurs heures éventuellement. La valeur de courant continu délivrée par la deuxième table correspond à un rythme de réduction de lithium proche de celui de la diffusion des atomes dans le cœur de structure d'électrode. Ce deuxième courant peut être piloté constamment, c'est-à-dire jusqu'à l'atteinte de la limite de tension d'une cellule correspondant à la tension dite de « Cut-off voltage » sans que le phénomène de dépôt de lithium apparaisse. Ce sont des valeurs de courant adaptés pour la recharge sur borne par exemple. La deuxième table délivre des valeurs de courant applicables sans risque de dépôt de lithium en fonction de paramètres d'état de charge SOC et température d'un élément de stockage, pour une plage de [0%,100%] en SOC et pour une plage de [-20°C, 60°C] par exemple. On envisage d'obtenir plusieurs deuxièmes tables pour des durées de 180 secondes ou plus.
- [0043] L'unité de commande 13 comporte, enregistrée en mémoire, au moins une première table de courant continu 151 et une deuxième table de courant continu 152. L'unité de commande peut comporter une pluralité de tables 151 et une pluralité de tables 152 pour des durées différentes. Par exemple, des premières tables 151 sont enregistrées pour des courants continus IDC1 de durée 10 secondes, 30 secondes et 180 secondes. Des deuxièmes tables 152 sont enregistrées pour des courants continus IDC2 de durées supérieures par exemple, 360 secondes ou plus. Il peut être prévu en outre des premières tables et deuxièmes tables spécifiques à des courant de charge ou des courants de décharge. L'unité de commande 13 est configurée pour délivrer des valeurs de courant maximal applicables pendant les premières et deuxièmes durées spécifiques à chaque table en fonction de paramètres électriques instantanés comprenant l'état de charge et la température de l'élément de stockage.
- [0044] Classiquement, l'unité de commande 13 du système de batterie comporte en outre un estimateur de l'état de vieillissement des cellules fournissant un paramètre SOH représentatif de l'état de vieillissement. L'estimateur 15 comporte en outre une table délivrant un facteur de correction de courant en fonction du paramètre de

vieillessement SOH. Le facteur de correction de courant est prévu pour corriger une valeur du courant délivrée par les première et deuxième tables 151 et 152.

- [0045] L'unité de commande 13 comporte un contrôleur de courant 16 comportant une fonction de pilotage 161 délivrant une information CC1 de contrôle de courant, pouvant être une valeur de consigne de courant, de consigne de courant maximal autorisé à l'instant donné ou de puissance électrique autorisée en charge ou en décharge. La fonction 161 prend en entrée des informations comprenant au moins les valeurs de courant IDC1 et IDC2 délivrées par les première et deuxième tables de courant continu 151 et 152. L'information CC1 est délivrée à travers des moyens de communication à d'autres systèmes électriques consommateurs et/ou générateurs d'énergie, par exemple convertisseur de tension, machine motrice électrique, chargeur.
- [0046] Le contrôleur de courant 16 comporte une fonction d'estimation 162 configurée pour surveiller le courant  $I(t)$  traversant l'élément de stockage par rapport à l'information CC1 de contrôle de courant. La fonction 162 est apte à détecter si le courant  $I(t)$  est supérieur à l'information CC1 et lorsque cette situation apparaît, celle-ci calcule un premier paramètre QDL1 représentatif d'une première quantité de déposition de lithium et un deuxième paramètre QDL2 représentatif d'une deuxième quantité cumulée de déposition de lithium durant l'utilisation du système de batterie 1.
- [0047] Les systèmes électriques consommateurs et générateurs pilotent des courants calculés sur la base de l'information CC1 et sur la base d'estimateurs de puissance et de paramètres de résistance. Ces estimateurs ont parfois des calibrations faussées ou inadaptées à une situation particulière ou bien défaillantes pouvant générer le pilotage d'un courant de charge supérieur à la consigne déterminée par le système de batterie. Néanmoins, il est prévu un mécanisme de protection configuré pour qu'en cas de détection d'un courant  $I(t)$  qui est supérieur à un seuil critique, l'unité de commande actionne immédiatement les commutateurs de coupure de courant.
- [0048] Dans une variante, la fonction d'estimation 162 se base sur la loi de Faraday et une valeur de courant correspondant à la différence entre le courant mesuré et la consigne pendant la durée de la charge selon la relation ci-après exprimée en moles. Le calcul est effectué uniquement lorsque le courant  $I(t)$  est supérieur à la consigne de courant maximal, car dans cette situation pour la valeur de l'écart de courant restante, la déposition de lithium est supérieure à la diffusion dans la structure de graphite. Cette technique d'estimation de la déposition permet ainsi de mettre en place un compteur d'endommagement de la surface de l'électrode.
- [0049] 
$$QDL1 = (I(t) - CC1) * \Delta t * \left(\frac{1}{F}\right),$$
 QDL1 étant la quantité de lithium exprimée en grammes,  $I(t)$  étant le courant de charge instantané exprimée en Ampères,  $\Delta t$  étant la durée de calcul exprimée en

secondes, CC1 étant la consigne de courant de charge exprimée en Ampères, F étant la constante de Faraday 96485 Coulomb par mole d'électron. La première quantité de déposition de lithium peut aussi être exprimée en grammes sur la base du paramètre de la masse molaire de lithium Mli selon la relation suivante :  $QDL1=(I(t)-CC1) * \Delta t *(1/F) * Mli$ . En variante, la première quantité de déposition peut aussi être estimée par un paramètre représentatif d'une quantité d'énergie exprimé en ampères-heures.

- [0050] L'invention prévoit une variante de la fonction d'estimation 162 utilisant un coefficient de diffusion paramétrable Kdiff appliqué à la valeur de la consigne CC1 mise en œuvre selon la relation suivante où Kdiff est compris entre [0,1] :  $QDL1=(I(t)-Kdiff*CC1) * \Delta t *(1/F)$ . Dans une calibration optimiste, pour Kdiff égal à 1, l'hypothèse est que seule la valeur d'écart de courant entre le courant mesuré et la consigne CC1 génère une déposition de lithium. Dans une calibration pessimiste, pour Kdiff égal à 0, dès que le courant mesuré dépasse la consigne de courant maximale, alors l'électrode ne diffuse plus de lithium dans la structure interne et la totalité du courant mesuré génère de la déposition de lithium en surface de l'électrode. Le coefficient de diffusion permet de calibrer l'estimateur 162.
- [0051] En application de véhicule électrifié, on notera que les valeurs des paramètres QDL1 sont calculées lors de phase de charge en situation de freinage récupératif ou lors de phase de charge en situation de recharge sur bornes.
- [0052] En outre, la fonction d'estimation 162 opère le calcul d'un deuxième paramètre représentatif d'une deuxième quantité de déposition de lithium cumulée QDL2 qui est calculée à partir de la somme des premières quantités de déposition QDL1 calculées pendant plusieurs phases de charge. La deuxième quantité assure le rôle d'un compteur d'endommagement par dépôt de lithium surveillant le phénomène de déposition sur la durée de vie du système de batterie. En particulier, le paramètre QDL2 a pour fonction de surveiller l'endommagement des cellules au regard d'un ou plusieurs seuils de déposition prédéterminés afin de générer des corrections protectrices en cours de vie du véhicule ou de générer un diagnostic de l'état d'endommagement des cellules, voire déclencher une commande de déconnexion et signaler un diagnostic de recyclage ou d'endommagement irréversible des cellules.
- [0053] Par ailleurs, le contrôleur de courant 16 peut comporter une fonction de protection 163 configurée pour déterminer une commande de protection en fonction de la quantité de déposition de lithium cumulée QDL2. La fonction de protection est apte à générer des commandes CP1 de limitation de la consigne de courant CC1 en fonction de la valeur du paramètre QDL2 par rapport à un ou plusieurs seuils de déposition prédéterminés, des commandes CP2 d'ouverture de commutateurs de la ligne de courant du système de batterie ou des commandes d'ouverture définitives CP3.
- [0054] En [Fig.3], le procédé de protection selon l'invention est représenté par un

diagramme en schéma bloc. Le procédé est mis en œuvre par une unité de commande du système de batterie. Le procédé est prévu par exemple pour une application de véhicule automobile électrifié.

- [0055] A une première étape 61, le système de batterie est démarré et en fonctionnement nominal. Des phases de charge et décharge sont pilotables.
- [0056] Le procédé comporte une deuxième étape 62 de commande d'une phase de charge des éléments de stockage de la batterie. Un courant de charge est piloté et à cet effet, l'unité de commande détermine la consigne de courant CC1 et transmet la consigne de courant CC1 à un équipement de charge, par exemple un chargeur, un convertisseur de courant AC/DC ou DC/DC, à une borne de recharge, ou à un générateur telle qu'une machine électrique. La consigne de courant CC1 peut être un courant maximal autorisé déterminant une limite au-delà de laquelle il est susceptible de se produire une déposition de lithium. La consigne de courant CC1 est fournie par la première table de courant continu 151 ou la deuxième table de courant continu 152, en référence à la [Fig.1]. Alternativement, la consigne de courant CC1 peut être une puissance maximale. Lors de la phase de recharge, l'unité de commande mesure en permanence le courant de charge  $i(t)$  traversant les éléments de stockage d'énergie.
- [0057] Le procédé comporte une étape de surveillance 63 si le courant mesuré ( $I(t)$ ) est supérieur à la consigne CC1. Classiquement, l'unité de commande met en œuvre des commandes de protection en cas de dépassement conditionnée généralement en outre à une validation par une temporisation du dépassement. Si le dépassement à une durée inférieure à la temporisation, la protection n'est pas déclenchée. Cependant, l'invention permet d'évaluer un endommagement même pour les cas où la validation n'est pas confirmée.
- [0058] Selon l'invention, le procédé de protection comporte en cas de détection que le courant mesuré ( $i(t)$ ) est supérieur à la consigne CC1, le calcul 64 d'un premier paramètre représentatif d'une quantité de déposition de lithium QLD1 en surface d'une électrode de l'élément de stockage de la batterie pendant la durée de détection. Ce calcul se déclenche immédiatement à l'instant de dépassement du courant et durant toute la durée de dépassement.
- [0059] Ce premier paramètre QLD1 permet d'estimer un endommagement des cellules dans cette situation afin de déterminer les mesures de protection des cellules, voire la possibilité de recyclages des cellules ou non. Des protections conventionnelles déclenchent une ouverture de commutateurs dès que le courant  $i(t)$  franchit la consigne de courant maximal, après confirmation du dépassement. L'invention présente l'avantage de fournir une information concernant l'endommagement des cellules et d'évaluer une possibilité de remise en fonctionnement du système de batterie ou de recyclages des cellules.

- [0060] Dans un mode de réalisation, le premier paramètre QDL1 est calculé à partir de la fonction d'estimation se basant sur la loi de Faraday et une valeur de courant correspondant à la différence entre le courant mesuré et la consigne pendant la durée de la charge conformément à la relation suivante :
- [0061] 
$$QDL1 = (I(t) - CC1) * \Delta t * \left(\frac{1}{F}\right).$$
- [0062] Le premier paramètre QLD1 peut être exprimé en moles ou en grammes en fonction de la masse molaire du lithium, ou en variante par une quantité d'énergie chargée exprimée en ampères-heures.
- [0063] Dans une autre variante du mode de calcul du premier paramètre QLD1, la fonction d'estimation comporte le coefficient de diffusion paramétrable  $K_{diff}$  appliqué à la valeur de la consigne CC1. Le coefficient de diffusion permet d'ajuster la calibration du phénomène de déposition selon des hypothèses ou observations déterminées expérimentalement. Le coefficient de diffusion permet de calibrer une marge de protection empiriquement.
- [0064] En outre, le procédé de protection comporte le calcul 65 du deuxième paramètre QLD2 représentatif d'une quantité de déposition de lithium cumulée durant l'utilisation du système de batterie, au cours de plusieurs phase de charge. Ce paramètre QLD2 assure le suivi de la déposition tout au long de la vie d'utilisation du système de batterie. Il permet d'établir des mesures de protection. Il vise en particulier à surveiller le phénomène de déposition lente. Le paramètre QLD2 est calculé selon la relation suivante :
- [0065] 
$$QDL2(t) = QDL2(t - 1) + QDL1(t),$$
 t étant un pas de calcul temporel en seconde.
- [0066] Le procédé comporte en outre une étape de commande d'une protection 66 dépendante de la première quantité de déposition de lithium QDL1 et du deuxième paramètre QLD2. Plus précisément, la protection 66 comporte au moins une première commande pour limiter la consigne de courant de charge lorsque le deuxième paramètre QLD2 franchit un premier seuil de déposition. Cette étape prévoit plusieurs seuils de déposition déclenchant chacun une limitation de courant spécifique configurés de manière graduelle de sorte à réduire progressivement la consigne de courant si le phénomène de dépassement de consigne persiste. Cette action corrective permet de traiter le phénomène de dépassement persistant et susceptible d'entraîner de la déposition et ayant une durée furtive empêchant leur détection par les mécanismes de protection sujets à validation par temporisation. Chaque seuil est exprimé en une quantité de déposition de lithium, en mole ou en gramme, ou en quantité d'énergie. Les seuils sont déterminés par voie expérimentale et enregistrés en mémoire de l'unité de commande.
- [0067] Les limitations de courant peuvent être configurées de manière à réduire la consigne

de courant CC1 d'une valeur comprise entre 100% et 50% de la valeur de la consigne, par exemple, de manière progressive, en fonction de la valeur du paramètre QDL2 entre 0% et 100% de la valeur d'un seuil de déposition maximal. Une table de limitation de courant enregistrée en mémoire de l'unité de commande prenant en entrée le paramètre QDL2 délivre une valeur de limitation.

- [0068] En outre, la commande de protection 66 peut comporter une deuxième commande pour l'ouverture d'un commutateur de la ligne de charge du système de batterie lorsque le deuxième paramètre QLD2 est supérieur à un deuxième seuil de déposition maximale. Le deuxième seuil correspond à une quantité de déposition maximale calibrée pour mettre fin à l'utilisation de la batterie et signaler à l'utilisateur la réalisation d'un diagnostic en maintenance afin d'évaluer la possibilité d'un recyclage ou non.
- [0069] Eventuellement, le procédé comporte la commande pour l'ouverture définitive d'un commutateur de la ligne de charge du système de batterie lorsque le deuxième paramètre QLD2 est supérieur à un troisième seuil de déposition, la troisième commande d'ouverture définitive interdisant une utilisation postérieure de l'élément de stockage. Ce troisième seuil est égal ou supérieur au deuxième seuil. Il correspond à un niveau de déposition critique pour lequel les cellules doivent être remplacées.
- [0070] Lorsque le courant  $i(t)$  retourne à une valeur inférieure à la consigne CC1, la phase de charge 62 est pilotée en fonctionnement nominal. Les paramètres QDL1 et QDL2 ne sont plus incrémentés.
- [0071] En [Fig.4], un véhicule électrifié 80 comportant un système de batterie 83 selon l'invention est représenté schématiquement. Le véhicule peut être un véhicule hybride ou à motorisation entièrement électrique. Le véhicule 80 comporte une machine motrice électrique 81 prévue pour déplacer le véhicule et alimentée par le système de batterie 83. Certaines ou toutes les fonctions du véhicule 80 sont contrôlées par une unité de commande 82. L'unité de commande 82 peut comprendre au moins un processeur qui exécute des instructions stockées dans un support lisible par ordinateur tel qu'une mémoire non volatile. L'unité de commande 82 peut également être de multiples dispositifs informatiques qui contrôlent des composants individuels ou des sous-systèmes du véhicule 80 d'une manière distribuée. Le processeur peut être n'importe quel processeur classique, tel qu'une unité centrale de traitement disponible dans le commerce. En variante, le processeur peut être un dispositif dédié tel qu'un circuit intégré spécifique à une application (ASIC) ou un autre processeur matériel.
- [0072] La machine motrice 81 et le système de batterie 83 peuvent être commandés en fonctionnement de freinage récupératif. Le système de batterie comporte une unité de commande 84 comprenant un calculateur et des mémoires configurés pour la mise en œuvre du procédé de protection selon l'invention. En particulier, les mémoires ont un

programme enregistré comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par l'unité de commande du système de batterie, conduisent celui-ci à mettre en œuvre l'un quelconque des modes de réalisation du procédé de contrôle selon l'invention. En outre, l'unité de commande 84 est reliée en communication avec des calculateurs du véhicule au moyen d'un bus de communication embarqué 88, par exemple de type CAN (Controler Area Network » en anglais), pour délivrer la commande de protection et/ou de diagnostic déterminée à partir du procédé selon l'invention. Le véhicule comporte en outre un convertisseur de tension 85 de type DC/DC ou AC/DC. Le véhicule comporte en outre un relais ou commutateur électrique 86 prévu pour déconnecter et connecter sélectivement le système de batterie 83 des systèmes électriques du véhicule et, éventuellement d'un boîtier de recharge 87. Le boîtier de recharge est une interface permettant la connexion d'un câble de recharge 89 à une source d'énergie externe 90 reliée à un réseau d'alimentation électrique étendu 91 fonctionnant en tension alternative. Les commandes de protection générées par le procédé selon l'invention comprennent l'ouverture d'un ou de relais 86 et la commande de limitation de la consigne de courant vers la fonction de contrôle de courant du système de batterie.

[0073] L'invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que la personne de l'art est à même de réaliser différentes variantes de réalisation de l'invention en associant par exemple les différentes caractéristiques ci-dessus prises seules ou en combinaison, sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de protection d'un système de batterie (1) comprenant un élément de stockage d'énergie (10), le procédé étant mis en œuvre par une unité de commande (13) dudit système de batterie (1) et comprenant les étapes suivantes :
- une phase de charge comprenant la détermination (62) d'une consigne du courant de charge maximum autorisé (CC1) et la mesure d'un courant de charge instantané ( $I(t)$ ) du système de batterie (1),
  - la surveillance (63) si le courant mesuré ( $I(t)$ ) est supérieur à la consigne (CC1),
- caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :
- en cas de détection que le courant mesuré ( $i(t)$ ) est supérieur à la consigne (CC1), le calcul (64) d'un premier paramètre représentatif d'une quantité de déposition de lithium (QDL1) en surface d'une électrode de l'élément de stockage (10) de la batterie (1) pendant la durée de détection,
  - la commande (66) d'une protection dépendante du premier paramètre (QDL1).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le premier paramètre (QDL1) est calculé à partir d'une fonction d'estimation se basant sur la loi de Faraday et une valeur de courant correspondant à la différence entre le courant mesuré ( $i(t)$ ) et la consigne (CC1) pendant la durée de détection.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel la fonction d'estimation comporte un coefficient de diffusion paramétrable ( $K_{diff}$ ) appliqué à la valeur de la consigne (CC1).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comportant en outre le calcul (65) d'un deuxième paramètre (QDL2) représentatif de la quantité de déposition de lithium cumulée et qui est calculée à partir de la somme de valeurs du premier paramètre (QDL1) calculées lors de plusieurs phases de charge.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel la commande (66) d'une protection comporte au moins une première commande (CP1) pour limiter la consigne de courant de charge (CC1) lorsque le deuxième paramètre (QDL2) franchit un premier seuil de déposition.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la commande (66) d'une protection comporte une deuxième commande (CP2) pour

l'ouverture d'un commutateur (14) de la ligne de charge du système de batterie (1) lorsque le deuxième paramètre (QDL2) est supérieur à un deuxième seuil de déposition maximale.

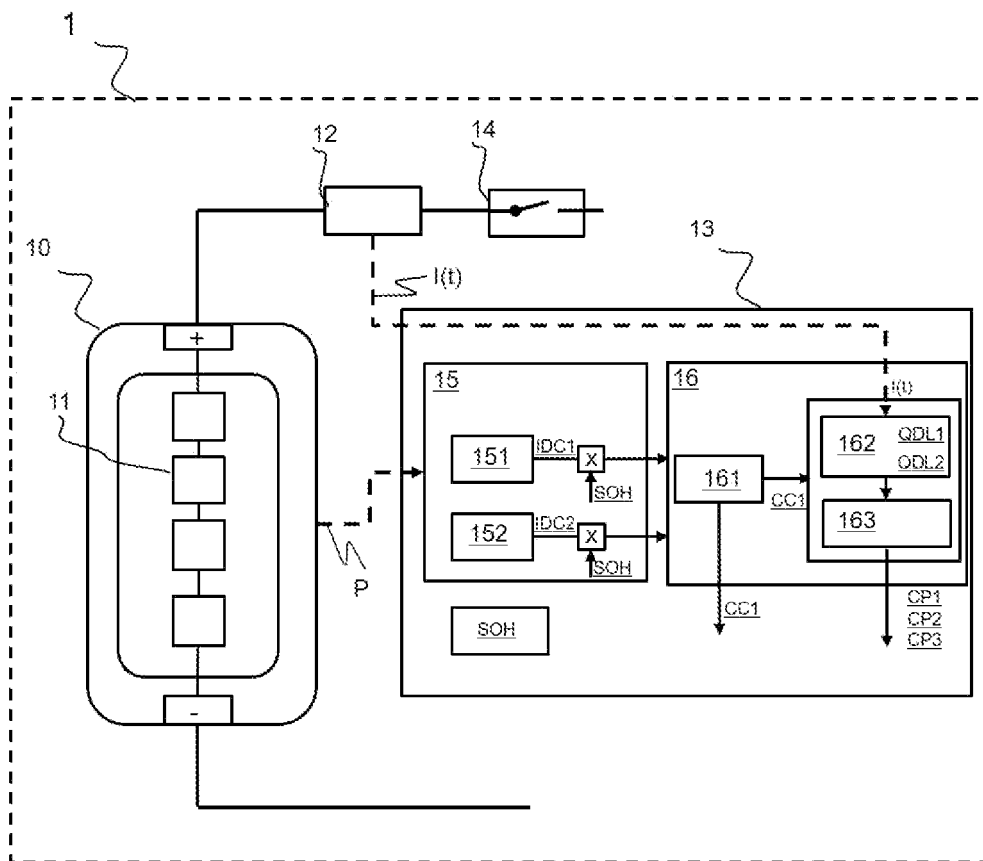
[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel la commande (66) d'une protection comporte une troisième commande (CP3) pour l'ouverture définitive d'un commutateur (14) de la ligne de charge du système de batterie (1) lorsque le deuxième paramètre (QDL2) est supérieur à un troisième seuil de déposition, la troisième commande d'ouverture définitive interdisant une utilisation postérieure de l'élément de stockage.

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la consigne (CC1) est délivrée par une première table de courant continu (151) prenant en entrée des paramètres électriques mesurés (P) lors de la phase de charge, la première table (151) délivrant des valeurs de la consigne applicable pendant une première durée fixe (D1) à partir d'un état de référence de l'élément de stockage (10) correspondant aux paramètres électriques mesurés (P).

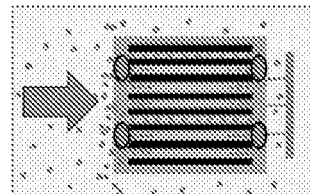
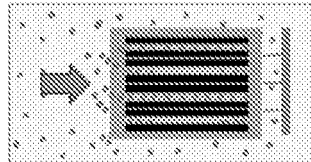
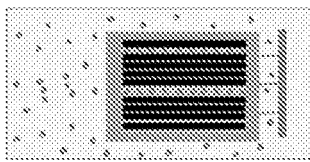
[Revendication 9] Système de batterie (1) comportant un élément de stockage d'énergie (10) et une unité de commande (13) configurée spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé de protection selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Revendication 10] Véhicule électrifié (80) comportant un système de batterie (83) selon la revendication 9.

[Fig. 1]



[Fig. 2]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 923950**  
**FR 2310878**

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	EP 4 220 817 A1 (BYD CO LTD [CN]) 2 août 2023 (2023-08-02) * alinéas [0010] - [0011], [0014] - [0022] * -----	1-10	G01R 31/36 H01M 10/44 H01M 10/46 H01M 10/48 H02J 7/00
X	US 2022/255336 A1 (LI HAILI [CN]) 11 août 2022 (2022-08-11) * alinéas [0009] - [0013], [0042] - [0060] * -----	1, 9, 10	
A	EP 4 184 188 A1 (HUAWEI TECH CO LTD [CN]) 24 mai 2023 (2023-05-24) * abrégé * -----	1-10	
A	WO 2009/126797 A1 (APPLE INC [US]; GREENING THOMAS C [US] ET AL.) 15 octobre 2009 (2009-10-15) * abrégé * -----	1-10	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b>
			H01M H02J G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>26 avril 2024</b>		<b>Mercedes González</b>	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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		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	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2310878 FA 923950**

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 **26-04-2024**  
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
<b>EP 4220817 A1</b>	<b>02-08-2023</b>	<b>CN 114285103 A</b>	<b>05-04-2022</b>
		<b>EP 4220817 A1</b>	<b>02-08-2023</b>
		<b>JP 2023544289 A</b>	<b>23-10-2023</b>
		<b>KR 20230069182 A</b>	<b>18-05-2023</b>
		<b>US 2023231403 A1</b>	<b>20-07-2023</b>
		<b>WO 2022063236 A1</b>	<b>31-03-2022</b>
-----			
<b>US 2022255336 A1</b>	<b>11-08-2022</b>	<b>CN 116250110 A</b>	<b>09-06-2023</b>
		<b>EP 4071885 A1</b>	<b>12-10-2022</b>
		<b>US 2022255336 A1</b>	<b>11-08-2022</b>
		<b>WO 2022170481 A1</b>	<b>18-08-2022</b>
-----			
<b>EP 4184188 A1</b>	<b>24-05-2023</b>	<b>CN 112703125 A</b>	<b>23-04-2021</b>
		<b>EP 4184188 A1</b>	<b>24-05-2023</b>
		<b>WO 2022032460 A1</b>	<b>17-02-2022</b>
-----			
<b>WO 2009126797 A1</b>	<b>15-10-2009</b>	<b>CN 102057554 A</b>	<b>11-05-2011</b>
		<b>EP 2266181 A1</b>	<b>29-12-2010</b>
		<b>JP 5342311 B2</b>	<b>13-11-2013</b>
		<b>JP 2009302038 A</b>	<b>24-12-2009</b>
		<b>KR 20100132548 A</b>	<b>17-12-2010</b>
		<b>US 2009259420 A1</b>	<b>15-10-2009</b>
		<b>WO 2009126797 A1</b>	<b>15-10-2009</b>
-----			