(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 071 105**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **17 58499**

(51) Int Cl[8] : ***H 01 M 8/18*** *(2018.01)*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) METHODE DE SUIVI IN-SITU D'UNE BATTERIE A CIRCULATION.

(22) **Date de dépôt :** 13.09.17.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 15.03.19 Bulletin 19/11.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 13.09.19 Bulletin 19/37.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

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

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *AREVA STOCKAGE D'ENERGIE* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** RAKOTONDRAINIBE ANDRE et BESSE SERGE.

(73) **Titulaire(s) :** AREVA STOCKAGE D'ENERGIE.

(74) **Mandataire(s) :** LAVOIX.

FR 3 071 105 - B1

Méthode de suivi in-situ d'une batterie à circulation

La présente invention concerne le domaine du suivi des batteries à circulation réversibles aussi nommées « reversible redox flow battery » selon la terminologie anglaise.

Une batterie à circulation réversible comprend un convertisseur électrochimique possédant au moins une cellule électrochimique configurée pour générer de l'électricité par réaction d'oxydoréduction entre deux fluides réactifs et pour régénérer les fluides réactifs lorsque la cellule électrochimique est alimentée en électricité. Chaque cellule électrochimique comprend deux compartiments, chacun pour la circulation d'un fluide réactif respectif, séparés par une membrane séparatrice.

Un convertisseur électrochimique comprend généralement plusieurs cellules électrochimiques, qui sont reliées électriquement en série et fluidiquement en parallèle. Les cellules électrochimiques sont généralement empilées et forment un empilement ou pile ou encore « stack » selon la terminologie anglaise.

Une batterie à circulation utilise des fluides réactifs stockés dans des réservoirs séparés de la ou des cellules électrochimiques, les réservoirs étant reliés fluidiquement aux compartiments de la ou de chaque cellule électrochimique pour la circulation des fluides réactifs dans les compartiments de la ou de chaque cellule électrochimique.

Les fluides réactifs sont à l'état de gaz ou à l'état de liquide. Au moins un des deux fluides réactifs est à l'état liquide (électrolyte liquide). Une batterie à circulation peut fonctionner avec un gaz et un électrolyte liquide (batterie à circulation liquide/gaz) ou avec deux électrolytes liquides (batterie à circulation liquide/liquide).

Une batterie à circulation est utilisable notamment comme solution de stockage d'énergie produite de manière intermittente par une source d'énergie telle qu'une centrale solaire, une centrale éolienne ou une centrale hydrolienne.

Lorsque la source d'énergie ne produit pas d'électricité, la batterie à circulation est utilisée pour générer de l'électricité par réaction d'oxydoréduction entre les fluides réactifs, et lorsque la source d'énergie produit de l'électricité, la batterie à circulation utilise cette électricité pour régénérer les fluides réactifs, et ainsi stocker de l'énergie sous forme chimique.

Le fonctionnement optimal des batteries à circulation nécessite la connaissance précise et fiable de l'état de charge du ou des fluide(s) réactif(s), l'état de charge d'un fluide réactif étant défini comme la capacité disponible exprimée en pourcentage de sa capacité nominale. Il correspond au rapport de concentration des espèces du couple oxydant/réducteur présent dans le fluide réactif.

La connaissance de l'état de charge d'un ou des fluide(s) réactif(s) permet d'estimer le temps durant lequel la batterie à circulation peut fournir ou absorber de l'énergie électrique. Cela permet ainsi de contrôler au mieux la charge ou la décharge de la batterie à circulation et d'éviter ainsi des surcharges ou des sur-décharges du ou des fluide(s) réactif(s) qui peuvent entrainer la génération d'espèces électro-actives indésirables, l'arrêt de la batterie à circulation voire la destruction d'une ou plusieurs cellule(s) électrochimique(s).

Pendant la durée de vie d'une batterie à circulation, les performances se dégradent progressivement du fait des variations physiques et chimiques ayant lieu pendant l'usage de la batterie à circulation. L'état de santé de la batterie à circulation est défini comme la capacité totale de la batterie à circulation à l'instant présent exprimé en pourcentage de la capacité totale initiale de la batterie à circulation. Il dépend à la fois de l'état de charge du ou des fluide(s) réactif(s) et de l'état d'usure des cellules électrochimiques.

Pour déterminer l'état de charge d'un électrolyte liquide dans une batterie à circulation, il est possible de réaliser des prélèvements périodiques d'électrolyte afin de doser les concentrations des couples d'espèces oxydants/réducteurs générés ou consommés pendant la phase de charge et de décharge.

Cette solution est difficile à mettre en pratique, le prélèvement d'un échantillon d'électrolyte pouvant être compliqué notamment si la batterie à circulation est exploitée en milieu confiné. D'autre part, l'analyse des échantillons n'est pas évidente en cas d'électrolyte corrosif ou toxique.

Il est également possible de suivre l'évolution de la réponse unitaire en tension-courant de la ou des cellule(s) électrochimique(s) de la batterie à circulation pendant la charge ou la décharge. Un dispositif de mesure est par exemple connecté aux bornes de la batterie à circulation pour mesurer la tension. Un courant d'entrée est appliqué aux bornes de la batterie à circulation et la tension en réponse à ces perturbations est mesurée aux bornes de la batterie à circulation. L'impédance de la batterie à circulation peut alors être obtenue et il peut en être déduit un état de santé partiel de la batterie à circulation.

Cependant, l'information obtenue est non sélective et ne permet pas de différencier l'état de charge du fluide réactif de l'état d'usure de la ou des cellules électrochimiques.

Un but de l'invention est d'obtenir une méthode facilement mise en œuvre, précise et fiable de suivi in-situ d'une batterie à circulation.

A cet effet, l'invention a pour objet une méthode de suivi in-situ d'une batterie à circulation comprenant un convertisseur électrochimique réversible comportant au moins une cellule électrochimique configurée pour générer de l'électricité par réaction d'oxydoréduction entre un premier fluide réactif et un deuxième fluide réactif au cours d'une décharge de la batterie à circulation, et pour recharger le premier fluide réactif et le deuxième fluide réactif au cours d'une charge de la batterie à circulation, le premier fluide réactif étant un électrolyte liquide, la méthode de suivi comportant la mesure d'une valeur de l'impédance électrochimique du premier fluide réactif in-situ dans la batterie à circulation et la détermination de l'état de charge du premier fluide réactif à partir de ladite valeur d'impédance électrochimique mesurée.

La méthode selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :

- la mesure de l'impédance électrochimique est effectuée à des fréquences supérieures à 1 kHz ;

- la méthode comprend la détermination de la conductivité ionique du premier fluide réactif à partir de ladite impédance électrochimique mesurée ;

- elle comprend la détermination de l'état de charge du premier fluide réactif au moyen d'une table numérique de correspondance entre la conductivité ionique et l'état de charge du premier fluide réactif ;

- le deuxième fluide réactif étant un électrolyte liquide, la méthode de suivi comprend la mesure d'une valeur de l'impédance électrochimique du deuxième fluide réactif in-situ dans la batterie à circulation, et la détermination de l'état de charge du deuxième fluide réactif à partir de ladite valeur d'impédance électrochimique mesurée.

- la méthode comprend la détermination d'un état de charge de la batterie à circulation en fonction de l'état de charge du premier fluide réactif et de l'état de charge du deuxième fluide réactif ;

- la méthode comprend la mesure de l'impédance du convertisseur électrochimique dans son ensemble, et la détermination d'un état d'usure en fonction de l'état de charge du premier fluide réactif et de l'impédance du convertisseur électrochimique ;

- la méthode comporte la mesure l'impédance individuelle d'au moins une cellule électrochimique et la détermination de l'état d'usure individuel de l'au moins une cellule électrochimique à partir de l'état de charge du premier fluide réactif et de ladite impédance individuelle.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue schématique d'une batterie à circulation ;
- la Figure 2 est un organigramme d'une méthode de suivi in-situ selon un des modes de réalisation de l'invention.
- la Figure 3 est une vue analogue à celle de la Figure 1 illustrant une batterie à circulation selon une variante ;
- la Figure 4 est un organigramme d'une méthode de suivi in-situ selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La batterie à circulation réversible 10 de la Figure 1 comprend un convertisseur électrochimique 11 réversible comportant au moins une cellule électrochimique 12 configurée pour générer de l'électricité par réaction d'oxydoréduction entre un premier fluide réactif et un deuxième fluide réactif au cours d'une décharge de la batterie à circulation 10, et pour recharger les fluides réactifs au cours d'une charge de la batterie à circulation 10.

Les premier et deuxième fluides réactifs sont ici deux électrolytes liquides, à savoir un électrolyte catholytique et un électrolyte anolytique.

Le convertisseur électrochimique 11 comprend ici une seule cellule électrochimique 12. Le convertisseur électrochimique 11 comprend en variante plusieurs cellules électrochimiques 12 analogues reliées fluidiquement et électriquement entre elles de manière connue en soi. Ces cellules électrochimiques 12 sont par exemple empilées pour former un empilement ou « stack » selon la terminologie anglaise.

Chaque cellule électrochimique 12 comprend un premier compartiment 14 configuré pour la circulation du premier fluide réactif et un deuxième compartiment 16 configuré pour la circulation du deuxième fluide réactif.

Chaque cellule électrochimique 12 comprend une membrane 18, qui peut être échangeuse d'ions ou encore simple séparateur physique, séparant physiquement le premier compartiment 14 et le deuxième compartiment 16. La membrane 18 est par exemple une membrane échangeuse de protons (ou PEM pour « proton exchange membrane »), ou bien par exemple une membrane séparatrice poreuse.

Chaque cellule électrochimique 12 comprend une première électrode 20 et une deuxième électrode 22 situées de part et d'autre de la membrane 18. La première électrode 20 est située du côté du premier compartiment 14. La deuxième électrode 22 est située du côté du deuxième compartiment 16.

Le convertisseur électrochimique 11 comprend une première borne 24 et une deuxième borne 26 permettant de relier électriquement le convertisseur électrochimique 11 à une charge électrique lors de la décharge de la batterie à circulation 10, ou à une source électrique lors de la charge de la batterie à circulation 10.

La batterie à circulation 10 comprend un premier circuit 28 configuré pour la circulation du premier fluide réactif à travers le premier compartiment 14 de chaque cellule électrochimique 12.

Le premier circuit 28 comprend un premier réservoir 30 de stockage du premier fluide réactif, le premier réservoir 30 étant relié fluidiquement au premier compartiment 14 de chaque cellule électrochimique 12.

Le premier circuit 28 comprend ici une première pompe de circulation 32 pour la mise en circulation du premier fluide réactif dans le premier circuit 28 au cours du fonctionnement de la batterie à circulation 10.

La batterie à circulation 10 comprend un deuxième circuit 34 configuré pour la circulation du deuxième fluide réactif à travers le deuxième compartiment 16 de chaque cellule électrochimique 12.

Le deuxième circuit 34 comprend un deuxième réservoir 36 de stockage du deuxième fluide réactif, le deuxième réservoir 36 étant relié fluidiquement au deuxième compartiment 16 de chaque cellule électrochimique 12.

Le deuxième circuit 34 comprend ici une deuxième pompe de circulation 38 pour la mise en circulation du deuxième fluide réactif dans le deuxième circuit 34 au cours du fonctionnement de la batterie à circulation 10.

Les premier et deuxième fluides réactifs contiennent chacun en solution un réactif pour la réaction d'oxydoréduction et un produit de réaction généré par la réaction d'oxydoréduction entre le réactif du premier fluide réactif et le réactif du deuxième fluide réactif. Selon la charge de la batterie à circulation 10, la proportion de réactif et de produit de réaction dans le premier fluide réactif et dans le deuxième fluide réactif varie.

Le premier circuit 28 comprend ici un premier dispositif de mesure d'impédance 40 configuré pour mesurer l'impédance du premier fluide réactif in-situ, c'est-à-dire au sein de la batterie à circulation 10, dans le premier circuit 28. La mesure d'impédance in-situ est effectuée sans prélèvement de premier fluide réactif.

Le premier dispositif de mesure 40 comprend au moins deux électrodes 42 disposées de manière à plonger dans le premier fluide réactif dans le premier circuit 28, ici dans le premier réservoir 30.

Le premier dispositif de mesure 40 comprend une source électrique 44 propre à imposer un courant électrique entre les deux électrodes de mesure 42, un module de

mesure 46 configuré pour mesurer la tension électrique entre les électrodes de mesure 42 et un module de calcul 47 configuré pour déterminer une valeur d'impédance du premier fluide réactif en fonction du courant imposé et de la tension mesurée et pour en déduire l'état de charge du premier fluide réactif.

Le deuxième circuit 34 comprend en option un deuxième dispositif de mesure 48 configuré pour mesurer l'impédance du deuxième fluide réactif in-situ, c'est-à-dire au sein de la batterie à circulation 10, dans le deuxième circuit 34.

Le deuxième dispositif de mesure 48 comprend au moins deux électrodes 50 disposées de manière à plonger dans le deuxième fluide réactif dans le deuxième circuit 34, ici dans le deuxième réservoir 36.

Le deuxième dispositif de mesure 48 comprend une source de tension 52 propre à imposer un courant entre les deux électrodes de mesure 50, et un module de mesure 54 configuré pour mesurer la tension électrique entre les électrodes de mesure 50 et un module de calcul 55 configuré pour déterminer une valeur d'impédance du deuxième fluide réactif en fonction du courant imposé et de la tension mesurée et pour en déduire l'état de charge du deuxième fluide réactif.

La batterie à circulation 10 comprend en option un dispositif de mesure additionnel 56 comprenant un module de mesure 58 configuré pour mesurer la tension aux bornes 24 et 26 du convertisseur électrochimique 11 et/ou la tension entre les électrodes d'au moins une cellule électrochimique 12. Le dispositif de mesure d'impédance additionnel 56 comprend également un module de calcul 60 configuré pour déterminer une valeur d'impédance du convertisseur électrochimique 11 et/ou une ou plusieurs valeurs d'impédance de cellule, chaque valeur d'impédance de cellule étant représentative de l'impédance individuelle d'une cellule électrochimique 12.

Lorsque le convertisseur électrochimique 11 comprend plusieurs cellules électrochimique 12, l'impédance du convertisseur électrochimique 11 est représentative de l'impédance collective de l'ensemble des cellules électrochimiques 12. L'impédance de cellule est représentative de l'impédance individuelle d'une cellule électrochimique 12 particulière entre les électrodes de laquelle l'impédance de cellule est mesurée.

Une première méthode de suivi in-situ selon l'invention, illustrée par la Figure 2, est mise en œuvre pour déterminer l'état de charge des premier et deuxième fluides réactifs.

La méthode de suivi comprend la mesure in-situ d'une valeur d'impédance du premier fluide réactif de la batterie à circulation 10, à l'aide du premier dispositif de mesure d'impédance 40 équipant le premier circuit 28.

Pour ce faire, la méthode de suivi comprend une étape 100 de détermination d'une valeur d'impédance du premier fluide réactif.

Cette étape 100 comprend l'application d'un courant entre les électrodes de mesure 42 du premier dispositif de mesure 40, la mesure de la tension entre les électrodes de mesure 42, et la détermination d'une valeur d'impédance en fonction du courant appliqué et de la tension mesurée.

Le courant appliqué comprend par exemple une séquence de perturbations sinusoïdales de fréquence variable balayant une gamme de fréquences. Ce type de mesure d'impédance est nommé spectroscopie d'impédance électrochimique. Il permet de tracer une courbe de l'impédance du fluide réactif considéré en fonction de la fréquence comprise entre 20 kHz à 0,1 mHz. De façon avantageuse, le courant appliqué est à haute fréquence, c'est-à-dire une fréquence comprise entre 1 kHz et 10 kHz, notamment une fréquence comprise entre 1 kHz et 5 kHz.

Les hautes fréquences étant balayées très rapidement, l'acquisition des mesures se fait plus rapidement qu'à basse fréquence. De plus, la mesure à haute fréquence permet de minimiser les erreurs de mesure ce qui permet une estimation de l'état de charge du fluide réactif plus précise et plus fiable.

La tension en réponse au courant appliqué est mesurée par le module de mesure 46. Le module de calcul 47 détermine l'impédance électrochimique du premier fluide réactif en divisant la tension mesurée par l'intensité du courant appliqué.

La méthode de suivi comprend une étape 110 de détermination de l'état de charge du premier fluide réactif en fonction de la valeur d'impédance mesurée. Cette détermination est effectuée par le module de calcul 47 en déterminant la conductivité ionique du fluide réactif à partir de la valeur d'impédance électrochimique, puis en déterminant l'état de charge à partir de la conductivité ionique.

La conductivité ionique du premier fluide réactif, caractérisant la facilité qu'a le premier fluide réactif à laisser passer le courant, est déduite de ladite impédance électrochimique. De manière générale, la conductivité ionique d'un fluide réactif dépendant directement de la concentration des espèces chimiques du couple oxydant/réducteur du fluide réactif.

L'état de charge du premier fluide réactif est déduit de ladite conductivité ionique par exemple à l'aide d'une table numérique de correspondance 62 prédéterminée indiquant l'état de charge du premier fluide réactif en fonction de la conductivité ionique. La table de correspondance 62 est par exemple lue par le module de calcul 47.

Dans un autre mode de mise en œuvre, la table de correspondance est représentée sous la forme d'un abaque 62 représentant graphiquement la table

numérique de correspondance entre la conductivité ionique du premier fluide réactif et l'état de charge du premier fluide réactif, l'abaque 62 pouvant être lue par un opérateur pour déterminer l'état de charge à partir d'une valeur de la conductivité fournie par le module de calcul 47.

L'établissement de la table de correspondance numérique nécessite une étape préalable de pré-caractérisation de l'évolution de la conductivité ionique du premier fluide réactif en fonction de l'état de charge du premier fluide réactif.

L'état de charge du deuxième fluide réactif dépend directement en principe de celui du premier réactif, et peut donc être déterminé à partir de l'état de charge du premier fluide réactif.

En option, la méthode de suivi comprend la détermination de l'état de charge du deuxième fluide réactif par une mesure in-situ de l'impédance électrochimique du deuxième fluide réactif, de manière analogue à celle du premier fluide réactif. Pour ce faire, la méthode de suivi comprend une étape 120 de détermination d'une valeur d'impédance du deuxième fluide réactif, comprend l'application d'un courant entre les électrodes de mesure 50 du deuxième dispositif de mesure 48, la mesure de la tension entre les électrodes de mesure 42, et la détermination d'une valeur d'impédance en fonction du courant appliqué et de la tension mesurée.

La méthode de suivi comprend une étape 130 de détermination de l'état de charge du deuxième fluide réactif en fonction de la valeur d'impédance mesurée. Cette détermination est effectuée par le module de calcul 55 en déterminant la conductivité ionique du fluide réactif à partir de la valeur d'impédance électrochimique, puis en déterminant l'état de charge du fluide réactif à partir de la conductivité ionique du fluide réactif.

L'utilisation par exemple d'une table numérique de correspondance 64 prédéterminée indiquant l'état de charge du deuxième fluide réactif en fonction de la conductivité ionique permet de déduire l'état de charge du deuxième fluide réactif à partir de la conductivité ionique du deuxième fluide réactif. La table de correspondance 64 est par exemple lue par le module de calcul 55.

Dans autre un mode de mise en œuvre, la table de correspondance 64 est représentée sous la forme d'un abaque 64 représentant graphiquement la table numérique de correspondance entre la conductivité ionique du deuxième fluide réactif et l'état de charge du deuxième fluide réactif, l'abaque 64 étant lu par un opérateur.

En option, la méthode de suivi comprend une étape 140 de détermination d'une valeur de l'impédance du convertisseur électrochimique 11.

Pour ce faire, la méthode de suivi comprend l'application d'un courant aux bornes 24 et 26 du convertisseur électrochimique 11 à l'aide de la source électrique, non représenté ici, et la mesure de la tension aux bornes du convertisseur électrochimique 11 par le module de mesure 58. De façon avantageuse, le courant appliqué est à haute fréquence. A partir des mesures de la tension obtenue, le module de calcul 60 détermine simplement l'impédance de convertisseur représentative de l'impédance du convertisseur électrochimique 11 dans son ensemble.

En option, la méthode de suivi comprend une étape 150 de détermination de l'état d'usure du convertisseur électrochimique 11. Cette détermination est effectuée par le module de calcul 60 à partir des états de charge des deux fluides réactifs et de l'impédance du convertisseur électrochimique 11. En effet, l'impédance du convertisseur électrochimique 11 dépend de l'état de charge des premier et deuxième fluides réactifs ainsi que de l'état d'usure de chaque cellule électrochimique 12 du convertisseur électrochimique 11. L'état d'usure de la cellule électrochimique 12 influe directement sur la capacité de la cellule électrochimique 12 à laisser passer le courant, autrement dit sur son impédance.

En option la méthode de suivi comprend la détermination d'une valeur unitaire de l'impédance d'au moins une parmi plusieurs cellules électrochimiques 12 du convertisseur électrochimique 11, prise individuellement.

Pour ce faire, la méthode de suivi comprend la mesure de l'impédance électrochimique entre les électrodes de la cellule électrochimique 12 considérée. Pour l'application d'un courant, il est possible d'appliquer ce courant aux électrodes de la cellule électrochimique 12 considérée ou aux bornes du convertisseur électrochimique 11. La tension est mesurée entre les électrodes de la cellule électrochimique 12.

Cette méthode de suivi in-situ de la batterie à circulation 10 selon l'invention permet d'obtenir un état de santé de la batterie de circulation 10 caractérisé par l'état de charge du premier fluide réactif et, optionnellement, du deuxième fluide réactif, ainsi que de l'état d'usure de chaque cellule électrochimique 12. Ledit état de santé de la batterie à circulation 10 est obtenu au moyen de mesures et d'une méthode facilement mis en œuvre et de façon précise et fiable grâce à la mesure in-situ de l'impédance électrochimique à haute fréquence du premier fluide réactif, et, optionnellement, du deuxième fluide réactif. La caractérisation de l'état de santé de la batterie à circulation 10 est complet en ce que l'état de charge des fluides réactifs et dissocié de l'état d'usure de la cellule électrochimique 12. De plus, les mesures séparées des deux fluides réactifs de détecter un comportement anormal d'un des deux fluides réactifs, en cas de fuite par exemple.

Selon un mode alternatif de l'invention, une deuxième méthode de suivi in-situ selon l'invention, illustrée par la Figure 4, est mise en œuvre pour déterminer l'état de charge des premier et deuxième fluides réactifs.

Le deuxième fluide réactif peut être un électrolyte liquide ou un gaz réactif.

La deuxième méthode de suivi diffère de la première méthode en ce que seul l'état de charge du premier fluide réactif est déterminé par la mesure d'impédance électrochimique lors d'une étape 100, la détermination dudit état de charge du premier fluide réactif étant réalisé de façon identique à la première méthode lors d'une étape 110.

Les concentrations des espèces chimiques du premier fluide réactif sont liées aux concentrations des espèces chimiques du deuxième fluide réactif, la réaction d'oxydo-réduction ayant lieu dans la cellule électrochimique 12 permettant de caractériser les variations de concentration du deuxième fluide réactif à partir des variations de concentration du premier fluide réactif. Lors d'une étape 130, connaissant l'état de charge initial du deuxième fluide réactif, l'état de charge du deuxième fluide réactif est ainsi déduit de l'état de charge du premier fluide réactif.

Cette deuxième méthode de suivi in-situ de la batterie à circulation 10 selon l'invention permet une détermination de l'état de santé de la batterie à circulation 10 au moyen d'une mesure de moins que la première méthode, simplifiant ainsi la méthode et la batterie à circulation.

Dans les différents modes de réalisation, chacun des modules de calcul 47, 55 et 60 est par exemple prévu sous la forme d'un application informatique comprenant des instructions de code logiciel enregistrées dans une mémoire informatique et exécutables par un processeur. En variante, au moins un des modules de calcul 47, 55 et 60 est prévu sous la forme d'un circuit intégré dédié (ou ASIC pour « Application Specific Integrated Circuit) ou d'un composant logique programmable.

REVENDICATIONS

1.- Méthode de suivi in-situ d'une batterie à circulation (10) comprenant un convertisseur électrochimique (11) réversible comportant au moins une cellule électrochimique (12) configurée pour générer de l'électricité par réaction d'oxydoréduction entre un premier fluide réactif et un deuxième fluide réactif au cours d'une décharge de la batterie à circulation (10), et pour recharger le premier fluide réactif et le deuxième fluide réactif au cours d'une charge de la batterie à circulation (10), le premier fluide réactif étant un électrolyte liquide, la méthode de suivi comportant :

- la mesure d'une valeur de l'impédance électrochimique du premier fluide réactif in-situ dans la batterie à circulation (10),
- la détermination de l'état de charge du premier fluide réactif à partir de ladite valeur d'impédance électrochimique mesurée.

2.- Méthode de suivi selon la revendication 1, dans laquelle la mesure de l'impédance électrochimique est effectuée à des fréquences supérieures à 1 kHz.

3.- Méthode de suivi selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant la détermination de la conductivité ionique du premier fluide réactif à partir de ladite impédance électrochimique mesurée.

4.- Méthode de suivi selon la revendication 3, comprenant la détermination de l'état de charge du premier fluide réactif au moyen d'une table numérique de correspondance entre la conductivité ionique et l'état de charge du premier fluide réactif.

5.- Méthode de suivi selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle, le deuxième fluide réactif étant un électrolyte liquide, la méthode de suivi comprend la mesure d'une valeur de l'impédance électrochimique du deuxième fluide réactif in-situ dans la batterie à circulation (10), et la détermination de l'état de charge du deuxième fluide réactif à partir de ladite valeur d'impédance électrochimique mesurée.

6.- Méthode de suivi selon la revendication 5, comprenant la détermination d'un état de charge de la batterie à circulation (10) en fonction de l'état de charge du premier fluide réactif et de l'état de charge du deuxième fluide réactif.

7.- Méthode de suivi selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant la mesure de l'impédance du convertisseur électrochimique (11) dans son ensemble, et la détermination d'un état d'usure en fonction de l'état de charge du premier fluide réactif et de l'impédance du convertisseur électrochimique (11).

8.- Méthode de suivi selon la revendication 1, comportant la mesure l'impédance individuelle d'au moins une cellule électrochimique (12) et la détermination de l'état

d'usure individuel de l'au moins une cellule électrochimique (12) à partir de l'état de charge du premier fluide réactif et de ladite impédance individuelle.

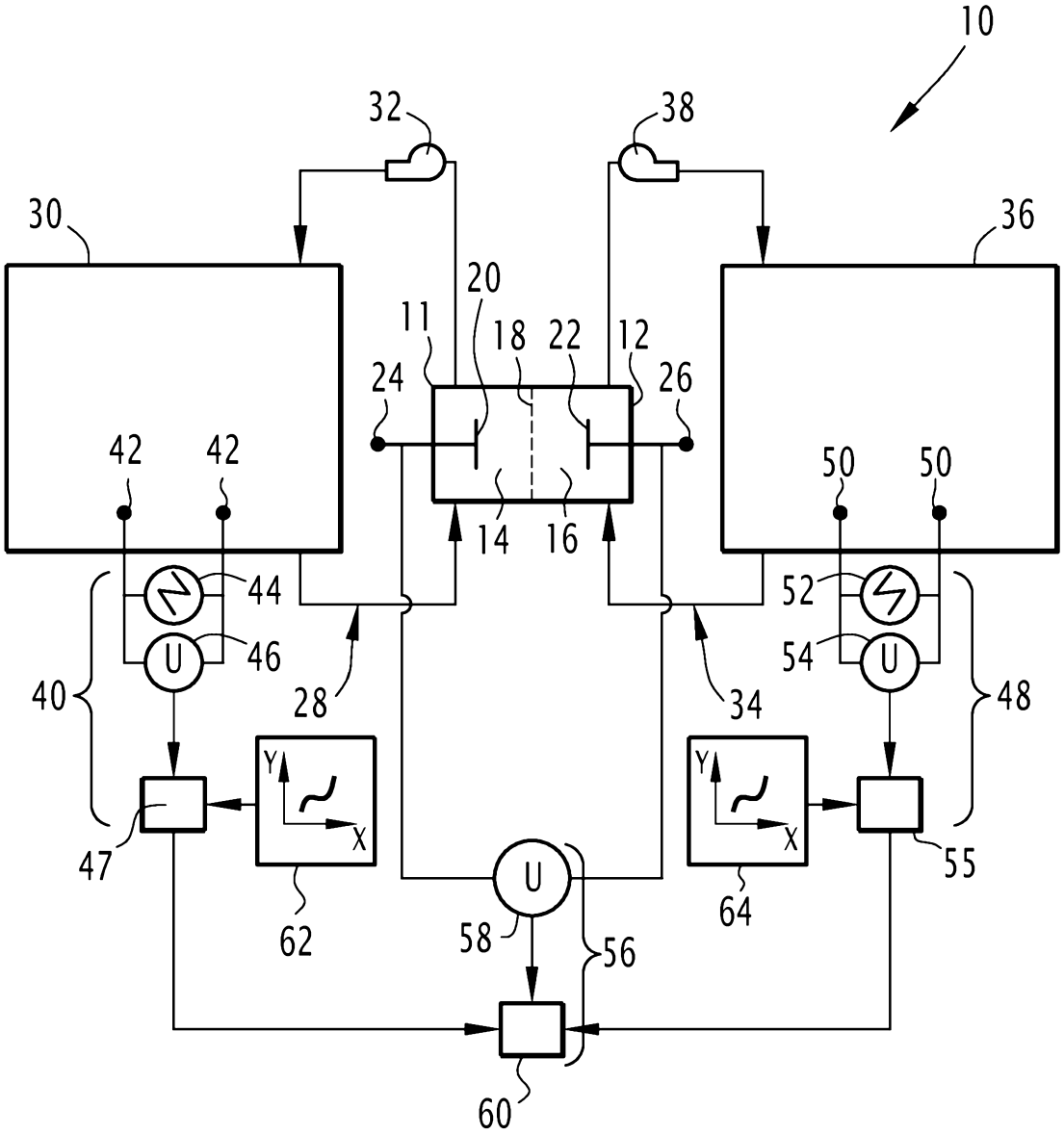

10
32
38
30
36
20
11
18
22
12
24
26
42
42
50
50
14
16
44
52
U
46
54
U
40
28
34
48
Y
X
Y
X
47
55
U
62
58
64
56
60

FIG.1

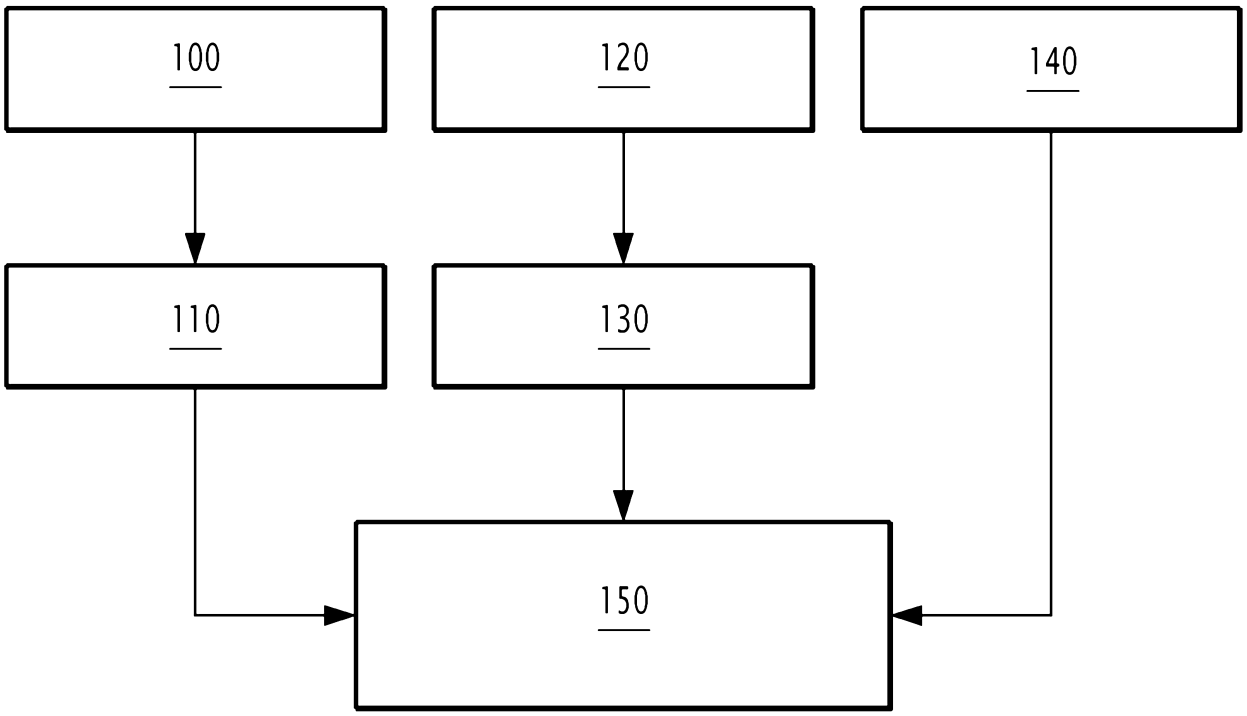


FIG.2

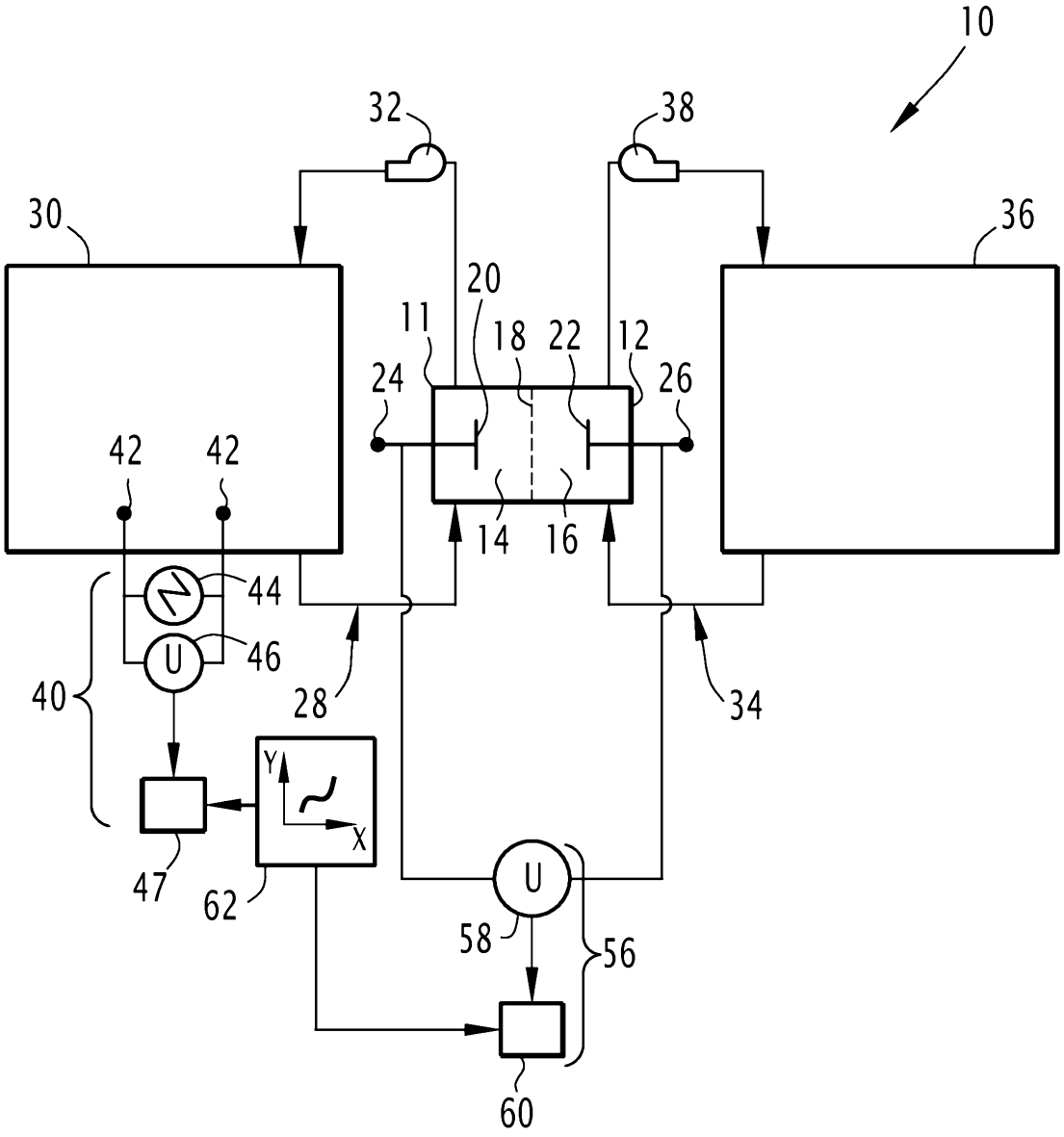

10
32
38
30
36
20
11
18
22
12
24
26
42
42
14
16
44
46
40
28
34
Y
X
47
62
U
58
56
60

FIG.3

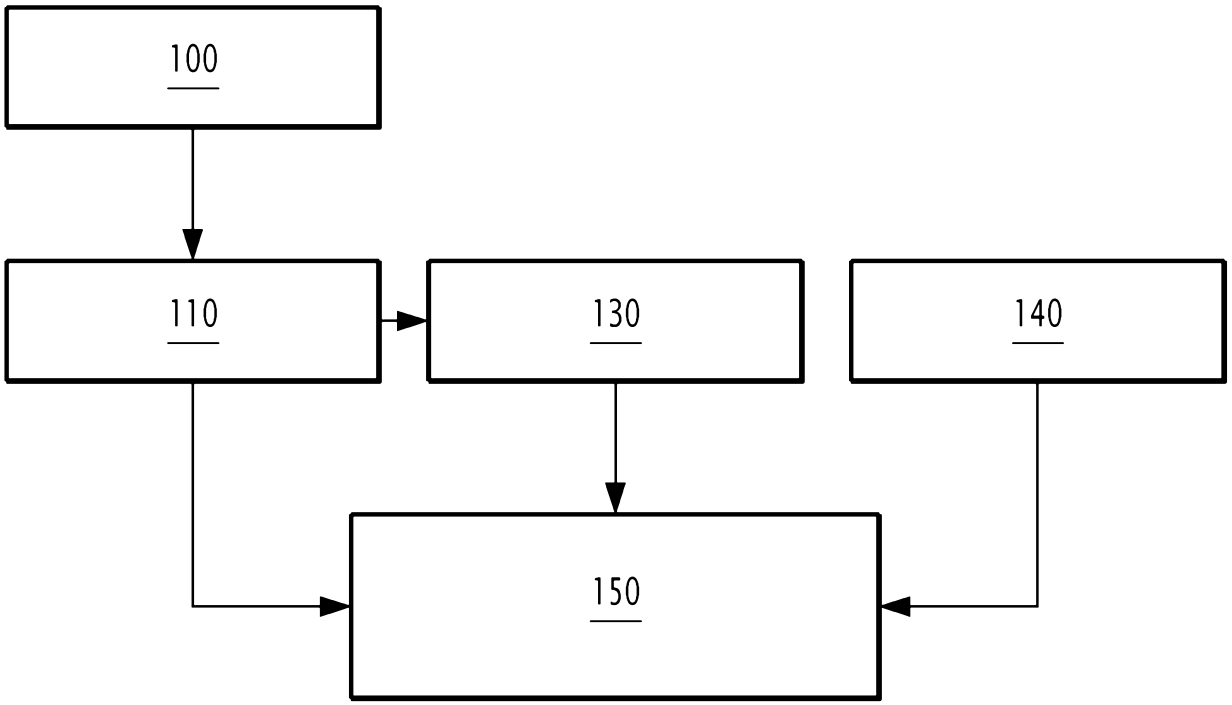


FIG.4

N° d'enregistrement national : FR1758499 N° de publication : FR3071105

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

[x] Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION
WO 00/31557 A1 (KOREA KUMHO PETROCHEM CO LTD [KR]) 2 juin 2000 (2000-06-02) EP 1 816 694 A1 (TOSHIBA BATTERY [JP]) 8 août 2007 (2007-08-08) WO 2016/023989 A1 (TRUMPF HÜTTINGER GMBH & CO KG [DE]) 18 février 2016 (2016-02-18) WO 2010/144834 A2 (MONTANA TECH OF THE UNIVERSITY OF MONTANA [US]; MORRISON JOHN L [US];) 16 décembre 2010 (2010-12-16)
2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL
NEANT
3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES
NEANT