

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.07.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.02.21 Bulletin 21/05.

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) : Commissariat à l'Energie Atomique et
aux Energies Alternatives Etablissement public — FR.

72 Inventeur(s) : VINCENT Rémi, CHAVILLON Benoît
et MAYOUSSE Eric.

73 Titulaire(s) : Commissariat à l'Energie Atomique et
aux Energies Alternatives Etablissement public.

74 Mandataire(s) : MODULO.

54 Système d'alimentation électrique à modules Li/MnO₂.

57 L'invention concerne un système d'alimentation élec-
trique (1, 10) comportant :

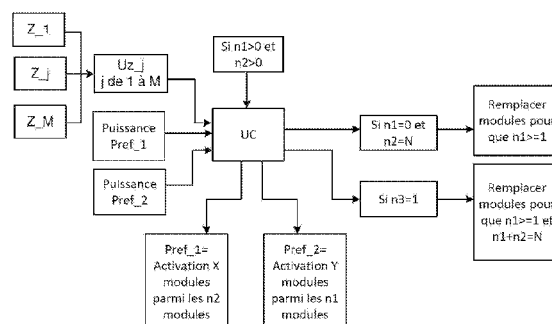
N modules (M_i) d'alimentation iden-
tiques, chaque module comprenant plusieurs cellules de
type Li/MnO₂.

Une unité centrale (UC) reliée aux
moyens de mesure de tension, configurée pour recevoir et
traiter des données de mesure de tension en provenance
des moyens de mesure de tension et pour :

Dé-
terminer l'état de chaque module entre un premier état
(ST1) pour lequel sa tension est supérieure à une première
valeur seuil, un deuxième état (ST2) pour lequel sa tension
est comprise entre la première valeur seuil et une deuxième
valeur seuil et un troisième état (ST3) pour lequel sa tension
est inférieure à la deuxième valeur seuil,
Dé-
terminer une configuration de fonctionnement en tenant
compte notamment, de l'état de chaque mo-
dule,

Commander des moyens de commande
associés à chaque module pour appliquer la configuration
de fonctionnement déterminée.

Figure à publier avec l'abrégié : Figure 5B



Description

Titre de l'invention : Système d'alimentation électrique à modules Li/MnO₂

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne un système d'alimentation électrique. Ce système d'alimentation électrique présente la particularité de comporter des modules d'alimentation à cellules en Li/MnO₂ (Lithium/Dioxyde de manganèse).

Etat de la technique

[0002] La pile lithium-dioxyde de manganèse (Li/MnO₂) a été l'une des premières piles au lithium à cathode solide à être utilisée commercialement, dès 1976, du fait de ses caractéristiques intéressantes en termes de performances, mais aussi de son coût. Ces piles primaires ont l'inconvénient majeur de ne pas être rechargeable mais présentent l'avantage d'avoir une densité d'énergie importante. L'oxyde de manganèse conduit à une pile dont la tension est de l'ordre de 3 V en circuit ouvert. Cette tension élevée lui confère une forte énergie massique, au moins le double de celle des piles alcalines classiques. A format de pile et tension équivalents (deux éléments en série pour les systèmes classiques salins et alcalins), si les piles alcalines ont des temps de décharge environ double de ceux obtenus avec des piles salines, les piles Li/MnO₂ permettent des temps de décharge au moins deux fois supérieurs à ceux des piles alcalines.

[0003] Comme représenté sur la figure 1, la courbe de décharge de ces piles est généralement comprise entre 3.2 V et 2.0 V quel que soit le régime de fonctionnement (500mA à 1mA sur la figure 1).

[0004] Lorsque la décharge de ces piles est poussée à plus bas potentiel (proche de 0 Volt), le dioxyde de Manganèse MnO₂ peut présenter une capacité supplémentaire de décharge qui est très intéressante car elle permet d'atteindre environ 2500 mAh/g de MnO₂. Cependant, l'emploi de cette capacité de décharge supplémentaire entraîne des changements de phases irréversibles. Une telle pile ne peut donc pas être utilisée au sein d'une batterie, mais seulement pour une pile primaire. De manière connue, les différents changements de phases associés à ces réactions en dessous 0,5 V sont les suivants :

[0005] $\text{LiMnO}_2 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \Rightarrow \text{Li}_2\text{MnO}_2 + 2\text{Li}^+ + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{Mn} + 2\text{Li}_2\text{O}$

[0006] $\text{MnO}_2 \Rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3$ (via présence de Li₂O)

[0007] $3 \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2 \text{Li}^+ + 2\text{e}^- \Rightarrow 2 \text{Mn}_3\text{O}_4$

[0008] $\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \Rightarrow \text{LiMn}_3\text{O}_4$

[0009] $\text{LiMn}_3\text{O}_4 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \Rightarrow 3 \text{MnO} + \text{Li}_2\text{O}$

[0010] Ce domaine de tension de décharge n'est actuellement jamais utilisé au sein de

systèmes d'énergie car il est trop bas pour assurer le fonctionnement de systèmes électroniques. La courbe de décharge complète entre 3,3 V et 0.3 V d'une pile constituée du couple Li/MnO₂ est représentée sur la figure 2.

[0011] Le but de l'invention est de proposer un système d'alimentation électrique adapté à des modules d'alimentation utilisant des piles primaires de type Li/MnO₂, ce système permettant de s'adapter facilement à l'application à alimenter.

Exposé de l'invention

[0012] Ce but est atteint par un système d'alimentation électrique comportant :

- [0013] – N modules d'alimentation identiques, N étant supérieur ou égal à 2, chaque module comprenant plusieurs cellules de type Li/MnO₂,
- Des moyens de mesure de tension aux bornes de chaque module,
- Une unité centrale reliée aux moyens de mesure de tension, configurée pour recevoir et traiter des données de mesure de tension en provenance des moyens de mesure de tension,
- Des moyens de commande pour connecter/déconnecter chaque module,

[0014] L'unité centrale étant configurée pour :

- [0015] – Acquérir la tension mesurée aux bornes de chaque module,
- Comparer la tension mesurée aux bornes de chaque module avec une première valeur seuil et avec une deuxième valeur seuil inférieure à ladite première valeur seuil,
- Déterminer l'état de chaque module entre un premier état pour lequel sa tension est supérieure à la première valeur seuil, un deuxième état pour lequel sa tension est comprise entre la première valeur seuil et la deuxième valeur seuil et un troisième état pour lequel sa tension est inférieure à la deuxième valeur seuil,
- Mémoriser l'état de chaque module,
- Déterminer une configuration de fonctionnement en tenant compte, de l'état mémorisé pour chaque module, d'une ou plusieurs puissances de consigne appliquées en entrée, d'une ou plusieurs tensions de consigne appliquée(s) en entrée,
- Commander les moyens de commande associés à chaque module pour appliquer la configuration de fonctionnement déterminée.

[0016] Selon une particularité, la configuration de fonctionnement est également déterminée en tenant compte de différentes unités à alimenter, et de leur besoin individuel en puissance et tension.

[0017] Selon une autre particularité, pour chaque module, les moyens de commande (100_i) comportent un premier interrupteur agencé en série avec le module et un deuxième in-

interrupteur agencé en parallèle dudit module.

- [0018] Selon une autre particularité, le système comporte un convertisseur de tension déporté affecté à chaque module
- [0019] Selon une autre particularité, le système comporte un convertisseur de tension central auquel est connecté le convertisseur de tension déporté associé à chaque module.
- [0020] Selon une autre particularité, l'unité centrale est configurée pour tenir compte de l'état de charge de chaque module dans la détermination de la configuration de fonctionnement.
- [0021] Selon une autre particularité, l'unité centrale est configurée pour émettre un message d'alerte lorsque plus aucun module parmi les N modules ne se trouve dans le premier état.
- [0022] Selon une autre particularité, l'unité centrale est configurée pour émettre un message d'alerte lorsqu'un module se trouve dans le troisième état.
- [0023] Selon une autre particularité, le système comporte une unité de gestion déportée distincte affectée à la gestion de chaque module.
- [0024] Selon une autre particularité, la première valeur seuil correspond à une valeur de tension haute, choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module de type Li/MnO₂ fonctionne autour de son plateau haut de tension et peut délivrer son maximum de puissance.
- [0025] Selon une autre particularité, la deuxième valeur seuil correspond à une valeur de tension basse qui est inférieure à la première valeur seuil, et qui est choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module de type Li/MnO₂ fonctionne au niveau de son plateau bas de tension.
- [0026] L'invention concerne également un procédé de commande d'un système d'alimentation électrique tel que défini ci-dessus, ledit procédé comportant les étapes suivantes :
- [0027] – Mesure de la tension aux bornes de chaque module,
- Comparaison de la tension mesurée aux bornes de chaque module avec une première valeur seuil et avec une deuxième valeur seuil inférieure à ladite première valeur seuil,
- Détermination de l'état de chaque module entre un premier état pour lequel sa tension est supérieure à la première valeur seuil, un deuxième état pour lequel sa tension est comprise entre la première valeur seuil et la deuxième valeur seuil et un et un troisième état pour lequel sa tension est inférieure à la deuxième valeur seuil,
- Mémorisation de l'état déterminé pour chaque module,
- Détermination d'une configuration de fonctionnement en tenant compte, de l'état mémorisé pour chaque module, d'une ou plusieurs puissances de

- consigne appliquées en entrée, d'une ou plusieurs tensions de consigne appliquée(s) en entrée,
- Commande des moyens de commande associés à chaque module pour appliquer la configuration de fonctionnement déterminée.
- [0028] Selon une particularité, le procédé comporte une étape de génération d'un message d'alerte lorsque plus aucun module parmi les N modules ne se trouve dans le premier état.
- [0029] Selon une autre particularité, le procédé comporte une étape de génération d'un message d'alerte lorsqu'un module se trouve dans le troisième état.
- [0030] L'invention concerne également l'utilisation du système d'alimentation électrique tel que défini ci-dessus, pour alimenter un ballon-sonde météorologique en utilisant deux modules d'alimentation électrique, un premier module dans le premier état pour alimenter une première unité de puissance et un deuxième module dans le deuxième état pour alimenter une unité de contrôle/mesure.
- [0031] On verra ci-après que la solution de l'invention est adaptée pour exploiter les deux domaines de tension de décharge d'une pile de type Li/MnO₂.

Brève description des figures

- [0032] D'autres caractéristiques et avantages vont apparaître dans la description détaillée qui suit, faite en liaison avec les figures listées ci-dessous :
- [0033] [fig.1]
- [0034] – La figure 1 représente un diagramme montrant des courbes de décharge d'une pile Li/MnO₂ pour différents régimes ;
- [0035] [fig.2]
- [0036] – La figure 2 représente une courbe de décharge complète d'une pile Li/MnO₂ ;
- [0037] [fig.3]
- [0038] – La figure 3 montre un diagramme avec une courbe de décharge d'un module comprenant cinquante cellules de type Li/MnO₂ et illustre la présence des différents états pris par le module ;
- [0039] [fig.4A]
- [0040] [fig.4B]
- [0041] – Les figures 4A et 4B proposent deux configurations de réalisation du système ;
- [0042] [fig.5A]
- [0043] [fig.5B]
- [0044] – Les figures 5A et 5B illustrent, de manière schématique, le principe de fonctionnement du système d'alimentation de l'invention ;
- [0045] [fig.6]

[0046] – La figure 6 illustre une application du système d'alimentation de l'invention ;

[0047] **Description détaillée d'au moins un mode de réalisation**

[0048] L'invention vise un système d'alimentation électrique 1, 10 qui comporte plusieurs modules M_i . Chaque module est composé de plusieurs cellules de type Li/MnO₂. Une cellule de type Li/MnO₂ peut présenter une anode réalisée en lithium, une cathode réalisée en MnO₂ et un électrolyte réalisé en lithium-halide, dissous dans un solvant organique. Les figures 4A et 4B donnent deux exemples de réalisation du système 1, 10 de l'invention, tandis que les figures 5A et 5B présentent leur principe de fonctionnement.

[0049] Comme décrit ci-dessus, une cellule de type Li/MnO₂ présente une courbe de décharge (qui correspond en fait à l'évolution de sa tension en fonction du temps, pour un régime de décharge fixé) ayant le profil représenté sur la figure 2. Sur cette figure 2, la courbe a été obtenue en effectuant une décharge complète entre 3,3 V et 0,3 V d'une pile constituée du couple Li/MnO₂. Cette courbe a été obtenue en pile bouton sous 30 μ A (Li versus MnO₂ enduit sur un collecteur de courant en aluminium avec un Celgard 2420 utilisé comme séparateur). On peut voir sur cette courbe qu'une cellule de type Li/MnO₂ présente principalement deux paliers de fonctionnement, un premier palier P1 à potentiel haut (autour de 2,5 V) qui correspond au palier classiquement employé lors de l'utilisation d'une pile avec cette technologie et un deuxième palier P2 autour de 0,5V. L'exploitation de ce deuxième palier P2 permet ainsi d'augmenter la capacité globale du module, sans aucune modification, et ainsi, pour certaines applications, de prolonger son utilisation. Sur ce deuxième plateau, la courbe de décharge est globalement plate, ce qui signifie que la tension à ses bornes évolue très faiblement sur une large plage de fonctionnement.

[0050] Partant de ce principe, le système de l'invention comporte N modules, avec N supérieur ou égal à 2. Sur les figures, chaque module est référencé M_i avec l'indice i allant de 1 à N.

[0051] Les N modules du système peuvent être identiques. Par "modules identiques", on entend que les modules ont notamment une même architecture (même nombre de cellules) et une même technologie. Cependant, ils peuvent être dans des états de charge (SOC) différents et présenter des états de santé (SOH) différents.

[0052] Chaque module comporte plusieurs cellules d'alimentation réalisées suivant la technologie Li/MnO₂. Ces cellules d'alimentation sont avantageusement toutes identiques en architecture et en technologie.

[0053] A titre d'exemple, un module M_i peut comporter cinquante cellules réparties en cinq groupes de cellules en parallèles, avec dix cellules en série par groupe. D'autres configurations sont bien entendu envisageables.

[0054] La figure 2 représente le profil de décharge d'une mono-cellule sous 0,8 C. Ainsi, par

extrapolation, le profil de décharge (sous 0,8 C par cellule) du module composé de cinquante cellules selon la répartition décrite ci-dessus est représenté sur la figure 3.

[0055] Sur le plateau haut, le module délivre 25 V soit 100 W sous 0,8 C pour une énergie de 125 Wh (possibilité de monter à 3 C soit 375 W). Il s'agit ici de la première partie de la décharge. Lorsqu'il est sur le plateau bas, le module délivre une tension d'environ 3 V pour une énergie totale de 135 Wh. Si le besoin est de 3 W alors le régime de décharge est de 0,2 C.

[0056] En référence aux figures 4A et 4B, le système 1, 10 comporte des moyens de mesure de tension Um_i au niveau de chaque module M_i . Ces moyens de mesure de tension (Par exemple un capteur de tension classique) sont destinés à mesurer la tension de sortie aux bornes de chaque module M_i . De manière connue, dans une batterie de type primaire ou secondaire, la tension à ses bornes (tension de sortie) diminue ou augmente en fonction de son niveau de charge. La tension sera maximale lorsque la batterie est totalement chargée et minimale lorsqu'elle est vide.

[0057] Ainsi, en référence à la figure 3, selon sa tension de sortie, le module M_i peut être :

- [0058] – Dans un premier état ST1 si sa tension de sortie est supérieure à une première valeur seuil V_{th_1} ;
- Dans un deuxième état ST2 si sa tension de sortie est comprise entre la première valeur seuil V_{th_1} et une deuxième valeur seuil V_{th_2} , inférieure à la première valeur seuil ;
- Dans un troisième état ST3 si sa tension de sortie est inférieure à la deuxième valeur seuil V_{th_2} ;

[0059] La première valeur seuil V_{th_1} correspond à une valeur de tension haute, choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module M_i fonctionne autour du plateau haut de tension et peut délivrer son maximum de puissance.

[0060] La deuxième valeur seuil V_{th_2} correspond à une valeur de tension basse qui est inférieure à la première valeur seuil, et qui est choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module M_i fonctionne au niveau du plateau bas de tension.

[0061] Les deux valeurs seuils seront choisis en fonction des niveaux de tension de la courbe de décharge du module.

[0062] Chaque module peut comporter un identifiant unique. L'état (ST1, ST2 ou ST3) de chaque module est mémorisé en association avec cet identifiant.

[0063] En référence à la figure 5A, parmi les N modules du système 1, 10 on a ainsi :

- [0064] – Un nombre $n1$ de modules dans le premier état, $n1$ pouvant aller de 0 à N ;
- Un nombre $n2$ de modules dans le deuxième état, $n2$ pouvant aller de 0 à N ;
- Un nombre $n3$ de modules dans le troisième état, $n3$ pouvant aller de 0 à N ;

[0065] En tenant compte de l'ensemble des modules, on a ainsi :

[0066] $N=n1+n2+n3$

[0067] Le système peut également comporter des moyens de mesure du courant en sortie de chaque module.

[0068] Pour chaque module, le système 1, 10 peut comporter une unité de gestion déportée (BMS_i pour Battery Management System). Cette unité de gestion déportée peut être amenée à déterminer certains paramètres de fonctionnement du module tels que par exemple :

- [0069] – SOH (état de santé du module) ;
- SOC (état de charge du module) ; Pour rappel, à partir des courbes de décharges connues d'une pile, on peut déterminer l'autonomie restante de la pile (c'est-à-dire son état de charge), en mesurant sa tension de sortie et le courant débité par la pile ;
- DOD (profondeur de décharge du module) ;
- Energie totale depuis la première mise en service ;
- Gestion de la communication avec les autres unités de gestion déportées et avec l'unité centrale ;

[0070] Le système 1, 10 comporte une unité centrale UC à laquelle sont reliées les unités de gestion déportées BMS_i décrites ci-dessus et associées chacune à un module M_i distinct. La liaison de communication (non représentée) entre l'unité centrale UC et les unités de gestion déportées peut être de type bus, par exemple un bus CAN.

[0071] Cette unité centrale UC peut comporter des moyens de traitement (microprocesseur et mémoire notamment) et des moyens de communication pour communiquer avec les unités de gestion déportées BMS_i. Elle comporte aussi des modules logiciels de gestion destinés à gérer les N modules du système.

[0072] De manière non limitative, en référence aux figures 5A et 5B, ces modules logiciels de gestion peuvent être les suivants :

- [0073] – Un module d'acquisition des données de mesure de tension réalisées aux bornes de chaque module M_i par les capteurs de tension Um_i ;
- Un module de comparaison de la tension mesurée aux bornes de chaque module avec les deux valeurs seuils Vth_1, Vth_2 définies ci-dessus, afin de déterminer l'état (ST1, ST2, ST3) de chaque module M_i ;
- Un module de détermination de l'état de chaque module, parmi le premier état ST1, le deuxième état ST2 et le troisième état ST3, selon la valeur de la tension à ses bornes par rapport aux deux valeurs seuils ;
- Un module de mémorisation de l'état déterminé pour chaque module, cet état pouvant évoluer au cours du temps, au fur et à mesure de la décharge du module ; Une mise à jour peut être effectuée à intervalles réguliers ;
- Un module de détermination d'une configuration de fonctionnement du

système 1, 10 en tenant compte de certains ou de tous les paramètres suivants :

- L'état de chaque module M_i du système ;
- Les caractéristiques des différentes unités Z_j (avec j allant de 1 à M et M supérieur ou égal à 2) à alimenter présentes dans l'installation électrique et en particulier leur besoin individuel de puissance et/ou de tension d'entrée ; Il faut noter que le besoin de puissance et/ou de tension (U_{z_j}) d'entrée de chaque unité peut évoluer au cours du temps ; L'installation peut par exemple comporter une unité dite haute puissance (alimentation d'un moteur électrique) et une unité dite basse puissance (alimentation d'un circuit de contrôle, de communication, de mesure...), ce qui donne pour cet exemple à deux unités :
 - La tension de consigne (désignée U_{z_1} , U_{z_2} pour chaque unité Z_1 et Z_2) de chaque unité de l'installation électrique à alimenter ;
 - La puissance électrique (P_{ref_1} , P_{ref_2}) nécessaire au fonctionnement de chaque unité de l'installation ;
- Un module de détermination des commandes à envoyer selon la configuration de fonctionnement déterminée ;
- Un module d'alerte, configuré pour alerter un opérateur lorsqu'au moins l'un des N modules se trouve dans le troisième état ST3, c'est-à-dire dans un état hors service nécessitant son remplacement ou lorsque parmi les N modules, plus aucun module ne se trouve dans le premier état ST1 ; Cette option d'alerte est pertinente lorsque le système comporte au moins une unité dite haute puissance à alimenter (par exemple un moteur électrique) ;

[0074] Selon une particularité de l'invention, la configuration de fonctionnement est liée aux caractéristiques de l'installation électrique à alimenter.

[0075] Selon une particularité de l'invention, la configuration de fonctionnement est susceptible d'évoluer au cours du temps, du fait de l'évolution de l'état de chaque module. On verra que si un module passe du premier état ST1 au deuxième état ST2, il peut être nécessaire de modifier la configuration de fonctionnement pour s'assurer que l'installation électrique reste alimentée de la manière souhaitée.

[0076] Pour répondre à la configuration de fonctionnement déterminée, le système comporte des moyens de commande.

[0077] En référence à la figure 4A, ces moyens de commande peuvent comporter une unité de commande 100_i associée à chaque module M_i . L'unité de commande est agencée et commandée pour définir la topologie de connexion de chaque module M_i sur une

installation électrique à alimenter.

- [0078] L'unité de commande 100_i peut comporter des moyens de commutation, par exemple deux interrupteurs commandables, l'un pour court-circuiter le module M_i par rapport à l'installation électrique à alimenter, l'autre pour connecter le module en série avec l'installation électrique à alimenter. En commandant les interrupteurs de manière adaptée, il est ainsi possible de connecter un seul module parmi les N modules, de connecter plusieurs modules en parallèle ou de connecter plusieurs modules en série parmi les N modules.
- [0079] Dans une variante de réalisation, comme représenté sur la figure 4B, l'unité de commande de chaque module M_i du système 10 peut également comporter, pour chaque module M_i, un convertisseur de tension déporté, par exemple de type DC/AC (référéncé DC/AC_i sur les figures) ou de type DC/DC (non illustré) destiné à convertir une première tension fournie par le module en une deuxième tension variable.
- [0080] Dans les deux réalisations, les moyens de commande peuvent également comporter un convertisseur central, qui sera de type DC/AC lorsque l'unité de commande associée à chaque module comporte uniquement les moyens de commutation évoqués ci-dessus (réalisation de la figure 4A) ou de type AC/AC lorsque chaque unité de commande intègre un convertisseur de tension déporté de type DC/AC (réalisation de la figure 4B). Selon la configuration, il est entendu que ce convertisseur central peut aussi être de type DC/DC.
- [0081] Partant de cette architecture du système, l'unité centrale UC peut donc gérer les modules M_i du système en tenant compte des contraintes de l'installation électrique à alimenter.
- [0082] De manière générale, le principe de gestion mis en œuvre par l'unité centrale UC consiste à exploiter chaque module M_i dans son premier état ST1 puis dans son deuxième état ST2 en adaptant la configuration de fonctionnement à l'état des modules.
- [0083] Sur la figure 5A, le diagramme représenté illustre le classement des modules par état, réalisé par l'unité centrale UC. Dans sa mémoire, l'unité centrale peut comporter une table répertoriant les modules par état. Cette table comporte ainsi n1 modules dans le premier état ST1, n2 modules dans le deuxième état ST2 et n3 modules dans le troisième état ST3.
- [0084] La figure 5B illustre pour sa part un principe de détermination d'une configuration de fonctionnement par l'unité centrale UC. L'unité centrale UC dispose de l'état à jour de chacun des modules qu'elle a en gestion. En entrée, l'unité centrale UC peut recevoir au moins une première puissance Pref_1 à fournir et éventuellement une deuxième puissance Pref_2 à fournir. Elle peut également recevoir une ou deux tensions de consigne (Uz_1, Uz_2) correspondant aux puissances (Pref_1, Pref_2). En fonction de

ces données d'entrée, l'unité centrale UC établit la configuration de fonctionnement adaptée. Comme on peut le voir sur la figure 5B, elle va activer un nombre X de modules parmi les n1 modules qui sont dans le premier état ST1 et un nombre Y de modules parmi les n2 modules qui sont dans le deuxième état. Elle peut également distribuer l'énergie électrique entre différentes unités Z_1, Z_2 liées aux caractéristiques de puissance et tension ci-dessus. Elle peut activer les convertisseurs de tension de type DC/AC_i associés à chaque module pour convertir la tension fournie en une tension de consigne Uz_j donnée. En parallèle, l'unité centrale UC surveille également l'évolution de l'état de chaque module. Grâce à son module d'alerte, elle peut alerter qu'un module est passé dans le troisième état ST3 ou que le système ne comporte plus aucun module dans le premier état ST1.

[0085] Différentes applications du système de l'invention sont décrites ci-dessous.

[0086] A titre d'exemple et de manière générale, le système de l'invention présente notamment un intérêt dans une application où les demandes en énergie/puissance de l'installation ne sont pas dissociées. Pour cette application, le système 1, 10 comporte au moins deux modules, un premier module qui est naturellement à une première tension haute (par exemple 25V) pour répondre aux demandes de puissances, un second dont la tension de sortie est basse, mais réhaussée au niveau de la première tension pour répondre à la demande d'énergie. De manière avantageuse, il s'agit de consommer sur la même durée l'énergie disponible dans le premier module qui est dans le premier état ST1 et l'énergie du deuxième module qui est dans le deuxième état ST2. A partir de l'état de charge (SOC) réel de chaque module et de l'évolution de cet état de charge au cours du temps, l'unité centrale UC peut piloter chaque module à la demande pour contrôler la décharge de chaque module et faire en sorte que les deux modules se trouvent dans un état de charge final similaire, à la fin de l'exploitation de l'installation alimentée, permettant un remplacement des deux modules au même moment.

[0087] A titre d'exemple, une application particulière du système peut consister à utiliser des modules identiques dans des conditions identiques (courant, tension) les uns après les autres lorsque ceux-ci sont dans le premier état ST1 puis, lorsque tous les modules sont dans le deuxième état ST2, à commander une mise en série de plusieurs modules pour permettre, en définissant le nombre de modules par rapport à une tension de consigne de l'installation, de prolonger la durée de vie du système. Dans cette application, le nombre N de modules devra être suffisant pour qu'une fois connectée en série, ils puissent assurer la fourniture de la tension totale de fonctionnement de l'installation à alimenter. Dans ce mode particulier de fonctionnement, un message d'alerte peut être émis par l'unité centrale UC à destination de l'opérateur pour lui indiquer que le remplacement des modules sera à effectuer dans un futur proche.

[0088] Une autre application particulière peut consister à basculer un ou plusieurs modules

encore dans le premier état ST1 en module dans le deuxième état ST2 pour les faire fonctionner à une tension moindre. Pour cela, il s'agit d'appliquer une décharge volontaire du module à dégrader en dissipant son énergie dans une résistance de décharge. Cela peut s'avérer pertinent lorsque l'on souhaite que tous les modules soient tous au même niveau de charge, ou pour précipiter le remplacement d'un module.

- [0089] De manière plus concrète, comme représenté sur la figure 6, le système 1, 10 peut être employé pour fournir l'énergie électrique nécessaire à un ballon-sonde 2, utilisé pour faire des relevés météorologiques. Un tel ballon-sonde dispose de deux unités dissociées :
- [0090] – Une première unité Z_1 de puissance comprenant les moteurs électriques du ballon-sonde ;
 - Une deuxième unité Z_2 de mesure/contrôle/communication comprenant les appareils de mesure météorologique du ballon-sonde, son unité centrale, ainsi que ses moyens de communication ;
- [0091] Le profil d'alimentation de l'unité de puissance est composé de pics de puissance de 100W pendant 30s toutes les vingt minutes environ, ce qui permet une autonomie d'environ 48h pour 150 pics de puissance. Ces impulsions permettent, par vent relativement faible, une bonne orientation du ballon.
- [0092] Le profil d'alimentation de l'unité de mesure est relativement constant entre 2W et 5W sous une tension U_{Z_2} de 3V sur une durée identique de 48h, ce qui représente 135 Wh.
- [0093] Ainsi à partir du système de l'invention, il est possible de répondre aux deux demandes en utilisant deux modules d'architectures identiques M_1, M_2. Le premier module M_1 fonctionnerait dans la gamme standard de fonctionnement des piles primaires Li/MnO₂ et le second module M_2, pouvant fonctionner dans la seconde partie de la courbe de décharge (tension à 0.3V pour une cellule).
- [0094] Pour une telle application, on peut envisager un système dont les modules pourraient être composés de cellules Li/MnO₂ de 1 Ah soit environ 4g de MnO₂ (pour une capacité restituée de 250 mAh par gramme de MnO₂). La structure du module serait par exemple de cinq cellules en parallèle et dix cellules en série soit cinquante cellules.
- [0095] Pour répondre au besoin "puissance" de l'application, c'est-à-dire l'alimentation de la première unité, le module délivre une tension U_{Z_1} de 25 V soit 100 W sous 0,8 C pour une énergie de 125 Wh (possibilité de monter à 3 C soit 375 W). Il s'agit ici de la première partie de la décharge pour ce module qui doit être dans un état ST1.
- [0096] Pour répondre au besoin "énergie" de l'application, c'est-à-dire l'alimentation de la deuxième unité, c'est le second plateau qui peut être utilisé, basé sur un module n'étant pas obligatoirement en état ST1, mais pouvant également être en état ST2. Ce module

peut ainsi être issu d'une réutilisation d'un module déjà utilisé. Ici la tension est d'environ 3 V pour une énergie totale de 135 Wh. Si le besoin est de 3 W alors le régime de décharge est de 0,2 C.

[0097] Dans cette application, les moyens de commande 100_1 et 100_2 associés à chaque module sont agencés pour pouvoir connecter leur module à la première unité Z_1 de puissance ou à la deuxième unité Z_2.

[0098] Dans le cas de cette application ballon-sonde 2, au bout d'une certaine durée (par exemple 48 heures), le module M_2 bascule dans le troisième état ST3. Après la mission du ballon sonde et lors de son reconditionnement, le module M_2 peut être remplacé par un module neuf qui répondra à son tour au besoin "puissance" pour alimenter cette fois-ci la première unité Z_1 de puissance. L'unité centrale UC peut ensuite commander les moyens de commande 100_1 associés au module M_1 pour le connecter à l'alimentation de la deuxième unité Z_2 et ainsi exploiter la plateau basse tension de ce module, avant son remplacement.

[0099] Sur la figure 6, on retrouve notamment les différents composants du système conforme à l'invention, notamment l'unité centrale UC, les moyens de mesure de tension Um_1, Um_2 associés à chaque module, les moyens de commande 100_1, 100_2 affectés à chaque module, l'unité de gestion déportée BMS_1, BMS_2 de chaque module.

[0100] On comprend que l'invention présente de nombreux avantages, parmi lesquels :

- [0101] – Une solution permettant d'optimiser l'utilisation des modules Li/MnO₂ grâce à l'exploitation du deuxième palier de tension de la courbe de décharge ;
- Une solution simple à mettre en œuvre et fiable pour l'alimentation de certaines applications (type ballon-sonde ou autres) ;
- Une solution qui permet d'exploiter au mieux les caractéristiques d'un module au Li/MnO₂, chaque module n'étant pas automatiquement remplacé lorsque sa tension de sortie devient insuffisante et inférieure à la première valeur seuil ;

Revendications

- [Revendication 1] Système d'alimentation électrique (1, 10) comportant :
- N modules (M_i) d'alimentation identiques, N étant supérieur ou égal à 2, chaque module comprenant plusieurs cellules de type Li/MnO₂,
 - Des moyens de mesure de tension (U_{m_i}) aux bornes de chaque module,
 - Une unité centrale (UC) reliée aux moyens de mesure de tension, configurée pour recevoir et traiter des données de mesure de tension en provenance des moyens de mesure de tension,
 - Des moyens de commande (100_i) pour connecter/déconnecter chaque module,
- Caractérisé en ce que l'unité centrale (UC) est configurée pour :
- Acquérir la tension mesurée aux bornes de chaque module,
 - Comparer la tension mesurée aux bornes de chaque module avec une première valeur seuil (V_{th_1}) et avec une deuxième valeur seuil (V_{th_2}) inférieure à ladite première valeur seuil,
 - Déterminer l'état de chaque module entre un premier état (ST1) pour lequel sa tension est supérieure à la première valeur seuil, un deuxième état (ST2) pour lequel sa tension est comprise entre la première valeur seuil et la deuxième valeur seuil et un troisième état (ST3) pour lequel sa tension est inférieure à la deuxième valeur seuil,
 - Mémoriser l'état de chaque module (M_i),
 - Déterminer une configuration de fonctionnement en tenant compte, de l'état mémorisé pour chaque module, d'une ou plusieurs puissances de consigne appliquées en entrée, d'une ou plusieurs tensions de consigne appliquée(s) en entrée,
 - Commander les moyens de commande associés à chaque module pour appliquer la configuration de fonctionnement déterminée.
- [Revendication 2] Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la configuration de fonctionnement est également déterminée en tenant compte de différentes unités à alimenter, et de leur besoin individuel en puissance et tension.
- [Revendication 3] Système selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, pour chaque module, les moyens de commande (100_i) comportent un premier interrupteur agencé en série avec le module et un deuxième interrupteur agencé en parallèle dudit module.
- [Revendication 4] Système selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il

- comporte un convertisseur de tension déporté affecté à chaque module.
- [Revendication 5] Système selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte un convertisseur de tension central auquel est connecté le convertisseur de tension déporté associé à chaque module.
- [Revendication 6] Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'unité centrale (UC) est configurée pour tenir compte de l'état de charge de chaque module (M_i) dans la détermination de la configuration de fonctionnement.
- [Revendication 7] Système selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'unité centrale (UC) est configurée pour émettre un message d'alerte lorsque plus aucun module (M_i) parmi les N modules ne se trouve dans le premier état (ST1).
- [Revendication 8] Système selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'unité centrale (UC) est configurée pour émettre un message d'alerte lorsqu'un module se trouve dans le troisième état (ST3).
- [Revendication 9] Système selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une unité de gestion déportée (BMS $_i$) distincte affectée à la gestion de chaque module (M_i).
- [Revendication 10] Système selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la première valeur seuil (V_{th_1}) correspond à une valeur de tension haute, choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module (M_i) de type Li/MnO₂ fonctionne autour de son plateau haut de tension et peut délivrer son maximum de puissance.
- [Revendication 11] Système selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la deuxième valeur seuil (V_{th_2}) correspond à une valeur de tension basse qui est inférieure à la première valeur seuil, et qui est choisie pour délimiter une zone de fonctionnement dans laquelle le module (M_i) de type Li/MnO₂ fonctionne au niveau de son plateau bas de tension.
- [Revendication 12] Procédé de commande d'un système d'alimentation électrique tel que défini dans l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- Mesure de la tension aux bornes de chaque module (M_i),
 - Comparaison de la tension mesurée aux bornes de chaque module avec une première valeur seuil (V_{th_1}) et avec une deuxième valeur seuil (V_{th_2}) inférieure à ladite première valeur seuil,
- Détermination de l'état de chaque module entre un premier état (ST1) pour lequel sa tension est supérieure à la première valeur seuil, un deuxième état (ST2) pour lequel sa tension est comprise entre la

première valeur seuil et la deuxième valeur seuil et un et un troisième état (ST3) pour lequel sa tension est inférieure à la deuxième valeur seuil,

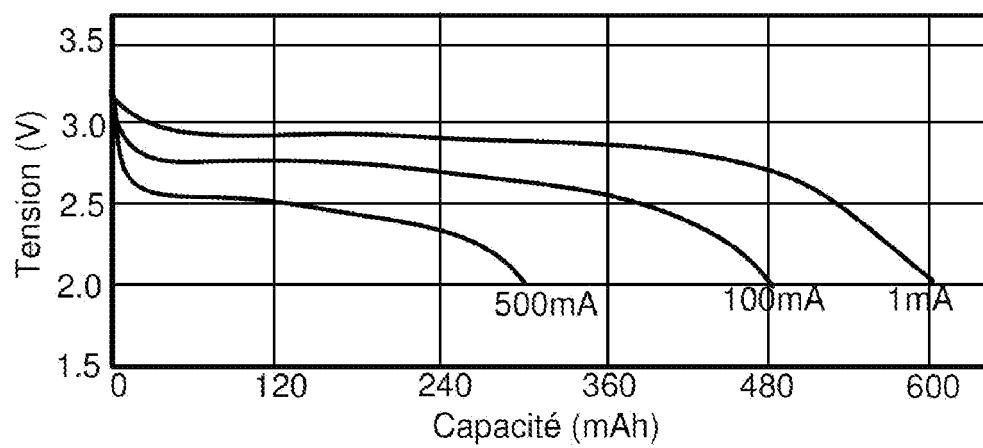
- Mémorisation de l'état déterminé pour chaque module (M_i),
- Détermination d'une configuration de fonctionnement en tenant compte, de l'état mémorisé pour chaque module, d'une ou plusieurs puissances de consigne appliquées en entrée, d'une ou plusieurs tensions de consigne appliquée(s) en entrée,
- Commande des moyens de commande associés à chaque module pour appliquer la configuration de fonctionnement déterminée.

[Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de génération d'un message d'alerte lorsque plus aucun module (M_i) parmi les N modules ne se trouve dans le premier état (ST1).

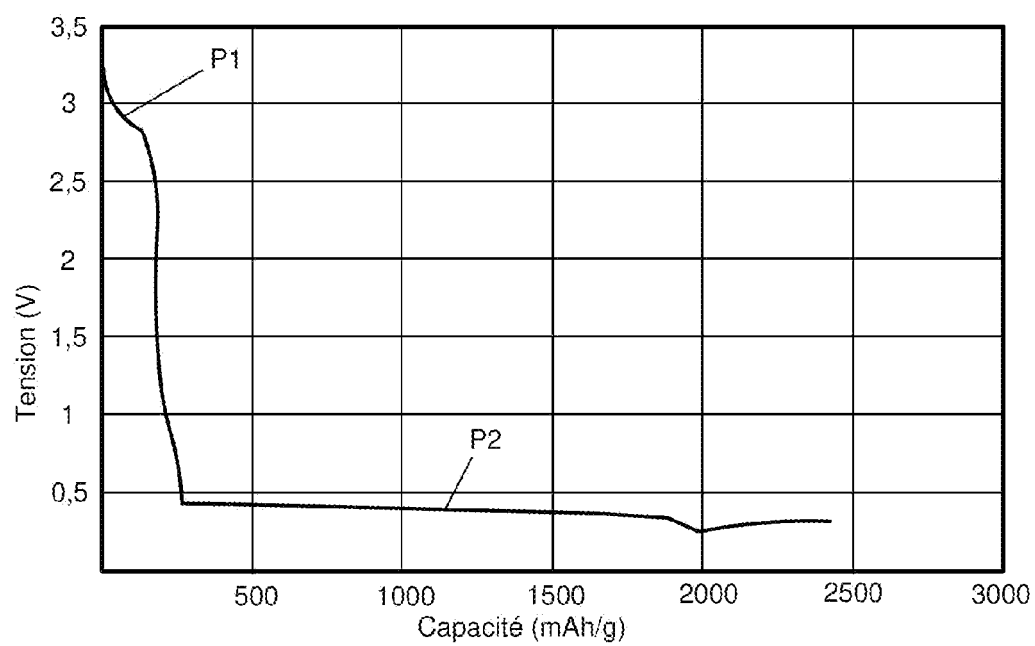
[Revendication 14] Procédé selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de génération d'un message d'alerte lorsqu'un module se trouve dans le troisième état (ST3).

[Revendication 15] Utilisation du système d'alimentation électrique tel que défini dans l'une des revendications 1 à 11, pour alimenter un ballon-sonde météorologique en utilisant deux modules d'alimentation électrique, un premier module dans le premier état (ST1) pour alimenter une première unité de puissance et un deuxième module dans le deuxième état (ST2) pour alimenter une unité de contrôle/mesure.

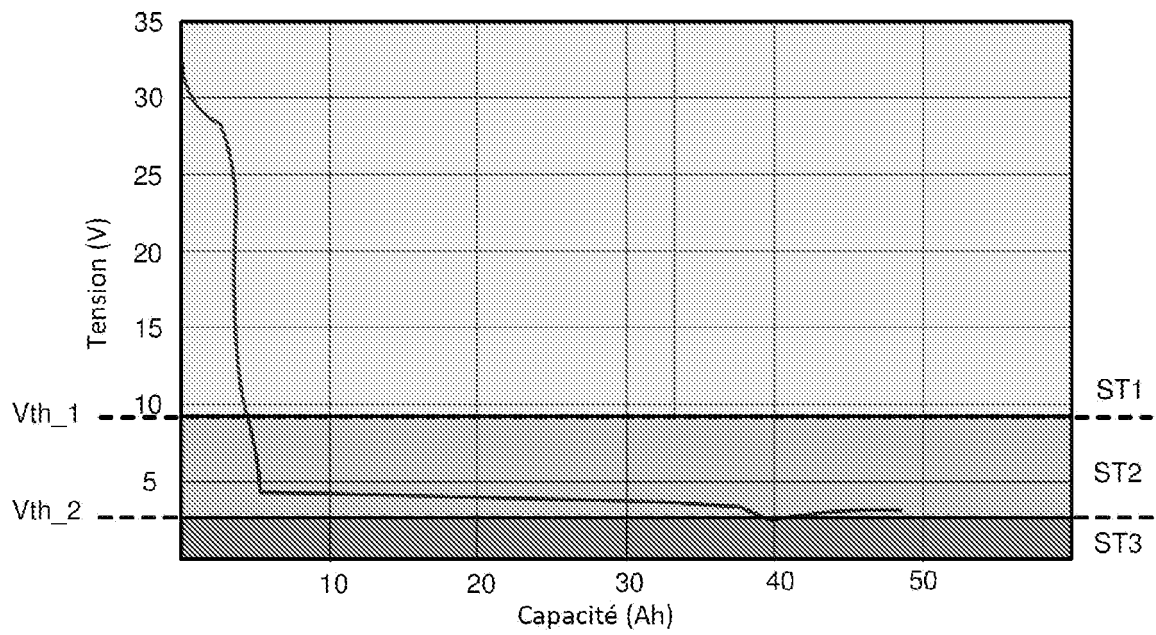
[Fig. 1]

Fig. 1

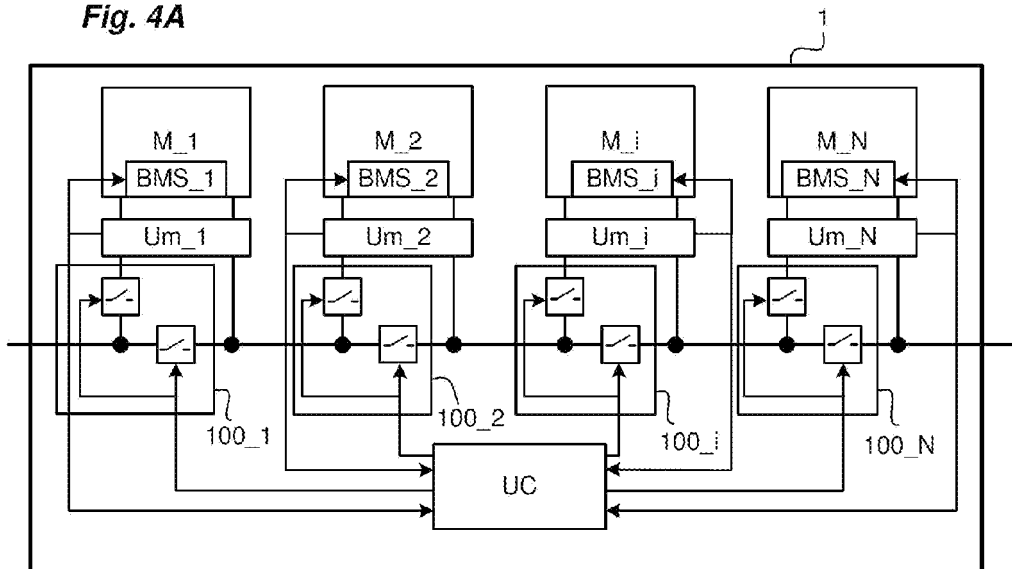
[Fig. 2]

Fig. 2

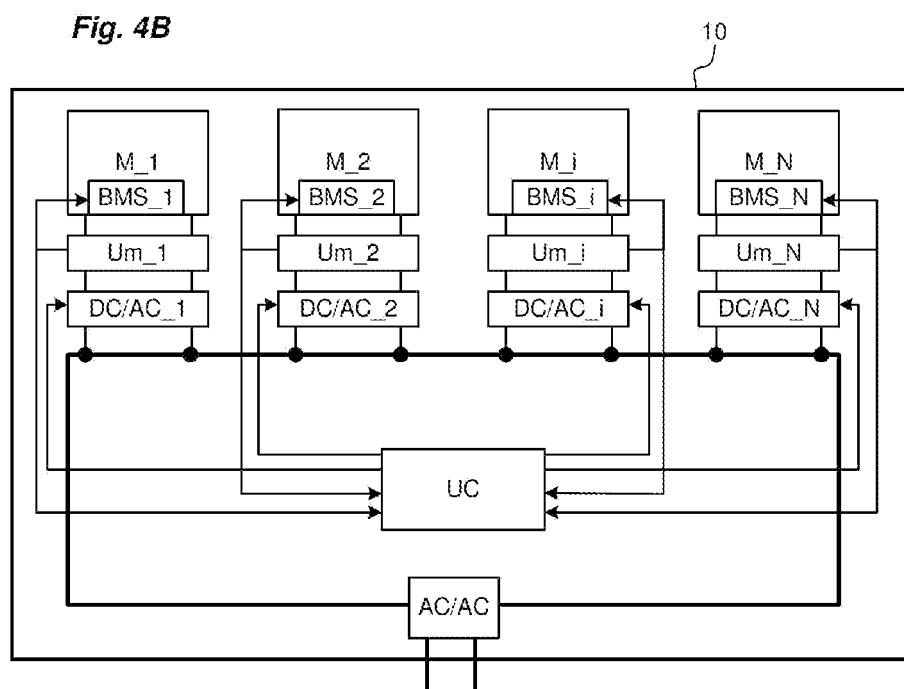
[Fig. 3]

Fig. 3

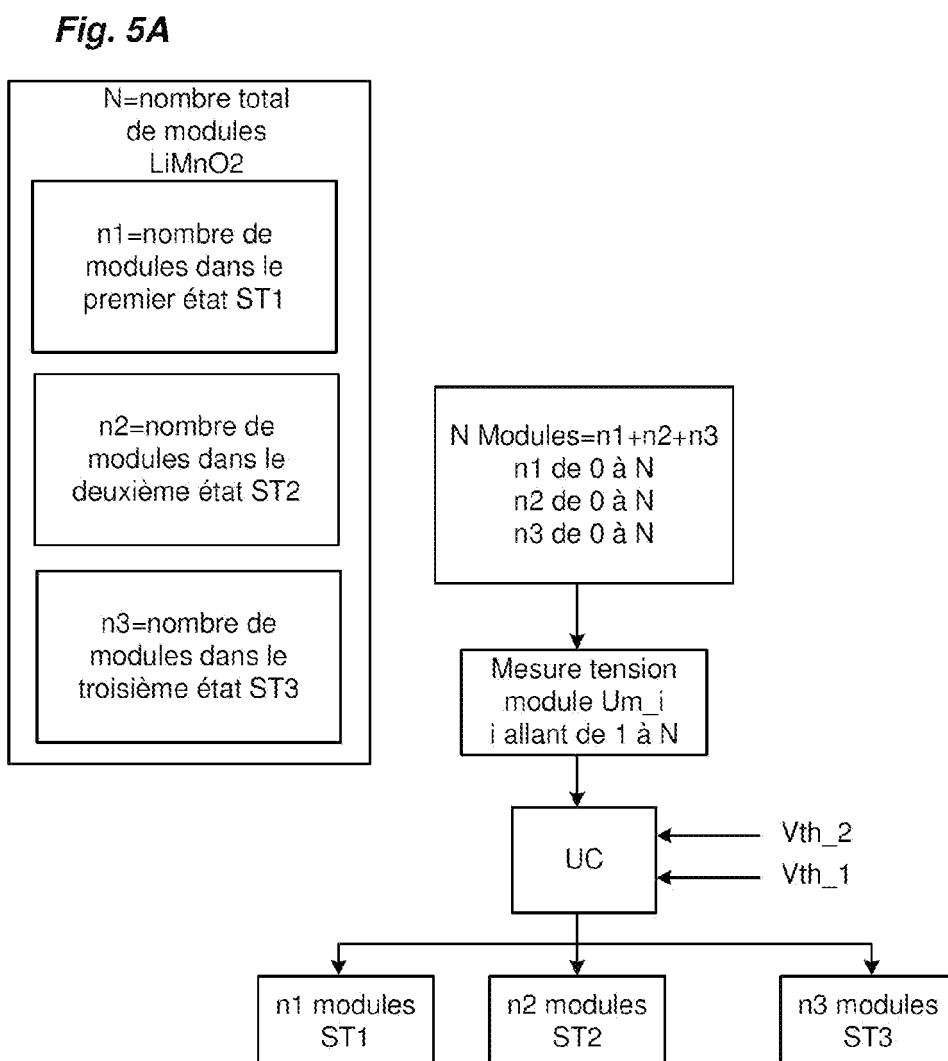
[Fig. 4A]

Fig. 4A

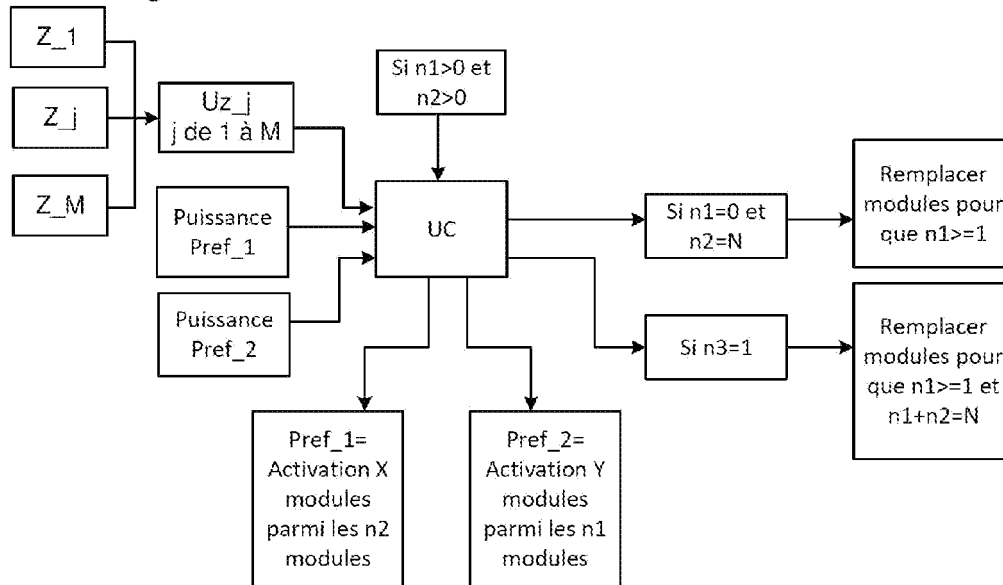
[Fig. 4B]



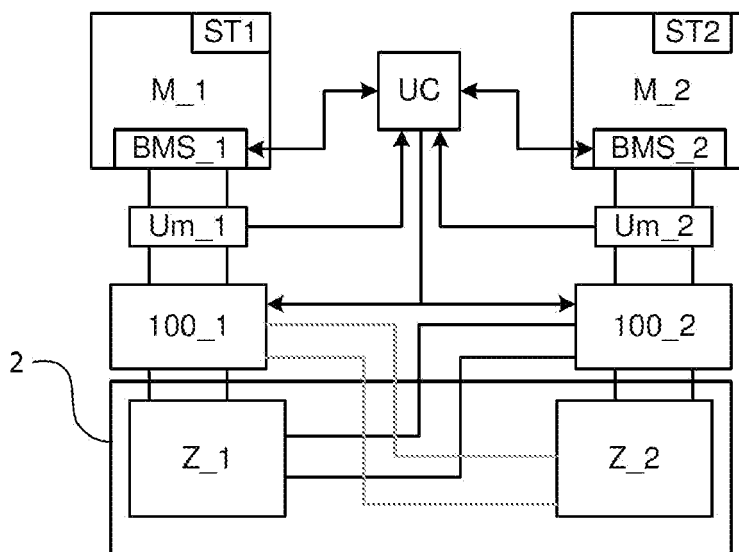
[Fig. 5A]



[Fig. 5B]

Fig. 5B

[Fig. 6]

Fig. 6

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 872246
FR 1908600

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		
A	US 2019/148701 A1 (ASHRAFZADEH AHMAD [US]) 16 mai 2019 (2019-05-16) * le document en entier *	1-15	H01M6/42 H01M6/50 H02J7/00
A	US 2017/288431 A1 (LIAN PO-HAN [TW]) 5 octobre 2017 (2017-10-05) * le document en entier *	1-15	
A	US 2018/269542 A1 (MUENZEL JAN VALENTIN [AU] ET AL) 20 septembre 2018 (2018-09-20) * le document en entier *	1-15	
A	US 2009/218987 A1 (TOMINAGA YUKI [JP]) 3 septembre 2009 (2009-09-03) * le document en entier *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 avril 2020		Koessler, Jean-Luc	
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 1908600 FA 872246**

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 **06-04-2020**
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
US 2019148701 A1	16-05-2019	US 2019148701 A1	16-05-2019
		WO 2019099213 A1	23-05-2019

US 2017288431 A1	05-10-2017	CN 105914333 A	31-08-2016
		CN 205790155 U	07-12-2016
		CN 206606064 U	03-11-2017
		EP 3069919 A1	21-09-2016
		ES 2694639 T3	26-12-2018
		US 2016276854 A1	22-09-2016
		US 2016276855 A1	22-09-2016
		US 2017288431 A1	05-10-2017

US 2018269542 A1	20-09-2018	AU 2016331659 A1	12-04-2018
		CN 108136985 A	08-06-2018
		EP 3356188 A1	08-08-2018
		JP 2018537947 A	20-12-2018
		KR 20180063218 A	11-06-2018
		US 2018269542 A1	20-09-2018
		WO 2017054049 A1	06-04-2017

US 2009218987 A1	03-09-2009	EP 2100765 A2	16-09-2009
		JP 4539735 B2	08-09-2010
		JP 2009211814 A	17-09-2009
		US 2009218987 A1	03-09-2009
