



(43) Date de la publication internationale
3 novembre 2016 (03.11.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/173968 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H02J 7/35 (2006.01) *H02J 7/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/059135

(22) Date de dépôt international :
25 avril 2016 (25.04.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1553775 27 avril 2015 (27.04.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc - Bâtiment "le Ponant D", 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : KANAAN, Georges; 61 rue de l'Iséran, 73000 Chambéry (FR). KAROUI HENCHIRI, Fathia; 40 rue des Cévennes, Appt A41, 73000 Chambéry (FR). VI-NIT, Laurent; 100 rue de l'Epine, 73370 Le Bourget Du Lac (FR).

(74) Mandataires : AIVAZIAN, Denis et al.; c/o Novaimo, Immeuble Europa 2, 310, avenue Marie Curie, Archamps Technopole, 74166 Saint Julien En Genevois Cedex (FR).

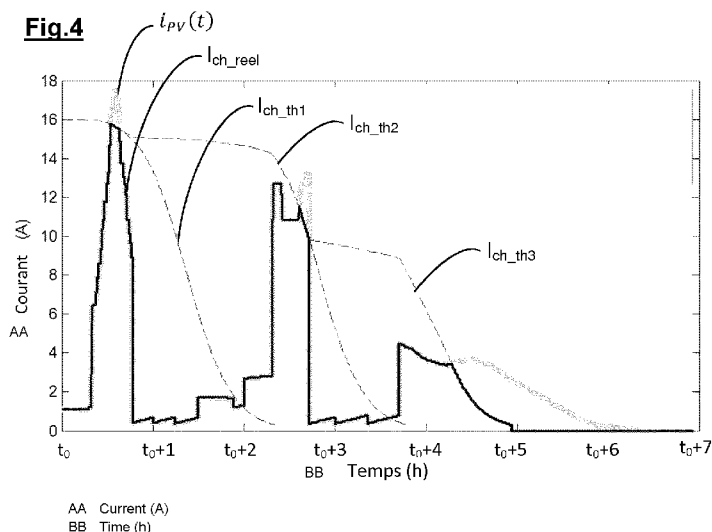
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR ELECTRICALLY CHARGING A BATTERY USING AN INTERMITTENT ENERGY SOURCE AND CORRESPONDING CHARGE CONTROL DEVICE

(54) Titre : PROCEDE DE CHARGE ELECTRIQUE D'UNE BATTERIE PAR UNE SOURCE D'ENERGIE INTERMITTENTE ET DISPOSITIF DE CONTROLE DE CHARGE CORRESPONDANT



(57) Abstract : The invention relates to a method for electrically charging a battery using an intermittent energy source, according to a time-variable charge profile. The following steps are performed iteratively at successive instants: a) determination of a limit charge current on the basis of a variable characteristic of a current charge level of the battery; b) acquisition of a current delivered by the source; c) a comparative test between the acquired current and the determined limit charge current; d) generation of a charge current having an amplitude that is either equal to the determined limit current if the acquired current is greater than or equal to the limit current, or that is equal to the current supplied by the source if the acquired current is less than the limit current.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

L'invention concerne un procédé de charge électrique d'une batterie par une source d'énergie intermittente, selon un profil de charge variable dans le temps. Les étapes suivantes sont mises en œuvre de façon itérative à des instants successifs : a) détermination d'un courant limite de charge à partir d'une variable caractéristique d'un niveau de charge courant de la batterie; b) acquisition d'un courant délivré par la source; c) test comparatif entre le courant acquis et le courant limite de charge déterminé; d) génération d'un courant de charge dont l'amplitude est soit égale au courant limite déterminé, si le courant acquis est supérieur ou égal au courant limite, soit égale au courant fourni par la source, si le courant acquis est inférieur au courant limite.

TITRE : Procédé de charge électrique d'une batterie par une source d'énergie intermittente et dispositif de contrôle de charge correspondant

La présente invention concerne un procédé de charge électrique d'une batterie et un dispositif de contrôle de charge électrique d'une batterie, par exemple une batterie lithium-ion, au plomb, Ni-Cd ou Ni-MH.

De façon standard, une batterie telle qu'une batterie lithium-ion est chargée par la mise en œuvre de deux phases de charge successives :

- 10 - une première phase de charge consistant à charger à courant de charge constant jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne une limite supérieure de tension, par exemple de l'ordre de 4,2V ;
- une deuxième phase de charge consistant à charger à tension constante jusqu'à ce que le courant de charge tombe à environ 3% de sa valeur nominale.

Un tel processus de charge est relativement lent. Il requiert typiquement plusieurs heures de charge. Pour réduire la durée de charge, il n'est cependant pas recommandé d'utiliser un courant de charge trop élevé, dépassant sa valeur nominale, ou une tension de charge supérieure à la limite supérieure de tension de la batterie. En effet, cela aurait pour effet de dégrader la batterie, du fait de l'accumulation de lithium métallique à l'interface électrode-électrolyte, ce qui augmente la résistance interne et réduit la durée de vie de la batterie.

25 Pour diminuer la durée de charge d'une batterie lithium-ion tout en préservant la batterie, il est connu d'appliquer des impulsions de courant de charge séparées par des périodes de relaxation, comme décrit dans le document B. K. Purushothaman and U. Landau, "Rapid Charging of Lithium-Ion Batteries Using Pulsed Currents A Theoretical Analysis," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 153, no. 3, pp. A533–A542, Mar. 2006. L'amplitude et la largeur des impulsions ainsi que la durée des périodes de relaxation peuvent être modifiées afin d'influer sur la diffusion des ions Li^+ à travers l'interface graphite/SEI (de l'anglais « Solide

Electrolyte Interface ») et, par conséquent, de faire varier la vitesse de charge et la durée de vie de la batterie.

Pour charger une batterie lithium-ion, on peut utiliser une source d'énergie
5 temporellement intermittente, basée par exemple sur l'énergie solaire ou éolienne, fournissant une énergie qui n'est pas constante et régulière au cours du temps. Dans ce cas, le courant de charge disponible en sortie de la source d'énergie varie temporellement : il peut être insuffisant ou trop élevé par rapport à un courant de charge de consigne prescrit selon la méthode de charge.

10

Une première solution consiste à charger la batterie uniquement avec le courant délivré par la source d'énergie intermittente en limitant le courant de charge à un seuil, par exemple 2A, lorsqu'il dépasse ce seuil. De façon analogue, on peut limiter la tension de charge à un seuil de tension.

15

Une deuxième solution consiste à charger la batterie avec le courant délivré par la source d'énergie intermittente, uniquement lorsque ce courant est compris entre deux valeurs prédéfinies, par exemple entre 1,8 A et 2,2 A. On peut procéder de façon analogue pour la tension de charge.

20

Ces deux solutions conviennent aux méthodes de charge utilisant un courant de charge constant. En revanche, elles s'avèrent moins efficaces lorsque la charge est réalisée par un courant (ou une tension) qui n'est pas constant, par exemple de façon impulsionnelle et/ou selon un profil de charge variable
25 temporellement.

La présente invention vient améliorer la situation.

A cet effet, l'invention concerne un procédé de charge électrique d'une
30 batterie par une source d'énergie intermittente selon un profil de charge variable dans le temps, comprenant une première étape de configuration, lors de laquelle on paramètre une courbe de charge de référence qui définit un profil de charge

variable théorique en fonction du temps, une deuxième étape de configuration, lors de laquelle on détermine une relation entre la courbe de charge de référence et une variable caractéristique du niveau de charge de la batterie, et les étapes a), b), c) et d) suivantes, qui sont exécutées de façon itérative, à des instants
5 successifs, jusqu'à obtenir une charge prédéfinie, notamment une charge complète, de la batterie :

- a) détermination d'un courant limite de charge à l'aide de ladite courbe de référence et à partir de la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie ;
- 10 b) acquisition d'un courant délivré par la source ;
- c) test comparatif entre le courant acquis et le courant limite de charge déterminé ;
- d) génération d'un courant de charge dont l'amplitude est soit égale au courant limite déterminé, si le courant acquis est supérieur ou égal au
15 courant limite, soit égale au courant ($i_{PV}(t_N)$) fourni par la source (2), si le courant acquis est inférieur au courant limite.

Selon l'invention, pour chacun des instants successifs, on détermine l'amplitude du courant de charge par le compromis suivant :

- 20 - si le courant délivré par la source est supérieur ou égal à un courant limite, l'amplitude du courant de charge est égale à ce courant limite ;
- si le courant délivré par la source est inférieur au courant limite, l'amplitude du courant de charge est égale au courant délivré par la source.

25

En outre, le courant limite est mis à jour en fonction d'une variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.

Grâce à cela, on réalise une charge de la batterie selon un profil de
30 charge réel qui se rapproche au mieux d'un profil de charge prédéfini. Ainsi, on peut préserver la durée de vie de la batterie et/ou améliorer la rapidité de la charge.

De façon standard, une charge, par exemple une charge impulsionnelle ou une charge continue, suit un profil de charge qui est défini par une courbe de charge de référence. Celle-ci est utilisée pour déterminer le courant limite de charge mis à jour pour chaque impulsion, à partir de la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.

La variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie peut être un état de charge ou SOC (de l'anglais « State Of Charge ») de la batterie.

10 Le SOC permet de représenter le niveau de charge de la batterie avec beaucoup de précision, quels que soient la température, le courant et/ou le vieillissement de la batterie.

Avantageusement, lors de l'étape a), on détermine le courant limite de charge, en déterminant le point de la courbe de charge de référence correspondant par ladite relation à la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.

Dans un mode de réalisation particulier, lors de la deuxième étape de configuration, on réalise une charge de la batterie en appliquant un courant de charge dont l'amplitude est définie par la courbe de charge de référence et on détermine parallèlement l'évolution de ladite variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.

25 Avantageusement, la courbe de charge de référence définit un courant de charge dont l' amplitude est décroissante au cours du temps.

On peut déterminer l'état de charge de la batterie par une méthode du groupe comportant une méthode coulométrique d'intégration temporelle du courant de charge et une méthode de dérivation temporelle de la tension de la batterie.

30

Dans un mode de réalisation particulier, on charge la batterie au moyen d'impulsions de courant électrique et, pour chaque impulsion de courant ($I_{\text{batt}}(N)$), on exécute les étapes a) à d).

- 5 Dans ce cas, avantageusement, la courbe de charge de référence est une courbe enveloppe d'impulsions de courant.

Dans un autre mode de réalisation particulier, on charge la batterie par un courant continu (non impulsionnel).

10

Avantageusement encore, le procédé est appliqué à l'une des batteries du groupe comportant une batterie lithium-ion, une batterie au plomb, une batterie Ni-Cd et une batterie Ni-MH.

- 15 L'invention concerne aussi un dispositif de contrôle d'une charge électrique d'une batterie par une source d'énergie intermittente selon un profil de charge variable dans le temps, comprenant un module de paramétrage d'une courbe de charge de référence du courant de charge qui définit un profil de charge variable théorique en fonction du temps, un module de détermination
20 d'une relation entre les points de la courbe de charge de référence et une variable caractéristique d'un niveau de charge de la batterie, un module de détermination d'un courant limite de charge à l'aide de ladite courbe de référence et à partir de la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie, un module d'acquisition d'un courant délivré par la source, un module de
25 test destiné à comparer le courant acquis et le courant limite de charge déterminé, et un module de génération, à partir du courant délivré par la source, d'un courant électrique de charge dont l'amplitude est soit égale au courant limite déterminé, si le courant acquis est supérieur ou égal au courant limite, soit égale au courant fourni par la source, si le courant acquis est inférieur au courant
30 limite.

Le dispositif de contrôle de charge comprend avantageusement tout ou partie des caractéristiques additionnelles suivantes :

- le module de détermination d'un courant limite de charge est agencé pour déterminer le point de la courbe de charge de référence correspondant par ladite relation à la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie ;
- le module de génération est agencé pour générer des impulsions de courant électrique de charge.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante d'un mode de réalisation particulier du procédé de charge d'une batterie Lithium-ion par une source d'énergie intermittente selon l'invention, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 représente un organigramme des étapes du procédé de charge, selon un mode de réalisation particulier de l'invention ;
- La figure 2 représente une courbe enveloppe de référence d'impulsions de courant de charge dans l'hypothèse où la production d'énergie est suffisante pendant toute la durée de la charge ;
- La figure 3 représente l'évolution temporelle de l'état de charge de la batterie, correspondant à une charge selon la courbe enveloppe de la figure 2 ;
- La figure 4 représente un exemple de l'évolution temporelle du courant fourni par la source d'énergie intermittente pendant plusieurs heures et une courbe enveloppe réelle d'impulsions de courant de charge obtenue selon l'invention ;
- La figure 5 représente l'évolution temporelle de l'état de charge par application d'impulsions de courant de charge selon la courbe enveloppe réel de la figure 4 ;
- La figure 6 représente un schéma bloc fonctionnel d'un système comportant une source d'énergie intermittente, un dispositif de contrôle de charge et une batterie, selon une forme de réalisation particulière de l'invention.

Le procédé de charge de l'invention permet de charger une batterie 1 de type lithium-ion, par exemple une batterie de technologie lithium-ion Samsung-22F, à l'aide d'une source d'énergie intermittente 2, selon un profil de charge
5 variable temporellement.

Par source d'énergie intermittente, on entend désigner une source qui, en cours de production, produit une énergie qui n'est pas constante et régulière au cours du temps. Par exemple, il peut s'agir d'un dispositif photovoltaïque destiné
10 à transformer de l'énergie solaire en énergie électrique ou un dispositif éolien destiné à transformer de l'énergie éolienne en énergie électrique. L'énergie électrique produite est intermittente. Dans l'exemple particulier de réalisation décrit ici, la source d'énergie intermittente 2 comprend un dispositif photovoltaïque.

15

Dans le mode de réalisation particulier décrit ici, la charge de la batterie 1 est impulsionnelle. En d'autres termes, la batterie 1 est chargée par une succession d'impulsions de courant électrique de charge, notées $I_{batt}(N)$ où N représente le numéro d'ordre (ou indice) d'une impulsion, N étant ici égal à 0, 1,
20 2,

Le dispositif photovoltaïque 2 produit en sortie un courant électrique $i_{PV}(t)$ qui varie au cours du temps en fonction notamment de l'irradiation solaire, des caractéristiques propres au dispositif 2, et éventuellement du vent. Ce courant
25 $i_{PV}(t)$ est destiné à être utilisé pour charger la batterie 1 par l'intermédiaire d'un module 3 de contrôle de charge.

Le module 3 de contrôle de charge est destiné à recevoir en entrée le courant électrique $i_{PV}(t)$ délivré par le dispositif photovoltaïque 2 et à délivrer en
30 sortie des impulsions de courant $I_{batt}(N)$ de charge de la batterie 1. Il est adapté pour mettre en œuvre un algorithme de détermination des amplitudes des impulsions de courant de charge $I_{batt}(N)$, comme cela sera décrit plus loin. Les

impulsions de courant de charge peuvent être séparées les unes des autres par des pauses (à courant de charge nul) ou éventuellement par des phases de décharge.

5 En référence à la figure 1, lors d'une première étape de configuration E0, on paramètre une courbe de charge de référence, notée I_{ch_ref} , ou courbe enveloppe. Dans le mode de réalisation décrit ici, la courbe de charge de référence constitue une courbe enveloppe d'impulsions de courant de charge dans le module de contrôle de charge 3. Cette courbe de charge de référence
10 représente l'évolution de l'amplitude du courant de charge (ici l'évolution des amplitudes des impulsions de courant de charge) en fonction du temps (ou ici, de façon alternative, en fonction du numéro d'ordre d'impulsion N) dans l'hypothèse théorique où l'irradiation solaire reçue par le module photovoltaïque 2 serait suffisante pour permettre de charger la batterie 1 selon la limite de la courbe de
15 référence. Autrement dit, si l'irradiation solaire est suffisante, l'amplitude du courant de charge est définie par des points de cette courbe de référence I_{ch_ref} . En l'espèce, les amplitudes respectives des impulsions de courant de charge successives, $I_{batt}(t_N)$ où t_N représente l'instant d'application de l'impulsion d'indice N, sont définies par des points de la courbe de référence I_{ch_ref} .

20

La courbe de charge de référence I_{ch_ref} est mémorisée dans une mémoire du module de contrôle 3. Elle comprend un ensemble de points, chacun de ces points étant défini par une amplitude de courant exprimée en ampères et par un instant t (ou ici un numéro d'ordre N). Elle peut être définie par une équation
25 et/ou par des données relatives aux points de la courbe.

La courbe de charge de référence I_{ch_ref} , ou courbe enveloppe, définit un profil de charge théorique, ou virtuel, en fonction du temps. Elle représente une charge selon un profil variable temporellement, c'est-à-dire à courant de charge
30 (ou de façon analogue à tension de charge) non constant dans le temps. Ainsi, selon ce profil de charge théorique, le courant de charge varie au cours du temps. Par exemple, le courant de charge décroît en fonction du temps. Dans le

cas d'une charge impulsionnelle, il en résulte que les impulsions de courant de charge ont des amplitudes qui varient au cours du temps. Par exemple, les impulsions successives ont des amplitudes décroissantes.

- 5 La variation du courant de charge peut par exemple être de type exponentiel ou linéaire. Dans le cas d'une variation exponentielle, la courbe enveloppe est définie par une équation contenant un facteur exponentiel en fonction du temps ou du numéro d'ordre de l'impulsion, par exemple :

$$a \times e^{b \times N} + c$$

10 où

- N est le numéro d'ordre d'une impulsion de charge ;
- $I(N)$ est le régime (ou amplitude) de la N^{ième} impulsion de charge ;
- a est un réel négatif de valeur absolue strictement inférieure à 1 ;
- b est un réel positif de valeur absolue strictement inférieure à 1 ;
- 15 - c est un réel positif de valeur proche d'un courant maximal.

Dans le cas d'une variation linéaire, la courbe de charge de référence peut comprendre un segment de droite à pente décroissante en fonction du temps (ou ici du numéro d'ordre d'impulsion) ou de préférence plusieurs segments de droite
20 ayant des pentes successives de plus en plus importantes au fil de la charge. Notamment, les courbes de charge de référence peuvent être analogues aux courbes enveloppes décrites dans la demande de brevet français n°1462984.

Comme cela sera explicité par la suite, la courbe de charge de référence
25 I_{ch_ref} permet de déterminer et d'actualiser, ou mettre à jour, un courant limite de charge. Le courant limite de charge peut être actualisé à des instants successifs. Dans le mode de réalisation décrit ici, le courant limite de charge est actualisé pour chaque impulsion de courant à appliquer.

30 Un exemple de courbe enveloppe I_{ch_ref} est illustré par la figure 2 en fonction du temps t. Cette courbe est définie par la relation suivante (en fonction du numéro d'ordre d'impulsion) : $-0.0183 \times e^{0.002 \times N} + 1.018$. Sur la figure 3, on

a représenté l'évolution temporelle de l'état de charge ou SOC (de l'anglais « State of Charge ») correspondant, c'est-à-dire lors d'une charge impulsionnelle selon le profil de charge défini par la courbe enveloppe I_{ch_ref} de la figure 2.

- 5 Lors d'une deuxième étape de configuration E1, on détermine une relation entre la courbe de charge de référence I_{ch_ref} (ou courbe enveloppe) et une variable caractéristique du niveau de charge de la batterie 1. Dans l'exemple de réalisation décrit ici, la variable caractéristique du niveau de charge de la batterie 1 est l'état de charge ou SOC (de l'anglais « State Of Charge ») de la batterie 1.
- 10 On pourrait toutefois utiliser toute autre variable caractérisant le niveau de charge de la batterie 1.

- Lors de l'étape E1, on réalise une charge préliminaire de la batterie 1 au moyen d'un courant de charge selon le profil temporel de charge défini par la
- 15 courbe de référence I_{ch_ref} de la figure 2. Autrement dit, on charge la batterie 1 à l'aide d'un courant de charge dont l'amplitude est définie par la courbe de référence I_{ch_ref} . Dans le mode de réalisation décrit ici, on charge au moyen d'impulsions de courant de charge. Les amplitudes des impulsions de courant successives correspondent à des points successifs de la courbe enveloppe. Pour
- 20 mettre en œuvre l'étape de configuration E1, la batterie 1 à vide (SOC=0%) est connectée à une source d'énergie apte à fournir un courant électrique suffisant, par l'intermédiaire du module de contrôle de charge 3. Lors de la charge préliminaire, le module 3 génère le courant de charge (ici des impulsions de courant) à partir du courant fourni par la source, selon le profil temporel de
- 25 charge défini par la courbe de référence I_{ch_ref} .

- Pendant cette charge préliminaire, le module de contrôle 3 détermine parallèlement l'évolution de la variable caractéristique du niveau de charge de la batterie 1, ici le SOC ou état de charge de la batterie 1. L'état de charge ou SOC
- 30 de la batterie 1 est évalué, de façon connue, par exemple par une méthode coulométrique basée sur l'intégration temporelle du courant de charge appliqué à la batterie 1 ou, dans le cas d'une charge impulsionnelle, par une méthode basée

sur le calcul de la dérivée de la tension aux bornes de la batterie telle de décrite dans le document FR2908243.

A partir de la courbe de charge de référence I_{ch_ref} en fonction du temps et
5 de l'évolution temporelle de l'état de charge ou SOC de la batterie 1 durant la charge préliminaire, le module de contrôle de charge 3 détermine une relation entre la courbe de charge de référence I_{ch_ref} et l'état de charge SOC sous la forme d'une fonction f telle que :

$$I_{ch_ref} = f(SOC)$$

10 La fonction f pourrait de façon alternative être déterminée par calcul ou par simulation.

On va maintenant décrire un processus de charge selon un mode de réalisation particulier de l'invention. Dans l'exemple particulier décrit ici, la charge
15 est impulsionnelle. Ce processus de charge comprend une succession d'étapes E3 à E10 ou E11 destinées à être exécutées de façon itérative, ou en boucle, afin de déterminer l'amplitude du courant de charge à des instants successifs. On note N l'indice de chaque boucle ou itération d'exécution avec $N = 0, 1, 2, \dots$. Ici, N représente également le numéro d'ordre d'une impulsion de charge.

20

Initialement, lors d'une étape E2, la batterie 1 est vide (autrement dit son SOC est nul) et on pose que :

- $N=0$;
- $I_{lim,0} = I_{ch_ref}(t_0)$, où t_0 représente l'instant de début de charge et $I_{lim,0}$
25 correspond à un courant limite initial égal à la valeur de l'enveloppe de référence I_{ch_ref} à l'instant initial t_0 comme représenté sur la figure 2.

Les étapes suivantes E3 à E10 sont exécutées en boucle à des instants successifs, ici toutes les x secondes. La valeur de x est par exemple inférieure
30 ou égale à 30 secondes.

L'étape E3 est une étape d'acquisition du courant produit par la source d'énergie intermittente 2. Par exemple, le module de contrôle 3 mesure le courant $i_{PV}(t_N)$ en sortie du dispositif photovoltaïque 2. L'instant t_N est tel que :

$$t_N = t_0 + N.x$$

5

Lors d'une étape de test E4, on compare le courant acquis $i_{PV}(t_N)$ et un courant limite $I_{lim,N}$ valable pour la boucle d'indice N en cours d'exécution. Lors de l'exécution de la première boucle ($N=0$), le courant limite $I_{lim,0}$ vaut $I_{ch_ref}(t_0)$.

10 Si le courant produit $i_{PV}(t_N)$, avec $t_N = t_0 + N.x$, est supérieur ou égal au courant limite $I_{lim,N}$ valable pour la boucle d'indice N en cours d'exécution (branche « Yes » sur la figure 1), alors on règle l'amplitude du courant de charge (en l'espèce l'amplitude de l'impulsion de courant d'indice N ou de numéro d'ordre N à appliquer), notée $I_{batt}(N)$, à la valeur de courant limite $I_{lim,N}$, lors d'une
15 étape E5. Ainsi, à l'instant t_N , on limite l'amplitude du courant de charge (en l'espèce l'amplitude de l'impulsion de courant d'ordre N) au courant limite $I_{lim,N}$.

Si le courant produit $i_{PV}(t_N)$ est strictement inférieur au courant limite $I_{lim,N}$ valable pour la boucle d'indice N en cours d'exécution (branche « No » sur la
20 figure 1), alors on attribue à l'amplitude du courant de charge à appliquer (ici à l'impulsion de courant d'indice N ou de numéro d'ordre N) la valeur du courant $i_{PV}(t_N)$, produit par le module photovoltaïque 2, lors d'une étape E6.

Lors d'une étape E7, le module de contrôle 3 génère un courant de charge
25 (en l'espèce une impulsion de courant de charge) ayant l'amplitude déterminée à l'étape E5 ou E6, à partir du courant délivré par le dispositif photovoltaïque, et applique ce courant à la batterie 1.

Le procédé passe ensuite à une opération ACTU d'actualisation ou de
30 mise à jour du courant limite $I_{lim,N+1}$ valable pour la boucle suivante d'indice N+1. L'actualisation du courant limite comporte plusieurs étapes E8 à E10 décrites ci-après.

L'opération d'actualisation ACTU comprend d'abord une étape E8 de détermination de l'état de charge courant de la batterie 1, noté SOC_N , suite à l'application du courant de charge $I_{batt}(N)$. L'état de charge SOC_N peut être
5 déterminé par différentes méthodes de calcul, par exemple :

- une méthode coulométrique basée sur le calcul de la capacité de la batterie à l'instant t courant par intégration dans le temps du courant appliqué ;
- une méthode de calcul basée sur l'évaluation de la dérivée dans le temps de la tension aux bornes de la batterie, comme décrit dans le brevet
10 FR2908243.

L'étape E8 de détermination de l'état de charge SOC_N courant de la batterie 1 est suivie d'une étape de test E9 destinée à vérifier si la batterie 1 n'est pas complètement chargée (autrement dit si $SOC_N < 100\%$).
15

En cas de test E9 positif (branche « Yes » sur la figure 1), autrement dit si la batterie 1 n'est pas complètement chargée ($SOC_N < 100\%$), le procédé passe à une étape E10 de détermination du courant limite $I_{lim,N+1}$ valable pour la boucle suivante d'indice N+1. Le courant limite $I_{lim,N+1}$ est déterminé à l'aide de la
20 fonction f prédéterminée lors de l'étape E1, en fonction de l'état de charge courant SOC_N déterminé lors de l'étape E8, par la relation suivante :

$$I_{lim,N+1} = f(SOC_N).$$

Compte tenu de la relation entre la courbe de charge de référence et l'état de charge, telle que $I_{ch_ref} = f(SOC)$, lors de l'étape E10, on détermine en
25 définitive le point de la courbe de référence I_{ch_ref} qui correspond par la relation f à l'état de charge courant SOC_N de la batterie 1. Ce point déterminé de la courbe enveloppe de référence constitue le courant limite de charge $I_{lim,N+1}$ valable pour déterminer l'amplitude suivante du courant de charge (ici l'amplitude
30 de l'impulsion de charge d'indice N+1).

En cas de test E9 négatif (branche « No » sur la figure 1), autrement dit si la batterie est complètement chargée ($SOC_N=100\%$), le procédé passe à une étape de fin E11.

5 Suite à l'étape E10, l'indice de boucle est incrémenté de 1 pour passer à $N+1$. Le procédé revient alors à l'étape E3 d'acquisition du courant produit par le module photovoltaïque, $i_{PV}(t_{N+1})$, pour l'instant suivant t_{N+1} . Les étapes E4 à E10 ou E11 sont ensuite réitérées pour l'indice $N+1$.

10 Le procédé se termine ici lorsque la batterie est complètement chargée, son état de charge ayant atteint 100%. On pourrait toutefois envisager d'arrêter la charge à un état de charge maximal prédéfini et inférieur à 100%.

Sur la figure 4, on a représenté, en fonction du temps t :

- 15
- L'évolution temporelle du courant $i_{PV}(t)$ produit en sortie du module photovoltaïque 2 ;
 - La courbe I_{ch_reel} d'évolution réelle de l'amplitude du courant de charge, correspondant ici à la courbe enveloppe réelle des impulsions de courant charge successives, en fonction du temps ;
- 20
- différentes courbes théoriques d'évolution temporelle du courant de charge (ici des courbes enveloppes d'impulsions de charge), I_{ch_th1} , I_{ch_th2} et I_{ch_th3} , correspondant à différents états de charge de la batterie 1, ayant des portions communes avec la courbe d'évolution réelle I_{ch_reel} .

25

Sur la figure 5, on a représenté l'évolution temporelle de l'état de charge de la batterie 1 durant une charge impulsionnelle selon l'enveloppe réelle I_{ch_reel} représentée sur la figure 4.

30 On va maintenant décrire, en référence à la figure 6, le dispositif de contrôle de charge 3 selon une forme de réalisation particulière de l'invention.

Le dispositif de contrôle de charge 3 comprend :

- une interface d'entrée 30 de connexion à une source d'énergie,
- un premier module de configuration 31,
- un deuxième module de configuration 32,
- 5 - un module 33 d'acquisition du courant $i_{PV}(t)$ délivré par la source,
- un module de test 34,
- un module 35 de réglage du courant de charge $I_{batt}(N)$,
- un module 36 d'actualisation ou de mise à jour d'un courant limite $I_{lim,N}$,
- un module 37 de génération du courant de charge,
- 10 - une interface de sortie 38 de connexion à une batterie à charger,
- et une interface utilisateur 39.

Le dispositif de contrôle de charge 3 est destiné à être interposé entre une source d'énergie, par exemple le module photovoltaïque 2, et une batterie à charger, par exemple la batterie 1.

Le premier module de configuration 31 permet à un utilisateur de paramétrer une courbe de charge de référence I_{ch_ref} en fonction du temps (ou, de façon alternative, dans le cas particulier d'une charge impulsionnelle, en fonction d'un numéro d'impulsion) au moyen de l'interface utilisateur 39. Le module de configuration 30 est agencé pour mettre en œuvre l'étape E0. Il intègre une mémoire de stockage de données relatives à la courbe de charge de référence.

Le deuxième module de configuration 32 est adapté pour commander l'exécution de l'étape E1 de sorte à déterminer la fonction f définissant la relation entre la courbe de charge de référence I_{ch_ref} et l'état de charge SOC de la batterie 1.

Le module d'acquisition 33 est adapté pour mesurer le courant $i_{PV}(t)$ en sortie du module photovoltaïque 2 à des instants successifs t_N . Il est destiné à mettre en œuvre l'étape E3.

Le module de test 34 est adapté pour mettre en œuvre l'étape de test E4. Ainsi, le module de test 34 est apte à comparer le courant acquis $i_{PV}(t_N)$ à un courant limite $I_{lim,N}$ valable pour la boucle N en cours d'exécution.

5

Le module de réglage 35 est destiné à régler l'amplitude du courant de charge en fonction du résultat du test réalisé par le module 34. Il est ainsi adapté pour mettre en œuvre les étapes E5 et E6.

10

Le module d'actualisation, ou de mise à jour, 36 est adapté pour actualiser la valeur du courant limite. Il est destiné à mettre en œuvre les étapes E8, E9 et E10. Il intègre un bloc 360 de détermination de l'état de charge de la batterie et un bloc 361 de calcul du courant limite $I_{lim,N+1}$ en fonction de l'état de charge SOC_N , à l'aide de la fonction f déterminée par le module 32.

15

Le module 37 de génération de courant de charge est destiné à générer un courant de charge (par exemple des impulsions de courant ou un courant continu), à partir du courant délivré par la source d'énergie à laquelle est connectée le dispositif 3. L'amplitude du courant de charge généré est soit égale
20 au courant limite déterminé $I_{lim,N}$, si le courant acquis est supérieur ou égal à ce courant limite, soit égale au courant $i_{PV}(t_N)$ fourni par la source, si le courant $i_{PV}(t_N)$ délivré par la source est inférieur au courant limite $I_{lim,N}$.

Le courant de charge généré est transmis à la batterie à charger au
25 travers de l'interface de sortie 38.

L'interface utilisateur 39 comprend de façon classique un clavier, un écran, une interface graphique permettant la saisie et la restitution de données.

30

Bien entendu, une unité centrale de commande, non représentée, est destinée à contrôler le fonctionnement des éléments 30 à 39 du dispositif de contrôle de charge 3. Elle est notamment destinée à commander l'exécution de

façon itérative, à des instants successifs, des étapes E3 à E10 par les modules 33, 34, 35 et 36, jusqu'à obtenir une charge prédéfinie, par exemple une charge complète.

- 5 L'invention pourrait s'appliquer à une batterie autre qu'une batterie lithium-ion, notamment à des batteries au plomb, Ni-Cd ou Ni-MH.

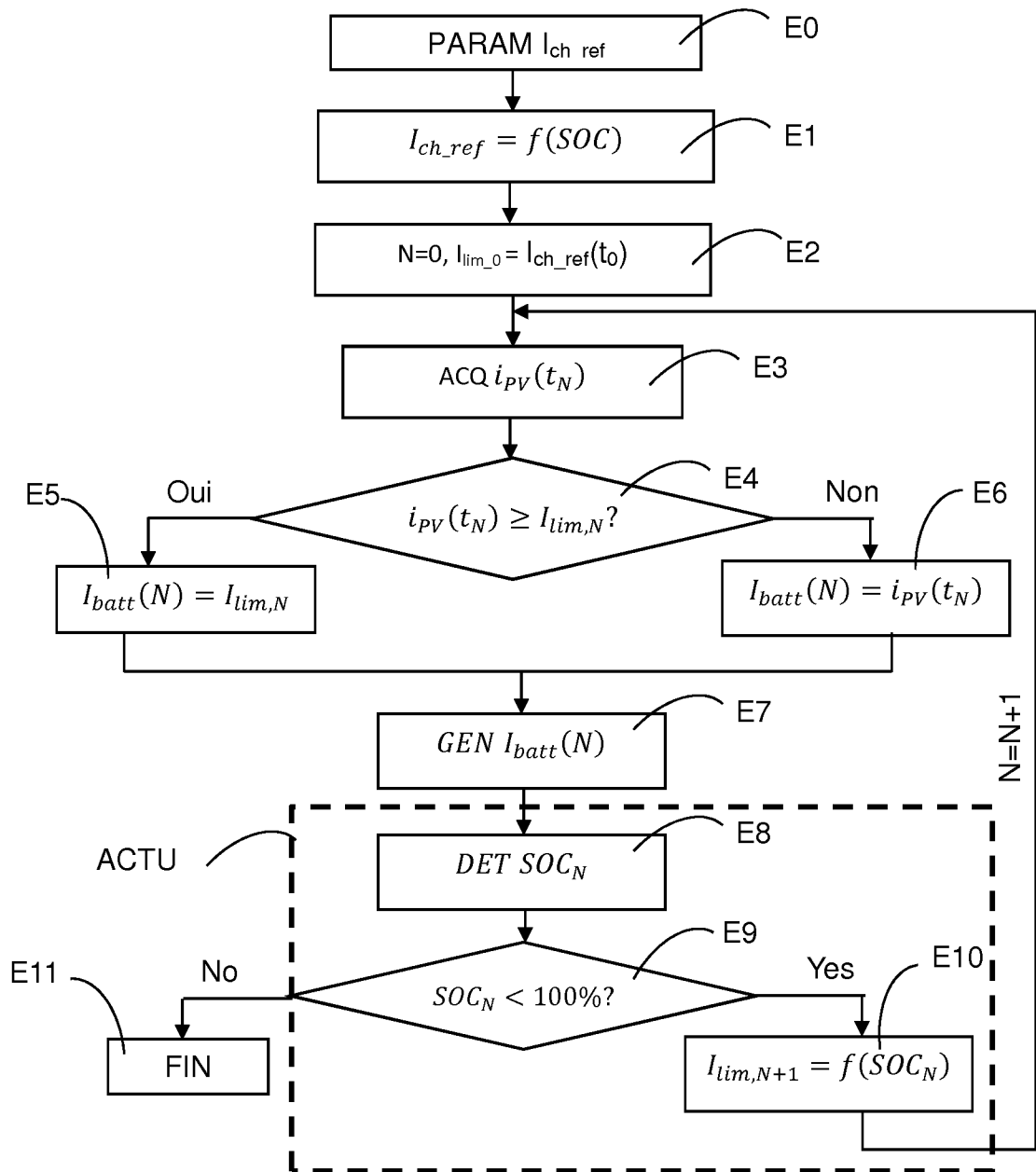
 Dans le mode de réalisation particulier qui vient d'être décrit, la charge est impuls ionnelle. L'invention s'applique également à une charge continue (c'est-à-
10 dire non-impuls ionnelle) selon un profil de charge variable dans le temps.

REVENDICATIONS

1. Procédé de charge électrique d'une batterie (1) par une source d'énergie
5 intermittente (2) selon un profil de charge variable dans le temps, comprenant une première étape de configuration (E0), lors de laquelle on paramètre une courbe de charge de référence qui définit un profil de charge variable théorique en fonction du temps, une deuxième étape de configuration, lors de laquelle on détermine une relation entre la courbe de
10 charge de référence (I_{ch_ref}) et une variable caractéristique du niveau de charge de la batterie, et les étapes a), b), c) et d) suivantes, qui sont exécutées de façon itérative, à des instants successifs, jusqu'à obtenir une charge prédéfinie, notamment une charge complète, de la batterie (E11) :
 - a) détermination (E2, E10) d'un courant limite de charge à l'aide de ladite
15 courbe de référence et à partir de la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie (E8) ;
 - b) acquisition (E3) d'un courant ($i_{PV}(t_N)$) délivré par la source (2) ;
 - c) test comparatif (E4) entre le courant acquis ($i_{PV}(t_N)$) et le courant limite de charge déterminé ;
 - 20 d) génération (E7) d'un courant de charge dont l'amplitude est soit égale au courant limite déterminé, si le courant acquis est supérieur ou égal au courant limite, soit égale au courant ($i_{PV}(t_N)$) fourni par la source (2), si le courant acquis est inférieur au courant limite.
- 25 2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la variable caractéristique du niveau de charge de la batterie est un état de charge (SOC_N) de la batterie (1).
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que,
30 lors de l'étape a), on détermine le courant limite de charge, en déterminant le point de la courbe de charge de référence correspondant par ladite relation à la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, lors de la deuxième étape de configuration (E1), on réalise une charge de la batterie (1) en appliquant un courant de charge dont l'amplitude est définie par la courbe de charge de référence (I_{ch_ref}) et on détermine parallèlement l'évolution de ladite variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie (1).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la courbe de charge de référence définit un courant de charge dont l'amplitude est décroissante au cours du temps.
6. Procédé selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé en ce qu'on détermine l'état de charge de la batterie par une méthode du groupe comportant une méthode coulométrique d'intégration temporelle du courant de charge et une méthode de dérivation temporelle de la tension de la batterie.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que on charge la batterie (1) au moyen d'impulsions de courant électrique et, pour chaque impulsion de courant ($I_{batt}(N)$), on exécute les étapes a) à d).
8. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la courbe de charge de référence est une courbe enveloppe d'impulsions de courant.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est appliqué à l'une des batteries du groupe comportant une batterie lithium-ion, une batterie au plomb, une batterie Ni-Cd et une batterie Ni-MH.
10. Dispositif de contrôle d'une charge électrique d'une batterie (1) par une source d'énergie intermittente (2) selon un profil de charge variable dans le temps, comprenant un module de paramétrage d'une courbe de charge de référence du courant de charge qui définit un profil de charge variable théorique en fonction du temps, un module de détermination d'une relation

- entre les points de la courbe de charge de référence (I_{ch_ref}) et une variable caractéristique d'un niveau de charge de la batterie, un module (36) de détermination d'un courant limite de charge à l'aide de ladite courbe de référence et à partir de la variable caractéristique du niveau de charge
- 5 courant de la batterie, un module (33) d'acquisition d'un courant ($i_{PV}(t_N)$) délivré par la source (2), un module de test (34) destiné à comparer le courant acquis ($i_{PV}(t_N)$) et le courant limite de charge déterminé, et un module (37) de génération, à partir du courant délivré par la source, d'un
- 10 courant électrique de charge dont l'amplitude est soit égale au courant limite déterminé, si le courant acquis est supérieur ou égal au courant limite, soit égale au courant ($i_{PV}(t_N)$) fourni par la source (2), si le courant acquis est inférieur au courant limite.
11. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le module
- 15 (36) de détermination d'un courant limite de charge est agencé pour déterminer le point de la courbe de charge de référence correspondant par ladite relation à la variable caractéristique du niveau de charge courant de la batterie.
- 20 12. Dispositif selon l'une des revendications 10 et 11, caractérisé en ce que le module de génération est agencé pour générer des impulsions de courant électrique de charge.

**Fig.1**

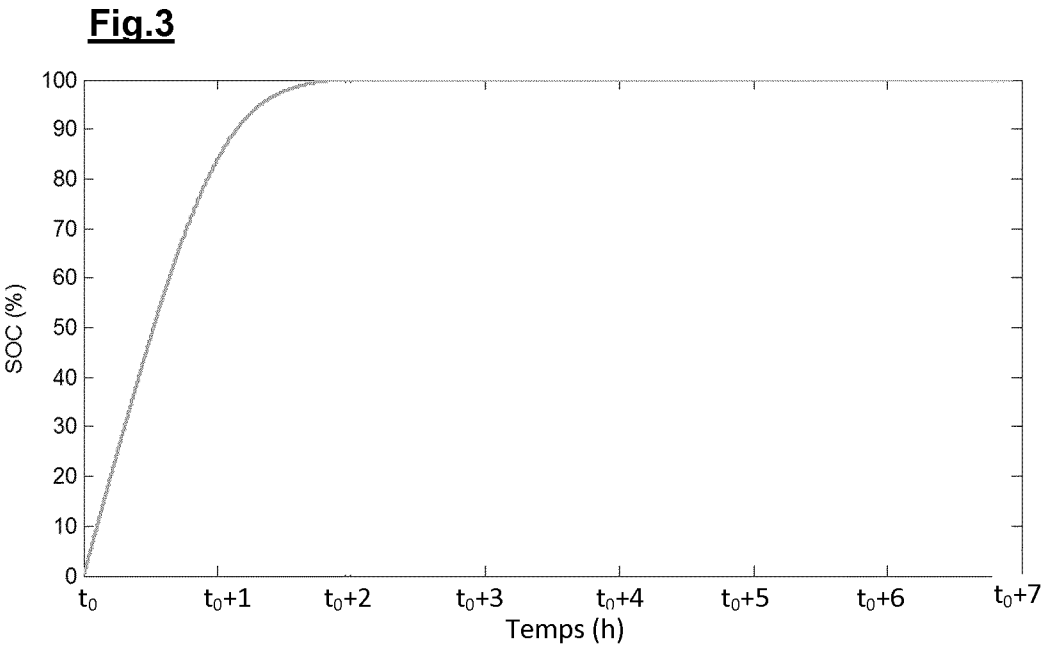
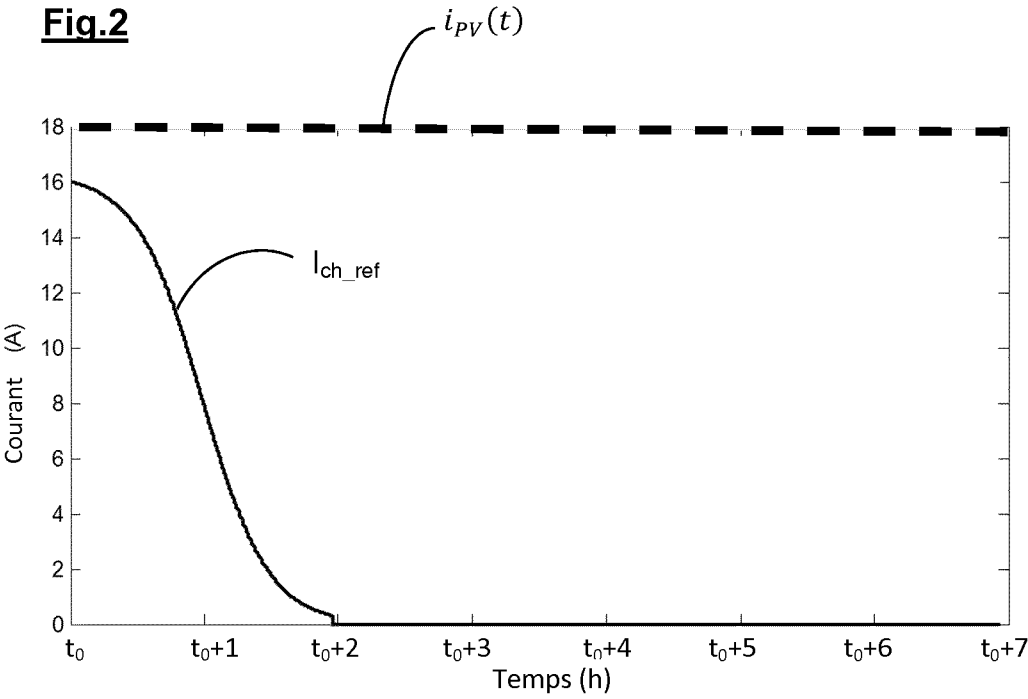


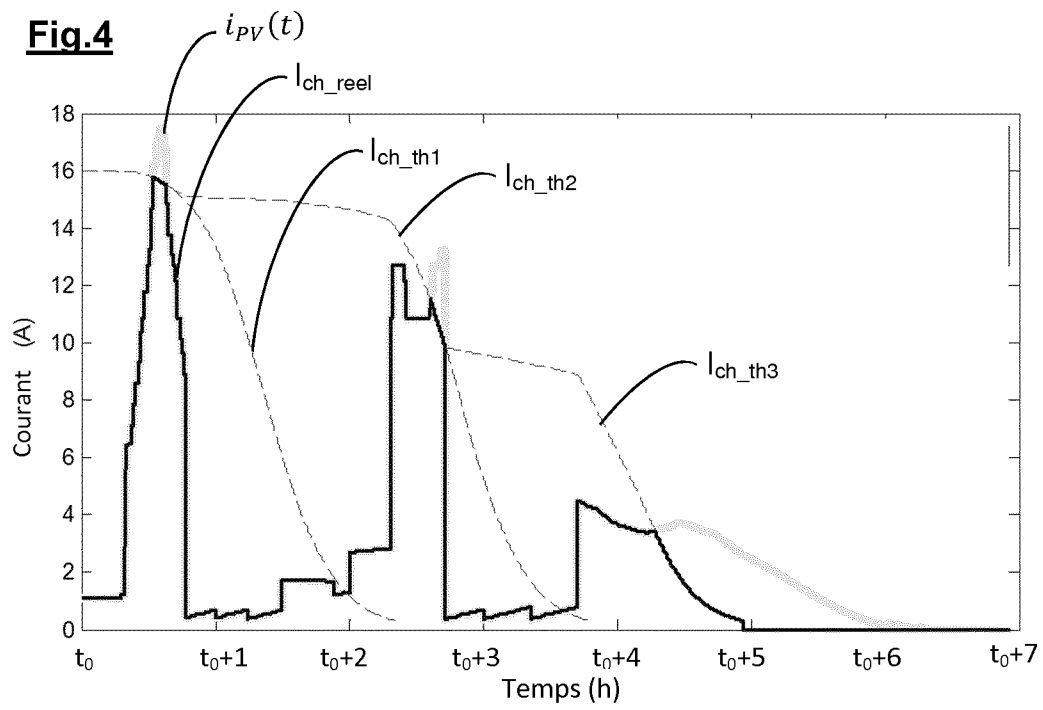
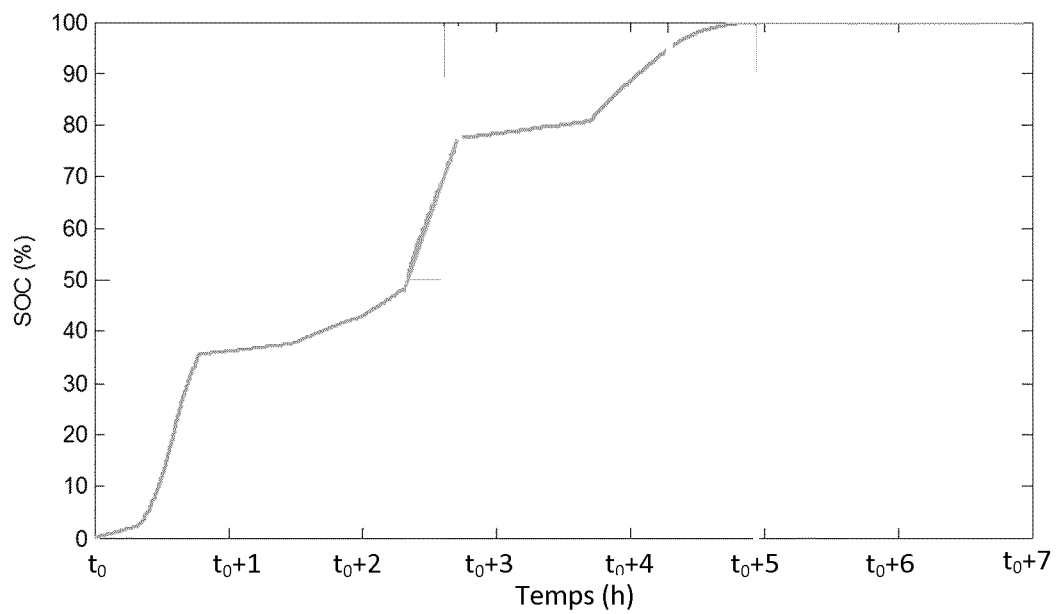
Fig.4**Fig.5**

Fig.6