

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ET DISPOSITIF DE CHARGE D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION.

②② Date de dépôt : 19.12.14.

③③ Priorité :

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES —
FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.06.16 Bulletin 16/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 03.05.19 Bulletin 19/18.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : KAROUÏ HENCHIRI FATHIA, ANAYA
GARZON DAVID et KANAAN GEORGES.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

⑦④ Mandataire(s) : NOVAIMO.



Titre : Procédé et dispositif de charge d'une batterie lithium-ion

L'invention concerne un procédé et un dispositif de charge d'une batterie lithium-ion.

5

Une batterie lithium-ion est généralement chargée en deux phases. Lors de la première phase, la batterie est chargée avec un 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. Cette première phase est suivie d'une
10 deuxième phase de charge 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 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
15 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.

20 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, décrit une solution pour diminuer la durée de charge d'une batterie lithium-ion. Le principe de la méthode proposée est d'appliquer à la batterie des impulsions de courant
25 de charge, avec des périodes de relaxation. Différentes variantes de réalisation ont été envisagées en faisant varier l'amplitude des impulsions, la largeur des impulsions et la durée des périodes de relaxation. Ces trois paramètres permettent 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
30 vitesse de charge et la durée de vie de la batterie.

Des essais de la méthode proposée ci-dessus ont été réalisés avec des régimes de charge compris entre 0,025 et 1C. Il en ressort que la méthode ne permet pas d'atteindre une pleine charge de la batterie.

5 La présente invention vient améliorer la situation.

A cet effet, l'invention concerne un procédé de charge d'une batterie lithium-ion comprenant une étape de charge lors que laquelle on applique à la batterie une succession d'impulsions de courant de charge, caractérisé en ce
10 que la charge comprend au moins deux phases successives de charge, la première phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini.

15 Dans un mode de réalisation particulier, les impulsions successives ont des amplitudes décroissantes et en ce que la charge comprend au moins deux phases successives de charge, la deuxième phase ayant une vitesse de décroissance plus élevée que celle de la première phase.

20 Selon l'invention, la charge de la batterie s'effectue au moyen d'impulsions de courant de charge dont les amplitudes décroissent au cours du temps. Elle comprend deux phases :

- 25 - une première phase de charge pendant laquelle les amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini, par exemple une première phase pendant laquelle la décroissance des amplitudes impulsionnelles est lente et le courant élevé, dans le but d'amener rapidement l'état de charge de la batterie jusqu'à un niveau relativement élevé ;
- 30 - une deuxième phase de charge pendant laquelle les amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini, par exemple une deuxième phase pendant laquelle la décroissance

des amplitudes impulsionnelles est rapide dans le but de faire décroître rapidement le courant de charge tout en complétant la charge de la batterie.

- 5 Le procédé de l'invention permet de charger pleinement la batterie tout en la protégeant contre un vieillissement prématuré et en garantissant une restitution de l'énergie cumulé, notamment à froid.

Avantageusement, les amplitudes des impulsions de courant de charge
10 sont inférieures ou égales à un courant de charge maximal caractéristique de la batterie.

Grâce à cela, le courant appliqué durant la charge ne risque pas de détériorer la batterie.

15 Dans un mode de réalisation particulier, durant la première phase de charge, l'amplitude des impulsions de courant est comprise dans une plage de valeurs ayant une borne supérieure qui est égale à un courant maximal autorisé et une borne inférieure qui est supérieure ou égale à 50% dudit courant maximal autorisé, notamment supérieure ou égale à 80% du courant maximal autorisé.
20 Ainsi, la première phase de charge à décroissance lente est déterminée de manière à ce que le courant de charge appliqué sous forme d'impulsions reste dans une plage prédéfinie comprise, par exemple entre le courant maximal autorisé et 90% du courant maximal autorisé.

25 Avantageusement, on surveille une grandeur physique relative à la batterie et, lorsqu'on détecte que ladite grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie, on commande un basculement de la première phase de charge à la deuxième phase de charge. La grandeur physique peut être l'une des
30 grandeurs du groupe comprenant la tension de la batterie et l'état de charge de la batterie.

Il pourrait cependant être facultatif de surveiller une grandeur physique relative à la batterie pour déclencher le basculement de la première à la deuxième phase de charge. En effet, ce basculement pourrait être induit de façon automatique par le type de décroissance mis en œuvre, par exemple par
 5 une décroissance exponentielle judicieusement paramétrée.

Avantageusement, on interrompt la charge sur détection d'une condition de fin de charge satisfaite, notamment un courant inférieur ou égal à un courant limite de fin de charge ou un état de charge correspondant à une pleine charge.

10

La première phase de charge peut présenter une décroissance exponentielle ou linéaire.

De même, la deuxième phase de charge peut présenter une décroissance
 15 exponentielle ou linéaire.

Dans un mode de réalisation particulier, les amplitudes des impulsions de charge successives décroissent de façon exponentielle suivant la relation :

$$I(N) = a \cdot \exp(b \cdot N) + c$$

où

20

- N est le numéro d'ordre d'une impulsion de charge ;
- $I(N)$ est le régime 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 ;
- c est un réel positif de valeur proche d'un courant maximal.

25

Dans une première variante de réalisation, durant l'étape de charge, on soumet la batterie à des impulsions de décharge.

Dans une deuxième variante de réalisation, l'étape de charge comprend
 30 une phase terminale de charge résiduelle durant laquelle les amplitudes des impulsions de charge successives sont constantes. Une telle phase terminale de

charge peut être intéressante pour effectuer une charge résiduelle à courant faible jusqu'à atteindre une tension donnée et obtenir une pleine charge.

Dans une troisième variante de réalisation, l'étape de charge comprend au moins trois phases de charge successives, ayant des vitesses de décroissance respectives de plus en plus élevées.

Avantageusement, les impulsions de charge sont séparées par des périodes de repos.

Avantageusement encore, durant toute la charge, la tension de la batterie ne dépasse pas une tension maximale caractéristique de la batterie.

L'invention concerne aussi un dispositif de charge d'une batterie lithium-ion comprenant un module générateur d'impulsions successives de courant de charge, caractérisé en ce que le module générateur est adapté pour générer une succession d'impulsions de courant de charge suivant au moins deux phases successives de charge, la première phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini.

Avantageusement, le module générateur est adapté pour générer une succession d'impulsions de courant de charge suivant au moins deux phases successives de charge, la deuxième phase ayant une vitesse de décroissance plus élevée que celle de la première phase.

Avantageusement encore, le dispositif de charge comprend un module de test adapté pour surveiller une grandeur physique relative à la batterie et, lorsqu'on détecte que ladite grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie, on commande un basculement de la première phase de charge à la deuxième phase 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 en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- 5 - Les figures 1 à 5 représentent différents exemples de réalisation de profil de charge ;
- La figure 6 représente un exemple particulier de profil d'impulsions de courant ;
- La figure 7 représente l'évolution d'un courant de charge ;
- 10 - La figure 8 représente un organigramme des étapes du procédé de charge ;
- La figure 9 représente un schéma bloc fonctionnel d'un dispositif de charge, selon une forme de réalisation particulière de l'invention.

- 15 Le procédé de charge de l'invention permet de charger une batterie de type lithium-ion. Par exemple, il peut s'agir d'une batterie de technologie lithium-ion Samsung-22F.

Une batterie lithium-ion possède les caractéristiques suivantes, généralement spécifiées par le fabricant :

- 20 - une capacité nominale de charge électrique, notée Q et exprimée en Ah (ampère-heure) ;
- un courant maximal de charge $I_{\max}$, exprimé en A (ampères) ;
- une tension maximale admissible $U_{\max}$, exprimée en V (volts) ;
- 25 - une tension minimale admissible $U_{\min}$, exprimée en V (volts) ;
- un critère de fin de charge.

La capacité nominale Q de charge électrique de la batterie est la quantité de courant que la batterie peut fournir en une heure, à une température de référence. Elle est exprimée en Ah (ampère-heure).

Par définition, on appelle « régime C » ou « régime 1C » le courant permettant de décharger la capacité nominale Q en 1 heure. On appelle « régime x C » le courant que fournirait la batterie en un nombre $1/x$ d'heure(s). Il est égal au produit de x et de Q , soit $x.Q$ et est exprimé en A (ampères). Prenons

5 l'exemple d'une batterie ayant une capacité Q égale à 5Ah. Le régime 1C ou C de cette batterie est égal à $\frac{Q(Ah)}{1(h)} = \frac{5Ah}{1h} = 5A$, soit un courant de 5A. Le régime 2,2C de cette même batterie est égal à $\frac{2,2 \times Q(Ah)}{1(h)} = \frac{2,2 \times 5Ah}{1h} = 11A$, soit un courant de 11A.

10 Le courant maximal de charge $I_{\max}$, également appelé courant nominal de charge, est le courant maximal recommandé par le fabricant pour charger la batterie sans la détériorer. Ce courant maximal $I_{\max}$ est ici égal au régime 1C de la batterie.

15 La tension maximale $U_{\max}$ de la batterie correspond à la tension de fin de charge maximale autorisée suivant la spécification du fabricant.

La tension minimale $U_{\min}$ de la batterie correspond à la tension de fin de décharge minimale autorisée suivant la spécification du fabricant.

20

Le critère de fin de charge peut correspondre à un courant de fin de charge, une tension de fin de charge ou un état de charge (SOC), qu'il convient d'atteindre en fin de charge. Lorsque ce critère est rempli, on considère que la charge est terminée.

25

Le procédé de charge est mis en œuvre par un dispositif de charge, qui sera décrit ultérieurement.

Il comprend une étape de charge E1 lors de laquelle on applique à la

30 batterie une succession d'impulsions de courant de charge, que l'on appellera par la suite « impulsions de charge ». Dans un premier mode de réalisation

particulier, les impulsions de charge successives sont séparées par des périodes de repos.

Chaque impulsion de charge est définie par une amplitude de courant I_c et
 5 par une durée d'impulsion t_c . Cette durée t_c est par exemple comprise entre 1/10
 seconde et 2 secondes. La durée t_c des impulsions de charge est ici constante
 (c'est-à-dire identique pour toutes les impulsions). Toutefois, elle pourrait varier
 dans le temps.

10 Une période de repos est, par définition, une période durant laquelle le
 courant de charge est nul. Les périodes de repos ont une durée t_r . Cette durée t_r
 est ici constante (c'est-à-dire identique pour toutes les périodes de repos). Elle
 est avantageusement strictement inférieure à la durée t_c des impulsions de
 charge. Toutefois, elle pourrait varier dans le temps.

15 L'amplitude du courant de charge I_c varie dans le temps. Plus
 précisément, les impulsions de charge successives ont des amplitudes qui
 diminuent. La charge comprend au moins deux phases successives de charge :
 une première phase P1 de charge à décroissance « lente » E11 caractérisée par
 20 une première vitesse de décroissance et une deuxième phase P2 de charge à
 décroissance « rapide » E12 caractérisée par une deuxième vitesse de
 décroissance, la deuxième vitesse de décroissance étant supérieure à la
 première vitesse de décroissance. En d'autres termes, l'amplitude des
 impulsions de charge diminue plus vite durant la deuxième phase P2 que durant
 25 la première phase P1.

Par définition, la vitesse de décroissance d'une phase de charge
 correspond à la pente de la courbe enveloppe définie par les impulsions de
 courant.

La décroissance de chacune des phases de charge peut être par exemple linéaire ou exponentielle, comme cela sera explicité plus en détails ultérieurement.

- 5 Les impulsions de charge ont avantageusement des amplitudes inférieures ou égales à un courant de charge maximal I_{max} . Le courant de charge maximal I_{max} est une caractéristique de la batterie, spécifiée par le fabricant. Dans le mode de réalisation décrit ici, en début de charge, le courant de charge appliqué est égal à I_{max} . Autrement dit, l'amplitude de la première impulsion de charge est égale à I_{max} . Ce courant correspond par exemple au régime 1C de la batterie.

- Durant la première phase de charge P1 à décroissance « lente », les amplitudes respectives des impulsions de charge sont comprises dans une plage de valeurs ayant une borne supérieure qui est égale au courant maximal I_{max} et une borne inférieure qui est supérieure ou égale à 50% du courant maximal I_{max} . Avantageusement, le courant de charge est proche de I_{max} , notamment compris entre I_{max} et 80% de I_{max} . Dans l'exemple de réalisation particulier décrit ici, la borne inférieure est égale à 85% du courant maximal I_{max} . Ainsi, durant la première phase de décroissance, le courant de charge I_c reste dans une plage de courants prédéfinie qui est ici définie par la relation suivante : $85\% \cdot I_{max} \leq I_c \leq I_{max}$.

- Dans le mode de réalisation particulier décrit ici, la première phase de charge P1 correspond à une phase durant laquelle la tension de la batterie (et parallèlement son état de charge) augmente progressivement mais reste inférieure ou égale à une tension haute limite prédéfinie, par exemple égale à U_{max} . Cette tension limite correspond à un point de basculement entre la première phase de charge P1 et la deuxième phase de charge P2. En variante, on pourrait envisager que le point de basculement corresponde sensiblement à un état de charge limite, par exemple égal à 80%. Dans ce cas, la valeur de basculement de l'état de charge serait égale, ou proche, de 80%.

Parallèlement à l'étape E11, autrement dit à la première phase de charge P1, on peut exécuter une sous-étape de test E13, lors de laquelle on surveille une grandeur physique relative à la batterie. Le but de cette sous-étape de test E13 est de détecter le moment où cette grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie. Lorsqu'on détecte que la grandeur physique surveillée atteint la valeur limite prédéfinie « de basculement », on déclenche le basculement pour passer de la première phase de charge P1 à la deuxième phase de charge P2. La grandeur physique surveillée est par exemple la tension de la batterie. Dans ce cas, on détecte lorsque cette tension atteint une tension limite (ou de basculement), par exemple égale à $U_{\max}$. En variante, on peut surveiller l'amplitude du courant de charge appliqué ou encore l'état de charge de la batterie.

Cette sous-étape de test E13 peut toutefois s'avérer facultative, notamment dans le cas d'une décroissance exponentielle des amplitudes des impulsions de charge, comme cela sera explicité plus loin.

Sur détection de la valeur limite de basculement de la grandeur physique surveillée (par exemple $U_{\max}$), on déclenche la deuxième phase de charge E12 à décroissance rapide.

Durant la deuxième phase de charge E12, la vitesse de décroissance de des amplitudes des impulsions de charge est plus élevée. Un but de cette deuxième phase P2 à charge rapide est de réduire rapidement l'amplitude du courant de charge appliqué, tout en finalisant la charge.

Parallèlement à la deuxième phase de charge E12, on réalise, de façon connue, une sous-étape de test de fin de charge E14. Ce test E14 vise à vérifier si une condition de fin de charge est satisfaite. Sur détection que la condition de fin de charge est satisfaite, on interrompt la charge lors d'une sous-étape E15. Par exemple, la condition de fin de charge peut être que le courant de charge

appliqué à la batterie est inférieur ou égal à un courant limite de fin de charge. Le courant limite de fin de charge peut être défini en « régime C » et être compris entre C/20 et C/50.

- 5 Dans le cas d'une décroissance linéaire des impulsions de charge, les amplitudes des impulsions de charge successives peuvent être données par la relation suivante :

$$P1: y_1 = a_1 \cdot N + b_1$$

$$P2: y_2 = a_2 \cdot N + b_2$$

tels que $a_2 < a_1 < 0$; $b_1, b_2 \in \mathbb{R} \neq 0$ et $y_1, y_2 > 0$ pour tout N.

- 10 Dans ce cas, la vitesse de décroissance des amplitudes des impulsions de courant est constante dans chacune des deux phases de charge, lente P1 et rapide P2, et varie brutalement au basculement entre les deux phases P1 et P2.

- 15 Dans le cas d'une décroissance exponentielle des impulsions de charge, les amplitudes des impulsions de charge successives peuvent être données par la relation suivante :

$$I(N) = a \cdot \exp(b \cdot N) + c$$

où

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

- 25 Dans ce cas, la vitesse de décroissance des amplitudes des impulsions de courant augmente progressivement. La transition entre la première phase de charge à décroissance lente et la deuxième phase de charge à décroissance rapide peut s'effectuer lorsque cette vitesse de décroissance franchit un seuil de vitesse prédéfini. Ce seuil de vitesse peut être franchi de façon automatique, sans intervention sur la génération d'impulsions de charge. En variante, on peut

surveiller une grandeur physique relative à la batterie, comme précédemment explicité. Par exemple, on peut surveiller l'état de charge de la batterie. Lorsque celui-ci atteint l'état de charge limite par exemple de 80%, on diminue si besoin la durée de quelques impulsions de charge, postérieures à la détection de l'état de charge limite, afin de franchir le plus rapidement possible le seuil de vitesse permettant de basculer de la première phase de charge à la deuxième phase de charge.

Dans une première variante de réalisation, les impulsions de charge successives ont des amplitudes décroissantes et la charge comprend N phases successives de décroissance avec $N \geq 3$. Notons i l'indice de chaque phase, i allant de 1 à N , et v_i la vitesse de décroissance de chaque phase de charge d'indice i . La vitesse de décroissance v_i de la phase d'indice i est supérieure à la vitesse de décroissance v_{i-1} de la phase précédente d'indice $i-1$.

Dans une deuxième variante de réalisation, l'étape de charge E1 est précédée d'une étape de pré-charge E0. Une telle pré-charge est facultative. Toutefois, elle peut s'avérer nécessaire lorsque la tension initiale de la batterie (avant d'être rechargée) est inférieure à la tension minimale $U_{\min}$ de la batterie. Une telle situation peut se produire lorsque la batterie a accidentellement été déchargée trop profondément. L'étape de pré-charge E0 peut consister à appliquer à la batterie un courant de pré-charge faible, par exemple de l'ordre de $C/20$, pendant une phase de pré-charge P0. Le courant de pré-charge peut être un courant constant et continu.

En variante encore, on pourrait faire précéder les phases de charge de type décroissantes par une phase initiale de charge de type croissante ou constante, comportant des impulsions de courant dont les amplitudes respectives augmentent jusqu'au courant $I_{\max}$, par exemple de façon linéaire, ou stagnant.

Dans une troisième variante de réalisation, l'étape de charge E1 comprend une phase terminale de charge résiduelle P_{rsd} . Cette phase de charge

résiduelle est mise en œuvre après les phases de charge à impulsions de charge décroissantes. Durant la phase de charge résiduelle P_{rsd} , on peut appliquer un courant constant continu. L'amplitude du courant de charge résiduelle est avantageusement égale au courant limite de fin de charge de la dernière phase de charge.

Différents exemples de charge sont illustrés par les figures 1 à 5. Celles-ci représentent des courbes enveloppes de charge qui sont définies par les impulsions de courant de charge d'amplitudes décroissantes.

La courbe enveloppe représentée sur la figure 1 comporte deux phases de charge successives à décroissance linéaire, la pente de la deuxième phase P2 étant plus importante que celle de la première phase P1.

La courbe enveloppe représentée sur la figure 2 comporte trois phases de charge successives à décroissance linéaire, la pente de la deuxième phase P2 (respectivement de la troisième phase P3) étant plus importante que celle de la première phase P1 (respectivement de la deuxième phase P2).

La courbe enveloppe représentée sur la figure 3 comporte trois phases de charge successives à décroissance linéaire, analogues à celles de la figure 2, suivies d'une quatrième phase de charge résiduelle P_{rsd} d'amplitude constante. La quatrième phase de charge forme un plateau.

La courbe enveloppe représentée sur la figure 4 comporte trois phases de charge successives à décroissance linéaire suivies d'une quatrième phase de charge résiduelle d'amplitude constante, analogues à celles de la figure 3, et une phase initiale de pré-charge à croissance linéaire, qui précède les phases de charge.

Dans une quatrième variante de réalisation, les impulsions successives de courant de charge sont séparées par des périodes des repos et par des

impulsions de courant de décharge. La figure 6B représente à titre d'exemple illustratif une impulsion de courant de charge suivie d'une période de repos puis d'une impulsion de décharge. La durée t_{dc} des impulsions de décharge est avantageusement inférieure à celle t_r des périodes de repos.

5

Les phases de repos aident à relaxer la matière lors de la charge et redistribuer la charge tout au long le volume de l'électrode négative. Elles peuvent être accompagnées ou remplacées par des impulsions en décharge pour améliorer cette redistribution. Les impulsions de décharge peuvent être
 10 adaptées pour que la quantité de courant déchargée soit inférieure ou égale à 5% de la quantité de courant chargée. Par exemple, les impulsions de décharge peuvent avoir la même amplitude que les impulsions de charge et une durée égale à $x\%$ de la durée t_c des impulsions de charge, x étant inférieur ou égal à 5, par exemple compris entre 0,2 et 5. Dans ce cas, l'accumulation de lithium est
 15 minimisée, tout en gardant une bonne efficacité énergétique.

On peut également envisager des impulsions de décharge adaptées pour que la quantité de courant déchargée soit supérieure à 5%, en particulier dans le but de préserver la durée de vie de la batterie. Les impulsions de décharge ont
 20 avantageusement une durée plus courte que celle des impulsions de charge.

La courbe enveloppe des impulsions de décharge, notée DC, peut être différente de celle des impulsions de charge. En variante, la courbe enveloppe des impulsions de décharge peut être identique à celle des impulsions de
 25 charge.

Les amplitudes des impulsions de décharge (en valeur absolue) peuvent être différentes de celles des impulsions de charge. Elles peuvent notamment être constantes ou décroître dans le temps. Cette décroissance peut être linéaire
 30 ou exponentielle.

En variante, les impulsions de charge sont séparées par des impulsions de décharge, sans périodes de repos. En variante encore, les impulsions de décharge sont concomitantes aux impulsions de charge qui sont séparées par des périodes de repos.

5

Les différentes variantes de réalisation qui viennent d'être décrites peuvent bien entendu être combinées.

Sur la figure 5, on a représenté une courbe enveloppe de charge analogue à celle de la figure 3 associée à une courbe enveloppe de décharge comportant une première phase constante suivie d'une phase à décroissance linéaire (l'amplitude des impulsions de décharge diminuant de façon linéaire au cours du temps).

Sur la figure 7 (partie droite de la figure), on a représenté à titre d'exemple illustratif un profil de charge impulsionnelle comportant deux phases de charge à décroissance exponentielle d'une batterie dont le régime 1C vaut 2,2A. Le profil représenté est obtenu par la relation suivante :

$$I(N) \doteq -0.0183 \cdot \exp(-0.002 \times N) + 1,018$$

où $I(N)$ est l'amplitude de la $N^{\text{ième}}$ impulsion de charge.

Sur l'exemple de la figure 7, la charge s'effectue par application d'une succession d'impulsions de charge, séparées par des périodes de repos et par des impulsions de décharge. Les impulsions de charge et les impulsions de décharge ont les mêmes amplitudes. La courbe enveloppe de charge est identique à la courbe enveloppe de décharge. Les impulsions de décharge ont une durée égale à 5% de celle des impulsions de charge.

La charge ainsi réalisée permet de gagner en énergie restituée tout en assurant une dégradation faible. En d'autres termes, grâce à l'invention, on augmente le rapport entre l'énergie que la batterie est capable de décharger et l'énergie fournie pour sa charge.

Durant toute la charge, la tension de la batterie reste inférieure ou égale à la tension maximale $U_{\max}$ suivant la spécification du fabricant.

5 En référence à la figure 9, on va maintenant décrire le dispositif de charge adapté pour mettre en œuvre le procédé qui vient d'être décrit.

Le dispositif de charge 1 comprend une interface 2 de connexion à une source d'énergie électrique, un module générateur d'impulsions de courant 3, un
10 premier module de détection 4 pour détecter un point de basculement entre deux phases de charge, un deuxième module 5 de détection de fin de charge.

L'interface de connexion 2 est destinée à connecter le dispositif de charge à une source d'énergie électrique, par exemple à un réseau électrique 100.
15

Le générateur 3 est destiné à générer des impulsions de courant de charge séparées par des périodes de repos, comme précédemment explicité. Le générateur 3 est adapté pour faire varier ou stagner les amplitudes des impulsions de charge successives suivant la phase de charge. Il est adapté pour
20 mettre en œuvre les étapes de charge et le cas échéant de décharge, comme décrit dans les différents modes de réalisation du procédé de charge précédemment décrit. Le générateur 3 est destiné à mettre en œuvre l'étape de charge E1 et, le cas échéant, l'étape de pré-charge E0.

25 Dans le cas d'un processus de charge incluant des impulsions de décharge, le générateur 3 est destiné à générer des impulsions de courant de décharge, comme précédemment explicité.

Le module de détection 4 est adapté pour surveiller une grandeur
30 physique relative à la batterie et, lorsqu'il détecte que la grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie, pour commander un basculement de la

première phase de charge à la deuxième phase de charge. Il est adapté pour exécuter la sous-étape de détection et de test E13.

Le module de détection 5 est adapté pour exécuter le test E14 et, en cas
5 de test positif, pour commander l'arrêt de la charge (étape E15).

Le dispositif de charge 1 comprend également une unité centrale de traitement 6, en l'espèce un processeur, destiné à commander le fonctionnement des différents éléments du dispositif 1.

10

Le générateur 3 et les modules de test 4 et 5 comprennent des instructions logicielles, ou instructions machine, pour commander la mise en œuvre des étapes de procédé E11 à E15 et le cas échéant E0, lorsque ces instructions sont exécutées par le processeur.

15

De façon plus générale, le procédé de charge d'une batterie lithium-ion selon l'invention comprend une étape de charge E1 lors que laquelle on applique à la batterie une succession d'impulsions de courant de charge, qui comprend au moins deux phases successives de charge telles que la première phase est
20 caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase est caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini. Dans ce cas, la charge comprend deux phases impulsionnelles comprenant une première phase à amplitude de courant élevée et une deuxième
25 phase à amplitude de courant plus faible. Ces phases peuvent ne pas être « décroissantes » comme dans le mode de réalisation précédemment décrit. Dans ce cas, le module générateur 3 du dispositif de charge est adapté pour générer une succession d'impulsions de courant de charge suivant au moins deux phases successives de charge, la première phase étant caractérisée par
30 des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini.

REVENDICATIONS

1. Procédé de charge d'une batterie lithium-ion comprenant une étape de charge (E1) lors que laquelle on applique à la batterie une succession d'impulsions de courant de charge, comprenant au moins deux phases successives de charge (E11, P1, E12, P2), la première phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini, caractérisé en ce que les impulsions successives ont des amplitudes décroissantes et en ce que la charge comprend au moins deux phases successives de charge (E11, P1, E12, P2), la deuxième phase (E12, P2) ayant une vitesse de décroissance plus élevée que celle de la première phase (E11, P1).
2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les amplitudes des impulsions de courant de charge sont inférieures ou égales à un courant de charge maximal ($I_{\max}$) caractéristique de la batterie.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, durant la première phase de charge (E11, P1), l'amplitude des impulsions de courant est comprise dans une plage de valeurs ayant une borne supérieure qui est égale à un courant maximal autorisé et une borne inférieure qui est supérieure ou égale à 50% dudit courant maximal autorisé, notamment supérieure ou égale à 80% du courant maximal autorisé.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on surveille une grandeur physique relative à la batterie (E13) et, lorsqu'on détecte que ladite grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie, on commande un basculement de la première phase de charge (E11, P1) à la deuxième phase de charge (E12, P2).

5. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la grandeur physique est l'une des grandeurs du groupe comprenant la tension de la batterie et l'état de charge de la batterie.
- 5
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on interrompt (E15) la charge sur détection (E14) d'une condition de fin de charge satisfaite, notamment un courant inférieur ou égal à un courant limite de fin de charge ou un état de charge correspondant à une pleine charge.
- 10
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la première phase de charge (E11, P1) présente une décroissance exponentielle.
- 15
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la première phase de charge (E11, P1) présente une décroissance linéaire.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la deuxième phase de charge (E12, P2) présente une décroissance exponentielle.
- 20
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la deuxième phase de charge (E12, P2) présente une décroissance linéaire.
- 25
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7 et 9, caractérisé en ce que les amplitudes des impulsions de charge successives décroissent de façon exponentielle suivant la relation :
- $$I(N) = a \cdot \exp(b \cdot N) + c$$
- où
- 30
- N est le numéro d'ordre d'une impulsion de charge ;
 - $I(N)$ est le régime de la $N^{\text{ième}}$ 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 ;

- c est un réel positif de valeur proche d'un courant maximal.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, durant l'étape de charge (E12), on soumet la batterie à des impulsions de décharge.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de charge comprend une phase terminale de charge résiduelle (P_{rsd}) durant laquelle les amplitudes des impulsions de charge successives sont constantes.
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de charge comprend au moins trois phases de charge successives (P1, P2, P3), ayant des vitesses de décroissance respectives de plus en plus élevées.
15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les impulsions de charge sont séparées par des périodes de repos.
16. Dispositif de charge d'une batterie lithium-ion comprenant un module (3) générateur d'impulsions successives de courant de charge, adapté pour générer une succession d'impulsions de courant de charge suivant au moins deux phases successives de charge (P1, P2), la première phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne supérieures à un courant limite prédéfini et la deuxième phase étant caractérisée par des amplitudes de courant de charge en moyenne inférieures au courant limite prédéfini, caractérisé en ce que le module générateur (3) est adapté pour générer une succession d'impulsions de courant de charge suivant au moins deux phases successives de charge (P1, P2), la deuxième phase ayant une vitesse de décroissance plus élevée que celle de la première phase.

17. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend un module de test (4) adapté pour surveiller une grandeur physique relative à la batterie et, lorsqu'on détecte que ladite grandeur physique atteint une valeur limite prédéfinie, on commande un basculement de la première phase de charge (P1) à la deuxième phase de charge (P2).

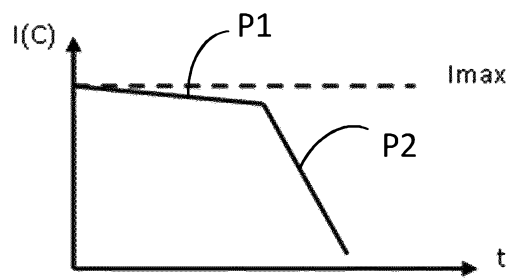


Figure 1

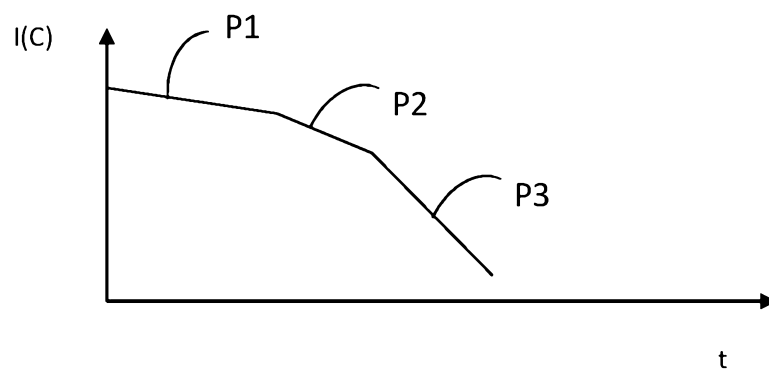


Figure 2

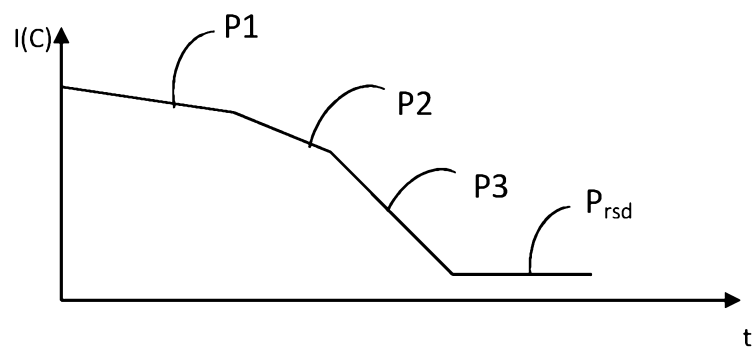
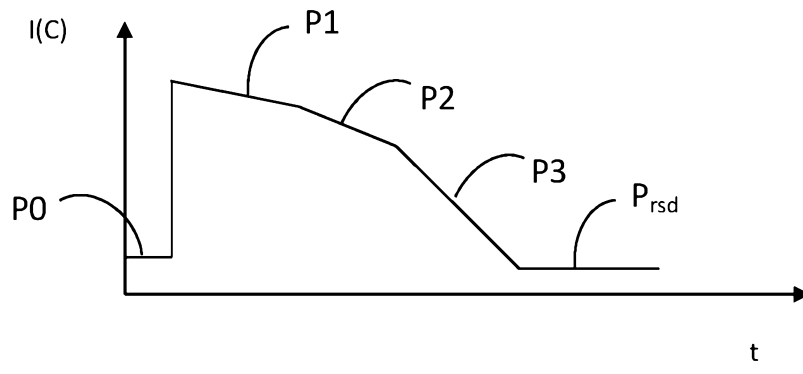
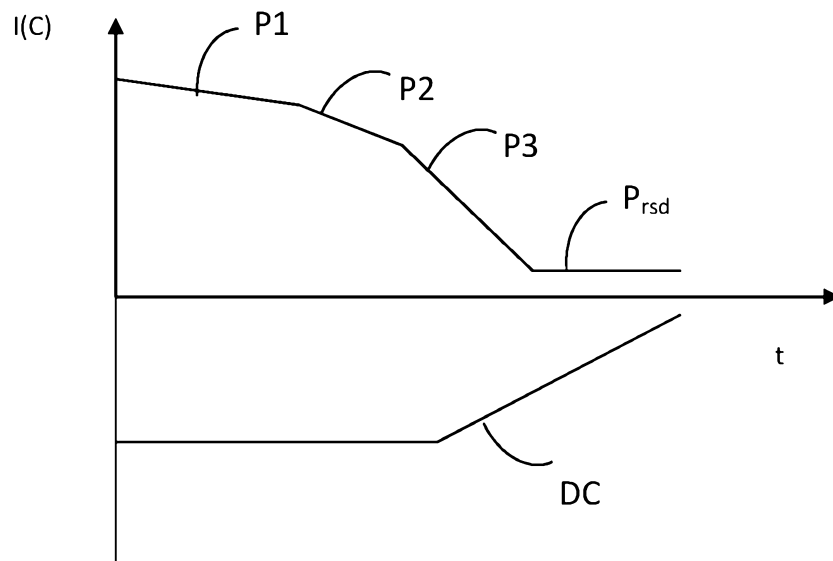


Figure 3

**Figure 4****Figure 5**

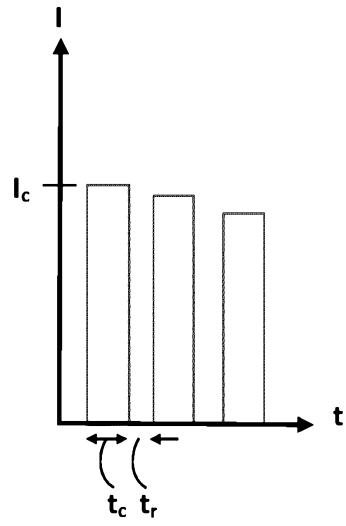


Figure 6A

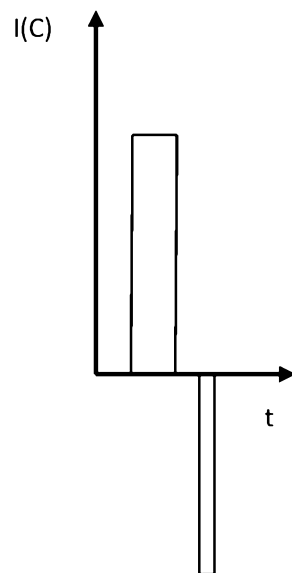
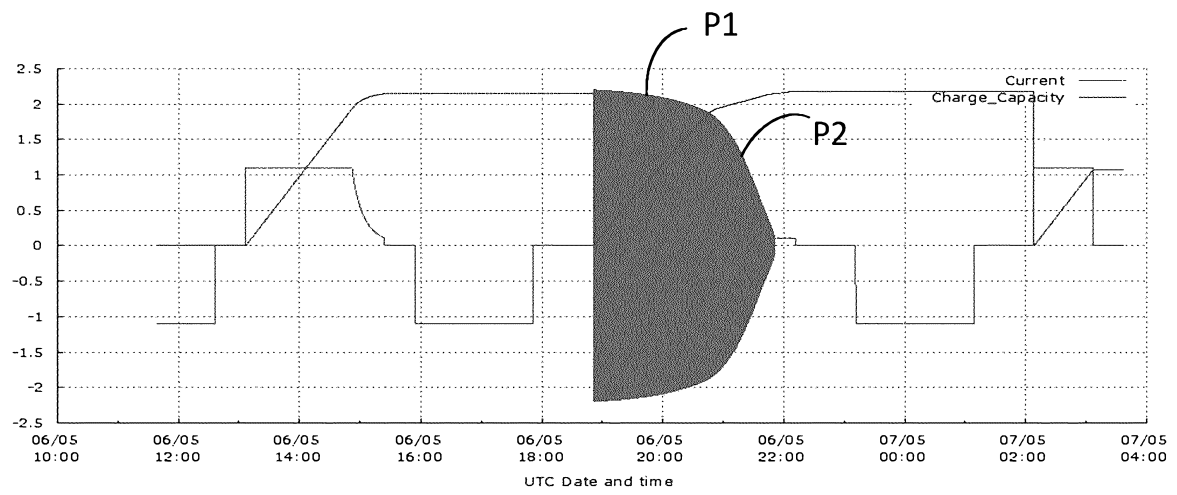
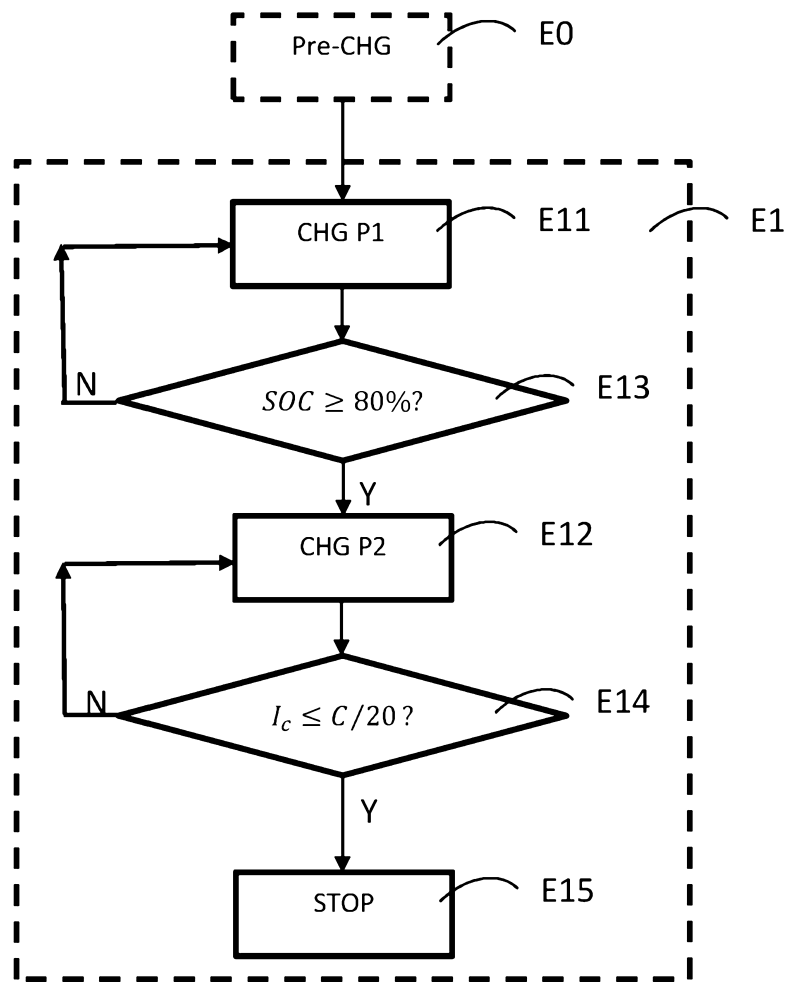
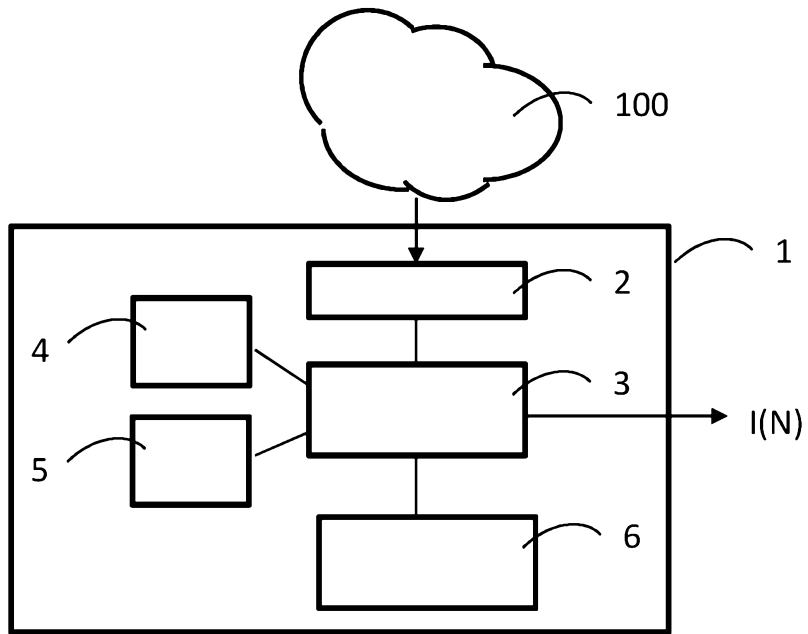


Figure 6B

**Figure 7**

**Figure 8**

**Figure 9**

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 (nouveau) 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

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ 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.

☒ 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

US 6 094 034 A (MATSUURA KOUJI [JP]) 25 juillet 2000 (2000-07-25)

LIANG-RUI CHEN: "Design of Duty-Varied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 56, no. 2, 1 février 2009 (2009-02-01), pages 480-487, XP011233285, ISSN: 0278-0046, DOI: 10.1109/TIE.2008.2002725

US 2012/200266 A1 (BERKOWITZ FRED [US] ET AL) 9 août 2012 (2012-08-09)

US 5 617 007 A (KEIDL STEVEN D [US] ET AL) 1 avril 1997 (1997-04-01)

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