

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE (19)
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 34001 B1** (51) Cl. internationale : **G01R 31/36**

(43) Date de publication :
01.02.2013

(21) N° Dépôt :
35144

(22) Date de Dépôt :
10.08.2012

(30) Données de Priorité :
27.01.2010 FR 10 00311

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/FR2011/000051 26.01.2011

(71) Demandeur(s) :
**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES, 25,
rue Leblanc Bâtiment "Le Ponant D" F-75015 Paris (FR)**

(72) Inventeur(s) :
KIRCHEV, Angel Zhivkov

(74) Mandataire :
ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY TMP AGENTS

(54) Titre : **PROCEDE DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE SANTE D'UNE BATTERIE**

(57) Abrégé : Un procédé de diagnostic de l'état de santé d'une batterie comporte la détermination (F1) d'une première valeur de l'état de charge (SOC1) à partir de la tension de la batterie lors d'une décharge partielle à courant constant, la détermination (F2) d'une seconde valeur de l'état de charge (SOC2) à partir de la tension de circuit ouvert de la batterie, et le calcul (F3) de l'état de santé (SOH) à partir de la différence entre les première et seconde valeurs de l'état de charge.

RESUME

Un procédé de diagnostic de l'état de santé d'une batterie comporte la détermination (F1) d'une première valeur de l'état de charge (SOC1) à partir de la tension de la batterie lors d'une décharge partielle à courant constant, la détermination (F2) d'une seconde valeur de l'état de charge (SOC2) à partir de la tension de circuit ouvert de la batterie, et le calcul (F3) de l'état de santé (SOH) à partir de la différence entre les première et seconde valeurs de l'état de charge.



PROCEDE DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE SANTE D'UNE BATTERIE

Domaine technique de l'invention

L'invention est relative à un procédé de diagnostic de l'état de santé (SOH)
5 d'une batterie.

État de la technique

Le stockage d'énergie nécessite une surveillance régulière des batteries par le
biais de tests afin de déterminer les batteries défaillantes. L'incapacité d'une
batterie à fournir l'énergie demandée est une première indication de sa
10 détérioration. Le test d'une batterie peut être réalisé en déterminant son état de
santé (SOH, « state of health » en anglais). L'état de santé SOH est
généralement représentatif de la condition d'une batterie, de sa détérioration ou
de sa capacité à fournir le courant voulu.

L'état de santé peut être exprimé par la capacité de décharge C_D normalisée
15 par la capacité nominale de la batterie C_N . La capacité de décharge C_D
représente la quantité d'énergie qu'une batterie peut subir en décharge après
avoir été complètement chargée. Ainsi, plus la capacité de décharge est proche
de la capacité nominale de la batterie, meilleur est son état de santé. Selon
cette définition, l'état de santé s'écrit par la relation suivante :

$$20 \quad \text{SOH} = 100 \cdot \frac{C_D}{C_N} \quad (\text{R1})$$

Une baisse de l'état de santé représente une perte irréversible de capacité due
à différents phénomènes de dégradation tels que la sulfatation de la batterie. Le
SOH est déterminé, de manière classique, par la décharge complète d'une
batterie ayant été précédemment chargée en totalité. Le courant de décharge
25 est constant et traditionnellement égal à $C_N/20\text{h}$, avec C_N la capacité nominale
de la batterie.

Utiliser cette définition directement pour mesurer l'état de santé d'une batterie
n'est pas applicable dans une situation réelle. En effet, il faudrait régulièrement
procéder à la décharge de chaque batterie d'un parc pendant une vingtaine
30 d'heures, ce qui réduit l'efficacité d'utilisation du parc.

Les méthodes classiques de test rapide d'état de santé effectuent une mesure de la tension de circuit ouvert (« open-circuit voltage », en anglais, OCV) et une mesure de la résistance interne de la batterie, à partir de signaux alternatifs de faible amplitude ou à partir de pulsations de courant en créneaux.

- 5 Le document US4912416 décrit l'un de ces dispositifs de test de batteries. Le dispositif mesure la conductance dynamique d'une batterie (c'est-à-dire l'inverse de la résistance interne), représentative de sa condition électrique. La conductance de la batterie étant dépendante de son état de charge (« state of charge » en anglais, SOC), celui-ci est également évalué pour corriger la valeur
- 10 de la conductance. L'état de charge est généralement déterminé par la mesure de la tension de circuit ouvert V_{CO} aux bornes de la batterie.

Ces techniques de test de l'état de santé présentent néanmoins des inconvénients. La tension de circuit ouvert utilisée pour déterminer l'état de charge est une représentation approximative de l'état de santé de la batterie.

- 15 En effet, une batterie chargée ayant un SOH faible peut avoir une tension de circuit ouvert sensiblement égale, voire supérieure, à celle d'une batterie neuve. De plus, la résistance interne d'une batterie ne tient compte que des composants ohmiques de celle-ci. Les résistances des collecteurs de courant métalliques, le volume d'électrolyte et la résistance des matériaux actifs ne
- 20 participant pas aux réactions ne sont pas pris en compte dans la mesure de la résistance interne. La résistance de transfert de charge est, par exemple, omise.

- En revanche, la mesure tient compte des résistances dites de contact correspondant aux connexions avec le dispositif de test. Si la qualité du contact
- 25 est mauvaise, l'erreur sur la mesure peut être significative.

Résumé de l'invention

L'invention vise un procédé de diagnostic de l'état de santé simple, rapide et qui ne nécessite pas une décharge importante de la batterie.

- Selon l'invention, on tend vers cet objectif par le fait que le procédé détermine
- 30 une première valeur de l'état de charge à partir de la tension de la batterie lors d'une décharge partielle à courant constant et une seconde valeur de l'état de charge à partir de la tension de circuit ouvert de la batterie, et par le fait que

l'état de santé est déterminé à partir de la différence entre les première et seconde valeurs de l'état de charge.

Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation donnés à titre
5 d'exemples non limitatifs et illustrés à l'aide des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente des étapes d'un procédé de diagnostic de l'état de santé selon l'invention,
- 10 - la figure 2 représente un détail d'étape du procédé selon la figure 1,
- les figures 3 et 4 représentent la tension V_{cell} aux bornes d'une cellule électrochimique de test lors d'une décharge continue à courant constant et lors d'une décharge à courant constant interrompue par des périodes de circuit ouvert,
- 15 - la figure 5 représente un détail d'étape du procédé selon la figure 1,
- la figure 6 représente la tension en circuit ouvert V_{CO} de la cellule en fonction de son état de charge SOC², pour différents temps de relaxation t_2 de la batterie, et
- la figure 7 représente, de manière schématique, un dispositif de test pour
20 la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Description d'un mode de réalisation préféré de l'invention

L'état de charge (SOC) représente la quantité d'électricité (exprimée en Ah) stockée dans une batterie normalisée par la quantité maximale qui peut être stockée après une charge complète de la batterie. Deux techniques peuvent
25 être employées pour déterminer l'état de charge SOC d'une batterie.

Une première technique consiste à mesurer la tension aux bornes de la batterie lors d'une décharge partielle à courant constant de la batterie. La valeur de la tension permet de déterminer l'état de charge de la batterie à l'aide d'abaques.

9

Les abaques (comme celui représenté à la figure 3) sont généralement établis en mesurant la quantité déchargée Q_D par ampérométrie.

Il s'avère que l'état de charge SOC¹ ainsi déterminé peut s'écrire de la manière suivante :

$$5 \quad \text{SOC}^1 = 100 \cdot \frac{(C_D - Q_D)}{C_D} \quad (\text{R2}),$$

où C_D est la capacité de décharge maximale et Q_D la quantité d'énergie déchargée (C_D et Q_D en Ah). Cette première valeur de SOC est donc normalisée par la capacité de décharge C_D .

10 Une seconde technique de détermination de l'état de charge utilise une mesure de la tension de la batterie en circuit ouvert V_{CO} . Dans le cas des batteries acide-plomb, cette technique repose sur la relation quasi-linéaire entre la concentration d'acide sulfurique dans l'électrolyte (ou la densité de l'électrolyte) et la force électromotrice E de la batterie. Après un temps de relaxation suffisamment long après l'ouverture du circuit, la tension de circuit ouvert V_{CO}
15 aux bornes de la batterie se stabilise à une valeur proche de la force électromotrice E de la batterie. Par ailleurs, l'acide sulfurique de l'électrolyte est un composant actif de la batterie, consommé lors d'une décharge et régénéré lors d'une charge. Ainsi, la concentration en acide est proportionnelle à l'état de charge SOC de la batterie. Une relation quasi-linéaire entre l'état de charge
20 SOC et la tension de circuit ouvert V_{CO} dite « équilibrée » est ainsi obtenue. Cette relation est explicitée, par exemple, dans l'article « Battery monitoring and electrical energy management precondition for future vehicle electric power systems » (Meissner et al., Journal of Power Sources, 116, 79-98, 2003).

25 Lorsque l'état de charge est déterminé par la mesure de la tension en circuit ouvert V_{CO} à l'équilibre, il peut être exprimé par la relation suivante :

$$\text{SOC}^2 = 100 \cdot \frac{(C_N - Q_D)}{C_N} \quad (\text{R3}),$$

avec C_N la capacité nominale de la batterie et Q_D la quantité d'énergie déchargée.

L'état de charge selon la relation R3 est normalisé par rapport à la capacité nominale C_N puisque l'état de charge maximum correspond à la concentration en acide sulfurique (ou densité de l'électrolyte) maximale.

Il a été découvert par les inventeurs que l'état de santé (SOH) d'une batterie peut être estimé à l'aide de ces deux mesures de l'état de charge. En effet, la relation R2 exprimant la première valeur de l'état de charge SOC^1 comprend des informations sur l'état de santé SOH de la batterie puisque la capacité de décharge C_D varie en fonction de la détérioration de la batterie. A titre d'exemple, la capacité C_D diminue dans le temps si la batterie est soumise à des phénomènes de corrosion des grilles ou de dégradation du matériau actif de la batterie. A l'inverse, la relation R3 exprimant la seconde valeur SOC^2 ne tient pas compte du vieillissement de la batterie, c'est-à-dire que cette relation est fiable si la batterie est scellée (sans maintenance) ou si la maintenance de la batterie est régulièrement effectuée. La seconde valeur SOC^2 reflète donc des informations sur l'état initial de la batterie. Ainsi, ces deux méthodes de calcul de l'état de charge ne donnent pas la même valeur suivant l'état de santé de la batterie.

Il est possible de retrouver la définition de l'état de santé selon la relation R1 par une relation basée sur la différence entre SOC^2 et SOC^1 .

D'après les relations R2 et R3, la différence $SOC^2 - SOC^1$ s'écrit :

$$\Delta SOC = SOC^2 - SOC^1 = 100 \cdot \left[\frac{(C_N - Q_D)}{C_N} - \frac{(C_D - Q_D)}{C_D} \right] \quad (R4)$$

La relation R4 se simplifie de la manière suivante :

$$\Delta SOC = 100 \cdot Q_D \cdot \left(\frac{1}{C_D} - \frac{1}{C_N} \right) = 100 \cdot \frac{Q_D}{C_D} \cdot \left(1 - \frac{C_D}{C_N} \right) \quad (R5)$$

Avec $\frac{C_D}{C_N} = \frac{SOH}{100}$ d'après la relation R1 et $\frac{Q_D}{C_D} = 1 - \frac{SOC^1}{100}$ d'après la relation R2,

on obtient :

$$SOH = 100 - \frac{100 \cdot (SOC^2 - SOC^1)}{100 - SOC^1} \quad (R6)$$

4

On établit ainsi une relation permettant de calculer l'état de santé SOH à partir de la différence entre deux valeurs de l'état de charge, déterminées selon des techniques distinctes ne nécessitant pas un cycle de charge-décharge complet. Il est proposé de mettre en application ce constat à l'aide d'un procédé de diagnostic décrit ci-dessous.

La figure 1 représente des étapes génériques d'un procédé de diagnostic de l'état de santé SOH d'une batterie. Dans une étape F1, une première valeur SOC¹ de l'état de charge de la batterie est déterminée à partir de la tension V_D obtenue après une décharge partielle de la batterie à courant constant. En F2, une seconde valeur SOC² de l'état de charge est déterminée à partir de la tension de circuit ouvert V_{CO} de la batterie. En F3, la différence SOC² - SOC¹ est calculée puis utilisée pour déterminer l'état de santé SOH à l'aide de la relation R6.

La figure 2 représente un exemple détaillé de l'étape F1 du procédé de diagnostic de la figure 1. Dans une étape F11, la batterie est déchargée pendant une durée t₁ par un courant I constant. Dans une étape F12, la tension V_D aux bornes de la batterie est mesurée à la fin de la décharge. A l'étape F13, on utilise un abaque, établi au préalable à l'aide de batteries étalon et fournissant les valeurs de l'état de charge SOC¹ en fonction des différentes tensions de décharge V_D et différentes densités de courant. Ainsi, la première valeur SOC¹ de l'état de charge est obtenue en lisant l'abaque pour la tension de décharge V_D mesurée en F12 et le courant de décharge I appliqué en F11.

Le courant de décharge I peut être compris entre C_N/10 h et C_N/1 h, C_N étant la capacité nominale de la batterie. De préférence, le courant I est compris entre C_N/5 h et C_N/3 h. La durée t₁ de la décharge est choisie de manière que la diminution de la charge de la batterie soit comprise entre 0,5% et 2%. La quantité d'énergie consommée pour le test reste donc limitée et l'utilisation ultérieure de la batterie est préservée. La durée t₁ de la décharge est comprise entre 20 secondes et 10 minutes, de préférence entre 1 et 3 minutes. A titre d'exemple, une décharge de test d'une durée de 3 minutes à un courant de C_N/5 h décharge la batterie de 1 % de sa capacité.

La figure 3 représente la tension V_{cell} aux bornes d'une cellule électrochimique de batterie selon deux types de décharge. La cellule utilisée pour ces essais expérimentaux est une cellule de batterie acide-plomb à valve (« Valve

9

Regulated Lead-Acid Batteries » ou VRLAB) du fabricant Sonnenschein. Cette cellule comporte un électrolyte sous forme de gel et sa capacité nominale est de l'ordre de 10 A.h.

La courbe en pointillés représente une décharge continue à courant constant de 1 A classiquement réalisée pour déterminer l'état de charge SOC¹. Pendant cette décharge continue, la tension de la cellule V_{cell} varie de manière quasi-linéaire pour des valeurs de l'état de charge SOC¹ comprises entre 20 % et 90 %. La pente de la courbe est de l'ordre de 2,3 mV/% pour une cellule. A une valeur de V_{cell} mesurée peut être associée une valeur de l'état de charge SOC¹, avec une précision de l'ordre de 0,5 % à 1 %.

La courbe en trait plein représente, dans des conditions expérimentales, l'évolution de la tension de la cellule V_{cell} selon le procédé de diagnostic représenté à la figure 1, pour déterminer chacune des valeurs de l'état de charge SOC¹ et SOC². La décharge D de la batterie est interrompue par des périodes P pendant lesquelles le circuit d'alimentation est ouvert. Pour que les allures des deux courbes soient comparables, la durée des périodes P a été représentée comme nulle, et on n'aperçoit à la figure 3 que la variation de tension sur chaque période P. Une période de décharge D à courant constant de 1 A permet une évaluation de la valeur SOC¹ selon l'étape F1 (Fig.2) tandis qu'une période P de circuit ouvert permet une évaluation de la valeur SOC² selon l'étape F2, qui sera explicitée ci-après à l'aide de la figure 5. Chaque période P de circuit ouvert correspond à un pic de la tension de la cellule. En effet, lors d'une déconnexion de la cellule après une décharge, la tension en circuit ouvert $V_{\text{CO}} = V_{\text{cell}}$ remonte vers une valeur d'équilibre. La décharge D redémarre alors à partir de cette valeur. La figure 3 montre que dans le cas d'interruptions de la décharge (courbe en trait plein), sans tenir compte de la durée des interruptions, la tension de la cellule reste proche de celle liée à une décharge sans interruptions (courbe en pointillés).

La figure 4 représente, en vue agrandie, une période P de circuit ouvert suivie d'une période de décharge D, à une valeur de l'état de charge SOC¹ d'environ 72 %. Après ouverture du circuit d'alimentation et stabilisation de la tension aux bornes de la cellule, la tension V_{cell} est à son maximum. Lorsque la décharge D reprend, la tension diminue rapidement et atteint en quelques minutes une valeur proche de celle obtenue dans le cas d'une décharge ininterrompue.

7

Les figures 3 et 4 montrent donc que la déconnexion temporaire de la batterie, servant à l'évaluation de la valeur SOC², influe peu sur la tension $V_D = V_{\text{cell}}$ de la cellule lors de la décharge D, et donc sur la détermination de la première valeur de l'état de charge SOC¹. Le procédé de diagnostic de l'état de santé peut donc
5 être employé à plusieurs reprises de façon fiable, comme schématisé sur la figure 3.

La figure 5 représente un exemple détaillé de l'étape F2 de détermination de la seconde valeur SOC² de l'état de charge. La décharge de l'étape F1 est suivie par l'ouverture du circuit lors d'une étape F21. L'état du circuit reste inchangé
10 pendant une durée t_2 (étape F22). Pendant cette période, la tension de circuit ouvert V_{CO} atteint un état d'équilibre, c'est-à-dire une valeur proche de la force électromotrice E de la batterie. Enfin, la tension de circuit ouvert V_{CO} à l'équilibre est mesurée (étape F23) et utilisée dans un second abaque lors d'une étape F24. Cet abaque regroupe les valeurs de la tension de circuit
15 ouvert V_{CO} à l'équilibre d'une batterie étalon en correspondance avec les valeurs de l'état de charge SOC².

Comme décrit précédemment, la tension de circuit ouvert V_{CO} ou tension à vide atteint un état stationnaire après un temps de relaxation. Pour permettre une évaluation précise de l'état de charge SOC², l'étape de mesure de la tension
20 V_{CO} est généralement réalisée après une durée d'attente de deux heures après déconnexion de la batterie. Ce délai d'attente est évidemment trop long pour une mise en œuvre dans un parc de batteries commercial. On verra ci-après une solution pour raccourcir ce délai.

La figure 6 représente la tension de circuit ouvert V_{CO} de la cellule précédemment décrite en fonction de l'état de charge SOC², pour des temps de relaxation t_2 variant de 0 à 2 h. La valeur maximale de la tension V_{CO} est atteinte pour $t_2 = 2$ h. On remarque qu'un temps de relaxation de l'ordre de 120
25 secondes permet d'atteindre une valeur de tension à vide de l'ordre de 90 % de la valeur maximale.

30 Ainsi, la durée d'attente ou temps de relaxation t_2 est choisi, de préférence, entre 120 et 300 secondes pour minimiser la durée du procédé de diagnostic et conserver une bonne précision. La tension de circuit ouvert V_{CO} est donc mesurée, de préférence, 120 à 300 secondes après la fin de la décharge partielle et l'ouverture du circuit.

Le procédé de diagnostic de l'état de santé est rapide puisque quelques minutes suffisent à calculer chacune des valeurs de l'état de charge. Pour une décharge partielle d'environ trois minutes suivie d'une période de circuit ouvert d'environ deux minutes, le procédé de diagnostic de l'état de santé a une durée
5 de l'ordre de six minutes, y compris le temps nécessaire aux calculs de la valeur SOH. Par ailleurs, le procédé ne décharge pas la batterie de manière significative, puisque une décharge de 0,5 % à 2 % est suffisante pour déterminer la première valeur de l'état de charge SOC¹.

10 La figure 7 représente un dispositif de test 1 pour la mise en œuvre du procédé de diagnostic selon la figure 1. Une batterie 2 est reliée à une charge 3, par exemple une résistance. Un interrupteur T est connecté en série entre la batterie 1 et la charge 3 pour placer la batterie 2 en circuit ouvert ou fermé. Le dispositif comporte, de plus, un circuit de mesure 4 de la tension V_D aux bornes
15 de la charge 3 ou de la tension de circuit ouvert V_{CO} . Le circuit de mesure 4 et l'interrupteur T sont commandés par une unité de commande 5.

Les tensions V_D et V_{CO} sont fournies par le circuit de mesure 4 à un calculateur 6, par exemple un microprocesseur. A partir des tensions V_D et V_{CO} et d'abaques 7 contenus dans une mémoire, le calculateur 6 détermine l'état de santé SOH de la batterie 2.

20 De nombreuses variantes et modifications apparaîtront à l'homme du métier. En particulier, le procédé de diagnostic de l'état de santé pourra être appliqué à une batterie totalement chargée, à une batterie partiellement ou totalement déchargée.

9

Revendications

1. Procédé de diagnostic de l'état de santé (SOH) d'une batterie, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

5 - déterminer (F1) une première valeur de l'état de charge (SOC¹) à partir de la tension (V_D) de la batterie lors d'une décharge partielle à courant constant (I),

- déterminer (F2) une seconde valeur de l'état de charge (SOC²) à partir de la tension de circuit ouvert (V_{CO}) de la batterie, et

10 - déduire (F3) l'état de santé (SOH) à partir de la différence entre les première et seconde valeurs de l'état de charge (SOC¹, SOC²).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'état de santé SOH est calculé à partir de la relation

$$\text{SOH} = 100 - \frac{100 \cdot (\text{SOC}^2 - \text{SOC}^1)}{100 - \text{SOC}^1},$$

15 où SOC¹ est première valeur de l'état de charge et SOC² est la seconde valeur de l'état de charge.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le courant de décharge partielle (I) est compris entre C_N/10 h et C_N/1 h, C_N étant la capacité nominale de la batterie.

20 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le courant de décharge partielle (I) est compris entre C_N/5 h et C_N/3 h.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la décharge partielle a lieu pendant une durée (t₁) telle que la diminution de la charge de la batterie est comprise entre 0,5% et 2% .

25 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la décharge partielle a lieu pendant une durée (t₁) comprise entre 20 secondes et 10 minutes.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la durée de la décharge partielle (t₁) est comprise entre 1 minute et 3 minutes.

9

8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape (F2) de détermination de la seconde valeur de l'état de charge (SOC²) comprend les étapes suivantes :

- 5 - déconnecter la batterie pendant une durée (t_2) comprise entre 60 à 300 secondes, et
- mesurer la tension de circuit ouvert (V_{CO}) de la batterie.



1/4

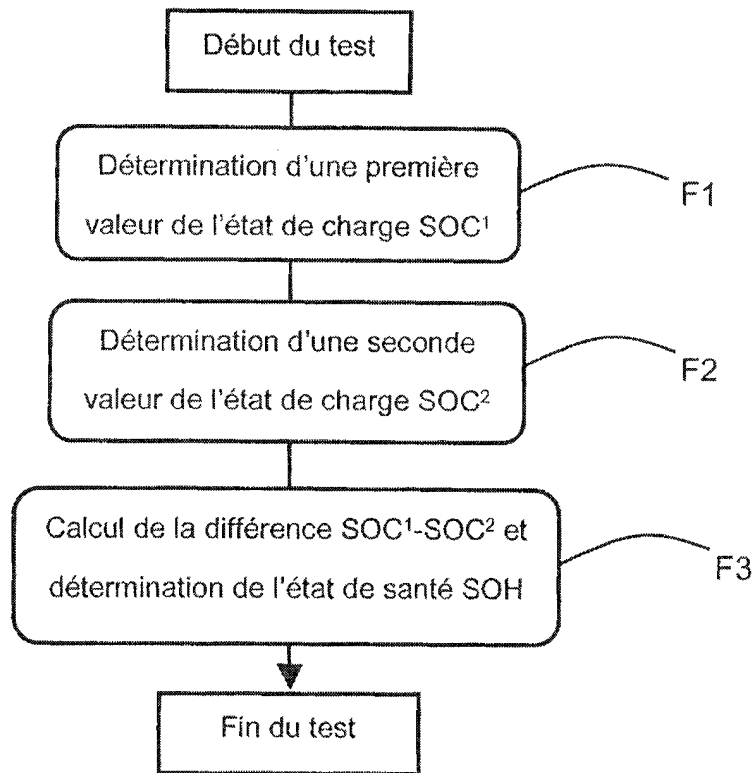


Fig. 1

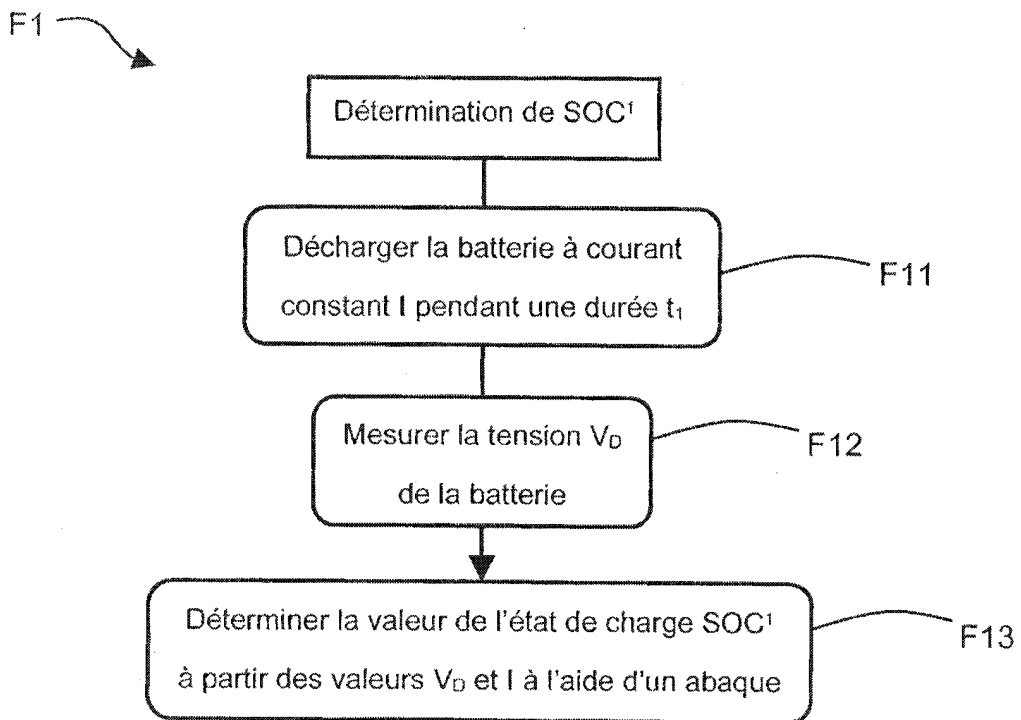


Fig. 2

7

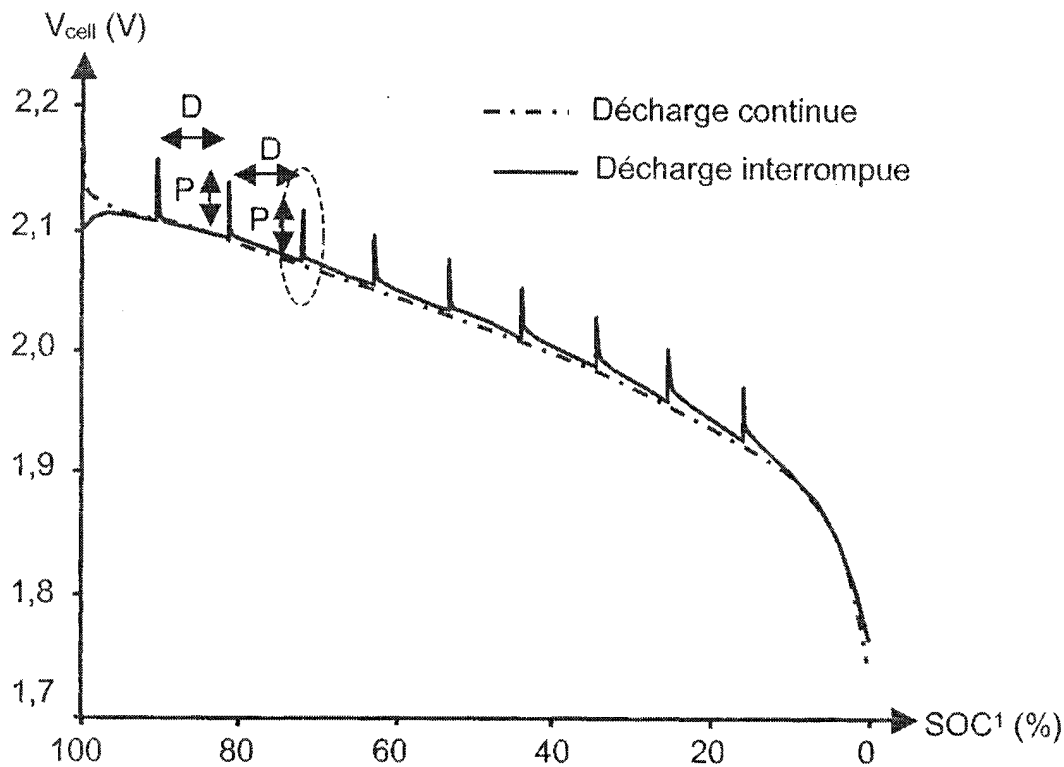


Fig. 3

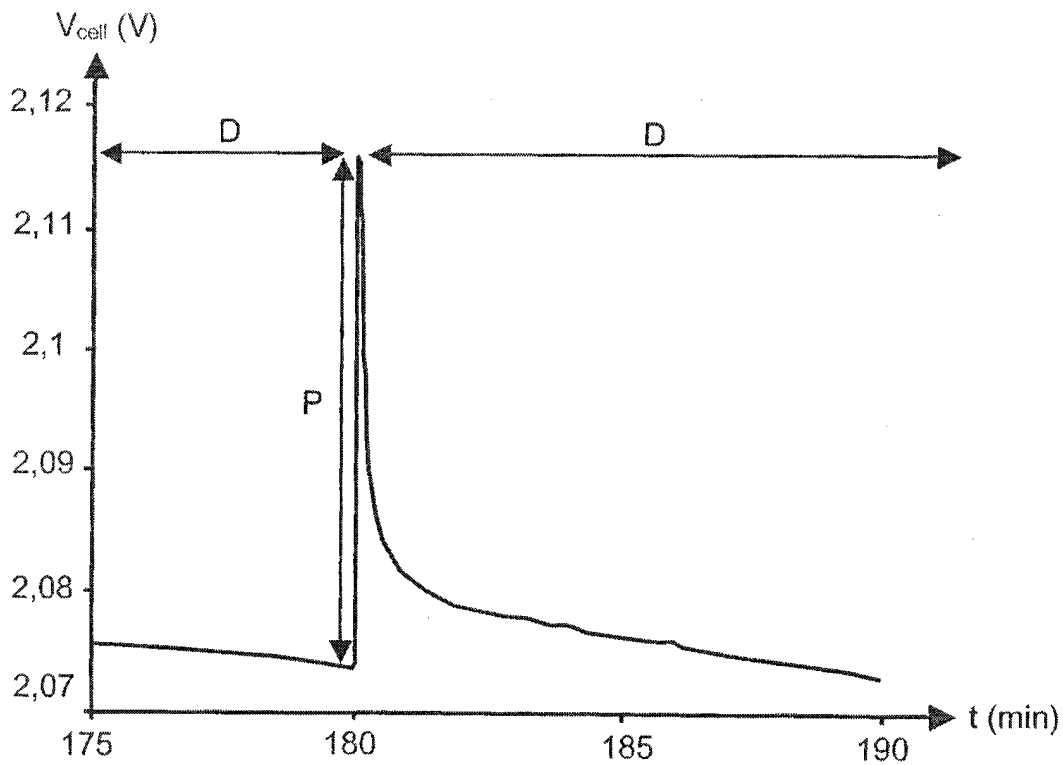


Fig. 4

7

3/4

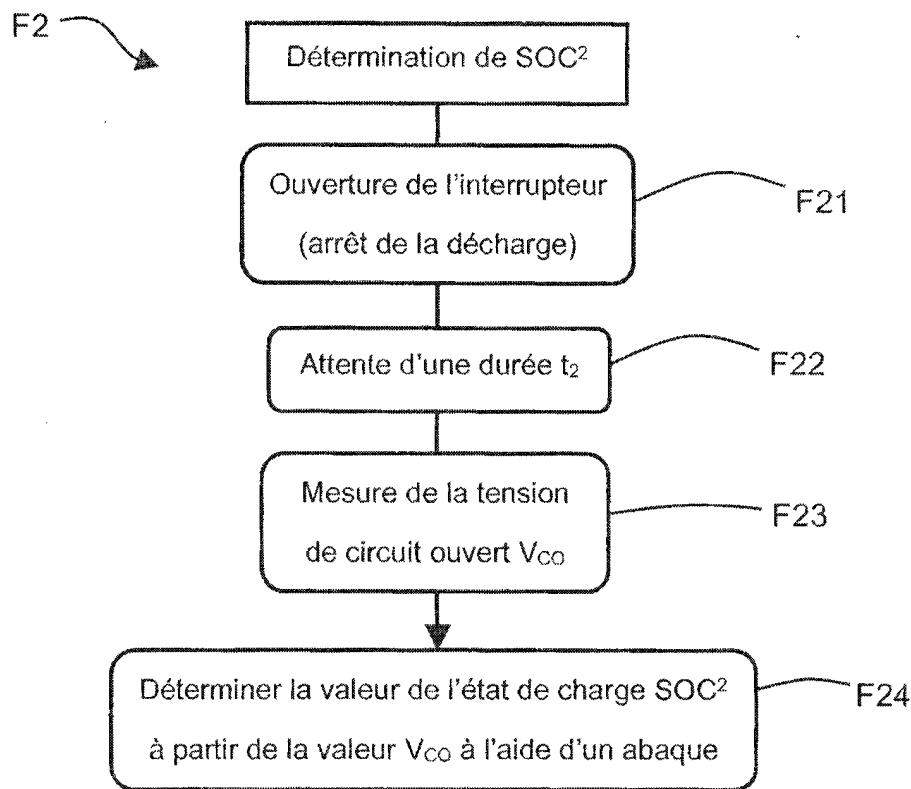


Fig. 5

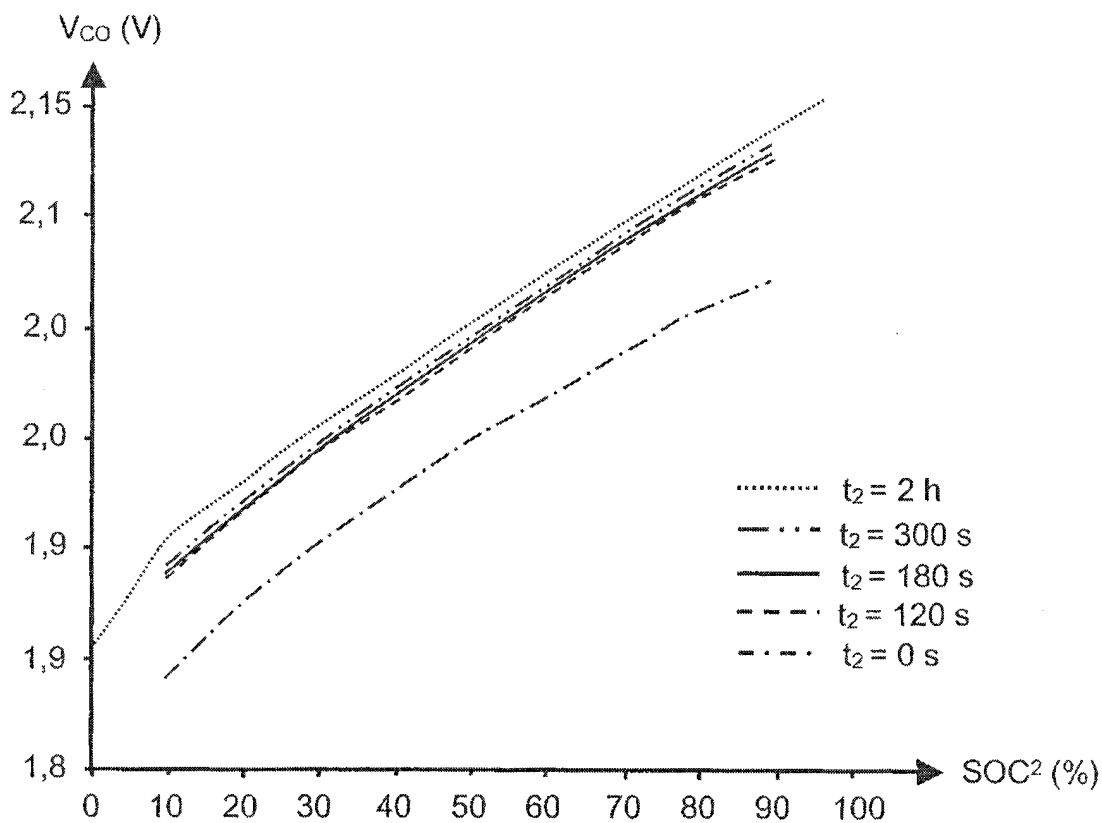


Fig. 6

7

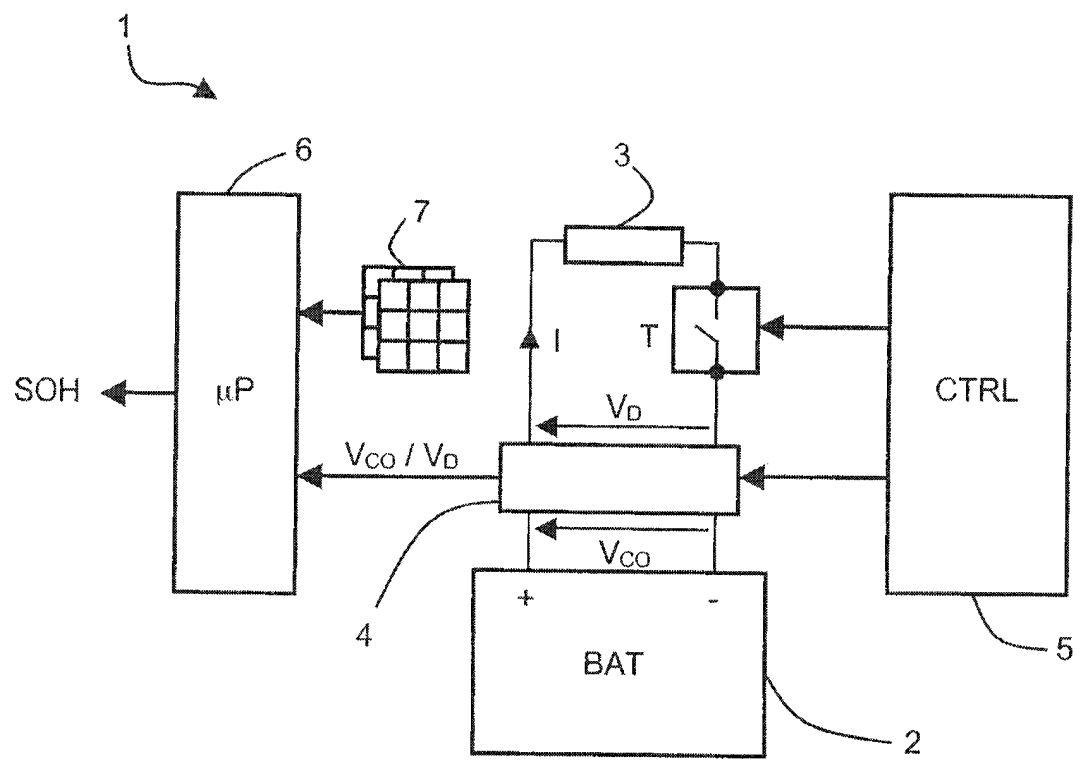


Fig. 7

9