

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE

(11) **Nº de publication :**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 999 721

(21) **Nº d'enregistrement national :**

12 62225

(51) Int Cl⁸ : **G 01 R 31/36** (2013.01)

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) **PROCEDE ET DISPOSITIF DE CARACTERISATION D'UN MODULE DE STOCKAGE D'ENERGIE PAR EFFET CAPACITIF.**

(22) **Date de dépôt :** 18.12.12.

(30) **Priorité :**

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

Demande(s) d'extension :

(71) **Demandeur(s) :** BATSCAP Société anonyme — FR.

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 20.06.14 Bulletin 14/25.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 14.06.19 Bulletin 19/24.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(72) **Inventeur(s) :** DEPOND JEAN-MICHEL et LE BRAS, EP. RENOUX KARINE.

(73) **Titulaire(s) :** BLUE SOLUTIONS Société anonyme.

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

FR 2 999 721 - B1



« Procédé et dispositif de caractérisation d'un module de stockage d'énergie
par effet capacitif »

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de
5 caractérisation d'au moins un élément de stockage d'énergie par effet
capacitif.

Le domaine de l'invention est le domaine de la détermination
d'indicateur caractérisant des moyens de stockage d'énergie par effet
10 capacitif, et plus particulièrement le domaine des moyens électrochimiques
de stockage d'énergie par effet capacitif, et encore plus particulièrement le
domaine des moyens de stockage d'énergie communément appelés
supercondensateur ou supercapacité.

15 **Etat de la technique**

Il a été considéré qu'un élément électrochimique de stockage d'énergie
par effet capacitif se comporte en théorie physiquement comme un
condensateur parfait de capacité C . Mais, l'expérience a montré que de
nombreux phénomènes perturbateurs se produisaient au niveau de l'élément
20 électrochimique. L'expérience a en outre montré que le seul effet
perturbateur réellement significatif aux gammes d'utilisation de l'élément de
stockage est la perte d'énergie par effet Joule. Ce phénomène est modélisé
en ajoutant une résistance de valeur ESR en série du condensateur parfait de
capacité C .

25 Pour un fonctionnement optimal et sécuritaire d'une application
utilisant un ou plusieurs éléments électrochimiques de stockage d'énergie
par effet capacitif, il est important de connaître des indicateurs caractérisant
chaque élément de stockage, tel que la quantité d'énergie emmagasinée par
chaque élément de stockage, également appelée état de charge ou SOC
30 (pour « State of Charge » en anglais) ou un état de santé de chaque élément
de stockage également appelé SOH (pour « State of Health » en anglais).

Or, la détermination de ces indicateurs pour chaque élément de
stockage dépend de nombreux paramètres intrinsèques dont les plus
significatifs sont les valeurs de C et d'ESR. Ces différentes valeurs dépendent

chacune d'autres paramètres physiques tels que la pression, la température, etc. et de l'évolution de l'élément de stockage dans le temps.

Cependant, la détermination des valeurs de C et d'ESR nécessite la prise en compte des aléas de fonctionnement de l'élément de stockage.

- 5 Ainsi, pour obtenir les indicateurs de fonctionnement d'un élément de stockage, les procédés et dispositifs actuels déterminent les valeurs de C et de ESR sur des plages de fonctionnement spécifiques, dans lesquelles l'élément de stockage a un comportement « parfaitement » prévisible, plages difficiles à provoquer ou à caractère aléatoire en fonctionnement standard.
- 10 C'est pourquoi les procédés et dispositifs actuels appliquent régulièrement des procédures spécifiques de type transition de courant contrôlée +I/-I ou +I/0 pour la mesure de ESR et de type charge ou décharge contrôlée à courant I constant pour la mesure de C.

Cependant, dans la plupart des applications, ces procédures sont 15 difficilement envisageables/applicables lors du fonctionnement de l'application utilisant l'élément de stockage, telle que par exemple l'application automobile. En outre, ces procédures ne permettent pas d'obtenir des mesures en temps réel et en conditions réelles, c'est-à-dire *in situ*.

20 Par conséquent, les procédés et dispositifs actuels ne permettent pas de caractériser un élément de stockage par effet capacitif *in situ*, dans des conditions de fonctionnement réelles sans avoir à arrêter l'application utilisant l'élément de stockage, et ce quelle que soit l'application utilisant l'élément de stockage.

25

L'invention a pour but de pallier les inconvénients précités.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif permettant de caractériser un élément de stockage d'énergie par effet capacitif dans des conditions de fonctionnement réelles, sans avoir à arrêter 30 l'application utilisant l'élément de stockage ou à avoir à mettre en œuvre un protocole particulier.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif permettant de caractériser un élément de stockage d'énergie par effet capacitif *in situ*.

Enfin, un autre but de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif permettant de caractériser un élément de stockage d'énergie par effet capacitif utilisable quelle que soit l'application utilisant ledit moyen.

5

Exposé de l'Invention

L'invention permet d'atteindre au moins l'un des buts précités par un dispositif pour caractériser au moins un élément de stockage d'énergie par effet capacitif, en particulier un supercondensateur également appelé supercapacité, et notamment pour déterminer une donnée relative à un état 10 de santé (SOH) et/ou une donnée relative à un état de charge (SOC) dudit élément de stockage d'énergie, ledit dispositif comprenant :

- au moins un module de mesure de tension comprenant au moins un moyen de mesure d'une tension, dit capteur de tension, dudit élément ;
- au moins un module de mesure de courant comprenant au moins un moyen de mesure d'un courant, dit capteur de courant, dudit élément, lesdits modules de mesure de tension et de mesure de courant étant configurés pour réaliser des mesures avec des dynamiques de réponse du même ordre de grandeur, c'est-à-dire que les réponses indicielles desdits modules sont du même ordre 20 de grandeur temporel ;
- au moins un moyen de commande desdits modules de mesure pour réaliser, pour chaque élément de stockage au moins un cycle de mesure comprenant :
 - une série de mesures de tension aux bornes dudit élément de stockage sur une période de temps, dite période de mesure de tension, et
 - une série de mesures de courant traversant ledit élément de stockage sur une période de temps, dite période de mesure de courant ; et
- au moins un moyen de calcul statistique d'une grandeur relative à chaque élément de stockage à partir des mesures réalisées lors d'au moins un cycle de mesures par lesdits modules ;

dans lequel ledit au moins un moyen de commande est en outre configuré pour commander lesdits modules de mesure de sorte que, pour chaque élément de stockage, ladite période de mesures de tension et ladite période de mesures de courant se recouvrent temporellement au moins sur 70%, de 5 préférence 90%, d'une période, dite totale, comprenant lesdites périodes de mesures pour ledit élément de stockage.

On appelle réponse indicielle d'un module de mesure le signal de mesure en sortie du module, noté $S(t)$, obtenu en réponse à un signal en 10 entrée de forme échelon, communément noté $\Gamma(t)$. Par définition, $\Gamma(t) = 0$ si $t < 0$ et $\Gamma(t) = 1$ si $t \geq 0$.

Par principe de construction d'un module de mesure, $S(t)$ tend vers une constante S_∞ appelée la valeur de mesure stabilisée ou stationnaire. Cette valeur sert de référence pour définir les principales caractéristiques 15 temporelles de la réponse indicielle comme par exemple :

- le temps de réponse, noté τ_r , qui est défini comme le temps nécessaire pour que le signal de mesure demeure dans l'intervalle $\pm 5\%$ autour de la valeur stabilisée S_∞ :

$$\tau_r = \text{Min}\{\tau / \forall t \geq \tau, \left| \frac{S(t) - S_\infty}{S_\infty} \right| \leq 5\%\},$$

20 - le temps de montée, noté τ_m , qui est défini comme le temps nécessaire pour que le signal de mesure passe de 10% à 90% de la valeur stabilisée S_∞ :

$$\tau_m = t_{90\%} - t_{10\%} \text{ avec } S(t_{10\%}) = 10\% S_\infty \text{ et } S(t_{90\%}) = 90\% S_\infty,$$

25 - le temps de retard, noté τ_d , qui est défini comme le temps nécessaire pour que le signal de mesure atteigne 50% de la valeur stabilisée S_∞ :

$$\tau_d / S(\tau_d) = 50\% S_\infty.$$

On considère que deux réponses indicielles sont du même ordre de grandeur si, au regard d'un temps caractéristique δt_m du cycle de mesures, à 30 savoir le minimum des délais entre deux mesures de tension et des délais entre deux mesures de courant lors du cycle de mesures, les réponses indicielles du module de mesure de tension $S_U(t)$ et celle du module de mesure de courant $S_I(t)$, sont liées par la relation suivante :

$$\left| \frac{S_U(\delta t_m)}{S_{U \infty}} - \frac{S_I(\delta t_m)}{S_{I \infty}} \right| \leq 10\%$$

De préférence, les capteurs sont choisis de la façon suivante :

- 5 - les temps de réponse des capteurs de courant et de tension
diffèrent de moins de 20%, notamment 10%, ou
- les temps de montée et de retard des capteurs de courant et de tension diffèrent respectivement de moins de 20%, notamment 10%.

10 Afin d'illustrer la notion de recouvrement temporel, un exemple, nullement limitatif, est présenté lorsque la série de mesures est réalisée sur une période totale de 1s allant de $t=0$ à $t=1s$, le moyen de commande contrôle :

- 15 - le module de mesure de tension pour réaliser une série de mesures de tension sur une période de mesure de tension allant de $t=0$ à $t=0.8s$, et
- le module de mesure de courant pour réaliser une série de mesures de courant sur une période de mesure de courant allant de $t=0.1s$ à $t=1s$.

20 Dans ce cas, la période de mesure de tension et la période de mesure de courant se recouvrent temporellement pendant 0.7s, entre de $t=0.1s$ à $t=0.8s$, pour une période totale de 1s, ce qui donne un recouvrement de 70% de la période totale.

25 Le dispositif de caractérisation selon l'invention permet de réaliser, pour un élément de stockage ou individuellement pour chaque élément de stockage parmi une pluralité d'éléments de stockage, une série de mesures de tensions et de courants concernant une même période temporelle d'au moins 70% de la période de mesure totale pour cet élément de stockage.

30 De plus, les mesures de tensions et de courant réalisées pour un élément de stockage sont de nature temporelle équivalente. Les réalités physiques mesurées à la fois par les modules de mesure de tension et de courant concernant un même élément de stockage sont équivalentes en

terme temporel. En pratique, cela signifie que les données en sortie des modules de mesure de tension et de mesure de courant sont équivalentes, et notamment que les réponses indicielles des modules de mesures sont du même ordre de grandeur temporel.

5 Du fait de ces critères, les mesures de tension et de courant réalisées pour un élément de stockage donné sont donc statistiquement compatibles, et prennent en compte les aléas de fonctionnement de l'élément de stockage naturellement présents dans le fonctionnement de l'élément de stockage.

10 Par conséquent, le dispositif selon l'invention permet de réaliser une caractérisation de chaque élément de stockage d'énergie par effet capacitif sans avoir à mettre en place une procédure spécifique pour prendre en compte les aléas de fonctionnement d'un élément de stockage par effet capacitif. De plus, les mesures de courant et de tension réalisées par le dispositif selon l'invention peuvent être réalisées *in situ* pendant le 15 fonctionnement de l'application utilisant le moyen de stockage.

20 Le dispositif selon l'invention permet donc de caractériser un élément de stockage d'énergie par effet capacitif, *in situ*, dans des conditions de fonctionnement réelles, sans avoir à arrêter l'application utilisant l'élément de stockage, et ce quelle que soit l'application utilisant ledit moyen, y compris l'application automobile.

Avantageusement, δt étant la période de mesure totale, $\delta t \leq 1s$ peut être une valeur générique acceptable pour éviter l'influence de l'effet capacitif et déterminer ESR par le biais de la formule classique $U = ESR \times I$.

25 Avantageusement, selon l'invention $\delta t \leq 0.2s$ voire $\leq 0.05s$ lorsque les performances des capteurs de tension et de courant le rendent possible.

30 Le moyen de commande peut être configuré pour commander les mesures de courant et de tension de sorte qu'au moins une mesure de tension et de courant soit prise dans un même intervalle $\delta t \leq 0.1s$

Avantageusement, le dispositif permet de caractériser une pluralité d'éléments de stockage. Pour chaque élément de stockage, le dispositif selon l'invention comprend un couple module de mesure de tension et module de

mesure de courant, configurés pour mesurer, respectivement, la tension aux bornes de cet élément de stockage et le courant traversant cet élément de stockage.

Un module de mesure, de courant ou de tension, d'un couple associé à
5 un élément de stockage peut faire partie d'un autre couple associé à un autre élément de stockage.

Avantageusement, le module de commande peut être configuré pour commander un module de mesure de tension, respectivement de courant,
10 pour réaliser une série de mesures de tension, respectivement de courant, à une fréquence de mesure supérieure ou égale à 10Hz.

Préférentiellement, le module de commande peut être configuré pour commander un module de mesures de tension, respectivement de courant, pour réaliser une série de mesures de tension, respectivement de courant, à
15 une fréquence de mesure égale à 200Hz.

Ainsi, le dispositif selon l'invention permet de prendre en compte les variations rapides de l'état de l'élément de stockage même lorsqu'il s'agit d'un supercondensateur susceptible de subir des variations importantes sur une courte période. Par conséquent, les mesures de courant et les mesures
20 de tension ne sont pas déconnectées les unes des autres même si elles ne sont pas exactement synchrones.

Les capteurs des modules de mesure peuvent être de préférence choisis pour avoir un temps de réponse, tel que défini plus haut, inférieur à
25 0.1 seconde, et de préférence à 0.005 seconde.

Au moins un capteur de courant peut avantageusement comprendre :

- un capteur résistif numérique, ou
- un capteur à effet Hall multi-gammes, ou
30 - un capteur magnétique fluxgate.

Le capteur résistif numérique, appelé aussi shunt numérique, présente une dynamique de mesure élevée. Il fournit une mesure précise et quasi instantanée du courant, avec un temps de réponse typique inférieur à la milliseconde. Il doit être placé dans le circuit électrique qui alimente

l'élément de stockage et, de ce fait, génère, entre autres, une résistance électrique supplémentaire et indésirable, et des problématiques supplémentaires en terme de tenue en tension de fonctionnement.

Le capteur à effet Hall multi-gammes présente une dynamique de mesure faible. Il fournit une mesure de courant lissée, avec un temps de réponse typique entre 50 et 100 millisecondes. Grâce aux différentes gammes de mesure, la valeur mesurée est précise. Contrairement au shunt numérique, il n'est pas à placer dans le circuit électrique qui alimente l'élément de stockage, et offre donc plus de flexibilité.

Le capteur magnétique fluxgate présente une dynamique et une précision de mesure équivalentes à celles d'un shunt numérique et présente le même avantage que le capteur à effet Hall multi-gammes en termes de placement. Cependant, le capteur fluxgate présente un coût plus élevé par rapport au capteur résistif numérique ou au capteur à effet Hall multi-gammes.

La liste des capteurs de courant proposée n'est pas exclusive. Tout capteur de courant offrant une mesure suffisamment précise (la précision est généralement spécifiée par l'application mais $\leq 1\%$ de la pleine gamme de mesure est une valeur typiquement requise) et rapide ($\leq 0.1\text{s}$ typiquement) du courant sur une gamme représentative de l'application utilisant l'élément de stockage (typiquement quelques milliampères - plusieurs centaines d'ampères) et pouvant supporter ponctuellement des courants extrêmes (typiquement quelques milliers à quelques dizaines de milliers d'ampère) est un candidat potentiel.

25

Au moins un capteur de tension peut comprendre un convertisseur analogique-numérique configuré pour réaliser une conversion analogique-numérique d'une tension présentée à son entrée.

Un convertisseur analogique numérique (CAN) présente une dynamique de mesure élevée avec un temps de réponse souvent très inférieur à la milliseconde.

Il peut être nécessaire d'adapter l'étage d'entrée du CAN, qui est généralement adaptée à une tension généralement comprise entre 0-5 V, pour correspondre au domaine d'évolution de la tension de l'élément de

stockage. Une telle adaptation peut être réalisée par la mise en place d'un étage diviseur de tension dans le module de mesure de tension, en entrée du CAN.

En outre, le choix du CAN dépend de la résolution nécessaire en 5 entrée, par exemple 1 bit pour x mV, et en sortie, par exemple 12bits, 14bits, etc. Ces résolutions peuvent être fixées par le choix des moyens de calcul et de la précision de mesure demandée.

Selon un mode de réalisation, pour arriver à obtenir des mesures de 10 nature temporelle équivalente, le dispositif selon l'invention peut comprendre un ou des capteurs de courant et un ou des capteurs de tension dont les dynamiques de réponse sont similaires ou équivalentes ou encore du même ordre, voire identiques. Par exemple dans cette variante, le dispositif peut comprendre :

- 15 - pour les mesures de tension : un ou des capteurs CAN, et
 - pour les mesures de courant : un ou des shunts numériques ou un ou des capteurs magnétiques fluxgate.

En effet, le CAN présente une dynamique de mesure élevée, du même ordre que celle d'un shunt numérique ou d'un capteur magnétique fluxgate. 20 Les natures temporelles des mesures de tension et de courant sont dans ce cas équivalentes.

Dans ce cas, chaque module de mesure peut ne comprendre que le capteur correspondant.

25 Selon un autre mode de réalisation du dispositif selon l'invention, au moins un module de mesure de tension, respectivement de courant, associé à un élément de stockage comprend au moins un moyen de modification d'une dynamique de réponse du capteur dudit module, par traitement :

- 30 - du signal électrique à mesurer fourni en entrée dudit capteur, et/ou
 - d'un signal de mesure fourni par ledit capteur ;
de sorte à ajuster la dynamique de réponse dudit capteur de tension, respectivement de courant, par rapport à une dynamique de réponse du

capteur de courant, respectivement de tension, du module de mesure de courant, respectivement de tension, associé audit élément de stockage.

Ce faisant, le dispositif selon l'invention permet de disposer de mesures de tension et de courant équivalentes d'un point de vue nature 5 temporelle à la sortie des modules de mesures.

En effet, pour retrouver en sortie des modules de mesure de tension et de courant associés à un élément de stockage des mesures équivalentes alors que le ou les capteurs de tension et le ou les capteurs de courant n'ont pas la même dynamique de réponse, par exemple lorsque le capteur de 10 tension est un CAN et le capteur de courant est un capteur à effet Hall multi-gammes, l'un et/ou l'autre des modules de mesure peut comprendre un ou des moyens de traitement de la tension/courant qui doit être mesurée par le capteur ou du signal de mesure fourni par le capteur.

Ces moyens de traitement peuvent comprendre des moyens de 15 filtrage, tels que des moyens de filtrage analogique, numérique, à moyenne glissante, par transformée de Fourier ou temporelle.

Par exemple, la dynamique d'un CAN est significativement plus élevée que celle d'un capteur à effet Hall multi-gammes. Les natures temporelles des deux mesures ne sont pas dans ce cas équivalentes. Un filtrage peut être 20 introduit pour modifier la réponse indicielle de la chaîne de mesure de tension, de façon à rendre les natures temporelles des mesures équivalentes. Ce filtrage, de type passe-bas, va réduire la dynamique de mesure de tension au niveau de celle du courant. Il y a plusieurs possibilités pour réaliser ce filtrage dont les deux suivants :

- 25 - un filtre analogique passe-bas de type RC positionné en amont du CAN : la fréquence de coupure caractéristique est fixée par la réponse indicielle du capteur de courant, sachant qu'en l'absence de caractéristique indicielle précisément connue, il est possible de prendre comme fréquence de coupure une valeur proche de $1/\tau_r$ ou $1/(\tau_d + 1/2 \tau_m)$. Dans ce cas, le traitement est appliqué sur le signal représentant la tension à mesurer ;
- 30 - un filtre numérique positionné en aval du CAN : le traitement mathématique, à savoir un filtrage numérique passe-bas, moyenne glissante, etc., assure que la mesure filtrée est de

même nature temporelle que la mesure de courant. Dans ce cas, le traitement est appliqué sur le signal de mesure fourni par la CAN.

5 Ces moyens de traitement peuvent également être mis en œuvre pour améliorer la précision des mesures, par exemple un filtre faisant une moyenne de plusieurs mesures permet d'abaisser la réponse temporelle d'un capteur tout en augmentant la précision de la mesure.

10 Dans un mode de réalisation particulier du dispositif selon l'invention, le module de commande peut être configuré pour commander le module de mesure de tension et le module de mesure de courant associés à un élément de stockage de sorte à réaliser des mesures de courant et de tension de manière synchrone pour cet élément de stockage.

15 Préférentiellement, le module de commande peut être configuré pour commander le module de mesure de tension et le module de mesure de courant associés à un élément de stockage de façon à réaliser des mesures de courant et de tension entrelacées pour cet élément de stockage.

20 En effet, les mesures synchrones de courant et de tension sont difficiles à réaliser alors que les mesures alternées/entrelacées de courant et de tension sont plus simples à réaliser.

25 Selon l'invention une « alternance de mesure » ou un « entrelacement de mesure » n'est pas limitée à une répétition d'une séquence, comprenant une mesure à tour de rôle de l'une des grandeurs électriques puis une mesure de l'autre des grandeurs électriques, de type $([U, I, U, I] \text{ ou } [I, U, I, U])$ avec « U » la tension et « I » le courant. En effet, l'alternance n'est pas limitée à un rapport 1:1 entre mesures de tension et mesures de courant, c'est-à-dire une mesure de tension pour une mesure de courant, et couvre le 30 cas de plusieurs mesures de tension, respectivement de courant, pour une mesure de courant, respectivement de tension.

De plus, selon l'invention une « alternance de mesure » peut-être régulière ou non, c'est-à-dire que le temps entre deux mesures de courant consécutives ou deux mesures de tension consécutives ou encore entre une

mesure de courant et une mesure de tension consécutives peut-être constant ou changeant.

Selon l'invention, le moyen de commande peut être avantageusement 5 configuré pour ne pas dépasser un rapport défini par deux mesures de tension, respectivement de courant, pour une mesure de courant, respectivement de tension, c'est-à-dire (2 U : 1 I) ou (1 U : 2 I).

Le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre un module de 10 mesure de quantité de charge comprenant un moyen de mesure de quantité de charges, dit capteur de charge, pour au moins un, avantageusement chaque, élément de stockage.

Un tel capteur de charge peut être un intégrateur d'un signal de courant fourni par un capteur de courant. Il peut être indépendant du 15 capteur de courant.

Avantageusement, le moyen de commande peut en outre être configuré pour commander les mesures courant I, de tension U et de quantité de charge Q, de sorte qu'au moins une mesure de chacun des paramètres U, I et de Q soit prise dans un même intervalle $\delta t < 0.1s$.

20 On notera également que les mesures relatives à la charge sont effectuées sur des temps bien plus longs (approximativement quelques secondes) que les périodes δt mentionnées précédemment, pour tenir compte de l'effet capacitif.

25 Avantageusement, le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre une mémoire tampon pour mémoriser, au moins une partie des valeurs mesurées par les modules de mesure lors d'une série de mesure, en particulier des valeurs de tension et de courant et éventuellement des valeurs de température et/ou de pression, et/ou au moins une partie de 30 valeurs calculées par le moyen de calcul, et éventuellement en association avec un identifiant d'un élément de stockage. Les couples de valeurs mesurés de façon concomitante sont associés dans la mémoire tampon.

La mémorisation peut être réalisée sous forme numérique.

La vitesse d'échantillonnage v_{ech} du signal à mesurer peut être choisie de sorte que :

$$10 \text{ ech/s} \leq v_{ech} \leq 2500 \text{ ech/s.}$$

5 Pour un même cycle de mesure, le nombre de mesures de tension de la série de mesures peut être égal ou différent du nombre de mesures de courant de la série de mesures.

10 Pour deux cycles de mesures différents, le nombre de mesures de tension, respectivement de courant, de la série de mesure de tension, respectivement de courant, peut être identique ou non.

Dans un mode de réalisation particulier, pour un cycle de mesure donné, le nombre N de mesures de tensions peut être égal au nombre de mesures de courant.

15 Selon un exemple de réalisation particulier, N peut être choisi tel que $2 \leq N \leq 32$. Un tel nombre de mesures présente un bon compromis entre précision statistique et puissance de calcul.

20 Avantageusement, le nombre de mesures N peut être, de manière nullement limitative, un nombre égal à une puissance de 2. Un tel nombre de mesures permet d'optimiser les calculs des grandeurs statistiques.

25 Les moyens de calcul peuvent être configurés pour réaliser une détermination d'au moins une grandeur statistique intermédiaire. Une telle grandeur statistique intermédiaire peut être par exemple une variance, un écart type ou une moyenne, en ce qui concerne la tension ou le courant.

Pour une grandeur électrique notée G , en considérant N le nombre de mesures de la grandeur électrique :

- la moyenne \bar{G} peut être calculée en utilisant la relation suivante :

30

$$\bar{G} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i$$

- la variance var_G peut être calculée en utilisant la relation suivante :

$$\text{var}_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i^2 - \bar{G}^2$$

- l'écart type noté σ_G peut être calculé en utilisant la relation suivante :

$$\sigma_G = \sqrt{\text{var}_G} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i^2 - \bar{G}^2}$$

5

Pour un élément de stockage donnée, les moyens de calcul peuvent donc être configurés pour ou être aptes à fournir six valeurs, à savoir : \bar{U} , var_U , σ_U , \bar{I} , var_I et σ_I , avec U la tension et I le courant.

10

Suivant un mode de réalisation particulier, appelé mode de calcul direct dans la suite de la demande, le moyen de calcul peut être configuré pour calculer, de manière statistique au moins une grandeur statistique, à partir des valeurs mesurées par les modules de mesure sur un unique cycle de mesure.

15

Les grandeurs statiques calculées peuvent alors comprendre ESR ou C déterminées avec les relations suivantes :

$$\sigma_U = \text{ESR} \times \sigma_I$$

$$\text{var}_U = \text{ESR}^2 \times \text{var}_I$$

et

20

$$\Delta Q_{1 \rightarrow 2} = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt = C \times (V(t_2) - V(t_1)) = C \times \Delta V_{1 \rightarrow 2}$$

$$\Delta Q_{1 \rightarrow 2} = C \times (\Delta U_{1 \rightarrow 2} - \text{ESR} \times \Delta I_{1 \rightarrow 2})$$

avec Q la quantité de charge.

25

Ce mode de calcul direct donne des résultats relativement satisfaisants mais présente l'inconvénient d'être particulièrement sensible dans le cas où les valeurs des grandeurs statistiques calculées sont petites. Par ailleurs, ce mode de calcul direct est très sensible aux incertitudes de mesure propres aux capteurs qui peuvent venir s'ajouter aux fluctuations naturelles des grandeurs physiques.

Dans ce mode de réalisation, l'intervalle de temps pour lequel la grandeur statistique est calculée peut correspondre à l'intervalle de temps sur lequel est effectué une série de mesure.

De préférence l'intervalle de temps pour lequel la grandeur statistique, 5 notamment s'agissant d'ESR, est calculée peut être inférieur à 1s, notamment égal à 0,1s.

Suivant un autre mode de réalisation particulier, appelé mode de calcul indirect, le moyen de calcul peut être configuré pour calculer, de 10 manière statistique, au moins une grandeur statistique à partir de valeurs mesurées par les modules de mesure sur une pluralité de cycles de mesure, et éventuellement mémorisées dans des moyens de mémorisation.

Dans ce mode de réalisation, le moyen de calcul peut prendre en compte plusieurs séries de mesures de tension et de courant précédemment 15 réalisées et mémorisées, par exemple au travers d'un modèle de régression linéaire.

La prise en compte d'un cycle de mesure préalablement réalisé peut être réalisée soit en considérant les valeurs des mesures réalisées pendant ce cycle de mesure soit en considérant les valeurs des grandeurs calculées 20 statistiquement pour ce cycle de mesure. Ainsi, selon un exemple de réalisation, au moins une grandeur statistique peut être déterminée en prenant en compte, dans un modèle de régression linéaire, les grandeurs statistiques calculées lors d'une pluralité de cycles de mesures.

25 Le calcul indirect peut prendre en compte, de manière glissante, un nombre prédéterminé de mesures précédemment réalisées et mémorisées dans des moyens de mémorisation, ces mesures pouvant être réalisées sur au moins deux cycles de mesures. Cela revient à prendre en compte, de manière glissante, un nombre prédéterminé de mesures précédemment réalisées. Dans ce dernier cas, les moyens de mémorisation peuvent être 30 configurés pour mémoriser uniquement un nombre prédéterminé de mesures précédemment réalisées.

Avantageusement, le dispositif selon l'invention peut comprendre des moyens de comparaison pour comparer des valeurs mesurées et/ou calculées avec des valeurs mémorisées, par exemple dans la mémoire tampon, précédemment mesurées ou calculées, les nouvelles valeurs 5 mesurées et/ou calculées étant mémorisées, par exemple dans la mémoire tampon, en fonction des résultats fournis par les moyens de comparaison.

Lorsque les valeurs obtenues lors d'une mesure ou d'un calcul sont identiques ou similaires à des valeurs mémorisées précédemment mesurées ou calculées, alors les nouvelles valeurs mesurées/calculées peuvent ne pas 10 être mémorisées.

Une telle comparaison permet d'éviter de mémoriser plusieurs fois des valeurs mesurées/calculées identiques ou similaires et ainsi de mieux gérer les moyens de mémorisation.

15 Le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre au moins un moyen de mesure d'autres paramètres relatifs à chaque élément de stockage d'énergie, en particulier à l'environnement de chaque élément de stockage d'énergie, tels que par exemple la température ou la pression.

Le dispositif peut alors comprendre au moins un moyen pour convertir 20 les données mesurées à des conditions réelles en des données mesurées à des conditions de référence. Ces moyens de conversion peuvent par exemple comprendre un tableau de conversion construit en fonction de données obtenues expérimentalement et stockées dans des moyens de mémorisation. La conversion peut être effectuée soit avant le calcul d'une ou de grandeurs 25 statistiques soit après.

Selon un autre aspect de l'invention il est proposé un ensemble de stockage d'énergie comprenant :

30 - une pluralité d'éléments de stockage d'énergie par effet capacitif montés en série et/ou en parallèle, et
- un dispositif de caractérisation selon l'invention, fournissant au moins une donnée de caractérisation pour au moins un desdits éléments de stockage d'énergie.

L'ensemble de stockage d'énergie peut en outre comprendre un moyen pour modifier un équilibrage ou une utilisation des éléments de stockage en fonction d'au moins une donnée fournie par le dispositif de caractérisation.

5 On appelle équilibrage l'action d'homogénéiser la répartition des tensions au sein d'un ensemble de stockage d'énergie. En particulier, on cherche à ce que tous les éléments de stockage d'énergie par effet capacitif montés en série dans une même branche présentent à tout instant la même valeur de tension à leurs bornes, en s'autorisant cependant une dispersion de quelques dizaines de millivolts typiquement.

10 Une modification d'équilibrage peut comprendre un déroutage total ou partiel du courant traversant un élément de stockage d'énergie dont la tension unitaire est jugée trop élevée par rapport à une valeur nominale attendue. Modifier un équilibrage revient dans ce cas à modifier le déroutage 15 du courant traversant l'élément de stockage d'énergie incriminé. Mais cet exemple ne doit pas être limitatif d'autres procédés amenant à un équilibrage d'un ensemble de stockage d'énergie.

20 Avantageusement, le dispositif de caractérisation selon l'invention peut être utilisé pour caractériser individuellement chaque élément de stockage d'énergie de l'ensemble de stockage comprenant une pluralité d'éléments de stockage d'énergie montés en série ou en parallèle.

25 Dans le cas d'un ensemble de stockage comprenant plusieurs éléments de stockages montés en série et/ou en parallèle, le dispositif selon l'invention peut comprendre :

- un module de mesure de courant pour au moins une des branches en parallèle du circuit reliant lesdits éléments de stockage entre eux,
- un module de mesure de tension pour chaque élément de stockage, et éventuellement pour au moins une branche en parallèle du circuit reliant lesdits éléments de stockage entre eux.

Il peut également ou alternativement comprendre un module de mesure de tension aux bornes du module de stockage d'énergie et des moyens de mesure du courant en sortie du module de stockage d'énergie.

Une série de mesures de tension, respectivement de courant, réalisée 5 pour un élément de stockage peut être réalisée en même temps ou non qu'une série de mesure de tension, respectivement de courant, pour un autre élément de stockage faisant partie dudit module de stockage.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé pour 10 caractériser au moins un élément de stockage d'énergie par effet capacitif, en particulier d'un supercondensateur également appelé supercapacité, notamment pour déterminer une donnée relative à un cycle de vie (SOH) ou à un état de charge (SOC) dudit élément de stockage d'énergie, ledit procédé comprenant, pour chaque élément de stockage :

15 - au moins une itération des étapes suivantes constituant un cycle de mesure :

- une série de mesures de tension réalisées par un module de mesure de tension comprenant au moins un moyen de mesure d'une tension, dit capteur de tension, aux bornes dudit élément de stockage, et
- une série de mesures de courant réalisées par un module de mesure de courant comprenant au moins un moyen de mesure d'un courant, dit capteur de courant, traversant ledit élément de stockage ; et

20 25 - une étape de calcul statistique d'une grandeur relative audit élément de stockage à partir desdites mesures de tension et de courant ;

30 dans lequel lesdites séries de mesures de tension et de mesures de courant sont réalisées sur deux périodes de mesure qui se recouvrent temporellement au moins sur 70%, de préférence 90%, d'une période, dite totale, comprenant lesdites périodes de mesure, les mesures étant réalisées à l'aide de modules de mesure de tension et de courant ayant des dynamiques de réponse de même ordre de grandeur.

En particulier, les mesures de tension et les mesures de courant d'un même cycle de mesure peuvent être réalisées à une même fréquence ou à deux fréquences sensiblement égales.

5 Avantageusement, les mesures de tension d'une série de mesure ou les mesures de courant d'une série de mesure peuvent être réalisées à une fréquence supérieure ou égale à 10Hz.

Préférentiellement, la fréquence de mesure de tension et/ou la fréquence de mesure de courant peuvent être à 200Hz.

10

Le procédé selon l'invention peut en outre comprendre au moins une étape de modification d'une dynamique de réponse d'au moins un capteur de tension ou un capteur de courant, afin d'obtenir des mesures de tension et de courant statistiquement compatibles, ladite étape de modification 15 comprenant au moins un traitement :

- de la tension ou du courant électrique à mesurer fourni(e) en entrée dudit capteur,
- d'un signal de mesure fourni en sortie par ledit capteur.

20

Pour un cycle de mesure, la série de mesures de courant et la série de mesures de tension peuvent être réalisées de sorte que les mesures de tensions et les mesures de courant sont réalisées de manière alternée/entrelacée.

25

Le procédé selon l'invention peut en outre comprendre une étape de mémorisation, dans une mémoire tampon, d'au moins une partie des valeurs de tensions et/ou de valeurs de courants mesurées lors d'une série de mesures d'un cycle de mesure.

30

Le procédé selon l'invention peut comprendre une détermination d'au moins une grandeur statistique intermédiaire. Une telle grandeur statistique intermédiaire peut être par exemple une variance, un écart type ou une moyenne, en ce qui concerne la tension ou le courant.

Dans le procédé selon l'invention, au moins une grandeur statistique peut être calculée en prenant en compte :

5

- des mesures réalisées lors d'un unique cycle de mesure,
- des mesures réalisées lors d'une pluralité de séries de mesures,
- ou
- de manière glissante, un nombre de mesures précédemment réalisées.

De manière générale, le procédé de caractérisation selon l'invention 10 peut en outre comprendre l'une, ou une combinaison quelconque, des étapes/opérations réalisées par le dispositif selon l'invention et décrites plus haut, avec ou indépendamment de l'architecture dudit dispositif, si rien ne s'oppose à une telle combinaison sur le plan technique. Ces caractéristiques ne seront pas reprises ou détaillées ici pour éviter les lourdeurs 15 rédactionnelles.

Selon un autre aspect de l'invention il est proposé un procédé de gestion d'un ensemble de stockage d'énergie comprenant une pluralité d'éléments de stockage d'énergie par effet capacitif montés en série et/ou en 20 parallèle.

25

Un tel procédé de gestion comprend :

- au moins une étape de détermination, conformément au procédé de caractérisation selon l'invention, d'au moins une donnée de caractérisation pour au moins un desdits éléments de stockage d'énergie, et
- au moins une étape de modification, en fonction de ladite au moins une donnée de caractérisation, d'un équilibrage ou d'une utilisation d'au moins un élément de stockage dudit ensemble de stockage.

30

De manière générale, le procédé de gestion selon l'invention peut en outre comprendre l'une, ou une combinaison quelconque, des étapes/opérations réalisées par l'ensemble de stockage selon l'invention et décrites plus haut, avec ou indépendamment de l'architecture dudit

ensemble, si rien ne s'oppose à une telle combinaison sur le plan technique. Ces caractéristiques ne seront pas reprises ou détaillées ici pour éviter les lourdeurs rédactionnelles.

5 D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'exemples nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :

- la FIGURE 1 est une représentation schématique d'un ensemble de stockage selon l'invention ;
- 10 - la FIGURE 2 est une représentation schématique d'un procédé de caractérisation selon l'invention ; et
- la FIGURE 3 est une représentation schématique de plusieurs configurations de réalisation de mesures entrelacées de tension et de courant selon l'invention.

15 Il est bien entendu que les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques 20 décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détail structurel, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour 25 conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont combinables entre eux si rien ne s'oppose à cette combinaison sur le plan technique.

30 Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.

Nous allons d'abord décrire des exemples non limitatifs de calcul de grandeurs statistiques selon deux modes de calcul de paramètres statiques.

Chacun de ces modes de réalisation peut être mis en œuvre dans l'invention, seul ou en combinaison avec l'autre.

Mode de réalisation 1 : Calcul direct

- 5 Soit N le nombre de valeurs tension « U » et de courant « I » mesurées dans un cycle de mesure, et sur période totale δt avec $\delta t << 1s$. Les N valeurs sont réparties par exemple de façon homogène sur la période de mesure δt , typiquement par entrelacement des prises de mesures de U et de I , comme expliqué plus haut.
- 10 On notera qu'avec le dispositif selon l'invention, même si les mesures ne sont pas prises de façon homogène, on retrouve des couples de valeurs à traiter par les moyens de calcul en sortie des modules de courant et de tension (grâce au traitement effectué de façon additionnelle par les moyens de traitement de chacun des modules).
- 15 La moyenne des variations d'une grandeur G correspond statistiquement à l'écart-type σ_G de cette grandeur, ou à sa variance $\text{var}_G = \sigma_G^2$ si l'on regarde en terme de distance mathématique, et les grandeurs statistiques calculées comprennent notamment la variance ou l'écart-type de la tension et/ou du courant.
- 20 Les moyennes \overline{U} , \overline{I} d'une part, et les variances var_U , var_I et/ou les écart-types σ_U , σ_I de U et I sont déterminés grâce au procédé et au dispositif selon l'invention en utilisant les relations suivantes :
- $\overline{G} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i$
- $\text{var}_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - \overline{G})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i^2 - \overline{G}^2$
- 25 - $\sigma_G = \sqrt{\text{var}_G} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - \overline{G})^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i^2 - \overline{G}^2}$

Le dispositif et le procédé selon l'invention sont donc aptes à fournir 6 valeurs, déterminés par les moyens de calcul lors de l'étape de calcul, pour chaque période de δt : \overline{U} , var_U , σ_U d'une part, et \overline{I} , var_I et σ_I d'autre part.

Trois de ces valeurs seront mises en mémoire, par exemple en mémoire tampon, pour calcul futur de ESR et de C : \bar{I} et au choix le couple (var_U , var_I) ou (σ_U , σ_I).

5 Calcul de ESR

La valeur de ESR peut alors être calculée, par les moyens de calcul lors de l'étape de calcul, en utilisant l'une des relations suivantes en fonction des couples de données mémorisées :

$$\begin{aligned} \sigma_U &= ESR \times \sigma_I \\ 10 \quad var_U &= ESR^2 \times var_I \end{aligned}$$

Pour ce mode de réalisation, l'intervalle de temps pour lequel la grandeur statistique ESR est calculée correspond à l'intervalle de temps sur lequel est effectuée une série de mesures, i.e. la période d'un cycle de mesures, et est donc de préférence inférieur à 1 s, notamment à 0,1 s.

15 Calcul de C

La valeur de C peut être obtenue en reprenant les mêmes mesures de I et U, et/ou les calculs des grandeurs statistiques \bar{I} et \bar{U} , obtenues précédemment lors du calcul de ESR, et en appliquant les équations suivantes :

$$\begin{aligned} 20 \quad \Delta Q_{1 \rightarrow 2} &= \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt = C \times (V(t_2) - V(t_1)) = C \times \Delta V_{1 \rightarrow 2} \\ \Delta Q_{1 \rightarrow 2} &= C \times (\Delta U_{1 \rightarrow 2} - ESR \times \Delta I_{1 \rightarrow 2}) \end{aligned}$$

dans laquelle :

- ΔQ correspond à une différence de quantité de charges dans l'élément de stockage entre, deux états ① et ②, également mesurée par un capteur de charge ;
- ΔU correspond à une différence de tension aux bornes de l'élément de stockage, i.e. une différence numérique de U ou \bar{U} , entre les états ① et ② ;
- ESR correspond à la valeur calculée précédemment, et

- ΔI est issu de la différence numérique de I ou \bar{I} entre les états ① et ②.

Afin d'améliorer la précision du calcul, les états ① et ② de l'élément de stockage peuvent être choisis distants, soit en terme de temps, soit en terme 5 de quantité de charges, soit en terme de tension, pour obtenir des valeurs de « ΔQ » et/ou de « $\Delta U - ESR \times \Delta I$ » suffisamment éloignées de 0, tout en restant dans un domaine de variation représentatif de l'application utilisant l'élément de stockage.

En terme de temps, les états ① et ② peuvent par exemple être 10 distants tels que $2s \leq \Delta t_{1 \rightarrow 2} \leq 64s$, et notamment $4s \leq \Delta t_{1 \rightarrow 2} \leq 16s$.

En terme de quantité de charges, les états ① et ② peuvent par exemple être distants tels que $C_n \times U_n / 32 \text{ coulomb} \leq |\Delta Q_{1 \rightarrow 2}| \leq C_n \times U_n \text{ coulomb}$, où C_n est la capacité nominale de l'élément de stockage et U_n la tension nominale de fonctionnement de 15 l'élément de stockage, et notamment $C_n \times U_n / 16 \text{ coulomb} \leq |\Delta Q_{1 \rightarrow 2}| \leq C_n \times U_n / 4 \text{ coulomb}$.

En terme de tension, les états ① et ② peuvent par exemple être distants tels que $U_n / 32 \text{ V} \leq |\Delta V_{1 \rightarrow 2}| \leq U_n \text{ V}$, et notamment $U_n / 16 \text{ V} \leq |\Delta V_{1 \rightarrow 2}| \leq U_n / 4 \text{ V}$.

20 Il peut être intéressant de pouvoir remettre à zéro sur commande la mesure de ΔQ . Dans ce cas, l'état ① peut correspondre à la remise à zéro et l'état ② à la mesure de ΔQ .

On notera que, quel que soit le mode de calcul ou le mode de 25 réalisation, pour déterminer ΔQ , un capteur de quantité de charges peut être adjoint dans le circuit électrique auquel l'élément de stockage est relié, en lieu et place du calcul effectué par les moyens de calcul à partir des mesures de I ou \bar{I} .

30 ΔQ est alors obtenu directement à partir de ce capteur. Un tel capteur de charge peut être un intégrateur du courant qui traverse l'élément de stockage. Il peut constituer un capteur spécifique, mis en série d'un capteur de courant. Par exemple, certains shunts numériques fournissent directement, à partir de l'intégration numérique du signal interne

de mesure, la quantité de charges qui a traversé le shunt depuis une remise à zéro commandable.

Dans une variante, la présence du capteur de courant peut être mise à profit pour réaliser un tel capteur de charge par intégration analogique ou 5 numérique du signal issu du capteur de courant, en fonction de la nature du signal de sortie du capteur de courant. Par exemple, un capteur à effet Hall multi-gammes fournit généralement un signal analogique qu'il est plus judicieux d'intégrer par voie analogique via un circuit intégrateur dédié. A l'inverse, un capteur magnétique fluxgate fournit généralement un signal 10 numérique qu'il est plus judicieux d'intégrer par voie numérique via un moyen, dédié ou non, de calcul. Dans cette variante de réalisation, il peut être intéressant de dédier un moyen de calcul, un microcontrôleur par exemple, et/ou un moyen de mémorisation de données à l'intégration numérique du signal de sortie du capteur de courant, du fait que ce calcul 15 peut s'avérer consommateur de ressources. Si le signal de sortie est de nature analogique, un CAN intermédiaire pourra convertir le signal de façon à le rendre utilisable par le moyen de calcul et/ou de mémorisation dédiés.

Avantageusement, et quel que soit le mode de réalisation lorsque la 20 grandeur ΔQ est mesurée à l'aide d'un capteur de charge, les moyens de commande peuvent en outre configurés pour commander les mesures de I , de U et de Q , de sorte qu'au moins une mesure de U , I et de Q soit prise dans un même intervalle $\delta t < 0.1s$.

25 Tel que précisé plus haut, ce mode de réalisation donne des résultats relativement satisfaisants mais a pour inconvénient d'être particulièrement sensible dans le cas où les valeurs de \bar{I} ou \bar{I} sont petites.

Par ailleurs, ce mode de réalisation est sensible aux incertitudes de mesure propres aux capteurs qui peuvent venir s'ajouter aux fluctuations 30 naturelles des grandeurs physiques.

Mode de réalisation 2 : Calcul indirect

Dans ce mode de réalisation, une régression linéaire est effectuée à partir des mesures effectuées et/ou des grandeurs statistiques calculées,

stockées dans les moyens de stockage du dispositif, et correspondant à k cycles de mesures préalablement réalisées.

Calcul de ESR

5 La relation utilisée pour réaliser la régression linéaire peut être la suivante :

$$a = \frac{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i Y_i - \bar{X} \bar{Y}}{\text{var}_X} = \frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2}$$

En prenant comme couple (X, Y) , le couple $(\text{var}_I, \text{var}_U)$ « a » vaut ESR^2 et en prenant comme couple (X, Y) , le couple (σ_I, σ_U) , « a » vaut ESR. Cette 10 relation prend en compte k couples de valeurs $(\text{var}_I, \text{var}_U)$ ou (σ_I, σ_U) correspondant à k cycles de mesure préalablement réalisées.

En outre, une contrainte forte supplémentaire peut être appliquée à la régression linéaire en utilisant la relation suivante :

$$\bar{Y} = a \bar{X}$$

15 car le couple $(U, I) = (0, 0)$ se trouve de façon théorique sur la droite.

En utilisant cette contrainte, la formule de régression linéaire devient :

$$a = \frac{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i Y_i}{\text{var}_X - \bar{X}^2} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i Y_i}{\sum_{i=1}^k X_i^2}$$

Calcul de C

20 La régression linéaire qui vient d'être décrite peut être utilisée pour déterminer C en prenant pour Y ΔQ et pour X « $\Delta U - \text{ESR} \times \Delta I$ », chaque Δ correspondant à un couple distinct d'états (①, ②).

Les couples d'états (①, ②) pourront vérifier les conditions de choix énumérées dans le précédent mode de réalisation. Ils pourront

indifféremment se suivre (séquence de type ① ② ①' ②' ①" ②" ...), se chevaucher (séquence de type ① ①' ② ①" ②' ②" ...), être contigus (séquence de type ① ②=①' ②'=①" ②" ...), de façon régulière ou non (séquence de type ① ①' ② ②'=①" ②" ...).

5 ΔQ peut être obtenu à partir de l'intégration de I ou \bar{I} sur l'intervalle de temps qui sépare les états ① et ②.

En particulier, l'accès à la valeur de ESR n'est pas immédiat. Cette méthode est particulièrement adaptée en cas de variation lente et/ou valeur faible attendues pour ESR, ce qui est le cas pratique pour un élément de 10 stockage par effet capacatif standard.

15 Ce deuxième mode de réalisation (calcul indirect ou régression linéaire) corrige efficacement le problème d'imprécision du mode de réalisation précédent par calcul direct mais nécessite du stockage mémoire et des moyens de post-traitement supplémentaires des grandeurs statistiques obtenues.

La méthode de la régression linéaire peut être effectuée :

- soit en calculant les grandeurs statistiques nécessaires (\bar{U} , var_U , σ_U , \bar{I} , var_I ou σ_I) et en stockant ces grandeurs et en effectuant ensuite la régression linéaire ;
- soit en ayant stocké directement les couples (I , U) mesurés, puis en effectuant à la suite les étapes de calcul des grandeurs statistiques auxiliaires que sont alors \bar{U} , var_U , σ_U , \bar{I} , var_I ou σ_I et l'étape de régression linéaire.

25 Dans ce deuxième mode de réalisation, il est préférable que le nombre de mesures soit important et que le temps durant lequel les mesures sont prises soit supérieur à celui du premier mode de réalisation.

30 Les mesures peuvent être prises sur plusieurs minutes voire plusieurs heures. Cela permet d'éviter de fausser la régression en n'ayant des valeurs que dans un seul domaine de valeurs de I et U . Pour le calcul, l'ensemble des couples (I , U) mesurés sera alors décomposé en k sous-ensembles de N_i couples, en veillant à respecter les critères relatifs à la distribution temporelle et au temps court entre les mesures de courant et de tension

présenté dans le mode de réalisation 1 pour chaque sous-ensemble de mesures. Aucune autre condition n'est mise sur la valeur de N_i , qui peut donc être différente d'un sous-ensemble à l'autre.

5 Variantes du deuxième mode de réalisation

Dans le deuxième mode de réalisation, il est également possible de réaliser la régression avec k couples de valeurs (X, Y) glissants au lieu de prendre k couples de valeurs de manière fixe telle que décrite ci-dessus. Dans ce cas, les durées pour lesquelles les grandeurs statistiques sont 10 calculées se chevauchent. Au lieu de faire un calcul tous les k couples de valeurs tel qu'il est proposé précédemment, il est possible de réaliser un nouveau calcul pour chaque nouveau couple de valeurs (X, Y) en ne considérant que les k derniers couples de valeurs. La valeur (X, Y) la plus ancienne est remplacée par le nouveau couple de valeurs (X, Y). L'évolution 15 de la valeur de ESR est alors lissée dans le temps. Dans cette variante du deuxième mode de réalisation, k peut être variable au cours du temps, i.e. le nombre de couples de valeurs peut être variable au cours du temps. Il est par exemple opportunément possible de regrouper les couples (X, Y) par plage de variation de X ou de Y .

20

En outre, quelle que soit la manière (glissante ou fixe) de prendre en compte les k couples de valeurs, avant de mémoriser un couple de valeurs mesurées/calculées, ce couple de valeurs peut être comparé aux couples de valeurs déjà mémorisés pour déterminer s'il n'existe pas déjà un couple de 25 valeurs identiques ou proches. Si oui, le nouveau couple de valeurs n'est pas mémorisé, sinon il est mémorisé. Une telle comparaison permet d'éviter de saturer les moyens de stockage et/ou d'utiliser des moyens de stockage trop coûteux.

30

Par exemple, dans la variante de réalisation du deuxième mode calcul dans laquelle les k couples de valeurs sont considérés de manière glissante, rien ne garantit en pratique que ces k couples soient suffisamment dispersés en valeur pour que le résultat de la régression linéaire soit précis. Par exemple, si l'ensemble des valeurs de I ou var_I considérées sont proches de 0, il y a fort à craindre que le calcul de régression linéaire donne une valeur

imprécise. Afin de corriger ce problème, les couples de valeurs peuvent être sélectionnés avant d'effectuer le calcul de régression linéaire.

Avec une telle sélection, l'accès à la valeur de ESR devient encore moins immédiat que précédemment. Cette méthode est donc 5 particulièrement adaptée en cas de variation lente et/ou valeur faible attendues pour ESR.

Le principe d'une telle sélection est le suivant : Pour chaque nouvelle valeur (X, Y) , on détermine si ce couple apporte une information intéressante d'un point de vue statistique. Si c'est le cas, il est mis dans la mémoire 10 tampon. Sinon, il est ignoré pour le calcul. Un couple (X_i, Y_i) apporte une information statistique intéressante s'il n'y a pas déjà un couple équivalent en mémoire. Cela revient à vérifier qu'il n'existe en mémoire aucun couple (X_j, Y_j) tel que :

$$\begin{cases} X_j - \delta X/2 \leq X_i \leq X_j + \delta X/2 \\ Y_j - \delta Y/2 \leq Y_i \leq Y_j + \delta Y/2 \end{cases}$$

15 avec $\delta X/2$ et $\delta Y/2$ prédéterminées.

D'un point de vue pratique, pour chaque nouveau couple de valeurs (X_j, Y_j) , la position théorique de mémorisation dans la mémoire est déterminée. Si un couple n'est pas déjà présent à cet emplacement, les 20 valeurs sont mémorisées. Sinon, le couple de valeurs est ignoré.

Pour déterminer la position théorique d'un couple de valeur (X_i, Y_i) , le domaine de variation de X est donc découpé en n_x intervalles de largeur δX et le domaine de variation de Y en n_y intervalles de largeur δY : $n_x \times n_y$ zones de stockage sont réservées pour stocker l'ensemble des couples de 25 valeurs (X, Y) possibles.

Il y a donc un compromis à trouver entre la quantité de données stockable et les valeurs admissibles de δX et δY au regard des domaines de variation de X et Y . Il n'est pas obligatoire que les intervalles soient de 30 largeur constante sur l'ensemble du domaine de variation, mais cela est recommandé pour éviter un traitement statistique complexe : compromis taille des moyens de stockage / puissance des moyens de calcul.

Une variante à ce mode sélection peut être de compter le nombre de couples de valeurs dans chacune des $n_x \times n_y$ cases de mémoire et d'accorder

un poids (ou coefficient) fonction du nombre de couples dans la case à la valeur associée à cette case. Cependant, cette solution qui est statistiquement encore plus satisfaisante que la précédente, augmente le besoin en taille mémoire car il est alors nécessaire d'utiliser un tableau 5 d'entiers supplémentaire.

Il est également possible de ne stocker qu'un nombre réduit de valeurs pour Y par tranche de valeur de X. Dans ce cas, les valeurs stockées devront être représentatives statistiquement de l'ensemble des valeurs de Y mesurées et/ou calculées pour la tranche de valeur de X considérée. Il est 10 par exemple envisageable de stocker, une moyenne, et/ou une médiane, et/ou une somme des valeurs et le nombre de valeurs correspondant, et/ou un minimum et un maximum, et/ou une variance des valeurs, et/ou un écart-type des valeurs, et/ou une somme des carrés des valeurs et le 15 nombre de valeurs correspondant, pour limiter la taille nécessaire au stockage des valeurs.

Du fait de l'ordre de grandeur attendu de ESR (≤ 50 milliohms), le calcul de ESR^2 (ou ESR) donne une petite valeur. Ceci oblige nécessairement à travailler avec des nombres réels à forte précision. Il peut donc être 20 intéressant de travailler avec l'inverse de ESR [ESR^{-1}] ou l'inverse du carré de ESR [ESR^{-2}], qui sont des nombres grands susceptibles d'être représentés par des entiers sans perte conséquente de précision. Ceci se fait simplement en inversant les équations de base utilisées et précisées plus haut.

25 Quel que soit le mode de calcul choisi les paramètres SOC et SOH sont par exemple ensuite déterminés en utilisant les relations suivantes :

$$SOC = \frac{E_S - E_L}{E_n - E_L} \% = \frac{C (U - ESR \times I)^2 - C U_L^2}{C U_n^2 - C U_L^2} \times 100\%$$

avec U_n et U_L les tensions respectivement haute et basse de l'élément en fonctionnement.

30 $SOH = \left(\frac{C - C_{init}}{C_{init}} \%, \frac{ESR - ESR_{init}}{ESR_{init}} \% \right)$

avec C_{init} et ESR_{init} les valeurs initiales des caractéristiques C et ESR de l'élément en fonctionnement. On admet communément que l'élément est en

fin de vie lorsque le paramètre SOH atteint la valeur (-20%, 100%), c'est-à-dire lorsque l'élément en fonctionnement présente une perte de 20% de sa capacité et un doublement de son ESR.

Les modes de réalisation ou variantes qui viennent d'être décrit(e)s 5 peuvent être adapté(e)s au type d'application pratique recherchée.

Ainsi, dans le cas où, le moyen de stockage fonctionne de façon continue, sans phase de fonctionnement distinct, les mesures et calculs peuvent être simples et réalisés de manière instantanée. Ce cas de figure peut par exemple utiliser le mode de calcul direct (mode de réalisation 1) 10 décrit plus haut.

Ainsi, dans le cas où le moyen de stockage fonctionne selon différentes phases, par exemple plein régime puis repos, un grand nombre de données peuvent être mémorisées sans traitement et un calcul complexe peut être réalisé à un moment non critique, par exemple lorsque l'élément de stockage 15 est au repos. Ce cas de figure peut par exemple utiliser le mode de calcul indirect (mode de réalisation 2) décrit plus haut.

Pour des raisons de performances de calcul et de simplification du matériel utilisé et une diminution des coûts, il peut même être intéressant de travailler avec des valeurs entières. Cela suppose de discréteriser l'échelle des 20 mesures (à la base réelle même si les capteurs, du fait de la numérisation de la mesure, donnent une valeur déjà discréterisée de la grandeur mesurée) en une échelle de valeurs entières : il est alors préférable de travailler avec l'inverse de ESR.

25 La FIGURE 1 est une représentation schématique d'un exemple d'un ensemble de stockage selon l'invention.

L'ensemble de stockage 100 représenté sur la FIGURE 1 comprend quatre éléments de stockage d'énergie par effet capacitif 102₁-102₄ reliés entre eux par un circuit électrique 104 et un dispositif 106 de caractérisation 30 de chacun des éléments de stockage.

Les éléments de stockage 102₁ et 102₂ sont montés en série sur une branche 104₁ du circuit électrique 104 et les éléments 102₃ et 102₄ sont montés en série sur une branche 104₂ du circuit électrique 104. Les branches 104₁ et 104₂ sont deux branches parallèles d'un même circuit électrique 104.

Le dispositif 106 de caractérisation comprend des modules 108₁-108₄ de mesure de tension reliés respectivement à chaque élément de stockage d'énergie 102₁-102₄. Le dispositif 100 comprend en outre un module 110 de mesure de tension mesurant la tension aux bornes de chacune des branches 104₁ et 104₂, correspondant également à la tension aux bornes de l'ensemble des moyens de stockage 102.

Les modules de mesure de tension 108₁-108₄ et 110 comprennent, chacun, un capteur de tension qui est un convertisseur analogique-numérique CAN 0 - 5V.

Le module de mesure de tension 110 comprend en plus, du fait de la tension nominale U_n du module supérieure à 5 V, un étage 110₁ diviseur de tension en entrée du capteur CAN 110₂. Le facteur de division est choisi ici à $\div 2$, comme le nombre d'éléments en série dans chaque branche. L'étage 15 diviseur de tension 110₁ peut être réalisé de manière passive, par association de résistances et autres composants passifs, ou de manière active, par association de composants passifs et de composants actifs de type transistor ou amplificateur opérationnel.

20 Le dispositif 100 comprend en outre des modules 112₁ et 112₂ de mesure de courant positionnés respectivement sur chacune les branches 104₁ et 104₂. Le dispositif 100 comprend en outre un module 114 de mesure de courant traversant l'ensemble des moyens de stockage et positionné sur une branche 116, dite générale, du circuit électrique sur laquelle se rejoignent les branches 104₁ et 104₂ du circuit électrique.

Les modules de mesure de courant 112₁ et 112₂ et 114 utilisent des capteurs de courant de natures différentes.

30 Le module 114 utilise un capteur à effet Hall multi-gammes 114₁ car les fortes valeurs de courant attendues n'autorisent pas l'utilisation d'un shunt numérique. Le signal de sortie de ce capteur 114₁ étant une tension analogique, le module 114 comprend un capteur CAN 114₂ disposé en aval du capteur à effet Hall multi-gammes 114₁.

Le module de mesure de courant 112₁ disposé sur la branche 104₁ comprend un shunt numérique avec mesure de quantité de charges intégrée,

incluant notamment une remise à zéro commandable, les valeurs de courant attendues au niveau de la branche 104₁ étant compatibles avec cette technologie.

Le module de mesure de courant 112₂ disposé sur la branche 104₂ 5 comprend un capteur magnétique fluxgate à sortie numérique, plus avantageux que le shunt numérique en terme de tension d'isolement mais également plus volumineux donc plus difficile à positionner dans le circuit.

Les modules 112₁ et 112₂ de mesure de courant pour les branches 10 internes 104₁ et 104₂ comprennent donc uniquement le capteur de courant tel que décrit ci-dessus. Les modules de mesure de tension 108₁-108₄ comprennent uniquement le capteur CAN, celui-ci étant de nature temporelle équivalente à chacun des capteurs des modules de mesure de courant 112₁ et 112₂.

Le module de mesure de tension 110 comprend, en plus de l'étage 110₁ diviseur de tension et du capteur CAN 110₂ tel que décrit ci-dessus, un filtre 110₃ passe-bas analogique pour rendre la nature temporelle de la mesure de tension réalisée équivalente à celle du module de mesure de courant 114. Dans le mode de réalisation décrit ici, le filtre passe-bas 20 analogique 110₃ est situé entre la sortie de l'étage diviseur de tension 110₁ et l'entrée du capteur CAN 110₂. Le filtre passe-bas analogique 110₃ peut être réalisé de manière passive, par association de résistances, de capacités et autres composants passifs, ou de manière active, par association de composants passifs et de composants actifs de type transistor ou 25 amplificateur opérationnel. Bien que décrits et représentés séparément, l'étage diviseur de tension 110₁ et le filtre passe-bas analogique 110₃ peuvent être regroupés/intégrés dans un même circuit électrique.

Le dispositif 100 comprend dans le module de mesure de courant 114, 30 en plus des composants 114₁ et 114₂ décrits ci-dessus, un étage intégrateur analogique en sortie qui permet de fournir une mesure de la quantité de charges ayant circulé dans l'ensemble de stockage formé par les éléments de stockage 102, depuis la dernière commande de remise à zéro. Cet étage intégrateur comprend un intégrateur analogique 114₃ qui intègre une

commande de remise à zéro et un capteur CAN 114₄, positionné en série avec l'intégrateur analogique 114₃, qui transforme le signal intégré analogique en un signal numérique. L'intégrateur analogique 114₃ peut être réalisé de manière passive, par association de résistances, de capacités et 5 autres composants passifs, ou de manière active, par association de composants passifs et de composants actifs de type transistor ou amplificateur opérationnel.

Le dispositif 100 comprend en outre un capteur 116 de température et 10 un capteur 118 de pression. Ces capteurs réalisent des mesures de température et de pression dans le module, prises en compte de façon commune pour tous les éléments de stockage 102. Ils sont de types connus et on ne détaille pas plus avant leur constitution.

15 Le dispositif 106 comprend une unité centrale 120, reliée à tous les modules de mesure 108-114 et à tous les capteurs 116-118.

Elle comprend une mémoire 122 destinée à mémoriser les valeurs mesurées par les capteurs décrits ci-dessus. La mémoire 122 mémorise les 20 valeurs relatives à chaque élément de stockage 102 de façon séparée et indépendante. La mémoire 122 mémorise également les valeurs de température et de pression, et un tableau de conversion pour permettre de ramener les valeurs de courant et tension mesurées dans des conditions réelles, déterminées à l'aide des mesures de pression et de température à des valeurs dans des conditions de référence.

25 L'unité centrale 120 comprend également des moyens de calcul 124, comprenant par exemple un ou plusieurs microcontrôleurs, permettant de traiter les données obtenues depuis les modules de mesures, selon des algorithmes de calcul prédéterminés, notamment tels que décrits ci-dessus, et préprogrammés dans les moyens de calcul afin d'obtenir les valeurs des 30 grandeurs statistiques suivantes : d'abord ESR et C, puis SOC et SOH, etc.

L'unité centrale 120 comprend en outre un moyen de commande 126, également appelé unité de commande, comprenant notamment une horloge 126₁, configuré pour commander l'ensemble des modules de mesures de tension, de courant, de température et de pression et déclencher l'ensemble

des mesures par les différents modules de mesure. Alternativement, le dispositif selon l'invention peut comprendre une unité de commande différente et dédiée pour chaque module de mesure.

Afin d'optimiser les temps de calcul, l'unité centrale 120 comprend 5 également des moyens de calcul 128 dédiés à l'intégration numérique temporelle des mesures de courant issues du capteur magnétique fluxgate 112₂. Le but des moyens de calcul 128 est de calculer les mesures de quantité de charges ΔQ à partir des mesures de courant I. Il est également possible d'utiliser les moyens de calcul 124 pour effectuer cette opération, 10 sans avoir recours à des moyens de calcul dédiés.

Dans le mode de réalisation décrit ici, les moyens 122, 124, 126 et 128 de l'unité centrale 120 peuvent communiquer entre eux de façon 15 numérique et bidirectionnelle au sein de l'unité centrale 120. En particulier, les moyens de calcul dédiés 128 sont reliés à l'unité de commande 126, aux moyens de calcul 124 et à la mémoire 122. En particulier, les moyens de calcul 124 sont reliés à l'unité de commande 126 et à la mémoire 122.

Dans le mode de réalisation décrit ici, l'unité centrale 120, et plus 20 particulièrement l'unité de commande 126, peut communiquer avec l'ensemble des modules de mesure. Les modules comprenant des capteurs numériques communiquent de façon numérique avec l'unité centrale 120. La commande analogique du capteur de courant à effet hall multi-gammes 114₁ oblige à avoir une communication analogique dans le sens descendant, c'est- 25 à-dire de l'unité centrale 120 vers le module de mesure 114 en parallèle d'une communication numérique dans le sens descendant, c'est-à-dire du module de mesure 114 vers l'unité centrale 120.

Les capteurs 116 et 118 de mesure de température et de pression 30 communiquent avec l'unité centrale 120 de façon analogique et/ou numérique en fonction du choix du capteur. La communication est essentiellement utilisée dans le sens descendant, c'est-à-dire du capteur vers l'unité de centrale 120. Dans le mode de réalisation décrit, la communication est analogique dans les 2 sens, ce qui suppose la présence de moyens de conversion analogique/numérique (non représentées) en entrée de ces signaux à l'intérieur de l'unité centrale 120.

L'ensemble de stockage 100 représenté sur la FIGURE 1 comprend en plus des éléments de stockage 102₁-102₄ et du dispositif de caractérisation 106, une unité d'équilibrage 130 des différents éléments de stockage d'énergie 102₁-102₄ en fonction des données fournies par le dispositif de caractérisation 106 et plus particulièrement par l'unité centrale 120 du dispositif de caractérisation 106.

Cette unité d'équilibrage 130 agit sur les moyens de stockage 102₁-102₄ en fonction des données obtenues par le dispositif de caractérisation 106 et mémorisées dans les moyens de mémorisation 122.

10 Cette unité d'équilibrage 130 est reliée/connectée à la mémoire 122.

 Bien que représentée indépendamment de l'unité centrale 120 sur la FIGURE 1, l'unité d'équilibrage 130 peut être préférentiellement intégrée dans l'unité centrale 120.

15 Sur la FIGURE 1, les connexions en trait simple symbolisent des connexions analogiques et les connexions en trait multiples des connexions numériques.

La FIGURE 2 est une représentation schématique d'un exemple de 20 réalisation d'un procédé de caractérisation d'un élément de stockage capacitif selon l'invention.

 Le procédé 200 représenté sur la FIGURE 2 comprend une étape 202 réalisant un cycle de mesure pour un élément de stockage, par exemple chaque élément de stockage 102_i, ou pour un groupe d'éléments de stockage, par exemple le groupe comprenant les éléments de stockage 102₁ et 102₂ ou le groupe comprenant les éléments de stockage 102₃ et 102₄ ou encore le groupe comprenant tous les éléments de stockage 102₁-102₄.

 L'étape 202 comprend une étape 204 réalisant une série de mesures de tension pour chaque élément/groupe avec un module de mesure de tension, par exemple un module 108 ou le module 110 du dispositif de la FIGURE 1.

 L'étape 202 comprend également une étape 206, réalisée au moins en partie en même temps que l'étape 204, et réalisant une série de mesures de

courant pour chaque élément/groupe avec un module de mesure de courant, par exemple un module 112 ou le module 114 du dispositif la FIGURE 1.

Les mesures de tension et de courant sont réalisées de manière alternée/entrelacée par les modules de mesure associés à chaque élément/groupe.

Chacune des étapes de mesures 204 et 206 est réalisée par exemple de sorte qu'une mesure est prise toute les 5 millisecondes par chaque capteur, et ce de manière entrelacée.

Chaque étape de mesure ou les deux étapes de mesures peuvent être réalisées sur une période totale de 40 millisecondes. Ainsi, un ensemble de huit valeurs de tension et huit valeurs de courant est obtenu pour chaque élément/groupe lors de chaque cycle de mesure 202. Les mesures, et par conséquent les modules de mesures, peuvent être déclenchés par une unité de commande telle que l'unité de commande 126 du dispositif 106 de la FIGURE 1.

Les mesures de courant et de tension sont réalisées de sorte que la série de mesures de courant et la série de mesures de tension sont réalisées sur deux périodes se chevauchant sur une durée supérieure ou égale à 70% de la période totale de mesure.

Le procédé 200 comprend également une étape 208 de mesure de la quantité de charges ΔQ . Cette étape 208 peut être réalisée avant, pendant ou après un cycle de mesure 202. Une telle étape 208 peut être réalisée, par exemple par l'unité de commande 126, et au travers :

- d'un signal numérique émis vers un capteur de courant, par exemple le capteur de courant 112₁ qui possède un capteur spécifique intégré, ou
- d'un signal analogique vers un étage intégrateur d'un module de mesure de courant, par exemple l'étage intégrateur du module de mesure de courant 114, et par une remise à zéro analogique dudit étage intégrateur, ou
- d'un signal numérique vers des moyens de calcul dédiés reliés à un module de mesure de courant, par exemple le module de mesure de courant 112₂ et les moyens de calcul dédiés audit

module 128, et par une remise à zéro numérique desdits moyens de calcul dédiés.

La mesure de la quantité de charges ou l'intégration du courant s'effectue alors pendant une durée prédéterminée de 8 secondes par 5 exemple et fournit une valeur de quantité de charge, et ce pour chaque module de mesure de courant utilisé.

Le procédé comprend également une étape 210, optionnelle, de mesure périodique d'autres paramètres tels que la température, la pression, etc. La périodicité de prise de mesure est de 40 secondes par exemple.

10 Les mesures prises peuvent être filtrées analogiquement dans le cas de certains capteurs, par exemple le capteur de tension 110 de la FIGURE 1, lors d'une étape optionnelle 212.

15 Lors d'une étape 214, les mesures prises sont transférées vers un moyen de mémorisation par exemple le moyen de mémorisation 122 de la FIGURE 1, et sont mémorisées en association avec chaque élément ou groupe d'éléments de stockage d'énergie.

Les données mémorisées sont ensuite extraites et utilisées lors d'une étape 215 pour calculer, par exemple grâce aux moyens de calcul 124, pour chacun des éléments/groupe de stockage d'énergie :

20 - des grandeurs statistiques intermédiaires telles que :

- la moyenne de tension U et de courant I pour chaque série de 8 valeurs, ce qui fournit une valeur pour chaque cycle de mesure de 40 millisecondes,
- la variance de U et de I pour chaque série de huit valeurs ce qui fournit une valeur pour chaque cycle de mesure de 40 millisecondes,
- la variation de tension corrigée de la chute ohmique $\Delta V = \Delta U - ESR \times \Delta I$, ce qui fournit une valeur pour chaque cycle de mesure de 8 secondes, valeur nécessairement approchée puisque le calcul utilise pour ce faire des valeurs de la grandeur statistique ESR mémorisées et non actualisées. On utilise ensuite ces valeurs en les faisant correspondre à chaque mesure de quantité de charges ΔQ , une telle mesure étant effectuée sur une pluralité de cycles

25

30

de mesure de tension et de courant, de sorte que l'effet capacitatif soit pris en compte,

- des grandeurs statistiques telles que :

- le SOC, à l'aide de formules prédéterminées mentionnées ci-dessus, ce qui fournit une valeur pour chaque cycle de mesure de 40 millisecondes, valeur nécessairement approchée puisque le calcul utilise pour ce faire des valeurs de grandeurs statistiques mémorisées et non actualisées.

10 Pour ces dernières valeurs, il est donc nécessaire de connaître des valeurs de ESR et C, ce qui suppose la mémorisation de valeurs initiales au démarrage de l'application. Ces valeurs sont obtenues à partir des données obtenues lors d'un précédent calcul de ESR et C ou, à défaut, de valeurs théoriques, par exemple au démarrage du procédé 200.

15 Le procédé 200 comprend ensuite une étape 216, optionnelle, appliquant aux valeurs calculées des coefficients de conversion. Ces coefficients de conversion sont préalablement renseignés dans un tableau de conversion mémorisé dans des moyens de mémorisation et sont identifiés grâce aux mesures d'autres paramètres tels que la température, la pression, 20 etc. réalisées pendant l'intervalle de temps correspondant aux mesures pour lesquelles les moyennes, variances, variations et autres grandeurs statistiques ont été calculées. La mesure de ces autres paramètres a été réalisée de manière périodique lors de l'étape optionnelle 210 décrite plus haut. Les périodicités de mesure de ces paramètres étant différentes, les 25 valeurs de ces paramètres prises en compte sont les dernières valeurs mesurées au moment de la mesure de tension U et de courant I. Les valeurs calculées et éventuellement corrigées sont mémorisées dans les moyens de mémorisation lors d'une étape 218.

30 Lorsqu'un nombre prédéterminé k de cycles des mesures ou de mesures ont été réalisées, par exemple lorsque $k=32000$ mesures de tension U et de courant I sur 160 secondes, soit 4000 valeurs de couples ($\text{var}_U, \text{var}_I$), 20 valeurs de couples ($\Delta Q, \Delta V$) et 4 valeurs de chacun des autres paramètres (température, pression, etc.), et que les résultats des mesures/calculs réalisés ont été mémorisés dans les moyens de

mémorisation, le procédé 200 peut comprendre une étape 220 de calcul par régression linéaire sur les k cycles de mesures ou k nombres de mesures et à l'aide de formules prédéterminées mentionnées ci-dessus, en particulier de manière glissante telle que décrit plus haut. L'étape 220 fournit des valeurs

- 5 actualisées de ESR, C et de SOH et éventuellement de SOC pour chaque élément/groupe d'éléments de stockage d'énergie. Ces valeurs actualisées sont mémorisées dans les moyens de mémorisation en fin d'étape 220 et seront donc prises en compte pour un futur cycle du procédé 200 comme précisé ci-dessus.

10 Le procédé 200 comprend en outre une étape 222 réalisant un équilibrage à l'aide des différentes données de tension, de courant, de capacité, de résistance et de SOC obtenues pour chacun des éléments de stockage d'énergie d'un ensemble de stockage comprenant une pluralité d'éléments de stockage. Une telle étape d'équilibrage peut être réalisée par
15 l'intermédiaire d'une unité d'équilibrage, telle que l'unité de d'équilibrage 130 de la FIGURE 1. L'étape d'équilibrage est réalisée en fonction de règles d'équilibrage prédéterminées portant sur l'un au moins des paramètres précités.

20 La FIGURE 3 est une représentation schématique de plusieurs configurations, non limitative, de réalisation de mesures entrelacées de tension et de courant selon l'invention.

Sur toutes les configurations décrites, P_T désigne la période de mesure de tension pour une série de mesures de tension, P_C désigne la période de mesure de courant pour une série de mesures de courant et P désigne la période totale comprenant à la fois la période de tension P_T et la période de courant P_C . Dans toutes les configurations décrites ci-dessous P_T et P_C se chevauchent dans le temps sur une durée supérieure ou égale à 70% de P .

30 Dans la configuration 302, les mesures de tension et de courant sont réalisées de manière synchrone et telle que, pour chaque mesure de tension, une mesure de courant est réalisée. Dans cette configuration, $P_T = P_C = P$. Par conséquent la période de mesure de tension pour réaliser une série de mesures de tension et la période de mesure de courant pour réaliser une série de mesures de courant se chevauchent à 100% de la période totale. De

plus, la durée entre deux mesures consécutives de tension est égale à la durée entre deux mesures consécutives de courant, i.e. la fréquence de mesure de tension est égale à la fréquence de mesure de courant.

Dans la configuration 304, les mesures de tension et de courant sont
5 réalisées de manière décalée telle que, pour chaque mesure de tension, une mesure de courant est réalisée un intervalle de temps Δt après la mesure de tension. Dans cette configuration, $P_T = P_C$ et Δt est très petit devant P . De plus, Δt est également très petit devant la durée entre deux mesures consécutives de tension (ou deux mesures consécutives de courant). De
10 plus, la durée entre deux mesures consécutives de tension est égale à la durée entre deux mesures consécutives de courant, i.e. la fréquence de mesure de tension est égale à la fréquence de mesure de courant.

Dans la configuration 306, les mesures de tension et de courant sont réalisées de manière alternée telle que, pour chaque mesure de tension, une
15 mesure de courant est réalisée Δt après. Dans cette configuration, $P_T = P_C$ et Δt est égale à la moitié de la durée entre deux mesures consécutives de tension (ou de courant). De plus, la durée entre deux mesures consécutives de tension est égale à la durée entre deux mesures consécutives de courant, i.e. la fréquence de mesure de tension est égale à la fréquence de mesure de courant.
20

Dans la configuration 308, les mesures de tension et de courant sont réalisées de manière décalée et avec des fréquences mesure différentes. La période P de mesure totale commence et se termine par une mesure de tension, donc $P_T = P$. De plus, pour chaque mesure de courant réalisée, deux
25 mesures de tension sont réalisées. Chaque mesure de courant est réalisée un intervalle de temps Δt après une mesure de tension, avec Δt très petit comparé à P , P_T et P_C . De plus, la durée entre deux mesures consécutives de tension est égale à la moitié de la durée entre deux mesures consécutives de courant, i.e. la fréquence de mesure de tension est égale au double de la
30 fréquence de mesure de courant.

Dans la configuration 310, les mesures de tension et de courant sont réalisées de manière alternée synchrone et avec des fréquences de mesure différentes. La période P de mesure totale commence et se termine par une mesure de tension, donc $P_T = P$. La première mesure de courant est réalisée

un intervalle de temps Δt après la première mesure de tension avec Δt égal à la moitié de la durée entre deux mesures de tension. De plus, pour chaque mesure de courant réalisée, deux mesures de tension sont réalisées, sachant que la durée entre deux mesures de tension consécutives égale au 2/3 de la 5 durée entre deux mesures de courant consécutives, i.e. la fréquence de mesure de tension est égale à 1.5 fois la fréquence de mesure de courant.

Dans les configurations 302-310 la fréquence de mesure de tension et la fréquence de mesure de courant sont chacune constantes.

Dans la configuration 312, les mesures de tension et de courant sont 10 réalisées de manière décalée et avec des fréquences de mesure non constantes dans le temps, uniquement pour la mesure de courant dans ladite configuration présentée mais sans que cela ait un caractère limitatif. La période P de mesure totale commence et se termine par une mesure de tension, donc $P_T = P$. Pour chaque mesure de tension, une mesure de 15 courant est réalisée un temps Δt après la mesure de tension. Dans cette configuration 312, l'intervalle de temps Δt n'est pas constant et change pour chaque mesure et est même nulle pour la dernière mesure de courant qui est réalisée en même temps que la dernière mesure de tension.

Dans la configuration 314, les mesures de tension et de courant sont 20 réalisées de manière décalée et avec un retard de déclenchement d'une des séries de mesures, de courant dans ladite configuration présentée mais sans que cela ait un caractère limitatif. La période P de mesure totale commence par une mesure de tension et se termine par une mesure de courant. La période de mesure comprend une première mesure de tension puis une 25 deuxième mesure de tension et à partir de la deuxième mesure de tension une mesure de courant après chaque mesure de tension. La période de mesure se termine par une mesure de courant suivie d'une autre mesure de courant sans qu'il y ait de mesure de tension. Dans cette configuration 312, les fréquences de mesure de tension et de courant sont égales et constantes. 30 La période de mesure de tension est décalée de la période de mesure de courant d'une durée égale à la durée entre deux mesures consécutives de tension (ou de courant) et d'une durée Δt constante séparant la deuxième mesure de tension et la première mesure de courant (ou la dernière mesure de tension et l'avant dernière mesure de courant).

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits. Les exemples décrits pourraient subir de nombreuses variantes. Par exemple, les étapes de conversion 218 et d'équilibrage 222 peuvent être effectuées à différents moments du procédé de calcul 200 décrit à la FIGURE 2 et/ou plusieurs fois au cours dudit procédé. De même, l'étape optionnelle de filtrage 212 peut être effectuée de façon numérique, par exemple par les moyens de calcul 124 de la FIGURE 1. De même, l'étape de calcul des grandeurs statistiques intermédiaires 215 n'est pas une étape obligatoire et seule peut exister l'étape de calcul de grandeurs statistiques 220, intégrant alors tout ou partie des calculs effectués lors de l'étape 215 ainsi que des calculs complémentaires, comme cela est décrit ci-dessus dans le mode de réalisation 1 : Calcul direct. Dans ce cas, les étapes de mémorisation 214 et 218 peuvent se retrouver également rassemblées en une seule étape, par exemple l'étape de mémorisation 218, en fonction de la présence de l'étape optionnelle de conversion 216. De plus, les configurations de mesures peuvent être différentes de celles décrites en référence à la FIGURE 3.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (106) pour caractériser au moins un élément (102) de stockage d'énergie par effet capacitif, ledit dispositif (106) étant caractérisé en ce qu'il
5 comprend :
 - au moins un module (108, 110) de mesure de tension comprenant au moins un moyen de mesure d'une tension, dit capteur de tension, dudit élément (102) ;
 - au moins un module (112, 114) de mesure de courant comprenant au moins un moyen de mesure d'un courant, dit capteur de courant, dudit élément (102), lesdits modules (108-114) de mesure de tension et de mesure de courant étant configurés pour réaliser des mesures avec des dynamiques de réponse du même ordre de grandeur, c'est-à-dire que les réponses
10 indicielles desdits modules (108-114) sont du même ordre de grandeur temporel ;
 - au moins un moyen (126) de commande desdits modules de mesure (108-114) pour réaliser, pour chaque élément de stockage (102), au moins un cycle de mesure comprenant :
 - une série de mesures de tension aux bornes dudit élément de stockage (102) sur une période de temps (P_T), dite période de mesure de tension, et
 - une série de mesures de courant traversant ledit élément de stockage (102) sur une période de temps (P_C), dite période de mesure de courant ; et
 - au moins un moyen (124) de calcul statistique d'une grandeur relative à chaque élément de stockage (102) à partir des mesures réalisées lors d'au moins un cycle de mesures par lesdits modules (108-114) ;
- 20 30 dans lequel ledit au moins un moyen de commande (126) est en outre configuré pour commander lesdits modules de mesure (108-114) de sorte que, pour chaque élément de stockage (102), ladite période (P_T) de mesures de tension et ladite période (P_C) de mesures de courant se recouvrent temporellement au moins sur 70%, notamment 90%, d'une période (P), dite

totale, comprenant lesdites périodes de mesures (P_T , P_C) pour ledit élément de stockage (102).

2. Dispositif (106) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le module de commande (126) est configuré pour commander un module de mesure de tension (108, 110), respectivement de courant (112, 114), pour réaliser une série de mesures de tension, respectivement de courant, à une fréquence supérieure ou égale à 10Hz, notamment 200Hz.
- 10 3. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un capteur de courant (112, 114) comprend :
 - un capteur résistif numérique, ou
 - un capteur (114₁) à effet Hall multi-gammes, ou
 - un capteur (112₂) magnétique fluxgate.
- 15 4. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un capteur de tension (108, 110) comprend un convertisseur analogique-numérique (108₁-108₄) configuré pour réaliser une conversion analogique-numérique d'une tension présentée à son entrée.
- 20 5. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un module de mesure de tension (110), respectivement de courant, associé à un élément de stockage (102) comprend au moins un moyen (110₃) de modification d'une dynamique de réponse du capteur (110₂) dudit module (110) par traitement :
 - du signal électrique à mesurer fourni en entrée dudit capteur (110₂), et/ou
 - d'un signal de mesure fourni en sortie par ledit capteur ; de sorte à ajuster la dynamique de réponse dudit capteur de tension (110₂),
- 30 respectivement de courant, par rapport à une dynamique de réponse du capteur de courant, respectivement de tension, du module de mesure de courant, respectivement de tension, associé audit élément de stockage (102).

6. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module de commande (126) est configuré pour commander le module de mesure de tension (108, 110) et le module de mesure de courant (112, 114) associés à un élément de stockage (102) de 5 façon à réaliser des mesures de courant et de tension entrelacées.
7. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la période totale (P) d'un cycle de mesure est inférieure ou égale à 1s, notamment inférieure ou égale à 0,2s.
- 10 8. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un module de mesure de quantité de charges, comprenant un moyen (114₃, 128) de mesure de quantité de charges, dit capteur de charge, de l'élément de stockage (102).
- 15 9. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une mémoire tampon (122) pour mémoriser, au moins une partie des valeurs mesurées par les modules de mesures (108-114) lors d'une série de mesure ou calculées par le moyen de 20 calcul (124).
10. Dispositif (106) selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de comparaison de valeurs mesurées et/ou calculées avec les valeurs mémorisées dans la mémoire tampon (122), les nouvelles valeurs 25 mesurées et/ou calculées étant mémorisées dans la mémoire tampon (122) en fonction des résultats fournis par les moyens de comparaison.
11. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen de calcul (124) est configuré pour calculer au 30 moins une grandeur statistique à partir des valeurs mesurées par les modules de mesure sur un unique cycle de mesures.
12. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le moyen de calcul (124) est configuré pour calculer au moins

une grandeur statistique à partir des valeurs mesurées par les modules de mesure sur une pluralité de cycles de mesures.

13. Dispositif (106) selon l'une quelconque des revendications précédentes, 5 caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen (116, 118) de mesure d'autres paramètres relatifs à chaque élément de stockage d'énergie (102), et un moyen pour convertir les valeurs mesurées à des conditions réelles en des valeurs mesurées à des conditions de référence.

10 14. Ensemble (100) de stockage d'énergie comprenant :

- une pluralité d'éléments (102₁-102₄) de stockage d'énergie par effet capacitif montés en série et/ou en parallèle, et
- un dispositif (106) de caractérisation selon l'une quelconque des revendications précédentes fournissant au moins une donnée de caractérisation pour au moins un desdits éléments de stockage 15 d'énergie (102₁-102₄).

15. Ensemble (100) de stockage selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen (130) pour modifier un équilibrage des éléments 20 de stockage (102₁-102₄) en fonction d'au moins une donnée fournie par le dispositif de caractérisation (106).

16. Procédé (200) pour caractériser au moins un élément de stockage (102) d'énergie par effet capacitif, ledit procédé (200) étant caractérisé en ce qu'il 25 comprend, pour chaque élément de stockage (102) :

- au moins une itération des étapes suivantes constituant un cycle de mesure :

- une série (204) de mesures de tension réalisées par un module (108, 110) de mesure de tension comprenant au moins un moyen de mesure d'une tension, dit capteur de tension, aux bornes dudit élément de stockage (102), et
- une série (206) de mesures de courant réalisées par un module (112, 114) de mesure de courant comprenant au

moins un moyen de mesure d'un courant, dit capteur de courant, traversant ledit élément de stockage (102) ; et

- une étape (220) de calcul statistique d'une grandeur relative audit élément de stockage (102) à partir desdites mesures de tension et de courant ;

5 dans lequel lesdites séries de mesures de tension et de mesures de courant sont réalisées sur deux périodes de mesure (P_T, P_C) qui se recouvrent temporellement au moins sur 70%, notamment 90%, d'une période (P), dite totale, comprenant lesdites périodes de mesure (P_T, P_C), les mesures étant 10 réalisées à l'aide de modules (108-114) de mesure de tension et de courant ayant des dynamiques de réponse de même ordre de grandeur.

17. Procédé (200) selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de modification d'une dynamique de réponse d'au moins 15 un capteur de tension ou un capteur de courant, afin d'obtenir des mesures de tension et de courant statistiquement compatibles, ladite étape de modification comprenant au moins un traitement :

- de la tension ou du courant électrique à mesurer fourni(e) en entrée dudit capteur,
- d'un signal de mesure fourni en sortie par ledit capteur.

1/3

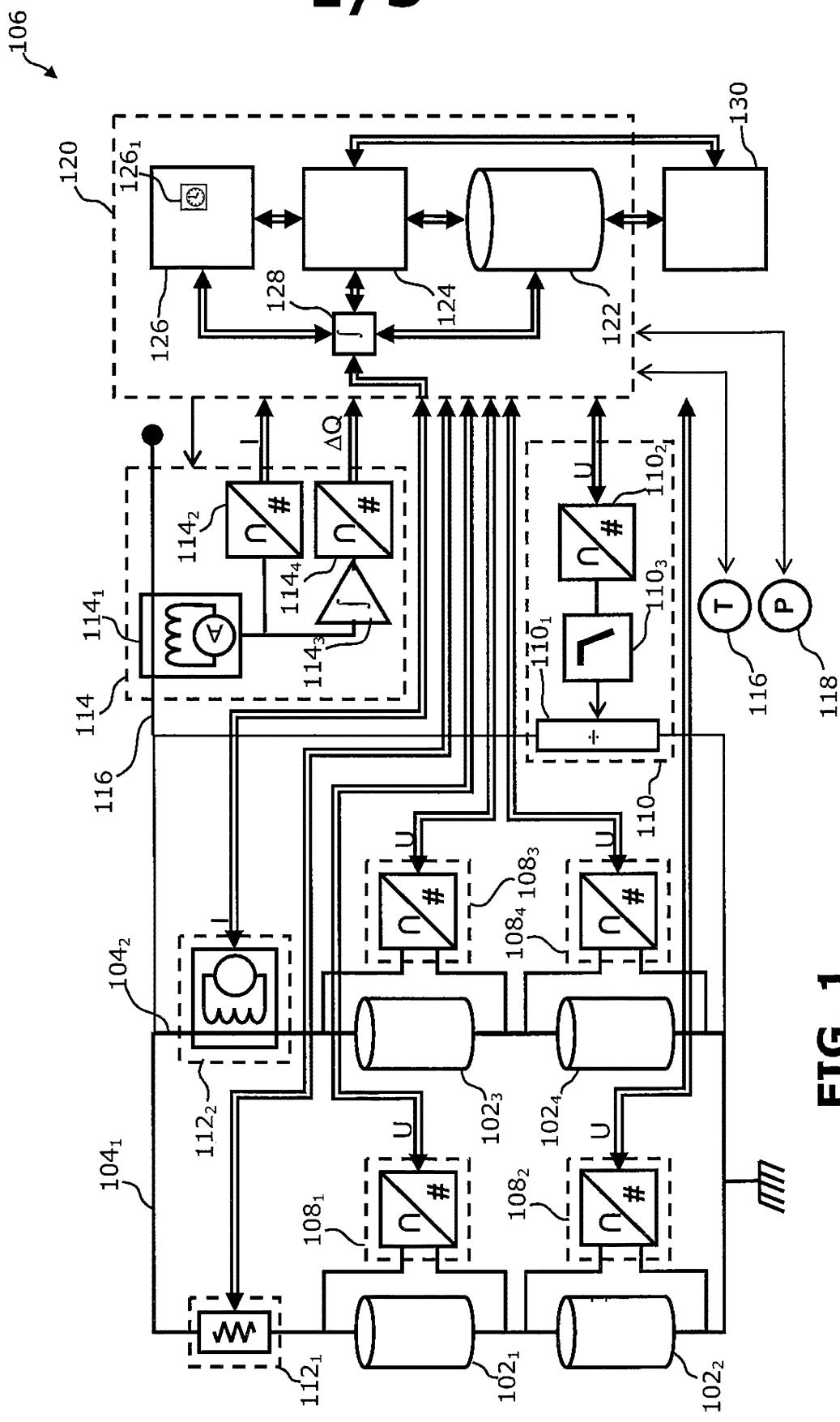


FIG. 1

2/3

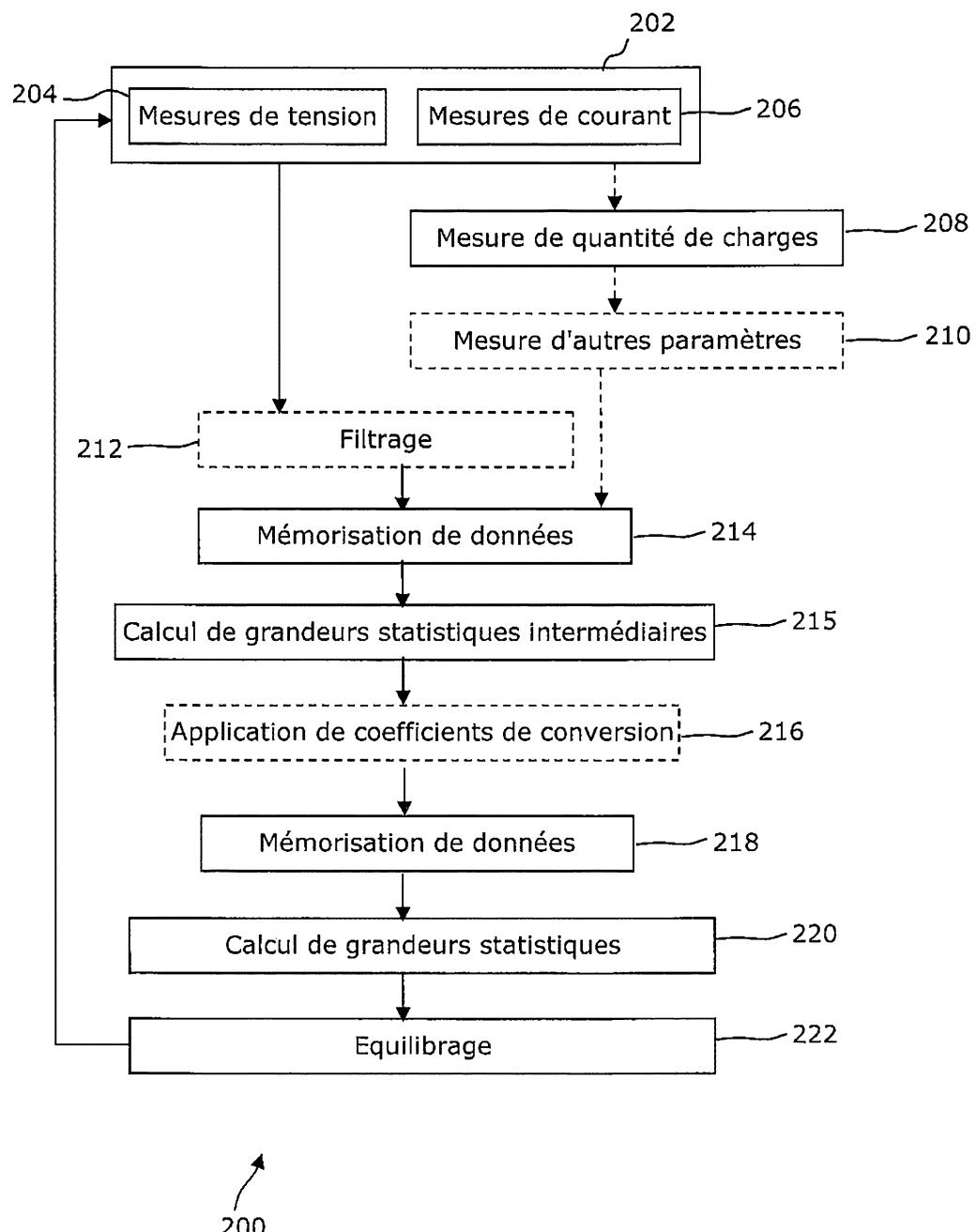


FIG. 2

3/3

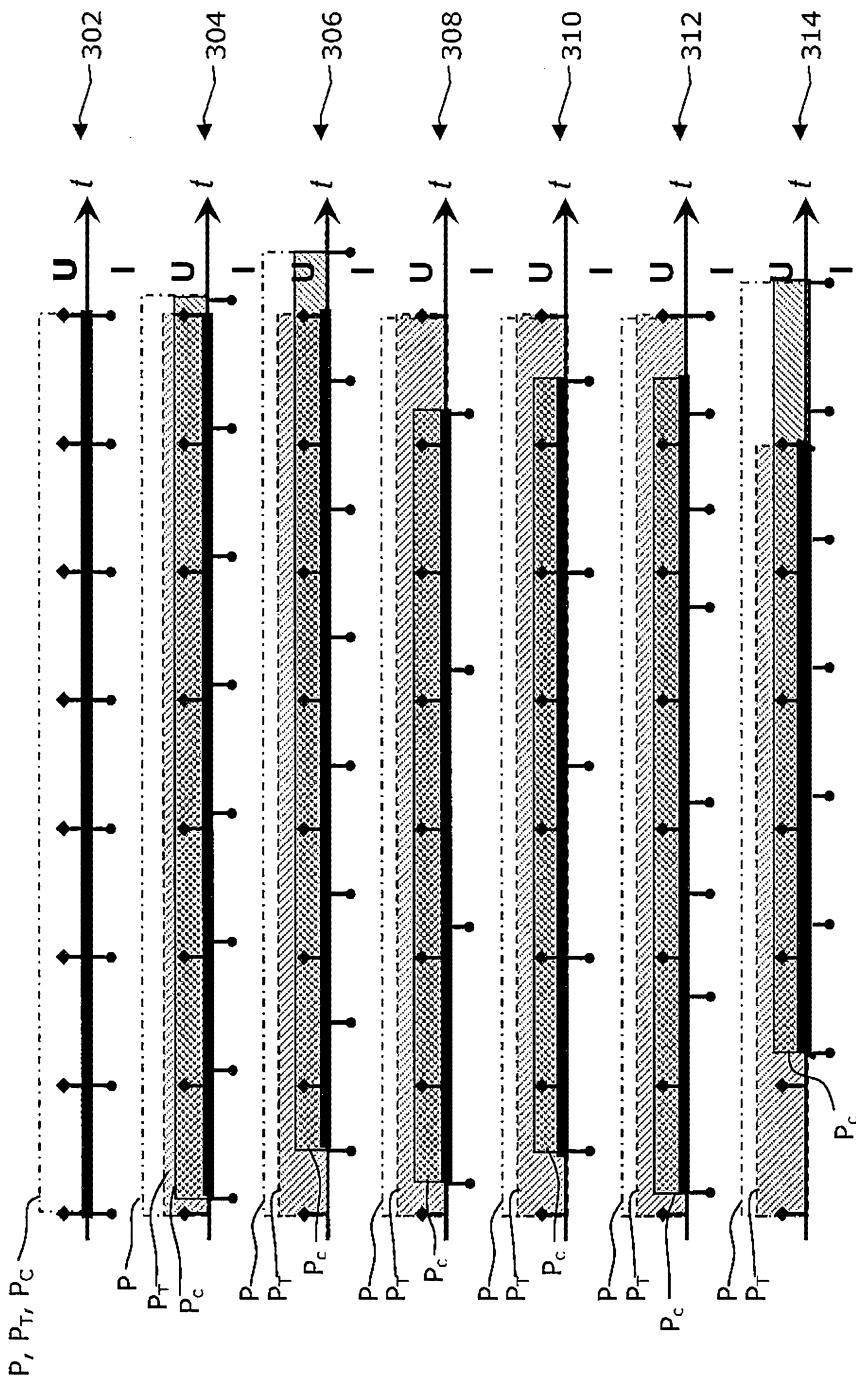


FIG. 3

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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**

FR 2 944 358 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 15 octobre 2010 (2010-10-15)

EP 2 365 350 A2 (LG CHEMICAL LTD [KR]) 14 septembre 2011 (2011-09-14)

EP 1 641 099 A1 (CONCEPTION & DEV MICHELIN SA [CH]; SCHERRER INST PAUL [CH]) 29 mars 2006 (2006-03-29)

WO 2012/006115 A2 (MAXWELL TECHNOLOGIES INC [US]; MAYNARD XAVIER [FR]; MILEWSKI ANDRE [FR] 12 janvier 2012 (2012-01-12)

EP 1 055 933 A1 (YAZAKI CORP [JP]) 29 novembre 2000 (2000-11-29)

EP 1 691 209 A1 (DENSO CORP [JP]; NIPPON SOKEN [JP]; NAT UNIV CORP NAGOYA INST TECH [JP] 16 août 2006 (2006-08-16)

US 5 963 016 A (ARAI YOICHI [JP] ET AL) 5 octobre 1999 (1999-10-05)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIÈRE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT