

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 139 913

②① N° d'enregistrement national : **22 09430**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 R 17/00 (2022.01)**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ ESTIMATION PRÉCISE DE LA PUISSANCE MAXIMALE DE FONCTIONNEMENT D'UNE BATTERIE CELLULAIRE D'UN VÉHICULE.

②② Date de dépôt : 19.09.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 22.03.24 Bulletin 24/12.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 02.08.24 Bulletin 24/31.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *PSA AUTOMOBILES SA Société par actions simplifiée (SAS) — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *EDDAHECH AKRAM, SHI ZHIHAO, MAWONOU KODJO SENOU RODOLPHE et FATISIS KONSTANTINOS.*

⑦③ Titulaire(s) : *STELLANTIS AUTO SAS Société par actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) :

FR 3 139 913 - B1



Description

Titre de l'invention : ESTIMATION PRÉCISE DE LA PUISSANCE MAXIMALE DE FONCTIONNEMENT D'UNE BATTERIE CELLULAIRE D'UN VÉHICULE

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne les véhicules comprenant une batterie cellulaire rechargeable, et plus précisément l'estimation de la puissance maximale de fonctionnement d'une telle batterie cellulaire.

Etat de la technique

[0002] Certains véhicules, éventuellement de type automobile, comprennent une batterie cellulaire rechargeable, généralement dite « principale » (ou de traction) du fait qu'elle est chargée d'alimenter électriquement un circuit électrique principal (parfois dit « haute tension ») auquel est connectée au moins une machine motrice électrique de leur groupe motopropulseur (ou GMP).

[0003] Dans certains des véhicules précités, on estime une puissance électrique maximale de fonctionnement de la batterie cellulaire pour éviter qu'elle ne fasse l'objet d'une sous-tension, d'une surtension ou d'une température excessive. En d'autres termes, dans chaque phase de décharge de la batterie cellulaire (principale) un calculateur de batterie (associé à cette dernière) estime la puissance électrique maximale que la batterie cellulaire est autorisée à fournir au circuit électrique principal, et dans chaque phase de recharge (ou « régénération ») de la batterie cellulaire (principale) ce calculateur de batterie estime la puissance électrique maximale que la batterie cellulaire est autorisée à recevoir du circuit électrique principal.

[0004] Cette puissance électrique maximale de fonctionnement est généralement une puissance maximale primaire (ou brute) qui est simplement estimée en fonction de la température interne de la batterie cellulaire et de l'état de charge (ou « state of charge ») de cette dernière. Dans ce cas, le calculateur de batterie comprend généralement une table de correspondance (ou cartographie) établissant une correspondance entre des couples de température interne et état de charge et des puissances maximales primaires.

[0005] Afin de tenter d'empêcher que les tensions des cellules deviennent inférieures à une tension limite d'usage (ou « cut-off voltage »), il a été proposé de limiter la puissance maximale primaire estimée en la multipliant par un coefficient de limitation dont la valeur varie entre zéro et un. Cette technique de limitation est appelée en anglais « derating ».

[0006] Il existe plusieurs techniques de limitation connues.

- [0007] Une première technique de limitation consiste à gérer l'adaptation de la puissance maximale primaire au moyen d'une temporisation. Un inconvénient de cette première technique de limitation réside dans le fait que la durée de la temporisation ne peut pas être calibrée afin de correspondre à tous les cas possibles de sollicitation de la batterie cellulaire (profil de polarisation, température interne, vieillissement, etc).
- [0008] Une deuxième technique de limitation consiste à utiliser de nombreuses tables de correspondance (ou cartographies) correspondant respectivement à des températures internes différentes, de manière à tenir compte de la température interne effective à l'instant considéré. Un inconvénient de cette deuxième technique de limitation réside dans le fait qu'elle nécessite une mémoire très importante pour stocker toutes les tables de correspondance (ou cartographies), ce qui est estimé trop onéreux pour un véhicule de série.
- [0009] Une troisième technique de limitation, notamment décrite dans le document brevet KR-A-20200066476, consiste à effectuer une limitation en boucle ouverte en imposant une réduction de kW/seconde à la puissance maximale primaire. Un inconvénient de cette troisième technique de limitation réside dans le fait qu'elle ne tient pas compte de la tension limite d'usage (ou cut-off voltage), qui de surcroît varie en fonction de la température interne. Par conséquent, elle n'est pas précise, et donc ne peut pas protéger contre les risques de sous-tension et surtension qui conduisent à des ouvertures intempestives de contacteurs (ou interrupteurs) du dispositif d'isolement qui est associé à la batterie cellulaire et chargé de l'isoler du circuit électrique principal (ou haute tension).
- [0010] Il existe donc un réel besoin de rendre plus précise et plus fiable l'estimation du coefficient de limitation, notamment quand la puissance disponible dans la batterie cellulaire est importante. En effet, dans ce cas le GMP croît qu'il peut utiliser toute cette puissance, mais quand la tension cellulaire extrême (minimale) baisse très vite en décharge elle va s'écrouler après le passage sous la tension limite d'usage. De même, en décharge quand la tension cellulaire extrême (maximale) augmente très vite elle va croître encore plus vite après le passage au-dessus de la tension limite d'usage. Plus la batterie cellulaire est vieille, plus ce phénomène est accru car plus on surestime la puissance effectivement disponible.
- [0011] L'invention a donc notamment pour but d'améliorer la situation.

Présentation de l'invention

- [0012] Elle propose notamment à cet effet un procédé d'estimation, d'une part, destiné à être mis en œuvre dans un véhicule comprenant une batterie cellulaire comportant N cellules ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, et, d'autre part, comprenant une étape dans laquelle on estime une puissance maximale de fonctionnement de la batterie cellulaire en multipliant une puissance maximale primaire estimée par un co-

efficace de limitation estimée.

- [0013] Ce procédé d'estimation se caractérise par le fait que dans son étape on estime le coefficient de limitation au moyen d'une fonction choisie et ayant un paramètre indépendant d'une température interne dans la batterie cellulaire et défini par un rapport entre une première différence, entre une tension cellulaire extrême des cellules et une tension limite d'usage, et une deuxième différence, entre une tension de démarrage de limitation et la tension limite d'usage.
- [0014] Grâce à l'invention, on dispose désormais d'un coefficient de limitation qui est calibré de façon générique et optimisée en fonction de la température interne, ce qui évite d'avoir à utiliser une mémoire très importante pour stocker une multitude de tables de correspondance (ou cartographies) pour une multitude de températures internes différentes, et permet une protection contre les risques de sous-tension et surtension.
- [0015] Le procédé d'estimation selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment :
- [0016] - dans son étape, la tension cellulaire extrême peut être soit une tension cellulaire minimale lorsque la batterie cellulaire est dans une phase de décharge, soit une tension cellulaire maximale lorsque la batterie cellulaire est dans une phase de recharge ;
- [0017] - dans son étape, on peut choisir une fonction linéaire lorsque la deuxième différence est inférieure ou égale à un seuil choisi ;
- [0018] - dans son étape, on peut choisir une fonction non linéaire lorsque la deuxième différence est supérieure à un seuil choisi ;
- [0019] - dans son étape, on peut maintenir la puissance maximale de fonctionnement à une valeur constante soit lorsque dans une phase de décharge de la batterie cellulaire la tension cellulaire extrême recommence à croître après une phase de décroissance et demeure inférieure à une tension de récupération choisie, soit lorsque dans une phase de recharge de la batterie cellulaire la tension cellulaire extrême recommence à décroître après une phase de croissance et demeure supérieure à la tension de récupération choisie ;
- [0020] - dans son étape, on peut estimer un coefficient de limitation qui impose soit une première décroissance constante de la puissance maximale de fonctionnement tant que la tension cellulaire extrême est inférieure à la tension limite d'usage, soit une deuxième décroissance strictement supérieure à la première décroissance et augmentant lorsque décroît une troisième différence entre la tension cellulaire extrême et une tension limite interdite ;
- [0021] - en présence de la dernière option, dans son étape, la deuxième décroissance peut varier de façon non linéaire lorsque la troisième différence décroît.
- [0022] L'invention propose également un produit programme d'ordinateur comprenant un

jeu d'instructions qui, lorsqu'il est exécuté par des moyens de traitement, est propre à mettre en œuvre un procédé d'estimation du type de celui présenté ci-avant, dans un véhicule comprenant une batterie cellulaire comportant N cellules ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, pour estimer une puissance maximale de fonctionnement pour cette batterie cellulaire.

- [0023] L'invention propose également un dispositif d'estimation, d'une part, destiné à équiper un véhicule comprenant une batterie cellulaire comportant N cellules ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, et, d'autre part, comprenant au moins un processeur et au moins une mémoire agencés pour effectuer les opérations consistant à estimer une puissance maximale de fonctionnement de la batterie cellulaire en multipliant une puissance maximale primaire estimée par un coefficient de limitation estimé.
- [0024] Ce dispositif d'estimation se caractérise par le fait que ses processeur et mémoire sont aussi agencés pour effectuer les opérations consistant à estimer le coefficient de limitation au moyen d'une fonction choisie et ayant un paramètre indépendant d'une température interne dans la batterie cellulaire et défini par un rapport entre une première différence, entre une tension cellulaire extrême des cellules et une tension limite d'usage, et une seconde différence, entre une tension de démarrage de limitation et cette tension limite d'usage.
- [0025] L'invention propose également un véhicule, éventuellement de type automobile, et comprenant, d'une part, une batterie cellulaire comportant N cellules ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, et, d'autre part, un dispositif d'estimation du type de celui présenté ci-avant.

Brève description des figures

- [0026] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :
- [0027] [Fig.1] illustre schématiquement et fonctionnellement un exemple de réalisation d'un véhicule comprenant un groupe motopropulseur, à machine motrice électrique connectée à un circuit électrique principal auquel est connectée une batterie cellulaire, et un dispositif d'estimation selon l'invention,
- [0028] [Fig.2] illustre schématiquement et fonctionnellement un exemple de réalisation d'un calculateur de batterie comprenant un exemple de réalisation d'un dispositif d'estimation selon l'invention,
- [0029] [Fig.3] illustre schématiquement un exemple d'algorithme mettant en œuvre un procédé d'estimation selon l'invention,
- [0030] [Fig.4] illustre schématiquement au sein d'un diagramme deux exemples de courbes d'évolution de coefficients de limitation respectivement linéaire (c1) et non linéaire

(c2) en fonction du paramètre égal au rapport entre les première et deuxième différences, et à gauche du diagramme des positions respectives de tensions particulières intervenant dans l'invention,

[0031] [Fig.5] illustre schématiquement au sein d'un premier diagramme (supérieur) un exemple de courbe d'évolution temporelle de la tension cellulaire extrême dans une phase de décharge, et au sein d'un second diagramme (inférieur) deux exemples de courbes d'évolution temporelle de la puissance maximale de fonctionnement respectivement en l'absence (c3) et en présence (c4) du coefficient de limitation, dans la phase de décharge correspondant au premier diagramme, et

[0032] [Fig.6] illustre schématiquement au sein d'un diagramme un exemple de courbe d'évolution de la puissance maximale de fonctionnement en fonction de la tension cellulaire extrême, dans une phase de décharge.

Description détaillée de l'invention

[0033] L'invention a notamment pour but de proposer un procédé d'estimation, et un dispositif d'estimation DE associé, destinés à permettre une estimation précise et fiable de la puissance maximale de fonctionnement pmf d'une batterie cellulaire BC d'un véhicule V.

[0034] Dans ce qui suit, on considère, à titre d'exemple non limitatif, que le véhicule V est de type automobile. Il s'agit par exemple d'une voiture, comme illustré sur la [Fig.1]. Mais l'invention n'est pas limitée à ce type de véhicule. Elle concerne en effet tout type de véhicule comprenant une batterie cellulaire connectée à un circuit électrique principal (ou « haute tension ») et pouvant fournir ou recevoir de la puissance électrique. Ainsi, elle concerne, par exemple, les véhicules terrestres (véhicules utilitaires, camping-cars, minibus, cars, camions, motocyclettes, engins de voirie, engins de chantier, engins agricoles, engins de loisir (motoneige, kart), et engins à chenille(s), par exemple), les bateaux et les aéronefs.

[0035] Par ailleurs, on considère dans ce qui suit, à titre d'exemple non limitatif, que le véhicule V comprend un groupe motopropulseur (ou GMP) de type tout électrique (et donc dont la motricité est assurée exclusivement par au moins une machine motrice électrique MME). Mais le GMP pourrait être de type hybride (thermique et électrique).

[0036] On a schématiquement représenté sur la [Fig.1] un véhicule V comprenant une chaîne de transmission à GMP électrique, un réseau de bord RB, un circuit électrique principal CEP, une batterie cellulaire BC, un convertisseur CV, une batterie de servitude BS, et un dispositif d'estimation DE selon l'invention.

[0037] Le réseau de bord RB est un réseau d'alimentation électrique auquel sont couplés des équipements (ou organes) électriques (ou électroniques) qui consomment de l'énergie électrique.

- [0038] La batterie de servitude BS est chargée de fournir de l'énergie électrique au réseau de bord RB, en complément de celle fournie par le convertisseur CV alimenté par la batterie cellulaire BC via le circuit électrique principal CEP, et parfois à la place de ce convertisseur CV. Par exemple, cette batterie de servitude BS peut être agencée sous la forme d'une batterie de type très basse tension (typiquement 12 V, 24 V ou 48 V). Elle est rechargeable au moins par le convertisseur de courant CV. On considère dans ce qui suit, à titre d'exemple non limitatif, que la batterie de servitude BS est de type Lithium-ion 12 V.
- [0039] Le circuit électrique principal (ou haute tension) CEP est connecté, d'une part, à la batterie cellulaire BC, et, d'autre part, à des équipements électroniques, comme par exemple le convertisseur CV et la machine motrice électrique MME. Il permet aussi la recharge de la batterie cellulaire BC par une source d'alimentation externe et temporairement couplée à un connecteur de recharge CR du véhicule V.
- [0040] La chaîne de transmission a un GMP qui est, ici, purement électrique et donc qui comprend, notamment, une machine motrice électrique MME. On entend ici par « machine motrice électrique » une machine électrique agencée de manière à fournir du couple pour déplacer le véhicule V lorsqu'elle est alimentée en énergie électrique, ainsi qu'éventuellement à récupérer du couple dans la chaîne de transmission.
- [0041] Le fonctionnement de la chaîne de transmission (et donc du GMP) est supervisé par un calculateur de supervision CS.
- [0042] La machine motrice électrique MME (ici un moteur électrique) est ici couplée à la batterie cellulaire BC via le circuit électrique principal CEP, afin d'être alimentée en énergie électrique, ainsi que d'alimenter cette batterie cellulaire BC en énergie électrique, par exemple lors d'une phase de freinage récupératif.
- [0043] Par ailleurs, cette machine motrice électrique MME est couplée à un arbre moteur, pour lui fournir du couple par entraînement en rotation. Ici, l'arbre moteur est couplé à un arbre de transmission via un réducteur RD, et cet arbre de transmission est couplé à un premier train T1 (ici de roues), de préférence via un différentiel DF.
- [0044] Ce premier train T1 est ici situé dans la partie avant PVV du véhicule V. Mais dans une variante ce premier train T1 pourrait être celui qui est ici référencé T2 et qui est situé dans la partie arrière PRV du véhicule V.
- [0045] Le fonctionnement de la machine motrice électrique MME est contrôlé par un calculateur de machine CM associé et qui reçoit notamment chaque consigne de couple définie par le calculateur de supervision CS et définissant le couple de sortie que doit fournir la machine motrice électrique MME ou le couple d'entrée que doit récupérer la machine motrice électrique MME.
- [0046] La batterie cellulaire BC alimente ici la machine motrice électrique MME. Elle est donc dite principale (ou de traction). Elle comprend N cellules de stockage d'énergie

électrique CE, avec $N \geq 2$. Chaque cellule (de stockage d'énergie électrique) CE a une tension cellulaire u_{cm} mesurable et est éventuellement électrochimique (dans ce cas elle peut, par exemple, être de type lithium-ion (ou Li-ion) ou Ni-Mh ou Ni-Cd). Egalement par exemple, la batterie cellulaire BC peut être de type basse tension (typiquement 450 V à titre illustratif). Mais elle pourrait être de type moyenne tension ou haute tension. On notera, comme illustré non limitativement sur la [Fig.1], que les cellules CE peuvent éventuellement faire partie de module(s) MC.

[0047] Par ailleurs, la batterie cellulaire BC est (ici) associée à un boîtier de batterie BB qui comprend des moyens de mesure de tension/courant/température interne tib (non illustrés), et un calculateur de batterie CB. Ce calculateur de batterie CB centralise les mesures de courant, les mesures de tension et les mesures de température interne tib (à l'intérieur de la batterie cellulaire BC), et détermine des paramètres de la batterie cellulaire BC en fonction de ces mesures, et notamment sa résistance interne, sa tension minimale et son état de charge en cours (ou SOC (« State Of Charge »)).

[0048] On notera, comme illustré non limitativement sur la [Fig.1], que le convertisseur CV peut faire partie d'un chargeur CH connecté électriquement au connecteur de recharge CR et comprenant le calculateur de recharge CA chargé au sein de son véhicule V d'au moins contrôler la recharge de la batterie cellulaire BC, quel qu'en soit le mode.

[0049] On notera également que dans l'exemple illustré non limitativement sur la [Fig.1] le véhicule V comprend aussi un boîtier de distribution BD auquel sont couplés la batterie de servitude BS, le convertisseur CV et le réseau de bord RB. Ce boîtier de distribution BD est chargé de distribuer dans le réseau de bord RB l'énergie électrique stockée dans la batterie de servitude BS ou produite par le convertisseur CV, pour l'alimentation des organes (ou équipements) électriques couplés au réseau de bord RB en fonction de demandes d'alimentation reçues (notamment du calculateur de supervision CS du GMP).

[0050] Comme évoqué plus haut, l'invention propose notamment un procédé d'estimation destiné à permettre l'estimation précise et fiable de la puissance maximale de fonctionnement pmf de la batterie cellulaire BC.

[0051] Ce procédé (d'estimation) peut être mis en œuvre au moins partiellement par le dispositif d'estimation DE (illustré au moins partiellement sur les figures 1 et 2) qui comprend à cet effet au moins un processeur PR1, par exemple de signal numérique (ou DSP (« Digital Signal Processor »)), et au moins une mémoire MD. Ce dispositif d'estimation DE peut donc être réalisé sous la forme d'une combinaison de circuits ou composants électriques ou électroniques (ou « hardware ») et de modules logiciels (ou « software »). A titre d'exemple, il peut s'agir d'un microcontrôleur.

[0052] La mémoire MD est vive afin de stocker des instructions pour la mise en œuvre par le processeur PR1 d'une partie au moins du procédé d'estimation. Le processeur PR1

peut comprendre des circuits intégrés (ou imprimés), ou bien plusieurs circuits intégrés (ou imprimés) reliés par des connections filaires ou non filaires. On entend par circuit intégré (ou imprimé) tout type de dispositif apte à effectuer au moins une opération électrique ou électronique.

- [0053] Dans l'exemple illustré non limitativement sur les figures 1 et 2, le dispositif d'estimation DE fait partie du calculateur de batterie CB. Cela est avantageux car c'est ce dernier (CB) qui contrôle la puissance électrique qui est fournie par la batterie cellulaire BC pendant une phase de décharge et la puissance électrique que reçoit la batterie cellulaire BC pendant une phase de recharge (ou régénérative). Mais cela n'est pas obligatoire. En effet, le dispositif d'estimation DE pourrait comprendre son propre calculateur dédié, lequel est alors couplé au calculateur de batterie CB, ou bien pourrait faire partie d'un autre calculateur embarqué que ce dernier (CB), comme par exemple le calculateur de supervision CS.
- [0054] Comme illustré non limitativement sur la [Fig.3], le procédé (de surveillance), selon l'invention, comprend une étape 10-30 qui est mise en œuvre lorsque le véhicule V est réveillé et donc que sa batterie cellulaire BC est en capacité de fournir au circuit électrique principal CEP de la puissance électrique (phase de décharge) ou de recevoir du circuit électrique principal CEP de la puissance électrique (phase de recharge).
- [0055] L'étape 10-30 du procédé comprend une sous-étape 20 dans laquelle on (le dispositif d'estimation DE) estime la puissance maximale de fonctionnement pmf de la batterie cellulaire BC en multipliant une puissance maximale primaire pmp estimée par un coefficient de limitation cl qui est estimé au moyen d'une fonction f choisie et ayant un paramètre pn qui est indépendant de la température interne tib dans la batterie cellulaire BC. Ce paramètre pn est défini par un rapport entre des première du1 et deuxième du2 différences, soit $pn = du1/du2$.
- [0056] La puissance maximale primaire pmp est, par exemple, estimée par le calculateur de batterie CB en fonction d'au moins la température interne tib de la batterie cellulaire BC et de l'état de charge de cette dernière (BC). Mais dans une variante de réalisation, la puissance maximale primaire pmp pourrait être estimée par le dispositif d'estimation DE dans une sous-étape préliminaire.
- [0057] La première différence du1 est le résultat de la soustraction entre une tension cellulaire extrême uce des cellules CE et une tension limite d'usage (ou en anglais cut-off voltage) ulu, soit $du1 = uce - ulu$.
- [0058] La tension cellulaire extrême uce est choisie parmi toutes les tensions cellulaires mesurées ucm. Par exemple, cette tension cellulaire extrême uce peut être soit la plus petite de toutes les tensions cellulaires mesurées ucm (et donc la tension cellulaire ucm minimale à l'instant considéré) lorsque la batterie cellulaire BC est dans une phase de décharge, soit la plus grande de toutes les tensions cellulaires mesurées ucm (et donc la

tension cellulaire u_{cm} maximale à l'instant considéré) lorsque la batterie cellulaire BC est dans une phase de recharge.

- [0059] La tension limite d'usage u_{lu} est une tension cellulaire minimale (en décharge) ou maximale (en recharge) que l'on est autorisé à atteindre, mais qui peut malgré tout être dépassée par valeur inférieure (en décharge) ou par valeur supérieure (en recharge) sans risque d'endommagement.
- [0060] La deuxième différence du_2 est le résultat de la soustraction entre une tension de démarrage de limitation (ou en anglais « derating voltage ») u_{dl} et la tension limite d'usage u_{lu} , soit $du_2 = u_{dl} - u_{lu}$.
- [0061] La tension de démarrage de limitation u_{dl} est une tension cellulaire à partir de laquelle on décide de commencer à limiter la puissance maximale primaire p_{mp} estimée par le coefficient de limitation cl . En d'autres termes, dans une phase de décharge on commence à limiter la puissance maximale primaire p_{mp} estimée par le coefficient de limitation cl lorsque la tension cellulaire la plus petite (et donc extrême) u_{ce} devient inférieure ou égale à la tension de démarrage de limitation (de décharge) u_{dl} . On notera que dans une phase de décharge tant que la tension cellulaire la plus petite (et donc extrême) u_{ce} est supérieure à la tension de démarrage de limitation (de décharge) u_{dl} , on utilise un coefficient de limitation cl égal à un (1), ce qui revient à avoir une puissance maximale de fonctionnement p_{mf} égale à la puissance maximale primaire p_{mp} estimée.
- [0062] Dans une phase de recharge on commence à limiter la puissance maximale primaire p_{mp} estimée par le coefficient de limitation cl lorsque la tension cellulaire la plus grande (et donc extrême) u_{ce} devient supérieure ou égale à la tension de démarrage de limitation (de recharge) u_{dl} . On notera que dans une phase de recharge tant que la tension cellulaire la plus grande (et donc extrême) u_{ce} est inférieure à la tension de démarrage de limitation (de recharge) u_{dl} , on utilise un coefficient de limitation cl égal à un (1), ce qui revient à avoir une puissance maximale de fonctionnement p_{mf} égale à la puissance maximale primaire p_{mp} estimée.
- [0063] On comprendra que le paramètre $pn (= du_1/du_2 = (u_{ce} - u_{lu})/(u_{dl} - u_{lu}))$ est indépendant de la température interne t_{ib} du fait que les variables u_{ce} , u_{dl} et u_{lu} varient toutes en fonction de cette température interne t_{ib} . On comprendra également que le coefficient de limitation cl est calibré de façon générique et optimisée en fonction de la température interne t_{ib} du fait que le paramètre pn comprend un numérateur u_{dl} qui est une première différence ou distance inter tensions ($u_{ce} - u_{lu}$) normalisée par un dénominateur u_{dl} qui est une deuxième différence ou distance inter tensions ($u_{dl} - u_{lu}$). Ainsi, on n'a plus besoin d'utiliser une mémoire très importante pour stocker une multitude de tables de correspondance (ou cartographies) pour une multitude de températures internes t_{ib} différentes, tout comme on ne fonctionne pas en boucle ouverte

sans tenir compte de la tension limite d'usage u_{lu} . Cela permet d'obtenir une estimation précise et fiable du coefficient de limitation c_l permettant de se protéger contre les risques de sous-tension et surtension, sans que cela n'induisse un surcoût du véhicule V.

- [0064] Par exemple, et comme illustré non limitativement sur la [Fig.3], l'étape 10-30 peut comprendre une sous-étape 10 dans laquelle on (le dispositif d'estimation DE) détermine le paramètre p_n , puis estime le coefficient de limitation c_l en fonction de ce paramètre p_n déterminé et de la fonction f .
- [0065] Par exemple, dans la sous-étape 10 de l'étape 10-30 on (le dispositif d'estimation DE) peut choisir une fonction f qui est linéaire lorsque la deuxième différence ud_2 est inférieure ou égale à un seuil choisi.
- [0066] Egalement par exemple, dans la sous-étape 10 de l'étape 10-30 on (le dispositif d'estimation DE) peut choisir une fonction f qui est non linéaire lorsque la deuxième différence ud_2 est supérieure à un seuil choisi. Ce dernier est de préférence le même que celui mentionné dans le paragraphe précédent. Dans ce cas, on peut utiliser une fonction f linéaire lorsque la deuxième différence ud_2 est inférieure ou égale au seuil choisi et une fonction f non linéaire lorsque la deuxième différence ud_2 est supérieure à ce seuil choisi.
- [0067] On notera que ce seuil peut éventuellement varier selon que l'on est dans une phase de décharge ou dans une phase de recharge.
- [0068] La valeur du (de chaque) seuil peut être déterminée en laboratoire dans une phase de mise au point d'un véhicule similaire au véhicule V.
- [0069] On a schématiquement illustré dans le diagramme de la [Fig.4] un premier exemple c_1 de courbe d'évolution d'un coefficient de limitation c_l linéaire en fonction du paramètre p_n , et un second exemple c_2 de courbe d'évolution temporelle d'un coefficient de limitation c_l non linéaire en fonction du paramètre p_n . Ici, le coefficient de limitation c_l a une valeur qui varie entre zéro (0) et un (1). De même, compte tenu de son expression le paramètre p_n a une valeur qui varie entre zéro (0) et un (1).
- [0070] On notera qu'apparaissent aussi sur la gauche de ce diagramme de la [Fig.4] des exemples de positions respectives des tensions u_{ce} , u_{dl} , u_{lu} et u_r , intervenant dans l'invention, et dans le cas d'une phase de décharge. La tension u_r est une tension de récupération (ou en anglais « healing voltage ») choisie. On a donc ici $u_{lu} < u_{ce} < u_{dl} < u_r$ (en considérant que u_{ce} (qui est la plus petite des tensions cellulaires) n'est pas encore passée en-dessous de u_{lu}).
- [0071] Par exemple, et comme illustré non limitativement sur la [Fig.3], l'étape 10-30 peut comprendre une sous-étape 30 dans laquelle on maintient (le dispositif d'estimation DE déclenche le maintien de) la puissance maximale de fonctionnement p_{mf} à une valeur constante en présence d'une évolution particulière de la tension cellulaire

extrême et selon que l'on est dans une phase de décharge ou une phase de recharge.

- [0072] Lorsque l'on est dans une phase de décharge, on maintient (le dispositif d'estimation DE déclenche le maintien de) la puissance maximale de fonctionnement pmf à une valeur constante quand la tension cellulaire extrême (ici minimale) uce recommence à croître après une phase de décroissance et demeure inférieure à la tension de récupération ur choisie.
- [0073] Lorsque l'on est dans une phase de recharge, on maintient (le dispositif d'estimation DE déclenche le maintien de) la puissance maximale de fonctionnement pmf à une valeur constante quand la tension cellulaire extrême (ici maximale) uce recommence à décroître après une phase de croissance et demeure supérieure à la tension de récupération ur choisie.
- [0074] Le mode de fonctionnement optionnel décrit ci-avant et pouvant être mis en œuvre dans une phase de décharge, et que l'on peut qualifier d'hystérésis, est schématiquement illustré par les deux diagrammes de la [Fig.5] qui se correspondent.
- [0075] Le premier diagramme (supérieur) comprend un exemple de courbe d'évolution temporelle de la tension cellulaire extrême uce.
- [0076] Le second diagramme (inférieur) comprend :
- [0077] - un premier exemple de courbe c3 d'évolution temporelle de la puissance maximale de fonctionnement pmf lorsque l'on n'utilise pas le coefficient de limitation cl (ou qu'il est égal à un (1)), et en présence de l'évolution temporelle de la tension cellulaire extrême uce du premier diagramme, et
- [0078] - un second exemple de courbe c4 d'évolution temporelle de la puissance maximale de fonctionnement pmf lorsque l'on utilise le coefficient de limitation cl, et en présence de l'évolution temporelle de la tension cellulaire extrême uce du premier diagramme.
- [0079] Dans cet exemple illustratif, dès que la tension cellulaire extrême (ici minimale) uce passe en dessous de la tension de démarrage de limitation (de décharge) udl, on utilise un coefficient de limitation cl inférieur à un (1), ce qui provoque une décroissance constante (de kW/seconde) de la puissance maximale de fonctionnement pmf. Puis, lorsque la tension cellulaire extrême (ici minimale) uce atteint un minimum local et recommence à croître, on maintient constante la puissance maximale de fonctionnement pmf. Puis, lorsque la tension cellulaire extrême (ici minimale) uce passe au-dessus de la tension de récupération ur, on relâche la contrainte sur la puissance maximale de fonctionnement pmf, ce qui fait tendre cette dernière (pmf) vers la puissance maximale primaire pmp. Puis, lorsque la tension cellulaire extrême (ici minimale) uce repasse en-dessous de la tension de démarrage de limitation (de décharge) udl, on utilise de nouveau un coefficient de limitation cl inférieur à un (1),

ce qui provoque une nouvelle décroissance constante (de x kW/seconde) de la puissance maximale de fonctionnement pmf. Puis, lorsque la tension cellulaire extrême (ici minimale) u_{ce} atteint de nouveau un minimum local et recommence à croître, on maintient constante la puissance maximale de fonctionnement pmf. Puis, si la tension cellulaire extrême (ici minimale) u_{ce} se remet à décroître et repasse en-dessous du dernier minimum local, on utilise de nouveau un coefficient de limitation cl inférieur à un (1), ce qui provoque une nouvelle décroissance constante (de x kW/seconde) de la puissance maximale de fonctionnement pmf, cette fois vers la valeur nulle (0 kW) pour éviter d'aller dans une zone de sécurité et ainsi éviter tout risque d'échauffement (voire d'incendie) de la batterie cellulaire BC.

- [0080] Ce mécanisme d'hystérésis est introduit jusqu'au-dessus de la tension de démarrage de limitation u_{dl} en décharge pour éviter des oscillations venant d'une récupération immédiate de la puissance à la suite de l'application d'un coefficient de limitation cl inférieur à un (1). Cela permet d'améliorer la robustesse de l'estimation de la limitation de puissance. En effet, la puissance maximale de fonctionnement pmf ne récupère qu'une fois que la tension cellulaire extrême u_{ce} passe au-dessus de la tension de récupération u_r en décharge.
- [0081] L'homme de l'art déduira immédiatement des deux diagrammes de la [Fig.5] les deux diagrammes correspondant au mode de fonctionnement avec hystérésis, optionnel, pouvant être mis en œuvre dans une phase de recharge, en effectuant une symétrie miroir horizontale.
- [0082] Par exemple, et comme illustré non limitativement sur la [Fig.3], dans la sous-étape 10 de l'étape 10-30 on (le dispositif d'estimation DE) peut estimer un coefficient de limitation cl qui impose :
- [0083] - soit une première décroissance $p1$ constante de la puissance maximale de fonctionnement pmf tant que la tension cellulaire extrême u_{ce} est inférieure à la tension limite d'usage u_{lu} (mode de fonctionnement de base que l'on pourrait qualifier de « préventif » (php) et qui est mis en œuvre entre u_{dl} et u_{lu}),
- [0084] - soit une deuxième décroissance $p2$ strictement supérieure à la première décroissance $p1$ et augmentant lorsque décroît une troisième différence u_{d3} entre la tension cellulaire extrême u_{ce} et une tension limite interdite u_{li} (mode de fonctionnement spécifique que l'on pourrait qualifier de « curatif » (phc) et qui est mis en œuvre entre u_{lu} et u_{li}).
- [0085] Par exemple, dans la sous-étape 30 de l'étape 10-30 la deuxième décroissance $p2$ peut varier de façon non linéaire lorsque la troisième différence u_{d3} décroît.
- [0086] Ce mode de fonctionnement curatif optionnel résulte du constat suivant. Théoriquement, sans erreur d'estimation de l'état de charge et sans un fort gradient de température interne t_{ib} au sein des modules MC, la puissance maximale primaire p_{mp}

estimée doit être nulle lorsque la tension cellulaire extrême u_{ce} atteint la tension limite d'usage u_{lu} (surtout si la limitation de puissance est activée au bon niveau). Cependant, même si on cherche à avoir une puissance maximale de fonctionnement p_{mf} nulle lorsque la puissance maximale de fonctionnement p_{mf} atteint la tension limite d'usage u_{lu} , une puissance résiduelle pourrait être toujours disponible à des niveaux bas de tension cellulaire u_{cm} en décharge (respectivement haut en recharge) à cause des pentes de variation de puissance ($xkW/seconde$) de la puissance réelle imposées par le calculateur de supervision CS et certains retards de communication avec le calculateur de batterie CB. Il est donc avantageux, en cas de franchissement de la tension limite d'usage u_{lu} d'augmenter notablement les pentes de variations de puissance ($xkW/seconde$) pour tendre le plus rapidement possible vers la puissance maximale de fonctionnement p_{mf} nulle.

[0087] Le mode de fonctionnement de base (ou préventif php) entre u_{dl} et u_{lu} , et le mode de fonctionnement spécifique (ou curatif phc) entre u_{lu} et u_{li} , sont schématiquement illustrés dans le diagramme de la [Fig.6]. Comme on peut le constater, dans le mode de fonctionnement de base (ou préventif php) on impose à la puissance maximale primaire p_{mp} une première décroissance constante p_1 (via le coefficient de limitation cl), par exemple égale à 4 kW/seconde, entre la tension de démarrage de limitation u_{dl} et la tension limite d'usage u_{lu} . Puis, on instaure le mode de fonctionnement spécifique (ou curatif phc) entre la tension limite d'usage u_{lu} et la tension limite interdite u_{li} . Par exemple, on peut imposer une deuxième décroissance p_2 ($> p_1$) de type exponentiel, lorsque l'on se rapproche de la tension limite interdite u_{li} . Par exemple, très près de la tension limite interdite u_{li} on peut imposer une troisième décroissance p_3 (sous-partie de p_2) comprise entre 100 kW/seconde et 200 kW/seconde. Au lieu d'utiliser une deuxième décroissance p_2 de type exponentiel, on pourrait utiliser une table de correspondance (ou cartographie).

[0088] On notera également, comme illustré non limitativement sur la [Fig.2], que le calculateur de batterie CB (ou le calculateur du dispositif d'estimation DE) peut aussi comprendre une mémoire de masse MM1, notamment pour stocker la tension cellulaire extrême u_{ce} en cours et les éventuelles puissance maximale primaire p_{mp} estimée et température interne t_{ib} en cours, ainsi que d'éventuelles données intermédiaires intervenant dans tous ses calculs et traitements. Par ailleurs, ce calculateur de batterie CB (ou le calculateur du dispositif d'estimation DE) peut aussi comprendre une interface d'entrée IE pour la réception d'au moins la tension cellulaire extrême u_{ce} en cours et les éventuelles puissance maximale primaire p_{mp} estimée et température interne t_{ib} en cours, pour les utiliser dans des calculs ou traitements, éventuellement après les avoir mises en forme et/ou démodulées et/ou amplifiées, de façon connue en soi, au moyen d'un processeur de signal numérique PR2. De plus, ce calculateur de batterie CB (ou le

calculateur du dispositif d'estimation DE) peut aussi comprendre une interface de sortie IS, notamment pour délivrer la puissance maximale de fonctionnement pmf.

- [0089] On notera également que l'invention propose aussi un produit programme d'ordinateur (ou programme informatique) comprenant un jeu d'instructions qui, lorsqu'il est exécuté par des moyens de traitement de type circuits électroniques (ou hardware), comme par exemple le processeur PR1, est propre à mettre en œuvre le procédé d'estimation décrit ci-avant pour estimer précisément et de façon fiable la puissance maximale de fonctionnement pmf de la batterie cellulaire BC du véhicule V.
- [0090] L'invention offre plusieurs avantages, parmi lesquels :
- [0091] - la protection de la batterie cellulaire BC du fait de l'évitement de ses sous-décharges et surcharges,
- [0092] - la protection contre les défaillances du calculateur de batterie CB et la minimisation des occurrences d'ouverture des contacteurs (ou interrupteurs) du dispositif d'isolement associé à la batterie cellulaire BC,
- [0093] - un évitement du vieillissement prématuré de la batterie cellulaire BC du fait de la réduction de l'occurrence de passage entre la tension limite d'usage ulu et la tension limite interdite uli,
- [0094] - un meilleur respect de la durée de vie des composants électroniques et chimiques,
- [0095] - une importante réduction des coûts de calibration.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé d'estimation d'une puissance maximale de fonctionnement pour une batterie cellulaire (BC) d'un véhicule (V) comportant N cellules (CE) ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, ledit procédé comprenant une étape (10-30) dans laquelle on estime ladite puissance maximale de fonctionnement en multipliant une puissance maximale primaire estimée par un coefficient de limitation estimé, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) on estime ledit coefficient de limitation au moyen d'une fonction choisie et ayant un paramètre indépendant d'une température interne dans ladite batterie cellulaire (BC) et défini par un rapport entre une première différence, entre une tension cellulaire extrême desdites cellules (CE) et une tension limite d'usage, et une deuxième différence, entre une tension de démarrage de limitation et ladite tension limite d'usage.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) ladite tension cellulaire extrême est soit une tension cellulaire minimale lorsque ladite batterie cellulaire (BC) est dans une phase de décharge, soit une tension cellulaire maximale lorsque ladite batterie cellulaire (BC) est dans une phase de recharge.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) on choisit une fonction linéaire lorsque ladite deuxième différence est inférieure ou égale à un seuil choisi.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) on choisit une fonction non linéaire lorsque ladite deuxième différence est supérieure à un seuil choisi.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) on maintient ladite puissance maximale de fonctionnement à une valeur constante soit lorsque dans une phase de décharge de ladite batterie cellulaire (BC) ladite tension cellulaire extrême recommence à croître après une phase de décroissance et demeure inférieure à une tension de récupération choisie, soit lorsque dans une phase de recharge de ladite batterie cellulaire (BC) ladite tension cellulaire extrême recommence à décroître après une phase de croissance et demeure supérieure à ladite tension de récupération choisie.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) on estime un coefficient de limitation imposant soit

une première décroissance constante de ladite puissance maximale de fonctionnement tant que ladite tension cellulaire extrême est inférieure à ladite tension limite d'usage, soit une deuxième décroissance strictement supérieure à ladite première décroissance et augmentant lorsque décroît une troisième différence entre ladite tension cellulaire extrême et une tension limite interdite.

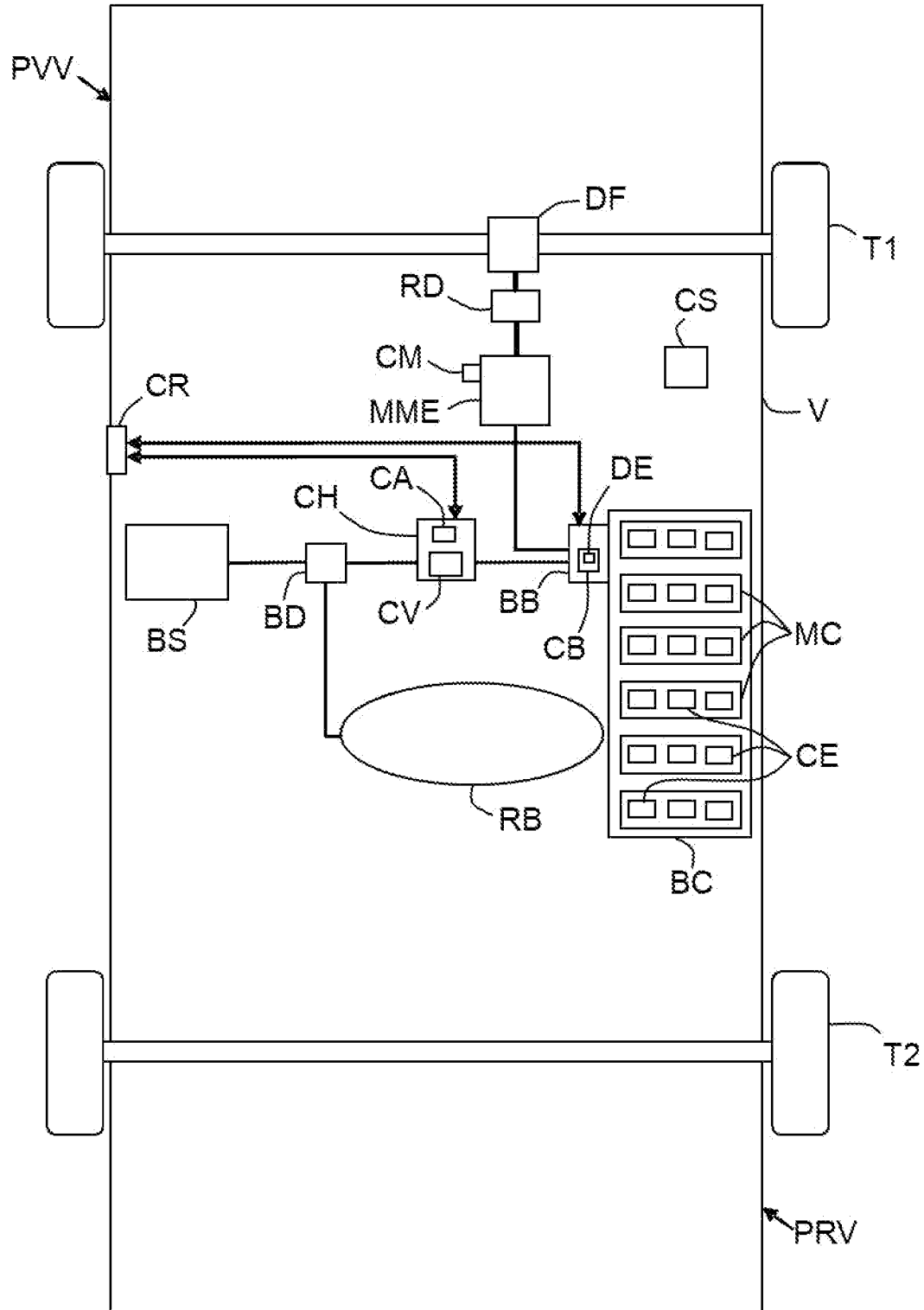
[Revendication 7] Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que dans ladite étape (10-30) ladite deuxième décroissance varie de façon non linéaire lorsque ladite troisième différence décroît.

[Revendication 8] Produit programme d'ordinateur comprenant un jeu d'instructions qui, lorsqu'il est exécuté par des moyens de traitement, est propre à mettre en œuvre le procédé d'estimation selon l'une des revendications 1 à 7, dans un véhicule (V) comprenant une batterie cellulaire (BC) comportant N cellules (CE) ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, pour estimer une puissance maximale de fonctionnement pour ladite batterie cellulaire (BC).

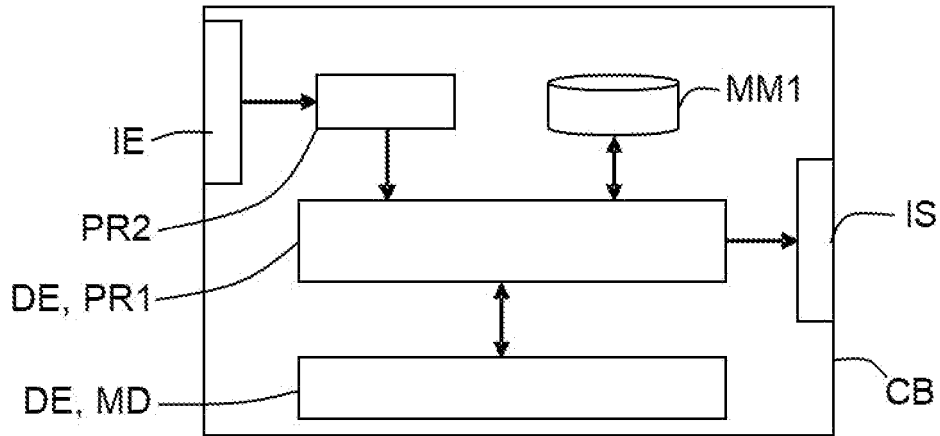
[Revendication 9] Dispositif d'estimation (DE) pour un véhicule (V) comprenant une batterie cellulaire (BC) comportant N cellules (CE) ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, ledit dispositif d'estimation (DE) comprenant au moins un processeur (PR1) et au moins une mémoire (MD) agencés pour effectuer les opérations consistant à estimer une puissance maximale de fonctionnement pour ladite batterie cellulaire (BC) en multipliant une puissance maximale primaire estimée par un coefficient de limitation estimé, caractérisé en ce que lesdits processeur (PR1) et mémoire (MD) sont en outre agencés pour effectuer les opérations consistant à estimer ledit coefficient de limitation au moyen d'une fonction choisie et ayant un paramètre indépendant d'une température interne dans ladite batterie cellulaire (BC) et défini par un rapport entre une première différence, entre une tension cellulaire extrême desdites cellules (CE) et une tension limite d'usage, et une seconde différence, entre une tension de démarrage de limitation et ladite tension limite d'usage.

[Revendication 10] Véhicule (V) comprenant une batterie cellulaire (BC) comportant N cellules (CE) ayant chacune une tension cellulaire, avec $N \geq 2$, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif d'estimation (DE) selon la revendication 9.

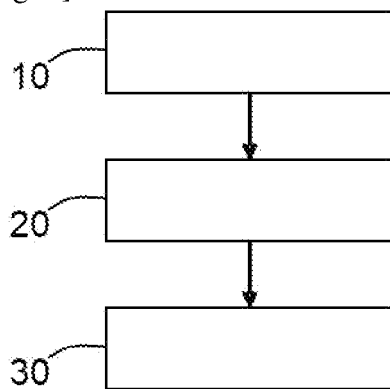
[Fig. 1]



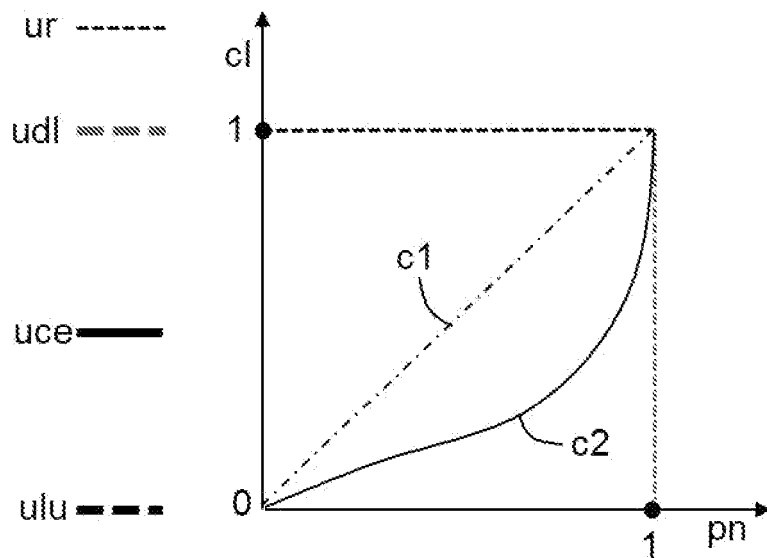
[Fig. 2]



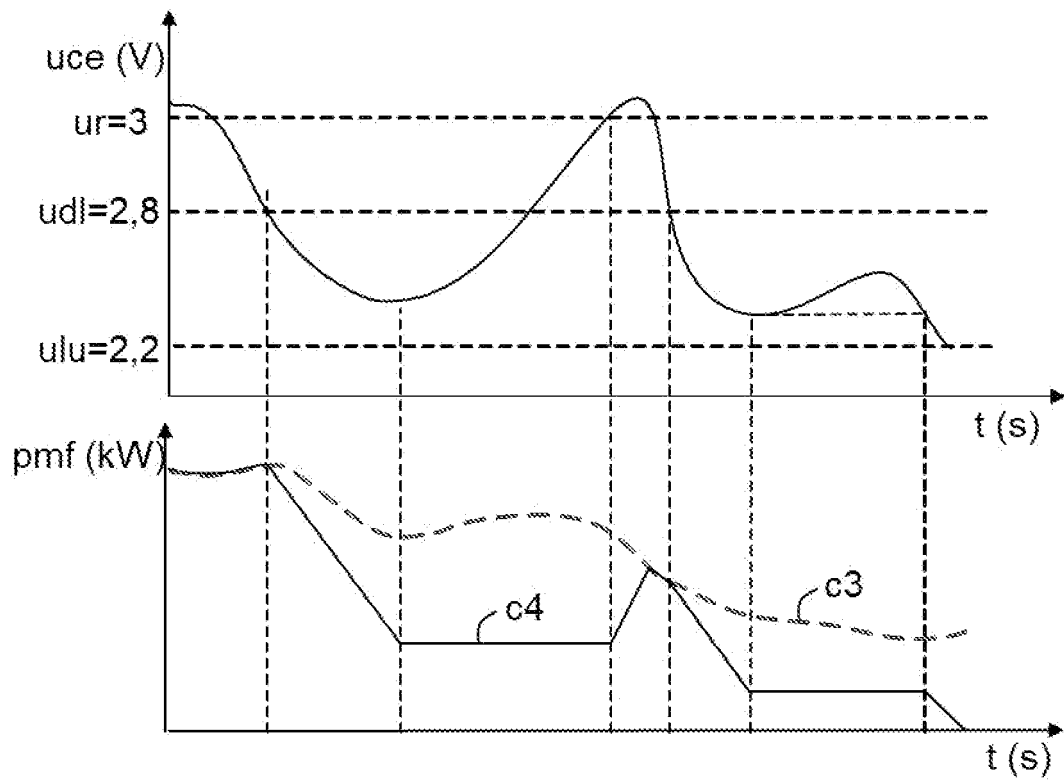
[Fig. 3]



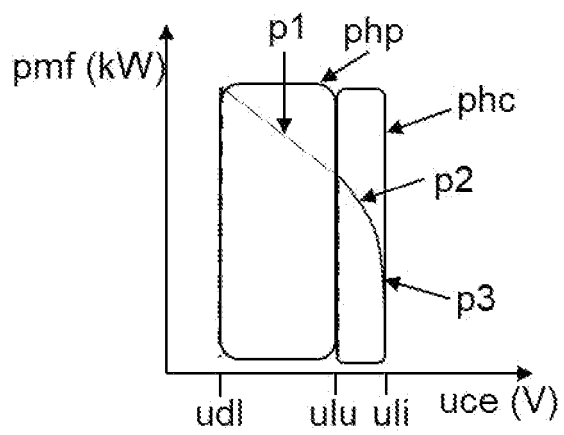
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

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

EP 4 056 414 A1 (VOLVO TRUCK CORP [SE])
14 septembre 2022 (2022-09-14)

EP 0 909 675 A2 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP])
21 avril 1999 (1999-04-21)

US 2014/218041 A1 (CHO IL [KR] ET AL)
7 août 2014 (2014-08-07)

WO 2022/075618 A1 (LG ENERGY SOLUTION LTD)
14 avril 2022 (2022-04-14)

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

NEANT