

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.01.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 12.07.24 Bulletin 24/28.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : PSA AUTOMOBILES SA Société par
actions simplifiée (SAS) — FR, CENTRALE SUPELEC Etablis-
sement public — FR, CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public — FR,
SAFT Société par actions simplifiée (SAS) — FR, SORBONNE
UNIVERSITE Etablissement public — FR et UNIVERSITE
PARIS-SACLAY Etablissement public — FR.

72 Inventeur(s) : ROY FRANCIS, PEUCHANT Thomas,
HERPE David, LABOURE Eric et FIANI Philippe.

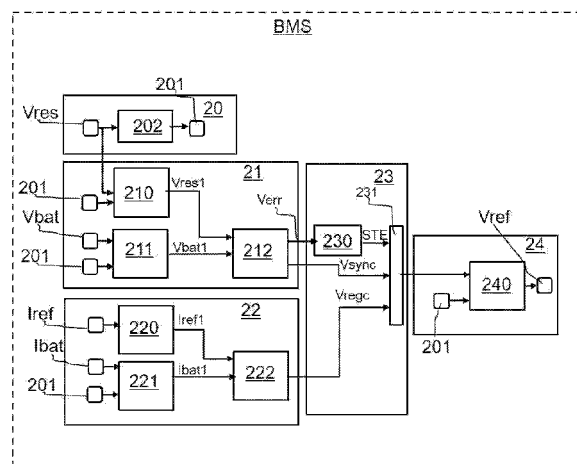
73 Titulaire(s) : STELLANTIS AUTO SAS Société par actions
simplifiée, CENTRALE SUPELEC Etablissement public,
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Etablissement public, SAFT Société par actions simplifiée
(SAS), SORBONNE UNIVERSITE Etablissement public, UNI-
VERSITE PARIS-SACLAY Etablissement public.

74 Mandataire(s) : STELLANTIS AUTO SAS Société par
actions simplifiée.

54 SYSTEME DE BATTERIE COMPORTANT DES MOYENS DE SYNCHRONISATION DE LA TENSION ET DE
REGULATION DE COURANT AVEC UN RESEAU D'ALIMENTATION ELECTRIQUE.

57 La présente invention a pour objet un système de bat-
terie comportant un onduleur multiniveau distribué dans des
modules élémentaires de cellules de la batterie permettant
la génération d'une onde de tension alternative sur une ligne
de courant de la batterie et un fonctionnement bidirectionnel
sur un réseau d'alimentation électrique. Selon l'invention,
l'unité de commande de la batterie comporte un moyen de
détermination (20) de caractéristiques électriques d'une
onde de tension du réseau d'alimentation (RES), un moyen
de synchronisation (21) des caractéristiques électriques
d'une onde de tension de la ligne de courant (LT1, LT2, LT3)
du système de batterie (BAT) avec l'onde du réseau d'alimen-
tation (RES), un moyen de connexion électrique (Kres)
de la ligne de courant (LT1, LT2, LT3) au réseau d'alimen-
tation (RES) piloté en fonction d'un état de synchronisation
(STE) des ondes de tension du système de batterie (BAT)
et du réseau (RES) et un moyen de régulation du courant
(22) du système de batterie (BAT) par pilotage d'une
consigne de tension (Vref) de la ligne de courant du sys-
tème de batterie (BAT).

Figure 2.



Description

Titre de l'invention : SYSTEME DE BATTERIE COMPORTANT DES MOYENS DE SYNCHRONISATION DE LA TENSION ET DE REGULATION DE COURANT AVEC UN RESEAU D'ALIMENTATION ELECTRIQUE

- [0001] Le domaine de l'invention concerne un système de batterie à cellules électrochimiques comportant des modules élémentaires de cellule formant un onduleur multiniveaux distribué dans la batterie.
- [0002] Dans le domaine du stationnaire, les batteries électrochimiques sont utilisées dans les réseaux électriques haute tension pour des fins de régulation du réseau et pour stocker l'énergie générée par les installations photovoltaïques et éoliennes, notamment. Dans le domaine automobile, les véhicules électrifiés rechargeables comprennent une batterie et de l'électronique de puissance munie de convertisseur de tension permettant d'adapter le couple courant et tension délivré par la batterie aux différents éléments électroniques embarqués du véhicule. Pour ces véhicules, l'électronique de puissance comporte généralement un chargeur permettant la conversion d'une tension alternative en tension continue pour la recharge de la batterie à partir d'un réseau d'alimentation électrique étendu fonctionnant en tension alternative.
- [0003] Des chargeurs bidirectionnels permettent la charge de la batterie à partir du réseau d'alimentation, et la décharge vers un système électrique externe au véhicule dans le cas d'applications dites V2X pour « Vehicule to Everything ». On connaît par exemple le document WO-A1-2022/200144 et le document WO-A1-2021004639A1 décrivant un système d'alimentation électrique de véhicule comprenant un chargeur bidirectionnel capable de charger la batterie à partir d'énergie du réseau d'alimentation et d'alimenter une charge externe branchée sur une autre prise du véhicule prévue à cet effet.
- [0004] Ces solutions de décharge de la batterie sont prévues uniquement pour l'alimentation électrique d'une charge branchée sur une prise du véhicule et n'assurent pas la fonction de décharge vers un réseau d'alimentation. En outre, ces chargeurs bidirectionnels requièrent des étages de convertisseur AC/DC et DC/AC qui présentent généralement des pertes d'énergie de l'ordre de 10 à 20% de la puissance délivrée lors de la conversion.
- [0005] On cherche à améliorer l'efficacité énergétique des systèmes d'alimentation de batterie. La demanderesse a développé une architecture de rupture dite à onduleur multiniveaux distribué qui permet de se passer des convertisseurs de tension habituellement intégrés entre une batterie à cellules électrochimiques et le réseau

d'alimentation fonctionnant en tension alternative. Cette architecture a fait l'objet de plusieurs demandes de brevet par la demanderesse. On peut citer par exemple les documents WO-A1-2017/153366, WO-A1-2021/048477 et FR-A1-3121797. Ils décrivent une architecture de cellules qui comporte des lignes de courant formées par des modules élémentaires comportant chacun une cellule électrochimique, ou un cluster de cellules, et un module de commutation formant un pont en H. Ces documents décrivent en outre des procédés de commande innovants de cette architecture permettant l'équilibrage en état de charge des cellules et la génération de courant électrique polyphasé ou continu.

- [0006] Plus précisément, il est possible de générer en sortie de batterie une tension et un courant alternatif pouvant être directement injectés dans une machine électrique motrice ou le réseau d'alimentation. Cette architecture est particulièrement efficace car on a mesuré des rendements électriques en recharge et décharge qui sont supérieurs à 96% et car elle permet surtout de s'affranchir des étages de conversion de tension pour les applications d'électromobilité. Dans les applications stationnaires, notamment pour les installations d'énergie renouvelable, où le système de batterie permet de stocker l'énergie ou de réguler le réseau par décharge pilotée, il est possible de connecter directement le système de batterie au réseau d'alimentation électrique sans intégration d'un système de conversion de puissance (PCS pour « Power Conversion System »). Elle permet donc un gain financier important.
- [0007] On cherche à proposer un système électrique de stockage d'énergie permettant de pallier aux problèmes précités et d'améliorer la phase de connexion d'un tel système au réseau électrique. Un objectif de l'invention est de proposer un système de batterie, pour des applications d'électromobilité et des applications stationnaires se basant sur cette structure en onduleur multiniveaux intégré permettant un fonctionnement bidirectionnel du système de batterie avec le réseau d'alimentation électrique en tension alternative, monophasé et polyphasé. Un objectif de l'invention est de proposer une solution optimisant la régulation du courant en charge et décharge sur le réseau d'alimentation.
- [0008] Plus précisément, l'invention concerne un système de batterie à cellules électrochimiques, destiné à se recharger/décharger sur un réseau d'alimentation électrique étendu fonctionnant en tension alternative, le système comportant au moins une ligne de courant comportant une pluralité de modules élémentaires, munis chacun d'une cellule ou d'un cluster de cellules, formant un onduleur multiniveau distribué et une unité de commande des modules élémentaires apte à générer une forme d'onde de tension alternative choisie aux bornes de la ligne de courant en fonction d'une consigne de référence en tension. Selon l'invention, le système comporte en outre :
- [0009] - un moyen de détermination de caractéristiques électriques d'une onde de tension du

réseau d'alimentation,

- [0010] - un moyen de synchronisation des caractéristiques électriques d'une onde de tension de la ligne de courant du système de batterie avec l'onde du réseau d'alimentation,
- [0011] - un moyen de connexion électrique de la ligne de courant au réseau d'alimentation piloté en fonction d'un état de synchronisation des ondes de tension du système de batterie et du réseau,
- [0012] - un moyen de régulation du courant du système de batterie par pilotage de la consigne de référence en tension de la ligne de courant du système de batterie.
- [0013] Le système selon l'invention peut comporter les caractéristiques additionnelles suivantes, seules ou en combinaison :
- [0014] - il comporte trois lignes de courant dans lequel le moyen de synchronisation comporte un moyen de transformer les tensions mesurées des lignes du système de batterie et du réseau en premières commandes vectorielles, un moyen de déterminer une première consigne de tension en commande vectorielle par un premier régulateur prenant en entrées les premières commandes vectorielles, et un premier moyen de moduler la première consigne de tension en une consigne de référence en tension du système de batterie ;
- [0015] - il comporte trois lignes de courant dans lequel le moyen de régulation de courant comporte un moyen de transformer des courants mesurés des lignes du système de batterie et d'une consigne de courant de référence en deuxièmes commandes vectorielles de courant, un moyen de déterminer une deuxième consigne de tension en commande vectorielle par un deuxième régulateur prenant en entrées les deuxièmes commandes vectorielles et un deuxième moyen de moduler la deuxième consigne de tension en une consigne de référence en tension du système de batterie ;
- [0016] - il comporte en outre un estimateur des phases du réseau d'alimentation, et dans lequel les moyens de transformation des premières et/ou des deuxièmes commandes vectorielles dépendent également desdites estimations de phase.
- [0017] - il comporte en outre un estimateur de l'écart d'amplitude de tension entre l'onde de tension du réseau d'alimentation et du système de batterie et dans lequel l'état de synchronisation est dépendant de l'écart par rapport à un seuil d'erreur prédéterminé.
- [0018] L'invention concerne en outre un véhicule automobile électrifié comportant un système de batterie rechargeable et une interface électrique destinée au branchement du système de batterie à un réseau d'alimentation électrique étendu pour la recharge et décharge sur le réseau d'alimentation, dans lequel le système de batterie est selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.
- [0019] L'invention concerne en outre un système de batterie stationnaire comportant un système de batterie rechargeable et une interface électrique destinée au branchement du système de batterie à un réseau d'alimentation électrique étendu dans lequel le système

de batterie est selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

[0020] On envisage en outre un procédé de commande d'un système de batterie à cellules électrochimiques pour la décharge/recharge sur un réseau d'alimentation électrique étendu comportant les étapes successives suivantes :

[0021] - la détermination de caractéristiques électriques d'une onde de tension du réseau d'alimentation,

[0022] - la synchronisation des caractéristiques électriques d'une onde de tension d'au moins une ligne de courant du système de batterie avec l'onde du réseau d'alimentation,

[0023] - la connexion électrique de la ligne de courant au réseau d'alimentation en cas de détection que l'état de synchronisation des ondes de tension du système de batterie et du réseau est inférieur à un seuil d'erreur prédéterminé,

[0024] - puis la régulation du courant de la ligne du système de batterie par pilotage d'une consigne de référence en tension adaptée au pilotage de la ligne de courant du système de batterie.

[0025] Selon une variante, la synchronisation comporte les étapes suivantes :

[0026] - la transformation des tensions mesurées de lignes du système de batterie et du réseau en premières commandes vectorielles,

[0027] - la détermination d'une première consigne de tension en commande vectorielle par un premier régulateur prenant en entrées les premières commandes vectorielles,

[0028] - la modulation de la première consigne de tension en commande vectorielle pour générer la consigne de référence en tension adaptée au pilotage du système de batterie pour générer l'onde de tension à synchroniser.

[0029] Selon une variante, la régulation en courant du système de batterie comporte les étapes suivantes :

[0030] - la transformation des courants mesurés des lignes du système de batterie et d'une consigne de courant de référence en deuxièmes commandes vectorielles de courant,

[0031] - la détermination d'une deuxième consigne de tension en commande vectorielle par un deuxième régulateur prenant en entrées les deuxièmes commandes vectorielles,

[0032] - la modulation de la deuxième consigne de tension en commande vectorielle pour générer la consigne de référence en tension adaptée au pilotage du système de batterie pour réguler le courant de charge/décharge du système de batterie.

[0033] L'invention prévoit en outre l'unité de commande du système de batterie selon l'invention comportant des moyens à circuit intégrés spécifiquement configurés pour mettre en œuvre le procédé de commande pour la recharge et décharge sur le réseau d'alimentation électrique. L'invention prévoit en outre un programme-ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par une unité de commande du système de batterie, conduisent celui-ci à mettre en œuvre l'un quelconque des modes de réalisation du procédé de commande pour la recharge et

décharge sur un réseau d'alimentation électrique.

[0034] L'invention présente les avantages suivants :

[0035] Le processus de synchronisation et de régulation de courant par l'unité de commande améliore la sécurité de la recharge ou décharge en évitant un sur-courant au moment de la fermeture des contacteurs haute tension.

[0036] Le rendement énergétique en recharge est significativement supérieur aux solutions connues de l'état de la technique, de l'ordre de 98,5% observé expérimentalement. En application d'électromobilité, le coût de recharge et donc d'usage d'un véhicule est fortement réduit.

[0037] En outre, ce principe de recharge utilise les mêmes composants que ce soit pour une recharge à 11 kW, 22 kW voire plus en triphasé et ces mêmes composants sont utilisés pour assurer la traction du véhicule. Dans une architecture conventionnelle, il est généralement nécessaire de différencier les composants de conversion pour la recharge en haute puissance, supérieure à 300 kW, et ceux pour la traction. On réduit ainsi le coût de l'électronique de puissance.

[0038] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée qui suit comprenant des modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par les dessins annexés, dans lesquels :

[0039] [Fig.1] représente schématiquement un mode de réalisation de l'architecture électrique du système de batterie selon l'invention ;

[0040] [Fig.2] représente les fonctions de synchronisation et de régulation en courant du système de batterie selon l'invention ;

[0041] [Fig.3] sont des graphiques illustrant la phase de synchronisation en tension et en phase des lignes de courant du système de batterie conformément au procédé de commande selon l'invention ;

[0042] [Fig.4] sont des graphiques illustrant la phase de régulation de courant des lignes de courant du système de batterie conformément au procédé de commande selon l'invention ;

[0043] [Fig.5] représente un procédé de commande du système de batterie selon l'invention permettant la recharge et décharge du système de batterie sur un réseau d'alimentation électrique et la régulation du courant ;

[0044] [Fig.6] représente schématiquement un mode de réalisation du système de batterie pour un véhicule électrifié.

[0045] L'invention concerne un système de stockage d'énergie pour les véhicules automobiles électrifiés et les systèmes de stockage stationnaires dans les installations électriques, par exemple pour les installations à énergie renouvelable ou de régulation de réseau. Le système comporte une batterie électrochimique comportant des modules

élémentaires de cellules interconnectés de manière à former une structure d'onduleur multiniveaux distribuée dans la batterie permettant de connecter la batterie à un système électrique fonctionnant en tension continue et aussi en tension alternative sans l'intermédiaire d'un onduleur. Le système de batterie peut se connecter directement à un réseau d'alimentation électrique étendu et à une machine électrique motrice. L'invention concerne plus précisément les moyens et le procédé pour synchroniser le système de batterie et pour réguler le courant de charge et décharge sur un réseau d'alimentation.

[0046] Dans la présente description, le terme onduleur multiniveaux distribué signifie que la ligne de courant ou chaque ligne de courant de la batterie, dans le cas d'une architecture polyphasée, notamment triphasée, est formée par une pluralité de modules élémentaires et chaque module élémentaire comporte une cellule ou un cluster de cellules, ainsi qu'un module de commutation formant un pont en H, l'unité de commande comporte un moyen de pilotage des modules élémentaires de la ligne de courant en fonction d'une consigne de référence et est apte à générer une forme d'onde de tension alternative choisie sur chaque ligne de courant. Cette architecture fait l'objet d'une description plus détaillée en [Fig.1].

[0047] En référence à la [Fig.1], le système de batterie BAT comporte des modules élémentaires MCLk formant la structure d'onduleur multi-niveaux distribuée dans la batterie et comporte trois lignes de courant LT1, LT2 et LT3 dans lesquelles sont agencés les modules élémentaires MCLk. En variante, le système de batterie BAT peut comporter une unique ligne de courant LT1, uniquement deux lignes de courant, ou quatre lignes de courant ou plus. En résumé, le système de batterie peut être monophasé ou polyphasé. Le système de batterie BAT comporte des commutateurs haute tension Kres, appelés également contacteurs haute tension, destinés à relier électriquement la batterie BAT au réseau d'alimentation RES. Chaque ligne de courant LT1, LT2 et LT3 est connectée d'un premier côté à un commutateur de connexion au réseau, KR1, KR2 et KR3 respectivement, et de l'autre côté à une borne neutre N de la batterie. Le réseau d'alimentation RES étendu fonctionne en tension alternative de 50Hz ou 60Hz par exemple. Le système de batterie BAT peut produire trois tensions triphasées décalées de $2\pi/3$. Le pilotage de chaque ligne de courant est similaire, se différenciant seulement par un décalage de $2\pi/3$ entre elles.

[0048] Dans le cas d'une application d'électromobilité, le système de batterie BAT comporte en outre des commutateurs haute tension Kmel destinés à relier électriquement la batterie BAT à la machine électrique motrice MEL. Chaque ligne de courant LT1, LT2 et LT3 est connectée d'un premier côté à un commutateur de connexion de la machine électrique, KM1, KM2 et KM3 respectivement, et de l'autre côté à une borne neutre N de la batterie. La machine électrique motrice peut être une

machine asynchrone ou synchrone, éventuellement une machine à courant continu du fait que le système de batterie est capable de générer toute forme d'onde de tension, alternative ou continue.

- [0049] Par ailleurs, des commutateurs (non représentés en [Fig.1]) peuvent être prévus pour relier électriquement en série les trois lignes LT1, LT2, LT3 de manière à permettre la connexion de la batterie BAT à un réseau monophasé. En variante, le système de batterie BAT peut éventuellement comporter une unique ligne de courant LT1.
- [0050] Le système de batterie BAT présente à ses bornes une tension de plusieurs centaines de volts, par exemple 350 Volts ou 1000 Volts. En 350 volts, chaque ligne LT1, LT2, LT3 est équipée par exemple de 24 modules élémentaires de cellule ou clusters de cellules connectés en série. Toutefois, selon les besoins électriques, le système de batterie BAT a une tension nominale de seulement plusieurs dizaines de volts (24V, 36V, 48V par exemple), notamment les applications de véhicule automobile, ou à une tension maximale de 1500 Volts continu voire au-delà, notamment pour les systèmes de stockage stationnaires.
- [0051] Le système de batterie BAT comporte en outre une unité de commande BMS dont une de ses fonctions est le pilotage de la forme d'onde en tension de la ligne LT1 ou chaque ligne LT1, LT2, LT3 en fonction d'une consigne de référence V_{ref} à partir des modules élémentaires MCLk. Chaque module élémentaire MCLk peut comporter une unique cellule CLk, ou un cluster de cellules CLk pouvant être au nombre de deux, trois, quatre, cinq, six cellules ou plus, formant la tension élémentaire V_{clk} . Le module élémentaire MCLk comporte en outre un module de commutation COMk apte à configurer le module élémentaire MCLk dans trois états différents pour délivrer la tension V_{mclk} qui est respectivement ladite tension élémentaire V_{clk} , une tension nulle et la tension V_{clk} inversée auxdites bornes de connexion du module MCLk.
- [0052] Le module de commutation COMk est par exemple constitué de deux parties de commutation formant un pont en H pilotable dans les trois états différents par un signal de commande de l'unité de commande BMS de la batterie BAT adressant spécifiquement le module MCLk. Les états sont représentés par une variable de commande u_{ik} pouvant prendre par exemple les valeurs 1, 0, -1 représentant les trois états différents commandant respectivement ladite tension élémentaire V_{clk} , une tension nulle et ladite tension inversée $-V_{clk}$ auxdites bornes de connexion du module élémentaire k adressé par le signal de commande u_{ik} . Chaque module de commutation COMk comprend des composants électroniques, tels que des transistors de puissance, éventuellement de type MOSFET ou HEMT (« High Electron Mobility Transistor » en anglais), pilotés par les signaux de commande de l'unité de commande BMS. Ainsi, la tension V_{mclk} aux bornes de chaque module élémentaire MCLk parmi l'ensemble d'une totalité n de modules peut être pilotée en fonction d'un signal de commande u_{ik} selon la relation

suivante :

[0053] [Math.1]

$$u_{ik} = \begin{cases} 1, & v_{mclk} = V_{clk} \\ 0, & v_{mclk} = 0 \\ -1, & v_{mclk} = -V_{clk} \end{cases} \quad k = 1..n$$

[0054] L'unité de commande BMS peut commander sur chaque ligne de tension LT1, LT2 et LT3, toute forme d'onde en tension formée par paliers d'amplitude égale à la tension élémentaire V_{clk} en fonction d'une consigne de tension de référence V_{ref} . La consigne de tension de référence V_{ref} peut être de forme sinusoïdale de fréquence de 50 Hz, toute forme alternative, par exemple carré, ou peut être de tension constante par exemple.

[0055] Dans le cadre de l'invention, l'unité de commande comporte les moyens de synchroniser la consigne de tension de référence V_{ref} avec une tension du réseau et de réguler un courant de charge et décharge par une régulation de la consigne de référence V_{ref} . L'unité de commande BMS est apte à déterminer à chaque instant le nombre q de modules élémentaires nécessaires parmi la pluralité n pour réaliser la forme d'onde en tension pour chaque phase en tension demandée par la consigne V_{ref} et où toutes les cellules élémentaires ont une même tension élémentaire V_{clk} .

[0056] On rappelle qu'une cellule électrochimique est un accumulateur d'énergie électrique ayant deux bornes, une électrode positive et une électrode négative, et présentant une tension de quelques volts, le plus souvent comprise entre 2,3V et 4,2V, environ. Les cellules peuvent être de type Lithium ion, Nickel Cadmium ou Nickel-Métal-Hydrure. Plus précisément, une cellule Lithium-ion est composée principalement d'une électrode positive poreuse, une électrode négative poreuse, un séparateur et un électrolyte. Le principe de fonctionnement d'une cellule Lithium-ion repose sur l'échange réversible d'ions lithium entre les deux électrodes poreuses. Les cellules peuvent par exemple être de type Lithium fer phosphate, Lithium polymère ou à électrolyte solide.

[0057] En référence à la [Fig.2], on décrit les moyens de l'unité de commande BMS qui mettent en œuvre la fonction de synchroniser les ondes de tension générées par le système de batterie et de réguler le courant de charge et décharge une fois que le système de batterie est connecté électriquement au réseau d'alimentation. Ce mode de réalisation concerne le cas d'une synchronisation de tensions triphasées. La fonction de synchronisation intervient avant de connecter électriquement le système de batterie au réseau d'alimentation afin d'éviter une situation de sur-courant au moment de la connexion. Ce mode de réalisation décrit en [Fig.2] n'est pas limitatif, en particulier on envisage des variantes de synchronisation des tensions et de régulation du courant du

système de batterie pouvant être monophasé ou polyphasé, c'est-à-dire biphasé, triphasé ou plus.

- [0058] L'unité de commande BMS est munie d'un calculateur à circuits intégrés et de mémoires électroniques, le calculateur et les mémoires étant configurés pour les fonctions intervenant pour la synchronisation et régulation de courant. L'unité de commande peut être réalisée sous la forme de modules logiciels (ou informatiques (ou encore « software »)), ou bien de circuits électroniques (ou « hardware »), ou encore d'une combinaison de circuits électroniques et de modules logiciels comme par exemple des circuits de type ASIC (« Application Specific Integrated Circuit » en anglais), ou DSP (« Digital Signal Processor » en anglais).
- [0059] L'unité de commande BMS comporte les moyens d'estimer ou mesurer les caractéristiques électriques instantanées d'une onde de tension V_{res} de chaque ligne de courant du réseau d'alimentation. La mesure est réalisable lorsque le système de batterie n'est pas encore relié électriquement au réseau. En outre, l'unité de commande comporte un moyen d'estimer ou mesurer les caractéristiques électriques instantanées de la tension V_{bat} et du courant I_{bat} de chaque ligne de courant du système de batterie. En référence à la [Fig.2], ces moyens sont représentés par les entrées V_{res} , V_{bat} et I_{bat} respectivement de l'unité de commande BMS. Ces moyens permettant d'estimer la valeur des tensions V_{res} du réseau d'alimentation.
- [0060] Il est prévu en outre un moyen 20 d'estimer la phase de chaque ligne de courant du réseau d'alimentation. Il permet d'estimer simultanément la fréquence (autour de 50 Hz ou 60 Hz) et le déphasage 201 des tensions du réseau.
- [0061] L'unité de commande BMS comporte un module de régulation en tension 21 dont la fonction est de synchroniser en tension et en phase le réseau d'alimentation et le système de batterie et un module de régulation en courant 22 intervenant pour commander le courant de charge et décharge une fois que le système de batterie est synchronisé avec le réseau.
- [0062] La fonction du module de régulation 21 est de réguler en tension en amplitude et en phase les tensions du système de batterie en prenant comme consigne les tensions du réseau d'alimentation. A partir de ce régulateur 21, l'unité de commande détermine une consigne V_{ref} qui pilote le module de commande des clusters de cellules de la batterie pour générer les ondes de tension sur chaque ligne lors de la phase de synchronisation.
- [0063] Le module de régulation 21 peut agir soit directement sur les grandeurs sinusoïdales, soit via le contrôle des composantes directes et en quadrature qui sont estimées, soit par des techniques de commande impliquant des transformées mathématiques, par exemple. En monophasé ou polyphasé (biphasé, triphasé ou plus), le module de régulation 21 comporte une boucle de régulation mettant en œuvre un correcteur à partir

des caractéristiques électriques estimées du système de batterie et du réseau d'alimentation pour piloter la consigne de tension V_{ref} de la ligne ou chaque ligne de courant du système de batterie.

- [0064] Dans le cas d'une application triphasée, en référence à la [Fig.2], il est prévu des moyens de transformation 210 et 211 des signaux de tension du réseau d'alimentation V_{res} et du système de batterie V_{bat} en un modèle numérique de commandes vectorielles dans le plan de Park V_{res1} et V_{bat1} respectivement avec un champ tournant à 50 Hz. Les commandes vectorielles résultantes V_{res1} et V_{bat1} sont utilisées dans une boucle de régulation par un correcteur 212 pour déterminer une consigne de tension du système de batterie sous la forme d'une consigne de commande vectorielle V_{sync} . En outre, le correcteur 212 détermine une estimation d'erreur instantanée V_{err} des signaux de tension.
- [0065] Les moyens de transformations 210 et 211 sont des fonctions mathématiques et de traitement de signaux exécutant une transformée de Park, connues de l'homme du métier dans le domaine de l'électrotechnique pour la commande d'une machine électrique triphasée. La transformée de Park présente l'avantage de simplifier et améliorer les performances des contrôleurs de courant et de tension. On n'écarte pas la possibilité de mettre en œuvre d'autres principes de commande. Le correcteur 212 est une fonction d'asservissement connue que l'homme du métier saura adapter pour le pilotage de la consigne de tension. Le correcteur 212 est par exemple de type proportionnel intégral. D'autres types de correcteurs sont envisageables. En variante, les moyens de transformation 210 et 211 peuvent être des estimateurs des caractéristiques électriques sinusoïdales des signaux mesurés ou des estimateurs des composantes directes et en quadrature.
- [0066] Un module 23 de commutation de commande a pour fonction de sélectionner le pilotage soit en régulation de tension opéré lors de la phase de synchronisation, soit en régulation de courant une fois que la synchronisation est effective. Le module 23 utilise un bloc de commutation de commande 231 qui active l'un ou l'autre mode de pilotage en fonction de l'estimation de l'erreur V_{err} entre les tensions du réseau et du système de batterie.
- [0067] Plus précisément, un bloc 230 compare le signal d'erreur V_{err} par rapport à un seuil prédéterminé. Tant que le signal V_{err} est supérieur au seuil, la régulation en tension reste opérative. La consigne de tension V_{sync} résultante du bloc de régulation 21 est utilisée pour piloter la batterie et générer la forme d'onde sur chacune des lignes de courant.
- [0068] Lorsque le signal V_{err} devient inférieur au seuil, le bloc 230 détecte que la synchronisation des tensions est conforme en amplitude et déphasage et que le système de batterie peut être connecté électriquement au réseau. Cette situation active la régulation

du courant du système de batterie. Les tensions étant synchronisées on évite un effet de sur-courant dans le système de batterie. Le bloc 230 est apte à piloter les commutateurs haute tension Kres référencés en [Fig.1]. Quand la synchronisation est détectée et maintenue stable pendant une durée de confirmation, les commutateurs sont fermés.

- [0069] En outre, l'unité de commande BMS comporte une fonction de modulation 24 permettant de délivrer une consigne de tension adaptée au pilotage du système de batterie à partir d'une consigne de tension issue soit du module de régulation en tension 21, soit du module de régulation en courant 22. Pour la synchronisation de la tension, le bloc 240 opère la modulation de la consigne V_{sync} en sortie de la boucle d'asservissement en régulation de tension.
- [0070] Identiquement aux blocs de transformation 210 et 211, le bloc 240 prend en entrée l'estimation de déphasage 201 des signaux de tension du réseau de manière que la transformation inverse s'adapte à une éventuelle variabilité des phases du réseau.
- [0071] En [Fig.3], un graphique représente une simulation de l'opération de synchronisation en tension du système de batterie. L'abscisse est l'axe temporel. Ce graphique représente dans le cadre supérieur la tension du système de batterie sur une ligne de courant et la tension du réseau d'alimentation configurée dans cet exemple en 400 Volts RMS sur la ligne correspondante. Le cadre du milieu représente l'erreur de synchronisation V_{err} entre les tensions du réseau et du système de batterie, exprimée en Volts. Le cadre inférieur représente le nombre Q_{cl} de clusters de cellules activé lors de la synchronisation. Dans cet exemple, la ligne de courant comporte 24 clusters de cellules connectés en série dans la ligne de courant de la batterie.
- [0072] Sur ce graphique, on observe qu'à partir de 0,2 secondes les premiers clusters de cellules de la batterie sont activés et que l'erreur diminue puis se stabilise à l'instant de 0,6 secondes. On observe dans le cadre supérieur la montée progressive de la tension batterie V_{bat} par l'activation des cellules où 22 des 24 clusters sont utilisés. En parallèle, l'erreur de synchronisation diminue et, après une durée de confirmation, l'unité de commande pilote la fermeture du contacteur de la ligne de courant et la régulation du courant est activée.
- [0073] En référence à la [Fig.2], la fonction du module de régulation 22 est de réguler en courant le système de batterie en prenant comme paramètres d'entrées une consigne de courant de référence I_{ref} et le courant instantané I_{bat} estimé sur système de batterie en valeur I_{rms} . A partir de ce régulateur 22, l'unité de commande détermine une consigne V_{ref} qui pilote le module de commande des clusters de cellules de la batterie pour générer les ondes de tension sur chaque ligne lors de la phase de synchronisation.
- [0074] La régulation de courant s'opère par pilotage de la consigne V_{ref} du système de batterie. La régulation de courant s'opère par une boucle d'asservissement du courant mesuré de la batterie et d'une consigne de courant. Le courant résultant traversant le

système de batterie est dépendant d'un écart d'amplitude de tension par rapport à la tension du réseau. En régulant une tension à une valeur supérieure à celle du réseau, on commande un courant de décharge et en régulant une tension à une valeur inférieure à celle du réseau, on commande un courant de recharge.

- [0075] Le module de régulation de courant 22 peut agir soit directement sur les grandeurs sinusoïdales, soit via le contrôle des composantes directes et en quadrature qui sont estimées, soit par des techniques de commande impliquant des transformées mathématiques, par exemple. En monophasé ou polyphasé (biphasé, triphasé ou plus), le module de régulation 22 comporte une boucle de régulation mettant en œuvre un correcteur à partir des caractéristiques électriques mesurées du système de batterie et d'une consigne de courant pour piloter la consigne de tension V_{ref} de la ligne ou chaque ligne de courant du système de batterie.
- [0076] Dans le cas d'une application triphasée, en référence à la [Fig.2], il est prévu des moyens de transformation 220 et 221 d'une consigne de courant I_{ref} en ampères RMS et du courant mesuré du système de batterie I_{bat} en commandes vectorielles dans le plan de Park I_{ref1} et I_{bat1} respectivement avec un champ tournant à 50 Hz. Les commandes vectorielles résultantes I_{ref1} et I_{bat1} sont utilisées dans une boucle de régulation par un correcteur 222 pour déterminer une consigne de tension du système de batterie sous la forme d'une consigne de commande vectorielle V_{regc} .
- [0077] Les moyens de transformations 220 et 221 sont des fonctions mathématiques et de traitement de signaux exécutant une transformée de Park, connues de l'homme du métier dans le domaine de l'électrotechnique pour la commande d'une machine électrique triphasée. La transformée de Park présente l'avantage de simplifier et améliorer les performances des contrôleurs de courant et de tension. On n'écarte pas la possibilité de mettre en œuvre d'autres principes de commande. Le correcteur 222 est une fonction d'asservissement connue que l'homme du métier saura adapter pour le pilotage de la consigne de tension. Le correcteur 222 est par exemple de type proportionnel intégral. D'autres types de correcteurs sont envisageables. En variante, les moyens de transformation 220 et 221 peuvent être des estimateurs des caractéristiques électriques des signaux mesurés ou des estimateurs des composantes directes et en quadrature.
- [0078] Chacun des blocs fonctionnels de transformation 210 et 211 pour la régulation en tension et les blocs 220 et 221 pour la régulation en courant prend en entrée l'estimation de déphasage 201 des signaux de tension du réseau de manière que les commandes vectorielles utilisées dans la boucle de régulation s'adaptent à une éventuelle variabilité des phases du réseau. En effet, les phases sont susceptibles de varier en cas d'appel de charge ou d'augmentation de la production d'énergie du réseau. On améliore ainsi la précision de la synchronisation et de la régulation du

courant.

- [0079] La consigne V_{regc} en commandes vectorielles issue de la régulation en courant 22 assure l'asservissement du courant en régulant la consigne de tension V_{ref} du système de batterie pour la ou chaque ligne de courant. La consigne V_{regc} est transmise au bloc de modulation 240 une fois qu'on détecte que la synchronisation est conforme pour délivrer une consigne de référence en tension adaptée au pilotage du système de batterie. On utilise le même bloc de modulation 240 que pour la synchronisation 21 ou un autre bloc de modulation spécifique à la régulation de courant.
- [0080] En [Fig.4], un graphique représente une simulation de l'opération de régulation en courant du système de batterie. L'abscisse est l'axe temporel. Ce graphique représente dans le cadre supérieur la consigne de courant I_{ref} et le courant résultant en valeur RMS d'une ligne de courant. Le cadre du milieu représente le courant de la ligne du réseau I_{res} et le courant de la ligne correspondant du système de batterie. Le cadre inférieur représente le nombre Q_{cl} de clusters de cellules activés lors de la régulation de courant. Dans cet exemple, la ligne de courant comporte 24 clusters de cellules connectés en série dans la ligne de courant de la batterie.
- [0081] Sur ce graphique, on observe qu'à partir de 1,15 seconde on pilote une consigne de courant I_{ref} à une valeur de 16A RMS. Très rapidement, la valeur de courant de la batterie augmente jusqu'à atteindre la valeur de consigne I_{ref} à l'instant de 1,4 secondes. La dynamique de régulation du courant pendant cette phase transitoire est très rapide puisque l'impédance du circuit électrique est très faible. La convergence du courant se réalise en moins de 200 millisecondes. On observe que la forme du courant est stabilisée, le courant traversant les clusters I_{cl} est toujours positif. Le courant alternatif I_{res} correspond au courant dans le réseau.
- [0082] En [Fig.5], on a représenté un logigramme décrivant le procédé de commande du système de batterie selon l'invention pour la synchronisation et la régulation du courant de charge et décharge. Le procédé est mis en œuvre par les moyens de calcul à circuits intégrés de l'unité de commande du système de batterie. Un programme ordinateur peut être prévu par l'unité de commande du système de batterie comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté conduisent celui-ci à mettre en œuvre le procédé de commande pour la synchronisation et régulation du courant du système de batterie. Le procédé s'applique pour la recharge et décharge sur un réseau d'alimentation monophasé et polyphasé. La synchronisation et régulation de courant peuvent s'effectuer sur une ligne de courant de la batterie ou bien plusieurs lignes de courant, par exemple deux lignes de courant de la batterie dans une configuration biphasée en connexion avec un réseau biphasé, trois lignes de courant de la batterie dans une configuration triphasée en connexion avec un réseau triphasé, ou quatre lignes de courant ou plus.

- [0083] A une première étape E1, le procédé comporte la détermination de caractéristiques électriques d'une onde de tension du réseau d'alimentation, en particulier la tension et la phase de chaque ligne de courant du réseau.
- [0084] Le procédé comporte ensuite la commande de la synchronisation E2 des caractéristiques électriques de l'onde de tension de la ligne ou chaque ligne de courant du système de batterie avec l'onde du réseau d'alimentation correspondante. Lors de la synchronisation les contacteurs Kres sont ouverts, en référence à la [Fig.1]. La synchronisation consiste à réguler la valeur de tension et la phase du système de batterie en prenant comme référence la tension du réseau.
- [0085] Le procédé prévoit à une étape, pendant la synchronisation, la vérification E3 d'un état de synchronisation pour déterminer l'instant de fermeture des contacteurs haute tension. L'état de synchronisation est l'erreur de tension entre l'onde du réseau et l'onde de tension de la batterie par rapport à un seuil d'erreur prédéterminé.
- [0086] Tant que l'erreur est supérieure au seuil, la régulation en tension reste active et la consigne de tension résultante de la régulation pilote le système de batterie. Les contacteurs restent ouverts.
- [0087] Dès que l'erreur devient inférieure au seuil d'erreur, le procédé commande à une étape E4 la connexion électrique de la ligne ou chaque ligne de courant du système de batterie au réseau d'alimentation.
- [0088] Puis le procédé commande à une étape E5 la régulation du courant de la ou chaque ligne du système de batterie en prenant en compte une consigne de courant I en valeur RMS et une estimation du courant RMS de la batterie. Le procédé prévoit la détermination d'une consigne en tension pour le pilotage de l'onde de tension de la ligne du système de batterie. En générant un écart d'amplitude de tension entre les ondes de tension synchronisées, on génère soit un courant de charge, soit un courant de décharge sur la ligne ou chaque ligne de courant de la batterie.
- [0089] Les boucles de régulation en tension et en courant pour la synchronisation E2 et la régulation en courant E5 dans le procédé consiste en une boucle d'asservissement comportant une correction. Dans un exemple non limitatif, la boucle d'asservissement est de type de correction PI.
- [0090] Dans le cas où le système de batterie et le réseau sont triphasés, les boucles de régulation en tension et en courant pour la synchronisation E2 et la régulation en courant E5 comporte des transformations ou estimations des consignes et des valeurs mesurées du système de batterie en commandes vectorielles dans le plan de Park en champ tournant à 50 Hz. La transformée de Park présente l'avantage de simplifier et améliorer les performances des contrôleurs de courant et de tension. On n'écarte pas la possibilité de mettre en œuvre d'autres principes de commande.
- [0091] En outre, le procédé de commande selon l'invention s'applique à un système de

batterie monophasé ou polyphasé. En configuration monophasée ou polyphasée, l'étape E2 de synchronisation des tensions et l'étape E5 de régulation de courant peuvent agir soit directement sur les grandeurs sinusoïdales, soit via le contrôle des composantes directes et en quadrature qui sont estimées, soit par des techniques de commande impliquant des transformées mathématiques, par exemple.

- [0092] En [Fig.6], on a décrit un mode d'application du système de batterie 60 selon l'invention pour un véhicule électrifié à motorisation entièrement électrique ou motorisation hybride. Le véhicule comporte une machine électrique motrice 64 apte à transmettre un couple aux roues motrices 62 du véhicule à travers une transmission 61. La machine électrique 64 peut être triphasée. Le véhicule comporte un système de batterie 60 selon l'architecture à onduleur multiniveaux distribué dans la batterie conformément à la description faite en [Fig.1]. La batterie comporte trois lignes de courant pouvant générer des ondes de tension triphasées. Le véhicule comporte en outre une interface de recharge de la batterie 68 à partir d'un réseau d'alimentation fonctionnant en tension alternative. L'interface de recharge 68 est un boîtier de recharge connectant électriquement les bornes de la batterie 60 à la borne pour une recharge en tension alternative conformément au procédé selon l'invention. L'interface de recharge 68 est apte aussi à une recharge rapide en tension continue. Le système de batterie 60 est avantageux en ce que son unité de commande 65 adapte l'onde de tension en forme alternative ou en forme d'onde continue sans avoir recours à un convertisseur de tension.
- [0093] Le véhicule comporte en outre un système de supervision 66 coopérant avec l'unité de commande 65 du système de batterie 60. Le système de batterie 60 peut être connecté directement électriquement à la machine électrique motrice 64 améliorant ainsi son rendement énergétique en traction. La batterie peut être en outre connectée à un réseau électrique embarqué haute tension 63 de tension continue du véhicule, par exemple fonctionnant à une tension nominale de 350 Volts, et à un réseau de bord basse tension 67 fonctionnant à une tension nominale de type 12 Volts, comportant une batterie. Les réseaux de tension continue embarqués 63 et 67 peuvent être alimentés par la batterie 60 via un convertisseur AC/DC, éventuellement.
- [0094] De même, grâce à l'invention, la batterie 60 peut être reliée électriquement de manière sécurisée à un réseau d'alimentation étendu externe, via une borne de recharge fonctionnant en tension alternative après la mise en œuvre de la phase de synchronisation. Et la régulation du courant de charge et décharge se pilote par l'unité de commande 65 de la batterie en régulant en tension les lignes du système de batterie 60.

Revendications

[Revendication 1]

Système de batterie (BAT) à cellules électrochimiques, destiné à se recharger/décharger sur un réseau d'alimentation électrique étendu (RES) fonctionnant en tension alternative, le système (BAT) comportant au moins une ligne de courant (LT1) comportant une pluralité de modules élémentaires (MCLk), munis chacun d'une cellule ou d'un cluster de cellules, formant un onduleur multiniveaux distribué et une unité de commande (BMS) des modules élémentaires (MCLk) apte à générer une forme d'onde de tension alternative choisie aux bornes de la ligne de courant (LT1) en fonction d'une consigne de référence en tension (V_{ref}), le système (BAT) étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre:

- un moyen de détermination (20) de caractéristiques électriques d'une onde de tension du réseau d'alimentation (RES),
- un moyen de synchronisation (21) des caractéristiques électriques d'une onde de tension de la ligne de courant (LT1) du système de batterie (BAT) avec l'onde du réseau d'alimentation (RES),
- un moyen de connexion électrique (K_{res}) de la ligne de courant (LT1) au réseau d'alimentation (RES) piloté en fonction d'un état de synchronisation (STE) des ondes de tension du système de batterie (BAT) et du réseau (RES),
- un moyen de régulation du courant (22) du système de batterie (BAT) par pilotage de la consigne de référence en tension (V_{ref}) de la ligne de courant du système de batterie (BAT).

[Revendication 2]

Système selon la revendication 1, comportant trois lignes de courant (LT1, LT2, LT3) dans lequel le moyen de synchronisation (21) comporte un moyen de transformer (210, 211) les tensions mesurées (V_{bat} , V_{res}) des lignes (LT1, LT2, LT3) du système de batterie (BAT) et du réseau (RES) en premières commandes vectorielles (V_{res1} , V_{bat1}), un moyen de déterminer (212) une première consigne de tension en commande vectorielle (V_{sync}) par un premier régulateur prenant en entrées les premières commandes vectorielles (V_{res1} , V_{bat1}), et un premier moyen de moduler (240) la première consigne de tension

- (Vsync) en une consigne de référence (Vref) en tension du système de batterie (BAT).
- [Revendication 3] Système selon la revendication 1 ou 2, comportant trois lignes de courant (LT1, LT2, LT3) dans lequel le moyen de régulation de courant (22) comporte un moyen de transformer (220, 221) des courants mesurés (Ibat) des lignes (LT1, LT2, LT3) du système de batterie (BAT) et d'une consigne de courant de référence (Iref) en deuxièmes commandes vectorielles de courant (Iref1, Ibat1), un moyen de déterminer (222) une deuxième consigne de tension en commande vectorielle (Vregc) par un deuxième régulateur prenant en entrées les deuxièmes commandes vectorielles (Iref1, Ibat1) et un deuxième moyen de moduler (240) la deuxième consigne de tension (Vregc) en une consigne de référence en tension (Vref) du système de batterie.
- [Revendication 4] Système selon la revendication 2 ou 3, comportant en outre un estimateur (202) des phases (201) du réseau d'alimentation (RES), et dans lequel les moyens de transformation (210, 211, 220, 221) des premières (Vres1, Vbat1) et/ou des deuxièmes commandes vectorielles (Iref1, Ibat1) dépendent également desdites estimations de phase (201).
- [Revendication 5] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comportant en outre un estimateur (212) de l'écart d'amplitude de tension (Verr) entre l'onde de tension du réseau d'alimentation (RES) et du système de batterie (BAT) et dans lequel l'état de synchronisation (STE) est dépendant de l'écart (Verr) par rapport à un seuil d'erreur prédéterminé.
- [Revendication 6] Véhicule automobile électrifié comportant un système de batterie rechargeable (60) et une interface électrique (68) destinée au branchement du système de batterie (60) à un réseau d'alimentation électrique étendu pour la recharge et décharge sur le réseau d'alimentation, dans lequel le système de batterie (60) est selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.
- [Revendication 7] Système de batterie stationnaire comportant un système de batterie rechargeable et une interface électrique destinée au branchement du système de batterie à un réseau d'alimentation électrique étendu dans lequel le système de batterie est selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.
- [Revendication 8] Procédé de commande d'un système de batterie (BAT) à cellules électrochimiques pour la décharge/recharge sur un réseau d'alimentation électrique étendu (RES) comportant les étapes successives suivantes :

- La détermination (E1) de caractéristiques électriques d'une onde de tension du réseau d'alimentation (RES),
- La synchronisation (E2) des caractéristiques électriques d'une onde de tension d'au moins une ligne de courant (LT1) du système de batterie (BAT) avec l'onde du réseau d'alimentation (RES),
- La connexion électrique (E4) de la ligne de courant au réseau d'alimentation en cas de détection (E3) que l'état de synchronisation des ondes de tension du système de batterie (BAT) et du réseau (RES) est inférieur à un seuil d'erreur prédéterminé,
- Puis la régulation (E5) du courant de la ligne (LT1) du système de batterie (BAT) par pilotage d'une consigne de référence en tension (V_{ref}) adaptée au pilotage de la ligne de courant (LT1) du système de batterie (BAT).

[Revendication 9] Procédé de commande selon la revendication 8 dans lequel la synchronisation (E2) comporte les étapes suivantes :

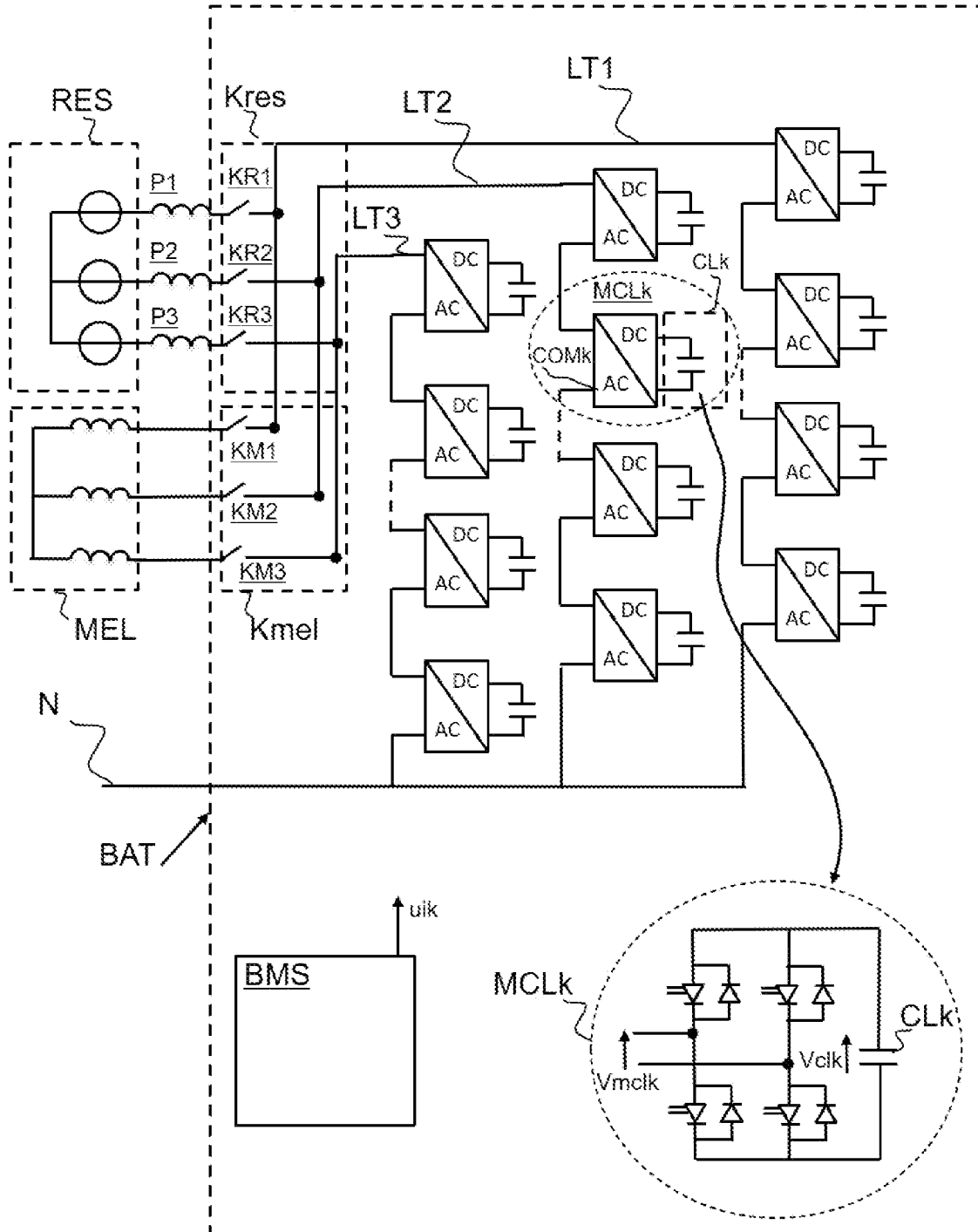
- la transformation des tensions mesurées (V_{bat} , V_{res}) de lignes (LT1, LT2, LT3) du système de batterie (BAT) et du réseau (RES) en premières commandes vectorielles (V_{res1} , V_{bat1}),
- la détermination d'une première consigne de tension en commande vectorielle (V_{sync}) par un premier régulateur (212) prenant en entrées les premières commandes vectorielles (V_{res1} , V_{bat1}),
- la modulation de la première consigne de tension en commande vectorielle (V_{sync}) pour générer la consigne de référence (V_{ref}) en tension pour générer l'onde de tension à synchroniser.

[Revendication 10] Procédé de commande selon la revendication 8 ou 9 dans lequel la régulation en courant (E5) du système de batterie (BAT) comporte les étapes suivantes :

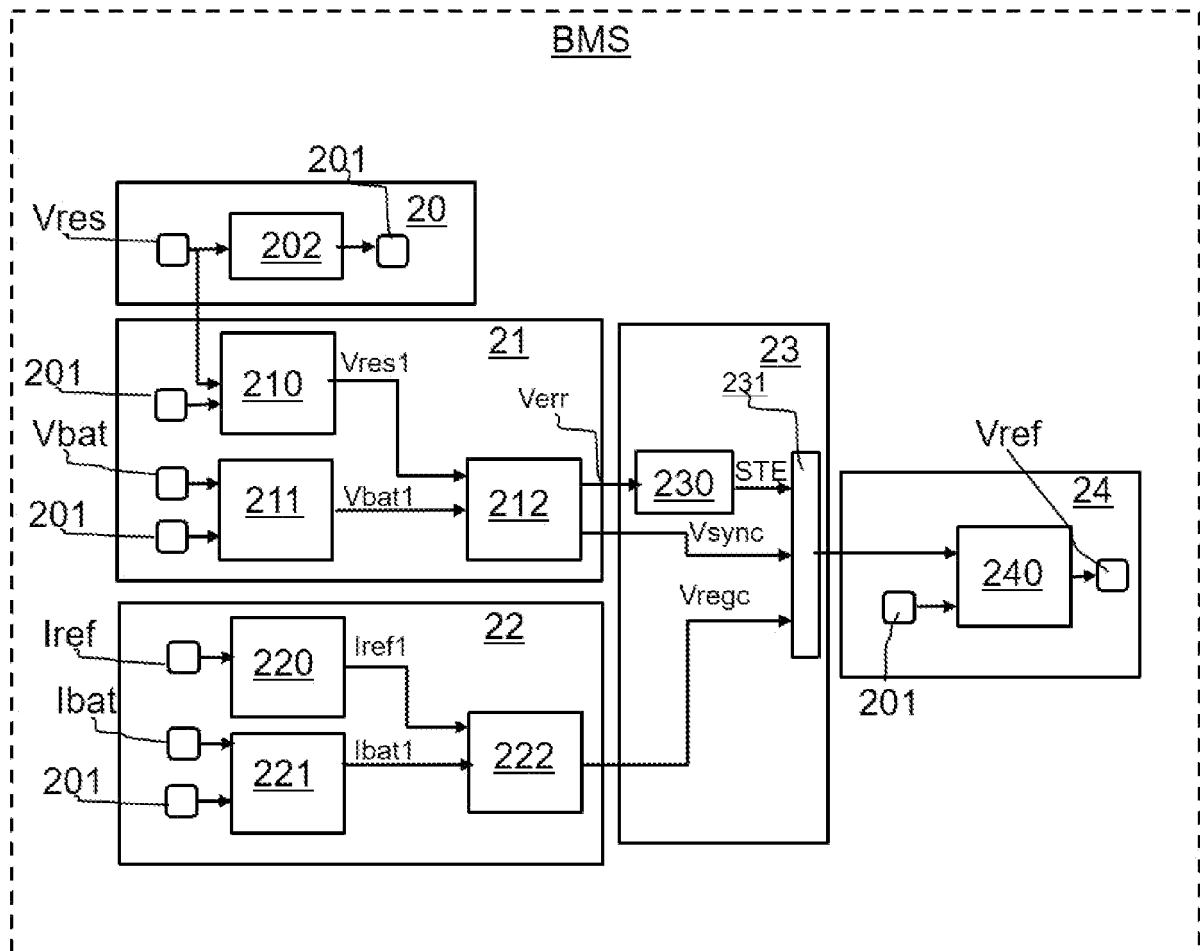
- la transformation des courants mesurés (I_{bat}) des lignes (LT1, LT2, LT3) du système de batterie (BAT) et d'une consigne de courant de référence (I_{ref}) en deuxièmes commandes vectorielles de courant (I_{ref1} , I_{bat1}),

- la détermination d'une deuxième consigne de tension en commande vectorielle (V_{regc}) par un deuxième régulateur (222) prenant en entrées les deuxièmes commandes vectorielles (I_{ref1} , I_{bat1}),
- la modulation de la deuxième consigne de tension en commande vectorielle (V_{regc}) pour générer la consigne de référence (V_{ref}) en tension pour réguler le courant de charge/décharge du système de batterie (BAT).

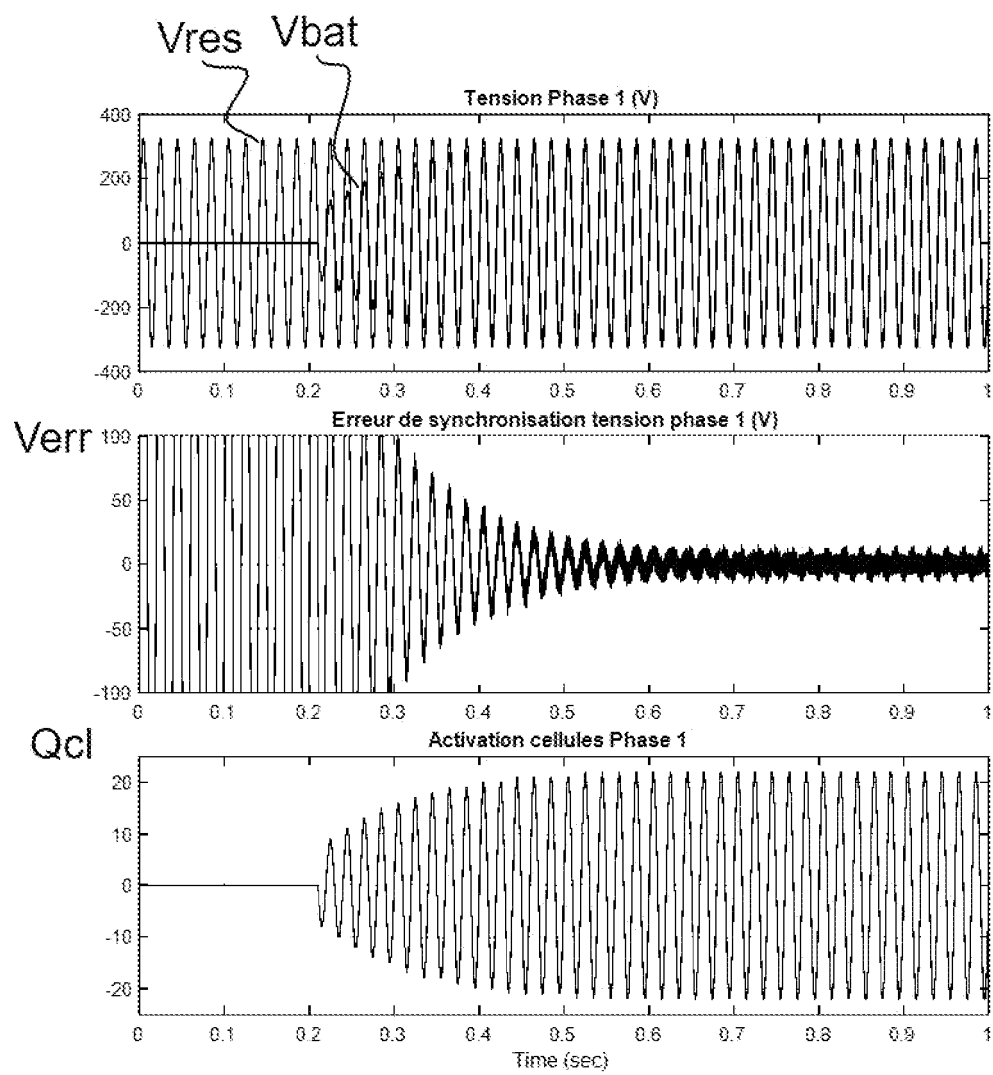
[Fig. 1]



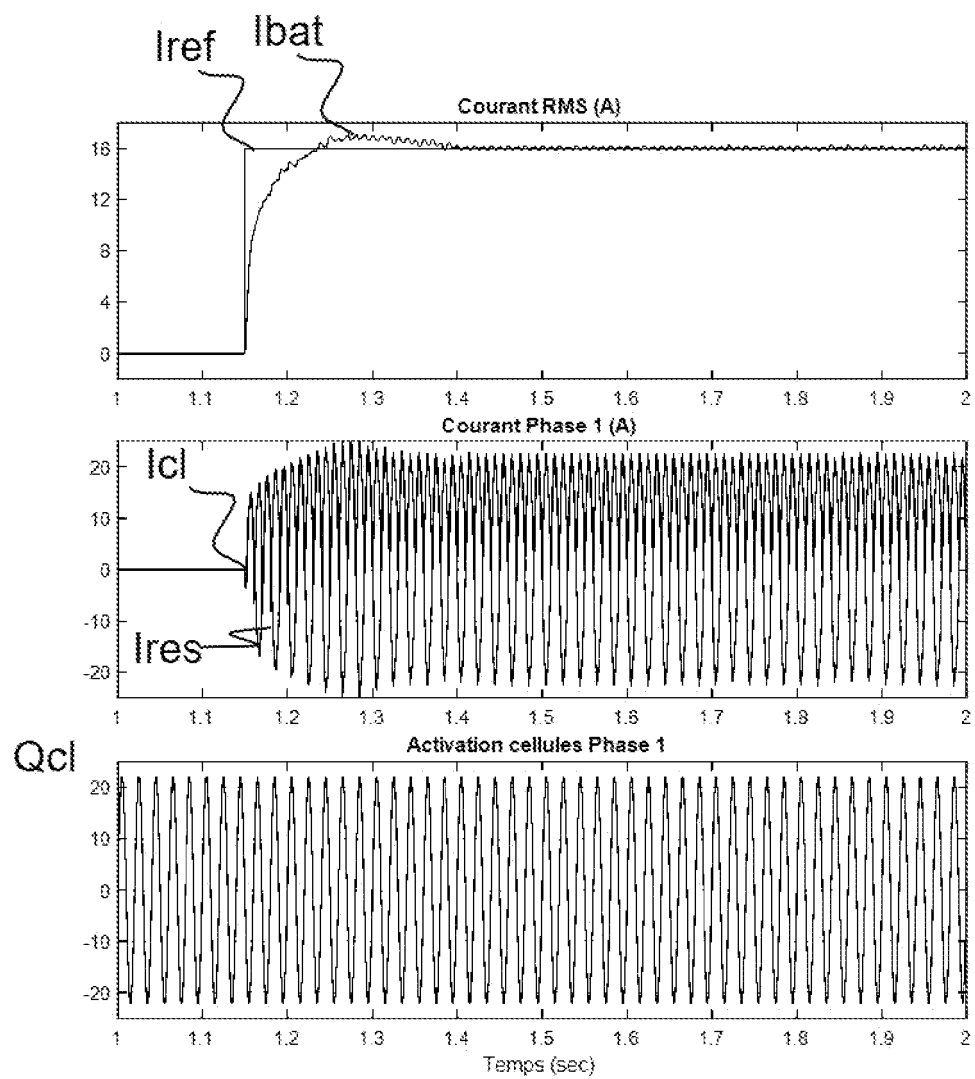
[Fig. 2]



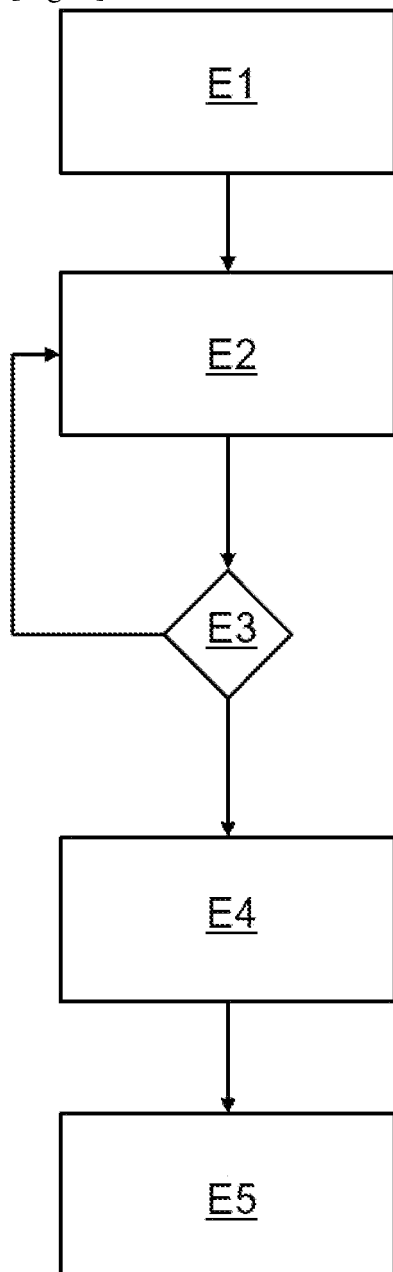
[Fig. 3]



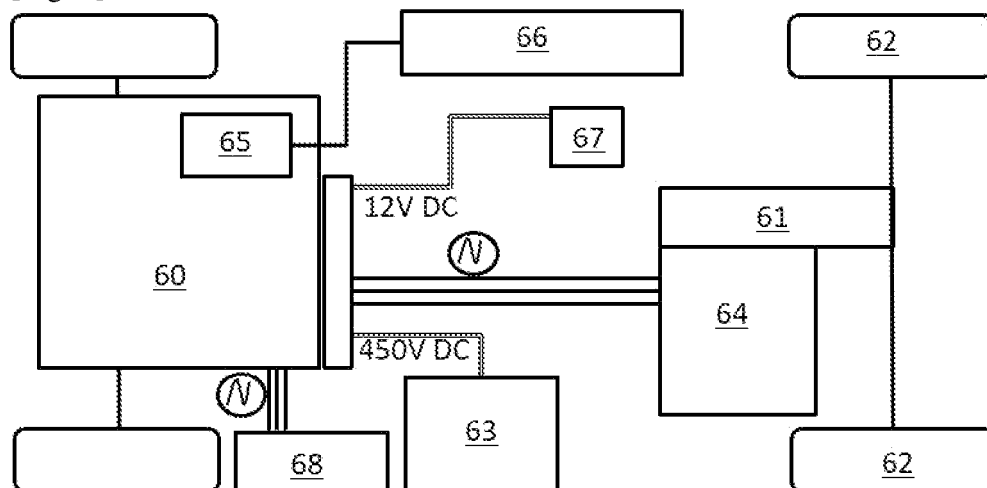
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 915522
FR 2300095

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2011/198936 A1 (GRAOVAC DUSAN [DE] ET AL) 18 août 2011 (2011-08-18) * alinéa [0110] * -----	1-10	H02J 3/00 H02J 7/00 H02J 7/36
X	WO 2019/199964 A1 (UNIV MARYLAND [US]) 17 octobre 2019 (2019-10-17) * figures 28-36 * -----	1-10	
A	US 5 642 275 A (PENG FANG ZHENG [US] ET AL) 24 juin 1997 (1997-06-24) * figures 2,4 * -----	1-10	
A	US 2021/288591 A1 (KUHN GERMAN [DE] ET AL) 16 septembre 2021 (2021-09-16) * alinéa [0031] * * alinéa [0032] * * alinéa [0034] * -----	1-10	
A	WO 2017/223267 A1 (UNIV WAYNE STATE [US]) 28 décembre 2017 (2017-12-28) * alinéa [0005] * * alinéa [0035] * * alinéa [0041] * * alinéa [0051] * * alinéa [0052] * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B60L H02M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 août 2023		Castagné, Olivier	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2300095 FA 915522**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **23-08-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2011198936 A1	18-08-2011	CN 102263524 A	30-11-2011
		DE 102011004248 A1	18-08-2011
		US 2011198936 A1	18-08-2011
		US 2013127251 A1	23-05-2013

WO 2019199964 A1	17-10-2019	US 2021155100 A1	27-05-2021
		WO 2019199964 A1	17-10-2019

US 5642275 A	24-06-1997	US 5642275 A	24-06-1997
		US RE37126 E	03-04-2001

US 2021288591 A1	16-09-2021	EP 3791466 A1	17-03-2021
		US 2021288591 A1	16-09-2021
		WO 2020007464 A1	09-01-2020

WO 2017223267 A1	28-12-2017	US 2020244076 A1	30-07-2020
		WO 2017223267 A1	28-12-2017
