

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

22 Date de dépôt : 07.06.12.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.12.13 Bulletin 13/50.

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 :

71 Demandeur(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : DENEVE ALEXANDRE.

73 Titulaire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme.

74 Mandataire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA Société anonyme.

54 **PROCEDE DE PILOTAGE D'UN SYSTEME DE STOCKAGE ET DE RESTITUTION D'ENERGIE ELECTRIQUE.**

57 La présente invention se rapporte à un procédé de pilotage d'un système de stockage et de restitution d'énergie électrique comprenant une étape de détermination d'une énergie  $SOE_0$  utile du système à un instant  $t$  de sorte que si  $P_{moy} < \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$ ,  $SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t)$ ; si  $P_{moy} > \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$  et  $\Delta t_1 > \Delta t_2$ ,  $SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t)$ ; et si  $P_{moy} > \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$  et  $\Delta t_1 < \Delta t_2$ ,

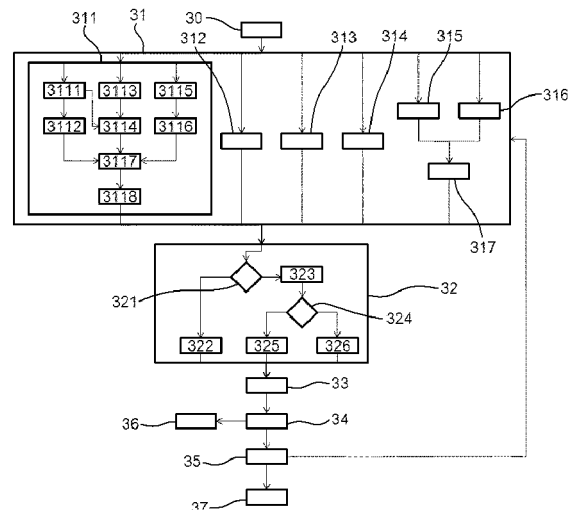
$$SOE_0(t) = \left[ 1 + \eta \frac{\min(P_{max2}, P_{max3})}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})} \right] SOE_1(t)$$

; avec  $SOE_1$  une énergie utile d'une première batterie,  $SOE_2$  une énergie utile d'une deuxième batterie,  $P_{moy}$  une puissance moyenne consommée par la première et la deuxième batterie,  $P_{max2}$  une puissance maximale de décharge continue de la deuxième batterie,  $P_{max3}$  une puissance maximale d'un convertisseur continu-continu reliant la deuxième à la première batterie,  $\eta$  un rendement du convertisseur,

$$\Delta t_1 = \frac{SOE_1(t)}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})} \text{ et } \Delta t_2 = \frac{SOE_2(t)}{\min(P_{max2}, P_{max3})}$$

; puis, une étape de pilotage du système en fonction de

l'énergie  $SOE_0$  utile dudit système.



## PROCEDE DE PILOTAGE D'UN SYSTEME DE STOCKAGE ET DE RESTITUTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

L'invention se rapporte à un procédé de pilotage d'un système de  
5 stockage et de restitution d'énergie électrique. L'invention trouve son  
application plus particulièrement, mais pas exclusivement, dans le domaine  
des véhicules, notamment automobiles.

Il est connu un procédé de pilotage d'un système de stockage et de  
restitution d'énergie électrique comprenant une première batterie reliée à une  
10 deuxième batterie par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu, la  
première batterie et le convertisseur étant reliés à au moins un élément  
consommateur d'énergie électrique et à au moins un élément producteur  
d'énergie électrique. Un tel procédé est par exemple décrit dans le document  
FR 2 933 356.

15 Il est classique qu'une batterie ou un ensemble de batteries soit piloté en  
fonction de l'énergie utile de la batterie ou de chacune des batteries à un  
instant courant  $t$ , c'est-à-dire en fonction de l'énergie que la batterie ou que  
chacune des batteries peut restituer à partir d'un instant  $t$  si elle est  
déchargée jusqu'à une limite opérationnelle basse de son état de charge, de  
20 sorte à optimiser l'utilisation de la batterie ou de l'ensemble de batteries.

Cependant, un tel pilotage ne permet pas de considérer un système de  
stockage et de restitution d'énergie électrique, tel que précédemment décrit,  
dans sa globalité, limitant ainsi l'optimisation énergétique de l'utilisation d'un  
tel système.

25 Un objectif de la présente invention est de résoudre ce problème  
technique.

Plus précisément, un objet de la présente invention est un procédé de  
pilotage d'un système de stockage et de restitution d'énergie électrique  
comprenant une première batterie reliée à une deuxième batterie par  
30 l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu, la première batterie et le  
convertisseur étant reliés à au moins un élément consommateur d'énergie

électrique et à au moins un élément producteur d'énergie électrique, ledit procédé comprenant une étape de détermination d'une énergie  $SOE_0$  utile du système à un instant courant  $t$  de sorte que :

$$\text{si } P_{\text{moy}} \leq \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}), SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t);$$

$$\text{si } P_{\text{moy}} > \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}) \text{ et } \Delta t_1 \geq \Delta t_2, SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t);$$

$$\text{si } P_{\text{moy}} > \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}) \text{ et } \Delta t_1 < \Delta t_2,$$

$$SOE_0(t) = \left[ 1 + \eta \frac{\min(P_{\text{max}2}, P_{\text{max}3})}{P_{\text{moy}} - \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3})} \right] SOE_1(t);$$

- avec  $SOE_1$  une énergie utile de la première batterie,  $SOE_2$  une énergie utile  
 5 de la deuxième batterie,  $P_{\text{moy}}$  une puissance moyenne consommée,  $P_{\text{max}2}$   
 une puissance maximale de décharge continue de la deuxième batterie,  
 $P_{\text{max}3}$  une puissance maximale du convertisseur du côté de la deuxième  
 batterie,  $\eta$  un rendement du convertisseur,  $\Delta t_1 = \frac{SOE_1(t)}{P_{\text{moy}} - \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3})}$  et  
 $\Delta t_2 = \frac{SOE_2(t)}{\min(P_{\text{max}2}, P_{\text{max}3})}$  ; puis une étape de pilotage du système en fonction de  
 10 l'énergie  $SOE_0$  utile dudit système.

- Un tel procédé présente l'avantage de permettre un pilotage du système  
 dans sa globalité, et non un pilotage de chacune des batteries du système  
 séparément, et donc de permettre d'une part une optimisation énergétique  
 de l'utilisation d'un tel système, et d'autre part de simplifier les interfaces de  
 15 contrôle dudit système.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend,  
 préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape de détermination  
 de l'énergie  $SOE$  utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie,  
 de sorte que :

$$SOE(t) = \int_{Q_{\text{min}}}^{Q(t)} OCV(Q) dQ - RI'(Q(t) - Q_{\text{min}}),$$

- 20 avec  $Q$  une charge de la batterie à l'instant courant  $t$ ,  $Q_{\text{min}}$  une charge limite  
 opérationnelle basse de ladite batterie,  $OCV$  une tension à vide aux bornes

de ladite batterie, R une résistance interne de ladite batterie, et I' une intensité moyenne traversant ladite batterie.

Selon une première variante, l'intégrale de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie est déterminée au moyen  
5 d'une cartographie  $K_{10}$ , définissant la tension à vide OCV aux bornes de la batterie en fonction d'un état de charge SOC et d'une température T de ladite batterie.

Selon une deuxième variante, l'intégrale de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie est déterminée de manière  
10 analytique, en considérant que :

$$OCV(Q) = \sum_{n=0}^N a_n Q^n,$$

avec  $a_n$  des coefficients dépendant d'une température T de la batterie.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend, préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape de détermination de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie,  
15 de sorte que :

$$SOE(t) = \int_{Q_{min}}^{Q(t)} \frac{OCV(Q) + \sqrt{OCV(Q)^2 - 4RP'}}{2} dQ,$$

avec Q une charge de la batterie à l'instant courant t,  $Q_{min}$  une charge limite opérationnelle basse de ladite batterie, OCV une tension à vide aux bornes de ladite batterie, R une résistance interne de ladite batterie, et P' une puissance moyenne de décharge de ladite batterie.

20 Préférentiellement, l'énergie SOE utile de la première et/ou de la deuxième batterie est déterminée de manière analytique en considérant que :

$$SOE(t) = \sum_{k=1}^K \left\{ \left[ \frac{1}{4} \left( 2b_{0,k}Q + b_{1,k}Q^2 + \frac{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)\sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'}}{b_{1,k}} \right) - \frac{4RP' \ln \left( b_{0,k} + b_{1,k}Q + \sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'} \right)}{b_{1,k}} \right] \right\}_{Q=Q_{k-1}}^{Q=Q_k}$$

avec  $b_{0,k}$  et  $b_{1,k}$  des coefficients dépendant d'une température  $T$  de la batterie.

Préférentiellement, le procédé comprend, préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape de détermination d'un temps  $t_r$  restant avant que le système ne puisse plus fournir d'énergie de sorte que  $t_r = \frac{SOE_0(t)}{P_{moy}}$ , le pilotage du système se faisant alors en fonction de l'énergie  $SOE_0$  utile du système et dudit temps  $t_r$  restant.

Préférentiellement, le procédé comprend, préalablement à l'étape de détermination de l'énergie  $SOE_0$  utile du système, une étape de mesure d'une température  $T_3$  du convertisseur ; une étape de mesure d'une puissance  $P_3$  délivrée par le convertisseur ; puis une étape de détermination du rendement  $\eta$  du convertisseur à partir de la température  $T_3$  et de la puissance  $P_3$  dudit convertisseur.

L'invention a également pour objet un système de stockage et de restitution d'énergie électrique comprenant une première batterie reliée à une deuxième batterie par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu, la première batterie et le convertisseur étant aptes à être reliés à au moins un élément consommateur d'énergie électrique et à au moins un élément producteur d'énergie électrique, ledit système étant caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de mise en œuvre du procédé tel que précédemment décrit.

L'invention a également pour objet un véhicule comprenant un système de stockage et de restitution d'énergie électrique tel que précédemment décrit.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci sont données à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent :

- Figure 1 : une vue schématique d'un système de stockage et de restitution d'énergie électrique, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 10 - Figure 2 : une vue schématique d'un dispositif de commande du système de stockage et de restitution d'énergie électrique, selon le mode de réalisation présenté à la figure 1 ;
- Figure 3 : un logigramme d'un procédé de pilotage du système de stockage et de restitution d'énergie, selon le mode de réalisation  
15 présenté à la figure 1.

La figure 1 montre une vue schématique d'un système 10 de stockage et de restitution d'énergie électrique selon un mode de réalisation de l'invention. Un tel système est par exemple utilisé dans un véhicule du type automobile.

Le système 10 comporte une première batterie 11 reliée à une deuxième  
20 batterie 12 par l'intermédiaire d'un convertisseur 13 continu-continu bidirectionnel. La première batterie 11 fait office de batterie principale, tandis que la deuxième batterie 12 sert de réserve.

Dans la suite de la description, les variables relatives au système 10 auront pour indice 0, les variables relatives à la batterie 11 principale auront  
25 pour indice 1, les variables relatives à la batterie 12 de réserve auront pour indice 2 et les variables relatives au convertisseur 13 auront pour indice 3.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le convertisseur 13 est dit dévolteur, c'est-à-dire qu'une tension délivrée en sortie dudit convertisseur est inférieure à une tension appliquée en entrée dudit convertisseur. Selon  
30 un autre mode de réalisation de l'invention, le convertisseur 13 est un survolteur, c'est-à-dire qu'une tension délivrée en sortie dudit convertisseur

est supérieure à une tension appliquée en entrée dudit convertisseur. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le convertisseur 13 est apte à travailler en tant que dévolteur et survolteur.

Le système 10 est alimenté en énergie électrique au moyen d'au moins un élément 14 producteur d'énergie électrique relié audit système entre la première batterie 11 et le convertisseur 13, de sorte que ledit élément 14 producteur permette de recharger directement la batterie 11 principale et de recharger la batterie 12 de réserve via le convertisseur 13. L'au moins un élément 14 producteur est par exemple une machine électrique en mode générateur.

Le système 10 alimente en énergie électrique au moins un élément 15 consommateur d'énergie électrique relié audit système entre la première batterie 11 et le convertisseur 13.

Dans la suite de la description, on se placera dans le cas où une puissance moyenne absorbée par l'au moins un élément 15 consommateur est strictement supérieure à une puissance moyenne délivrée par l'au moins un élément 14 producteur.

Le système 10 comporte également un dispositif 16 de commande dont la figure 2 est une représentation schématique. Le dispositif 16 de commande comporte un microprocesseur 17, une mémoire 18 de données, une mémoire 19 de programmes et au moins un bus 20 de communication. La mémoire 18 de données peut par exemple être modifiée au moyen d'un panneau d'interface (non représenté).

Dans l'exemple, le dispositif 16 de commande est relié par une interface 21 d'entrée à un premier moyen 22 de mesure d'une température  $T_1$  de la batterie 11 principale, à un deuxième moyen 23 de mesure d'une température  $T_2$  de la batterie 12 de réserve, et à un troisième moyen 24 de mesure d'une température  $T_3$  du convertisseur 13. Le dispositif 16 de commande est également relié par l'interface 21 d'entrée à un quatrième moyen 25 de mesure d'une puissance  $P_3$  aux bornes du convertisseur 13, à un cinquième moyen 26 de mesure d'une intensité  $I_1$  traversant la batterie 11

principale, et à un sixième moyen 27 de mesure d'une intensité  $I_2$  traversant la batterie 12 de réserve.

Selon une variante, les cinquième et sixième moyens (26, 27) de mesure des intensités ( $I_1$ ,  $I_2$ ) de chacune des batteries (11, 12) sont remplacés par des moyens de mesure d'une puissance  $P$  de décharge de chacune desdites batteries.

Le dispositif 16 de commande est relié par une interface 28 de sortie au système 10, de sorte à transmettre des instructions de fonctionnement audit système 10. Le dispositif 16 de commande pilote le système 10 en fonction d'une énergie  $SOE_0$  utile dudit système à un instant courant  $t$ .

De manière générale, on entend par énergie SOE utile d'une batterie, l'énergie que peut restituer une batterie si elle est déchargée jusqu'à une limite opérationnelle basse  $SOC_{min}$  de son état de charge, au-delà de laquelle ladite batterie n'est plus opérationnelle, pour un courant constant de décharge donné, ou une puissance constante de décharge donnée. Par analogie, on considèrera que l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 est l'énergie que peut restituer ledit système avant que la batterie 11 principale n'atteigne la limite opérationnelle basse  $SOC_{min}$  de son état de charge, la batterie 12 de réserve devant également rester dans sa plage opérationnelle d'état de charge.

L'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) à l'instant courant  $t$  est déterminée comme suit.

On définit, pour une intensité  $I$  de décharge traversant une batterie, la relation suivante :

$$SOE(t) = \int_t^{t_{SOC_{min}}} U(\tau)I(\tau)d\tau = - \int_{Q(t)}^{Q_{min}} U(Q)dQ,$$

$$\text{avec } t_{SOC_{min}} \geq t, \text{ soit } Q_{min} \leq Q(t),$$

avec  $t_{SOC_{min}}$  l'instant auquel la batterie atteint la limite opérationnelle basse  $SOC_{min}$  de son état de charge,  $U$  une tension aux bornes de ladite batterie,



$Q_{min}$  une charge limite opérationnelle basse de ladite batterie, et  $Q$  une charge de ladite batterie à l'instant courant  $t$ .

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, on considère un modèle de transfert courant/tension d'une batterie  $U = OCV(SOC(\tau)) - RI =$   
 5  $OCV\left(\frac{Q(\tau)}{Q_M}\right) - RI$ , avec  $R$  une résistance interne de ladite batterie,  $OCV$  une tension à vide aux bornes de ladite batterie dépendant d'un état de charge  $SOC$  de ladite batterie, et  $Q_M$  une charge maximale de ladite batterie correspondant à une capacité nominale de la batterie à neuf. L'énergie  $SOE$  utile de la batterie est alors approximée par :

$$SOE(t) \approx \int_{Q_{min}}^{Q(t)} OCV(Q)dQ - RI'(Q(t) - Q_{min}),$$

10 où  $I'$  correspond à une intensité moyenne de décharge de la batterie.

De manière analytique, l'intégrale peut par exemple être calculée en approximant la tension  $OCV$  à vide aux bornes de la batterie par un polynôme de degré  $N$ , tel que :  $OCV(Q) = \sum_{n=0}^N a_n Q^n$ , où les coefficients  $a_n$  peuvent varier en fonction de la température  $T$  de la batterie. L'expression de  
 15 l'énergie  $SOE$  utile s'exprime alors de la manière suivante :

$$SOE(t) = \left[ \sum_{n=1}^{N+1} \frac{a_{n-1}}{n} Q^n - RI' \right]_{Q_{min}}^{Q(t)}.$$

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, l'énergie  $SOE$  utile de la batterie peut être appréciée en fonction d'une puissance  $P'$  moyenne de décharge de ladite batterie. L'énergie  $SOE$  utile de la batterie est alors approximée par :

$$SOE(t) \approx \int_{Q_{min}}^{Q(t)} \frac{OCV(Q) + \sqrt{OCV(Q)^2 - 4RP'}}{2} dQ.$$

20 De manière analytique, l'intégrale peut par exemple être calculée en approximant la tension  $OCV$  à vide aux bornes de la batterie par une fonction

continue affine par morceaux, telle que pour K segments de droite, on obtienne :

$$OCV(Q) = \begin{cases} b_{0,1} + b_{1,1}Q \text{ si } Q \in [Q_{min}; Q_1] \\ b_{0,2} + b_{1,2}Q \text{ si } Q \in [Q_1; Q_2] \\ \vdots \\ b_{0,k} + b_{1,k}Q \text{ si } Q \in [Q_{k-1}; Q_k] \\ \vdots \\ b_{0,K-1} + b_{1,K-1}Q \text{ si } Q \in [Q_{K-2}; Q_{K-1}] \\ b_{0,K} + b_{1,K}Q \text{ si } Q \in [Q_{K-1}; Q(t)] \end{cases} ,$$

où les coefficients  $b_{0,k}$  et  $b_{1,k}$  du segment de droite k peuvent varier en fonction de la température T de la batterie. L'expression de l'énergie SOE utile de la batterie s'exprime alors de la manière suivante :

$$SOE(t) = \sum_{k=1}^K \left\{ \left[ \frac{1}{4} \left( 2b_{0,k}Q + b_{1,k}Q^2 + \frac{(b_{0,k} + b_{1,k}Q) \sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'}}{b_{1,k}} \right) - \frac{4RP' \ln \left( b_{0,k} + b_{1,k}Q + \sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'} \right)}{b_{1,k}} \right] \right\}_{Q=Q_{k-1}}^{Q=Q_k} .$$

L'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 en décharge à l'instant courant t est déterminée comme suit.

Dans un premier cas, on considère que la batterie 12 de réserve est en mesure de compenser une puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée, c'est à dire que  $P_{moy} \leq \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$ , avec  $P_{max2}$  une puissance maximale de décharge continue de la batterie 12 de réserve,  $P_{max3}$  une puissance maximale du convertisseur 13 du côté de ladite batterie de réserve, et  $\eta$  un rendement du convertisseur 13. On entend par « puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée » une puissance résultant de la différence entre la puissance moyenne absorbée par l'au moins un élément 15 consommateur et la puissance moyenne délivrée par l'au moins un élément 14 producteur.

Ainsi, si  $P_{moy} \leq \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$ , l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 à l'instant courant t est donnée par la relation suivante :

$$SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t),$$

avec  $SOE_1$  et  $SOE_2$  les énergies utiles de chacune des batteries (11, 12) calculées tel que précédemment décrit.

Dans un deuxième cas, on considère que la batterie 12 de réserve n'est pas en mesure de fournir la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée, c'est-à-dire que  $P_{moy} > \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$ .

Dans ce cas, on émet l'hypothèse que la batterie 12 de réserve fournit la puissance la plus importante possible, de sorte à utiliser au maximum l'énergie  $SOE_2$  utile de ladite batterie de réserve et donc à freiner au mieux la décharge de la batterie 11 principale.

On estime alors les énergies ( $SOE_1$ ,  $SOE_2$ ) utiles de chacune des batteries (11, 12) à un temps  $t + \Delta t$ . On obtient ainsi :

$$SOE_1(t + \Delta t) = SOE_1(t) - (P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3}))\Delta t,$$

$$SOE_2(t + \Delta t) = SOE_2(t) - \min(P_{max2}, P_{max3}) \Delta t.$$

Puis, on définit des temps ( $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ) d'annulation des énergies ( $SOE_1$ ,  $SOE_2$ ) utiles de chacune des batteries (11, 12), de sorte à déterminer laquelle des deux batteries (11, 12) sera épuisée en premier. On obtient :

$$\Delta t_1 = \frac{SOE_1(t)}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})},$$

$$\Delta t_2 = \frac{SOE_2(t)}{\min(P_{max2}, P_{max3})}.$$

On distingue alors le cas où la batterie 12 de réserve sera épuisée avant la batterie 11 principale, c'est dire lorsque  $\Delta t_1 \geq \Delta t_2$ , et le cas où la batterie 11 principale sera épuisée avant la batterie 12 de réserve, c'est-à-dire lorsque  $\Delta t_1 < \Delta t_2$ .

Ainsi, si  $\Delta t_1 \geq \Delta t_2$ , l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 à un instant  $t$  est définie par la relation suivante :

$$SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t).$$

Sinon, l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 à un instant  $t$  est définie par la relation suivante :

$$SOE_0(t) = \left[ 1 + \eta \frac{\min(P_{max2}, P_{max3})}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})} \right] SOE_1(t).$$

A partir de l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 déterminée tel que précédemment décrit, il est possible de déduire un temps  $t_r$  restant avant que ledit système ne soit plus opérationnel, c'est-à-dire avant que ledit système ne puisse plus fournir d'énergie. Le temps  $t_r$  restant est défini tel que :

$$t_r = \frac{SOE_0(t)}{P_{moy}}.$$

5 La figure 3 montre un logigramme d'un procédé de pilotage du système 10, selon un mode de réalisation de l'invention. Ledit procédé est commandé par un programme 29 enregistré dans la mémoire 19 de programmes du dispositif 16 de commande. Un tel procédé se déroule comme suit.

Au cours d'une étape 30, la décharge du système 10 est démarrée.

10 Puis, la puissance SOE utile de chacune des batteries (11, 12), la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée, la puissance  $P_{max2}$  maximale de la batterie 12 de réserve, la puissance  $P_{max3}$  maximale du convertisseur 13 et le rendement  $\eta$  du convertisseur 13 sont ensuite déterminés dans une étape 31.

15 Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, la puissance SOE utile de chacune des batteries (11, 12) est déterminée dans une étape 311 en fonction de l'intensité  $I'$  moyenne de chacune desdites batteries, c'est-à-dire en considérant l'expression suivante :

$$SOE(t) = \int_{Q_{min}}^{Q(t)} OCV(Q) dQ - RI'(Q(t) - Q_{min}).$$

20 L'étape 311 de détermination de l'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) se déroule de la manière suivante.

L'état de charge SOC de chacune des batteries (11, 12) est déterminé au cours d'une étape 3111, et permet, combiné à la charge  $Q_M$  maximale de chacune desdites batteries préenregistrée dans la mémoire 18 de données

du dispositif 16 de commande, de déterminer la charge  $Q$  de chacune des batteries (11, 12) à l'instant courant  $t$  dans une étape 3112.

L'état de charge SOC de chacune des batteries (11, 12) permet également, combiné à la température  $T$  de chacune desdites batteries mesurée dans une étape 3113 par l'intermédiaire des premier et deuxième  
5 moyens (22, 23) de mesure, de déterminer la résistance  $R$  interne de chacune des batteries (11, 12) à une étape 3114.

L'intensité  $I$  traversant chacune des batteries (11, 12) est également mesurée par l'intermédiaire des cinquième et sixième moyens (26, 27) de  
10 mesure dans une étape 3115. Puis, l'intensité  $I'$  moyenne de chacune des batteries (11, 12) est déterminée à une étape 3116 à partir de l'intensité  $I$  traversant chacune desdites batteries, mesurée à l'étape 3115.

Les étapes 3111 à 3116 peuvent être réalisées de manière simultanée ou dans un ordre prédéfini.

15 Enfin, une étape 3117 de calcul de l'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) est réalisée.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le calcul de l'intégrale  $\int_{Q_{min}}^{Q(t)} OCV(Q)dQ$  est réalisé au moyen d'une cartographie  $K_{10}$ , définissant la tension à vide OCV aux bornes de chacune des batteries (11, 12) en fonction  
20 de l'état de charge SOC et de la température  $T$  de chacune desdites batteries, préenregistrée dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le calcul de l'intégrale  $\int_{Q_{min}}^{Q(t)} OCV(Q)dQ$  est réalisé de manière analytique, en considérant que  $OCV(Q) = \sum_{n=0}^N a_n Q^n$ , avec les coefficients  $a_n$  déterminés en fonction de  
25 la température  $T$  de chacune des batteries (11, 12).

Le calcul du produit  $RI'(Q(t) - Q_{min})$  est réalisé à partir de la charge  $Q$  à l'instant courant  $t$ , de la résistance  $R$  interne et de l'intensité  $I'$  moyenne de chacune des batteries (11, 12) respectivement déterminées au cours des étapes 3112, 3114, 3116, ainsi que de la charge  $Q_{min}$  limite opérationnelle

basse de chacune desdites batteries préenregistrée dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande.

Enfin, l'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) est enregistrée dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande à une étape 3118.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, l'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) est déterminée en fonction de la puissance P' moyenne de décharge de chacune desdites batteries, c'est-à-dire en considérant que  $SOE(t) = \int_{Q_{min}}^{Q(t)} \frac{OCV(Q) + \sqrt{OCV(Q)^2 - 4RP'}}{2} dQ$ , l'étape 311 de détermination de l'énergie SOE utile de chacune des batteries comporte alors, à la place de l'étape 3115 de mesure de l'intensité I traversant chacune des batteries (11, 12), une étape de mesure de la puissance P de décharge de chacune des batteries (11, 12), puis une étape de détermination de la puissance P' moyenne de décharge de chacune desdites batteries à partir de la puissance P de décharge mesurée à l'étape précédente. Enfin, le calcul de l'énergie SOE utile de chacune des batteries (11, 12) est effectué de manière analytique à partir de la charge Q à l'instant courant t, de la puissance P' moyenne de décharge, et de la résistance R interne de chacune desdites batteries, ainsi que des coefficients  $b_{0,k}$  et  $b_{1,k}$  déterminés en fonction de la température T de chacune desdites batteries.

Puis, la détermination de la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée est réalisée au cours d'une étape 312. Selon un mode de réalisation de l'invention, la détermination de la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée est basée sur un modèle d'évolution de la consommation préenregistré dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la détermination de la puissance  $P_{moy}$  moyenne est basée sur la consommation passée et présente au moyen d'un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure adaptée.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, la puissance  $P_{max2}$  maximale de la batterie 12 de réserve est préenregistrée

dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande. La puissance  $P_{\max 2}$  maximale de la batterie 12 de réserve est alors déterminée au cours d'une étape 313 d'acquisition de ladite puissance maximale dans la mémoire 18 de données. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la détermination 313 de la puissance maximale de la batterie 12 de réserve est réalisée au moyen d'un dispositif de contrôle intégré à ladite batterie de réserve.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, la puissance  $P_{\max 3}$  maximale du convertisseur 13 est préenregistrée dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande. La puissance  $P_{\max 3}$  maximale du convertisseur 13 est alors déterminée au cours d'une étape 314 d'acquisition de ladite puissance  $P_{\max 3}$  maximale dans la mémoire 18 de données. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la puissance  $P_{\max 3}$  maximale du convertisseur 13 est déterminée en fonction de la température  $T_3$  dudit convertisseur.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, la température  $T_3$  du convertisseur 13, ainsi que la puissance  $P_3$  délivrée par ledit convertisseur sont respectivement mesurée par l'intermédiaire des troisième et quatrième moyens (24, 25) de mesure, au cours d'une étape 315 et d'une étape 316. Ainsi, le rendement  $\eta$  du convertisseur 13 est déterminé dans une étape 317, à partir de la température  $T_3$  dudit convertisseur et de la puissance  $P_3$  dudit convertisseur, au moyen d'une cartographie  $K_{11}$  préenregistrée dans la mémoire 18 de données du dispositif 16 de commande. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le rendement  $\eta$  du convertisseur 13 est considéré comme constant et est préalablement enregistré dans la mémoire 18 de données.

Dans l'exemple, les déterminations 31 de la puissance SOE utile de chacune des batteries (11, 12), de la puissance  $P_{\text{moy}}$  moyenne consommée, de la puissance  $P_{\max 2}$  maximale de la batterie 12 de réserve, de la puissance  $P_{\max 3}$  maximale du convertisseur 13 et du rendement  $\eta$  du convertisseur 13 sont réalisées de manière simultanée. Cependant, il pourrait également être

défini un ordre particulier de réalisation desdites déterminations 31 des différentes variables.

L'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 est ensuite déterminée dans une étape 32 en fonction de la puissance SOE utile de chacune des batteries (11, 5 12), de la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée, de la puissance  $P_{max2}$  maximale de la batterie 12 de réserve, de la puissance  $P_{max3}$  maximale du convertisseur 13 et du rendement  $\eta$  du convertisseur 13.

L'étape 32 de détermination de l'énergie utile  $SOE_0$  du système 10 comporte une étape 321 de comparaison entre la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée et le minimum entre un produit du rendement  $\eta$  du convertisseur 13 avec la puissance  $P_{max2}$  maximale de la batterie 12 de réserve et un produit du rendement  $\eta$  du convertisseur 13 avec la puissance  $P_{max3}$  maximale du convertisseur 13. 10

S'il s'avère que  $P_{moy} \leq \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})$ , alors il est déduit à une 15 étape 322 que :  $SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t)$ .

Sinon, les temps ( $\Delta t_1, \Delta t_2$ ) d'annulation des énergies ( $SOE_1, SOE_2$ ) utiles de chacune des batteries (11, 12) sont calculés au cours d'une étape 323, de sorte que :

$$\Delta t_1 = \frac{SOE_1(t)}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})}$$

$$\Delta t_2 = \frac{SOE_2(t)}{\min(P_{max2}, P_{max3})}$$

avec  $SOE_1$  et  $SOE_2$  les énergies utiles de chacune des batteries (11, 12) 20 déterminées à l'étape 311.

Puis, les temps ( $\Delta t_1, \Delta t_2$ ) d'annulation des énergies ( $SOE_1, SOE_2$ ) utiles de chacune des batteries (11, 12) sont comparés au cours d'une étape 324.

Si  $\Delta t_1 \geq \Delta t_2$ , alors il est déduit dans une étape 325 que :

$$SOE_0 = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t).$$

Sinon, il est déduit dans une étape 326 que :

$$SOE_0(t) = \left[ 1 + \eta \frac{\min(P_{max2}, P_{max3})}{P_{moy} - \min(\eta P_{max2}, \eta P_{max3})} \right] SOE_1(t).$$



L'énergie utile  $SOE_0$  du système 10 déterminée à l'étape 32 est ensuite enregistrée dans la mémoire 18 de données à une étape 33.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, le procédé comporte en outre une étape 34 de détermination du temps  $t_r$  restant avant que le système 10 ne soit plus opérationnel en fonction de l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 et de la puissance  $P_{moy}$  moyenne consommée, de sorte que :

$$t_r = \frac{SOE_0(t)}{P_{moy}}.$$

De cette manière, une étape 35 de pilotage du système 10 peut être réalisée en fonction de l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 et du temps  $t_r$  restant. L'étape 35 de pilotage du système 10 peut par exemple comprendre une comparaison de l'énergie  $SOE_0$  utile du système 10 avec l'énergie  $SOE_1$  utile de la batterie 11 principale à l'instant  $t$  courant, de sorte à définir s'il est énergétiquement plus économique de faire fonctionner la batterie 11 principale et la batterie 12 de réserve ensemble ou la batterie 11 principale seule.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, le temps  $t_r$  restant est affiché sur le panneau d'interface à une étape 36, de sorte à informer un utilisateur.

Selon le mode de réalisation de l'invention présenté à la figure 3, les étapes 31 à 35 forment une boucle qui se répète jusqu'à un arrêt de la décharge du système 10 à une étape 37.

Un tel procédé de pilotage du système 10 présente l'avantage de permettre une optimisation énergétique de l'utilisation dudit système, mais aussi de simplifier les interfaces de commande avec un pilotage du système 10 dans sa globalité et non un pilotage de chacune des batteries (11, 12) séparément.

## REVENDICATIONS

1 – Procédé de pilotage d'un système (10) de stockage et de restitution d'énergie électrique comprenant une première batterie (11) reliée à une  
 5 deuxième batterie (12) par l'intermédiaire d'un convertisseur (13) continu-continu, la première batterie et le convertisseur étant reliés à au moins un élément (15) consommateur d'énergie électrique et à au moins un élément (14) producteur d'énergie électrique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

10 - détermination (31) d'une énergie  $SOE_0$  utile du système à un instant courant  $t$  de sorte que :

$$\text{si } P_{\text{moy}} \leq \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}), SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t);$$

$$\text{si } P_{\text{moy}} > \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}) \text{ et } \Delta t_1 \geq \Delta t_2, SOE_0(t) = SOE_1(t) + \eta SOE_2(t);$$

$$\text{si } P_{\text{moy}} > \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3}) \text{ et } \Delta t_1 < \Delta t_2,$$

$$SOE_0(t) = \left[ 1 + \eta \frac{\min(P_{\text{max}2}, P_{\text{max}3})}{P_{\text{moy}} - \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3})} \right] SOE_1(t);$$

avec  $SOE_1$  une énergie utile de la première batterie,  $SOE_2$  une  
 énergie utile de la deuxième batterie,  $P_{\text{moy}}$  une puissance moyenne  
 consommée,  $P_{\text{max}2}$  une puissance maximale de décharge continue de  
 15 la deuxième batterie,  $P_{\text{max}3}$  une puissance maximale du convertisseur  
 en vis-à-vis de la deuxième batterie,  $\eta$  un rendement du convertisseur,

$$\Delta t_1 = \frac{SOE_1(t)}{P_{\text{moy}} - \min(\eta P_{\text{max}2}, \eta P_{\text{max}3})} \text{ et } \Delta t_2 = \frac{SOE_2(t)}{\min(P_{\text{max}2}, P_{\text{max}3})};$$

- pilotage (35) du système en fonction de l'énergie  $SOE_0$  utile dudit  
 système.

20

2 – Procédé selon la revendication 1, comprenant, préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape (311) de détermination de l'énergie  $SOE$  utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie, de sorte que :

$$SOE(t) = \int_{Q_{\text{min}}}^{Q(t)} OCV(Q) dQ - RI'(Q(t) - Q_{\text{min}}),$$

avec  $Q$  une charge de la batterie à l'instant courant  $t$ ,  $Q_{\min}$  une charge limite opérationnelle basse de ladite batterie,  $OCV$  une tension à vide aux bornes de ladite batterie,  $R$  une résistance interne de ladite batterie, et  $I'$  une intensité moyenne de ladite batterie.

5

3 – Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'intégrale de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie est déterminée au moyen d'une cartographie  $K_{10}$ , définissant la tension à vide  $OCV$  aux bornes de la batterie en fonction d'un état de charge SOC et d'une température  $T$  de ladite batterie.

10

4 – Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'intégrale de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie est déterminée de manière analytique en considérant que :

$$OCV(Q) = \sum_{n=0}^N a_n Q^n,$$

15 avec  $a_n$  des coefficients dépendant d'une température  $T$  de la batterie.

5 – Procédé selon la revendication 1, comprenant, préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape de détermination de l'énergie SOE utile de la première batterie et/ou de la deuxième batterie, de sorte que :

$$SOE(t) = \int_{Q_{\min}}^{Q(t)} \frac{OCV(Q) + \sqrt{OCV(Q)^2 - 4RP'}}{2} dQ$$

20 avec  $Q$  une charge de la batterie à l'instant courant  $t$ ,  $Q_{\min}$  une charge limite opérationnelle basse de ladite batterie,  $OCV$  une tension à vide aux bornes de ladite batterie,  $R$  une résistance interne de ladite batterie, et  $P'$  une puissance moyenne de décharge de ladite batterie.

6 – Procédé selon la revendication 5, dans lequel l'énergie SOE utile de la première et/ou de la deuxième batterie est déterminée de manière analytique en considérant que :

$$SOE(t) = \sum_{k=1}^K \left\{ \left[ \frac{1}{4} \left( 2b_{0,k}Q + b_{1,k}Q^2 + \frac{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)\sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'}}{b_{1,k}} \right) - \frac{4RP' \ln \left( b_{0,k} + b_{1,k}Q + \sqrt{(b_{0,k} + b_{1,k}Q)^2 - 4RP'} \right)}{b_{1,k}} \right] \right\}_{Q=Q_{k-1}}^{Q=Q_k}$$

avec  $b_{0,k}$  et  $b_{1,k}$  des coefficients dépendant d'une température T de la batterie.

7 – Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant, préalablement à l'étape de pilotage du système, une étape (34) de détermination d'un temps  $t_r$  restant avant que le système ne puisse plus fournir d'énergie, de sorte que  $t_r = \frac{SOE_0(t)}{P_{moy}}$ , le pilotage du système se faisant alors en fonction de l'énergie  $SOE_0$  utile du système et dudit temps  $t_r$  restant.

8 – Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant, préalablement à l'étape de détermination de l'énergie utile  $SOE_0$  du système, les étapes suivantes :

- mesure (315) d'une température  $T_3$  du convertisseur ;
- mesure (316) d'une puissance  $P_3$  du convertisseur ;
- détermination (317) du rendement  $\eta$  du convertisseur à partir de la température  $T_3$  et de la puissance  $P_3$  délivrée dudit convertisseur.

20

9 – Système (10) de stockage et de restitution d'énergie électrique comprenant une première batterie (11) reliée à une deuxième batterie (12) par l'intermédiaire d'un convertisseur (13) continu-continu, la première

batterie et le convertisseur étant aptes à être reliés à au moins un élément (15) consommateur d'énergie électrique et à au moins un élément (14) producteur d'énergie électrique, ledit système étant caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (29) de mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 8.

10 – Véhicule comprenant un système (10) de stockage et de restitution d'énergie électrique selon la revendication 9.

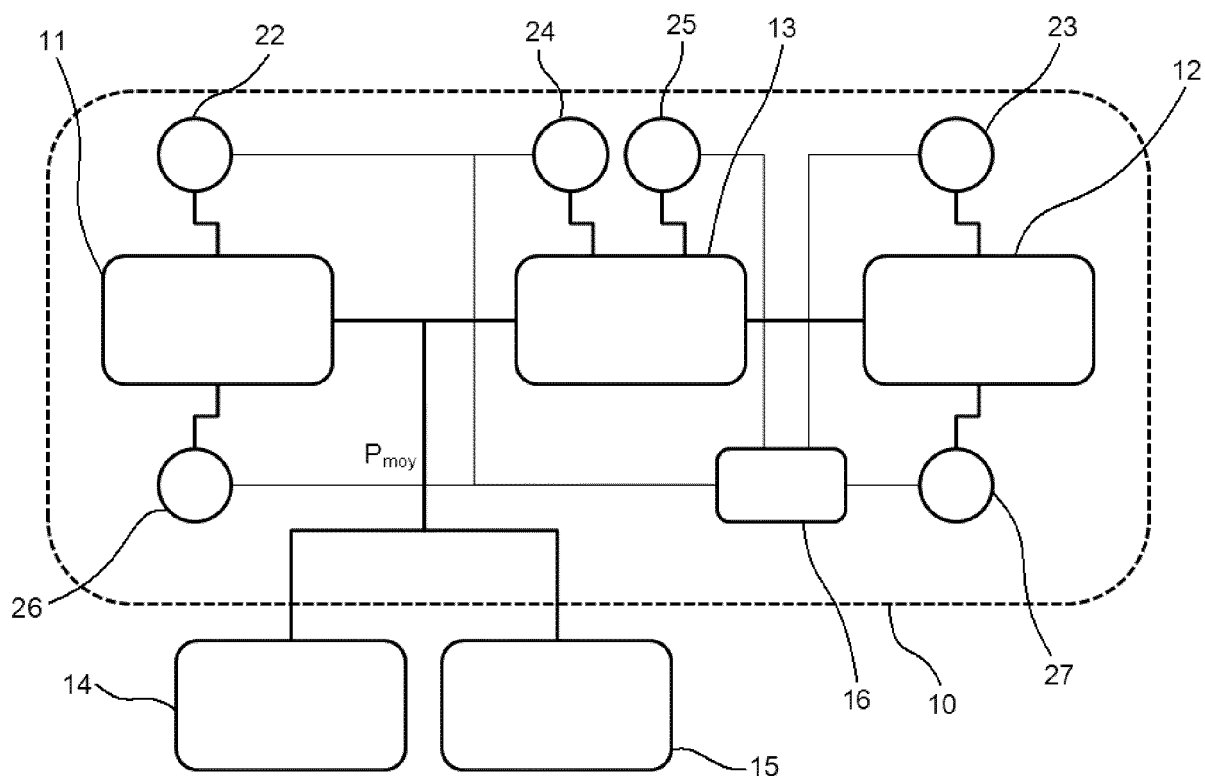


Figure 1

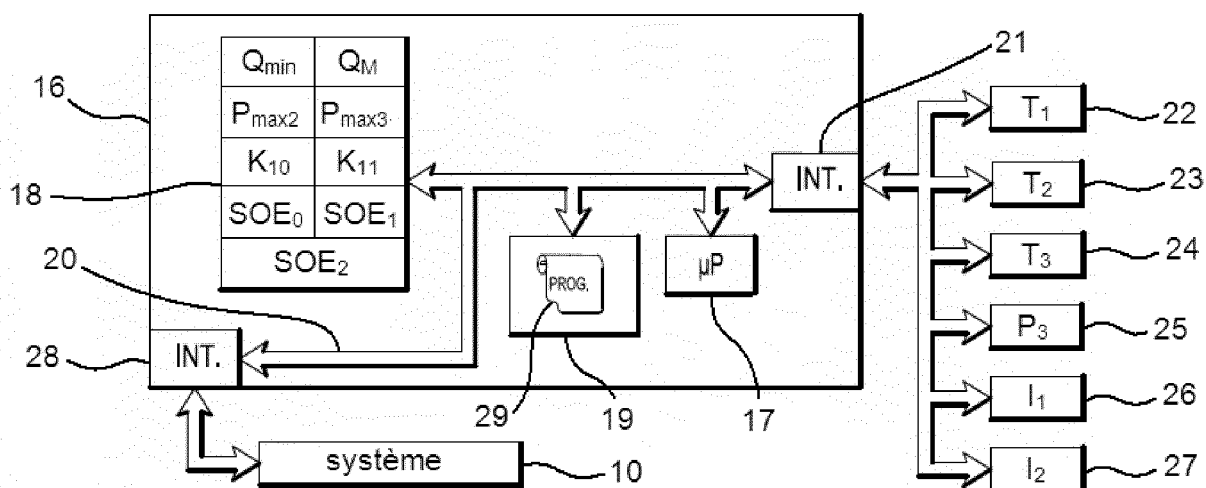


Figure 2

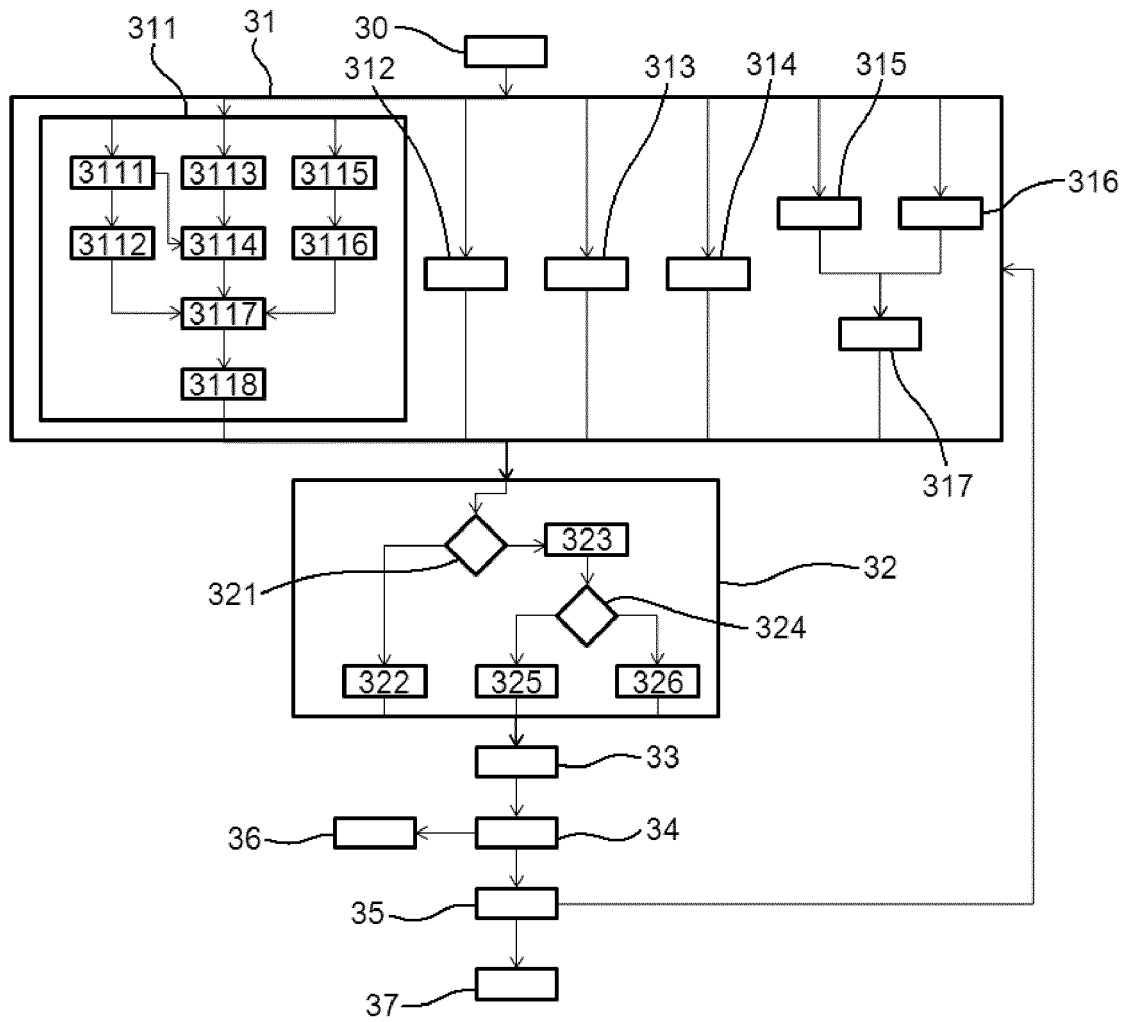


Figure 3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 766581  
FR 1255330

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		
Y	FR 2 933 356 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA) 8 janvier 2010 (2010-01-08) * figure 2 *	1,7-10	H02J7/00 B60W10/26  DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  B60K H02J B60L B60R
Y	US 2011/068755 A1 (SCHAEFERT ARTHUR [DE] ET AL) 24 mars 2011 (2011-03-24) * figure 2 * * alinéa [0012] - alinéa [0013] *	1,7-10	
A	EP 2 112 014 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 28 octobre 2009 (2009-10-28) * figures 1,2,3,15 *	1,9	
A	US 2008/218104 A1 (LUKIC SRDJAN [US] ET AL) 11 septembre 2008 (2008-09-11) * figures 4,5 *	1,9	
A	EP 2 439 098 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 11 avril 2012 (2012-04-11) * figure 4 *	1,9	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 février 2013		Despis, Enguerran	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1255330 FA 766581**

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 **28-02-2013**

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
FR 2933356	A1	08-01-2010	CN 102083665 A	01-06-2011
			EP 2293965 A1	16-03-2011
			FR 2933356 A1	08-01-2010
			JP 2011526561 A	13-10-2011
			US 2011108340 A1	12-05-2011
			WO 2010001070 A1	07-01-2010
-----				
US 2011068755	A1	24-03-2011	DE 102009029689 A1	24-03-2011
			US 2011068755 A1	24-03-2011
-----				
EP 2112014	A1	28-10-2009	CN 101610930 A	23-12-2009
			EP 2112014 A1	28-10-2009
			JP 4179383 B2	12-11-2008
			JP 2008199781 A	28-08-2008
			US 2010065351 A1	18-03-2010
			WO 2008099953 A1	21-08-2008
-----				
US 2008218104	A1	11-09-2008	AUCUN	
-----				
EP 2439098	A1	11-04-2012	CN 102458904 A	16-05-2012
			EP 2439098 A1	11-04-2012
			US 2012143425 A1	07-06-2012
			WO 2010140253 A1	09-12-2010
-----				