

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 septembre 2007 (27.09.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/107576 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B60L 7/22 (2006.01) *B60L 11/18* (2006.01)
B60L 7/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2007/052660

(22) Date de dépôt international : 20 mars 2007 (20.03.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0602551 23 mars 2006 (23.03.2006) FR
0606022 26 juin 2006 (26.06.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : MICHE-
LIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A. [CH/CH];
Route Louis Braille 10, CH-1763 Granges-Paccot (CH).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BOURQUI,
Gérald [CH/CH]; Chemin de la Forêt 6, CH-1752 Vil-
lars-sur-Glâne (CH). CUDRE-MAUROUX, Fabrice
[CH/CH]; Route du Lac 67, CH-1757 Noreaz (CH).
LAURENT, Daniel [FR/CH]; Route du Roule 8, CH-1723
Marly (CH). LINDA, Jean-Louis [FR/CH]; Impasse du
Ruisseau 6, CH-1635 La Tour-de-Treme (CH).

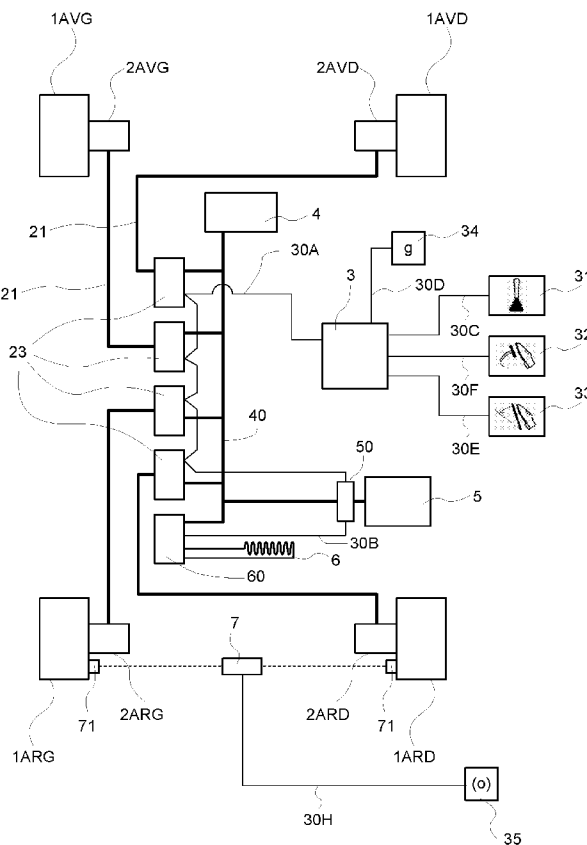
(74) Mandataire : BAUVIR, Jacques; Manufacture
Française des Pneumatiques MICHELIN, 23, place
des Carmes-Déchaux, SGD/LG/PI- F35- Ladoux, F-63040
Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ELECTRIC BRAKING SYSTEM FOR A ROAD VEHICLE, WITH ALL-ELECTRIC CONTROL

(54) Titre : SYSTÈME DE FREINAGE ÉLECTRIQUE D'UN VÉHICULE ROUTIER, À CONTRÔLE TOTALEMENT ÉLEC-
TRIQUE



(57) Abstract: The invention provides an electric braking system for a road vehicle equipped with wheels (1) having all-electric control, these wheels each being rotationally connected to at least one rotating electric machine (2) specific thereto, an electronic wheel control module (23) which controls the electric machine or machines of one and the same wheel, each electronic wheel control module making it possible to selectively impose on the wheel in question a defined control torque in terms of amplitude and sign, such that the wheel in question imposes on the vehicle a driving force or a braking force according to said defined control torque, the system comprising a central processing unit (3) which manages the movement of the vehicle, said central processing unit (3) controlling all the electronic wheel control modules (23), said central processing unit having a vehicle braking operating mode activated by a vehicle braking control signal having a given amplitude representative of the total braking force desired for said wheels having all-electric control, wherein, in the braking mode, whatever the amplitude of the braking control signal, said central processing unit controls all the electronic wheel control modules such that the sum of the longitudinal forces of all the wheels is a function of said amplitude of the braking control signal, which function is, for example, proportional in the simplest implementation.

(57) Abrégé : L'invention propose un système de freinage électrique d'un véhicule routier équipé de roues (1) à contrôle totalement électrique, qui sont reliées en rotation chacune à au moins une machine électrique rotative (2) qui lui est propre, un module électronique de pilotage de roue (23) pilotant la ou les

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/107576 A1



CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

machines électriques d'une même roue, chaque module électronique de pilotage de roue permettant d'imposer sélectivement à la roue considérée un couple de pilotage déterminé en amplitude et en signe, de façon à ce que la roue considérée impose au véhicule un effort moteur ou un effort freineur selon ledit couple de pilotage déterminé, le système comportant une unité centrale (3) assurant la gestion du déplacement du véhicule, ladite unité centrale (3) contrôlant l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue (23), ladite unité centrale ayant un mode de fonctionnement de freinage du véhicule activé par un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour lesdites roues à contrôle totalement électrique, dans lequel, en mode freinage, quelle que soit l'amplitude du signal de commande du freinage, ladite unité centrale contrôle l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue de façon à ce que la somme des efforts longitudinaux de l'ensemble des roues soit une fonction de ladite amplitude du signal de commande du freinage, fonction par exemple proportionnelle dans la mise en oeuvre la plus simple.

Système de freinage électrique d'un véhicule routier, à contrôle totalement électrique.

DOMAINE DE L'INVENTION

5 [0001] La présente invention concerne les véhicules routiers. Elle concerne en particulier les systèmes de freinage d'un véhicule routier à traction électrique.

[0002] Les véhicules électriques englobent des véhicules dans lesquels l'énergie électrique nécessaire à leur déplacement est stockée dans des batteries et des véhicules dans lesquels l'énergie électrique est produite à bord, par un moteur thermique entraînant une génératrice ou
10 par une pile à combustible. La traction du véhicule est assurée par une ou des machines électriques. Le freinage du véhicule est assuré par un système de freinage mécanique conventionnel, parfois avec assistance électrique au freinage mécanique.

[0003] En effet, une machine électrique étant réversible, elle peut être utilisée aussi en génératrice électrique pendant les phases de freinage du véhicule et dans ce cas elle transforme
15 l'énergie mécanique de freinage en énergie électrique que le véhicule doit absorber, éventuellement par dissipation thermique. Ce mode de fonctionnement est souvent appelé « freinage électrique » ou « freinage en récupération ».

[0004] L'état de la technique connaît déjà de très nombreuses propositions de véhicule à traction électrique. On peut citer par exemple la demande de brevet GB 2 383 567 qui décrit un
20 véhicule à quatre roues, de type hybride série, chaque roue étant entraînée par une machine électrique qui lui est propre, qui tire profit de cette disposition pour reconfigurer les fonctions de contrôle de la dynamique du véhicule. Cette demande de brevet ne traite pas de freinage mais de couple de lacet à imprimer à un véhicule par les moteurs électriques. On peut également citer le brevet GB 2 344 799 qui décrit aussi un véhicule à quatre roues, de type hybride série, chaque
25 roue étant entraînée par une machine électrique qui lui est propre, qui décrit plus particulièrement un fonctionnement en freinage électrique qui vient en assistance d'un système de freinage à friction mécanique classique.

[0005] En pratique, les machines électriques fonctionnent en génératrice pour assurer une décélération modérée du véhicule, pour récupérer autant que faire se peut l'énergie et la stocker
30 dans des accumulateurs électriques, ou même pour la dissiper afin d'alléger la sollicitation des freins mécaniques du véhicule. Le freinage principal d'un véhicule est en effet assuré par des

freins mécaniques commandés hydrauliquement, en général de façon assistée, et le plus souvent maintenant pourvu d'une fonction anti-blocage couramment désignée par « ABS ». Le freinage est une fonction de sécurité primordiale sur un véhicule. Les freins mécaniques sont de puissance importante, capable d'amener la roue au blocage, l'écrêtage de puissance étant assuré par la fonction anti-blocage, l'écrêtage étant lié à la limite d'adhérence. Pour assurer la sécurité des passagers, le système de freinage d'un véhicule de tourisme est en général capable d'assurer une décélération de l'ordre de 1 « g », g étant l'unité d'accélération dont la valeur « 1 » correspond à la gravité terrestre.

[0006] Par ailleurs, dans un véhicule à traction électrique, intégrer la machine électrique dans la roue est une configuration particulièrement intéressante car cela supprime les arbres mécaniques et offre plus de latitudes pour l'architecture générale du véhicule. L'état de la technique connaît plusieurs dispositions d'intégration de machines électriques dans les roues. La demande de brevet WO 2003/065546 propose de disposer quatre machines électriques transmettant leur couple à la roue au moyen d'un train épicycloïdal. Par la demande de brevet EP 0878332, on connaît une liaison au sol qui intègre à la fois la suspension verticale de la roue à l'intérieur de celle-ci et une machine électrique rotative de traction. Il y a un étage de réduction entre la roue et la machine électrique, celle-ci étant engrenée sur une roue dentée coaxiale à la roue. La roue comporte bien entendu un frein à disque afin d'assurer la fonction de freinage de service. En outre, la liaison au sol comporte un pivot afin de permettre de braquer la roue. Toutes les fonctions mécaniques d'une liaison au sol se trouvent ainsi intégrées dans la roue. Enfin, la demande de brevet DE 100 54 368 décrit une roue qui intègre une machine électrique, ainsi que les moyens électroniques de pilotage de la machine électrique ; la possibilité de se passer de freins mécaniques, sauf pour l'immobilisation du véhicule, est également évoquée.

[0007] Cependant, pour les véhicules à traction électrique, se passer de freins mécaniques reste une gageure parce qu'il faut évidemment que le freinage électrique soit suffisamment puissant, extrêmement fiable, sans alourdir ni le véhicule ni même les roues. Et il faut pouvoir piloter le freinage électrique de façon à en faire un véritable frein de service, freinant le véhicule sans préjudice sur la stabilité de la trajectoire, tout en exploitant au mieux l'adhérence disponible aux roues, adhérence qui peut être éminemment variable et non uniforme, et il faut absorber toute l'énergie développée par les freinages les plus intenses.

[0008] L'objectif de la présente invention est de proposer un freinage totalement électrique fiable, simplifiant l'architecture des liaisons au sol des véhicules. La présente

invention propose les moyens pratiques pour faire assurer la fonction de freinage de service par voie purement électrique, tout en assurant un haut niveau de sécurité.

5 BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0009] L'invention propose un système de freinage électrique pour un véhicule routier équipé de roues qui sont reliées en rotation chacune à au moins une machine électrique rotative, chaque machine électrique rotative coopérant avec une seule roue, un module électronique de pilotage de roue pilotant la ou les machines électriques d'une même roue, chaque module électronique de pilotage de roue permettant d'imposer sélectivement à la roue considérée un couple de pilotage déterminé en amplitude et en signe, de façon à ce que la roue considérée impose au véhicule un effort moteur ou un effort freineur selon ledit couple de pilotage déterminé, le système comportant une unité centrale assurant la gestion du déplacement du véhicule, ladite unité centrale contrôlant l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue, ladite unité centrale ayant un mode de fonctionnement de freinage du véhicule activé par un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour ledit véhicule et dans lequel, en mode freinage, quelle que soit l'amplitude du signal de commande du freinage, ladite unité centrale contrôle l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue de façon à ce que la somme des efforts longitudinaux de l'ensemble des roues provenant des machines électriques rotatives soit une fonction de ladite amplitude du signal de commande du freinage, fonction par exemple proportionnelle dans la mise en œuvre la plus simple, le système comportant des moyens pour dissiper thermiquement l'énergie électrique, de puissance supérieure à 350 kW par tonne de véhicule, l'ensemble des machines électriques rotatives étant apte à produire une puissance de crête supérieure à 350 kW par tonne de véhicule.

[0010] Dans le système de freinage d'un véhicule selon l'invention, il n'y a pas de frein mécanique de service. Dans une mise en œuvre particulièrement avantageuse de l'invention, aucune des roues du véhicule ne comporte de frein mécanique de service. Quelle que soit l'amplitude du signal de commande du freinage, c'est-à-dire même pour les freinages les plus intenses, le freinage est assuré par voie électrique, c'est-à-dire en pilotant les machines électriques en génératrice. Chaque roue comporte une ou plusieurs machines électriques dédiées

afin de pouvoir générer une force de freinage sélectivement sur chaque roue, ce que l'on ne pourrait pas faire avec une machine électrique commune à plusieurs roues, par exemples les roues d'un essieu, car il y aurait dans ce cas une transmission mécanique et un différentiel entre les roues. Les machines électriques sont dimensionnées de façon appropriée pour imposer à

5 chaque roue la force de freinage la plus élevée possible.

[0011] Bien entendu, le système comporte des moyens pour dissiper thermiquement l'énergie électrique, capables d'absorber une puissance électrique élevée, ce qui par exemple conduit à installer une ou des résistances électriques de dissipation refroidies efficacement, par exemple par circulation d'eau, les accumulateurs électriques connus n'étant pas capables

10 d'absorber la puissance électrique produite par un freinage d'urgence ou n'étant pas capables d'absorber toute l'énergie électrique produite par un freinage de longue durée, sauf à installer une capacité telle que le poids du véhicule serait vraiment prohibitif. On peut également adopter d'autres moyens dissipatifs, par exemple un couplage magnétique entre une bobine et une pièce ferromagnétique refroidie par circulation d'eau. Ainsi, l'invention permet de former un système

15 électrique autonome isolé de l'environnement, capable d'assurer un freinage électrique d'un véhicule dans toutes les circonstances de roulage, et ceci sans échange d'énergie électrique avec l'extérieur du véhicule, donc applicable aussi aux véhicules automobiles, application des systèmes de freinage électrique beaucoup plus difficile que dans le cas de véhicules reliés à un réseau électrique comme les trains ou les trams urbains.

[0012] De préférence, l'électronique de commande est redondante. De préférence, toujours pour des raisons de sécurité, on réalise également une redondance matérielle. On décrit ci-dessous une mise en œuvre particulièrement intéressante d'un système de freinage selon l'invention dans laquelle on peut distinguer :

- un étage de puissance dans lequel circule la puissance électrique nécessaire à la traction ainsi que la puissance électrique générée par le freinage électrique,
- un étage d'alimentation électrique basse tension pour alimenter des électroniques de contrôle et de commande des éléments de puissance, et
- un étage de circulation des signaux de commande du freinage du véhicule.

[0013] On propose ci-dessous une architecture dans laquelle chacun de ces étages

30 comporte un certain niveau de redondance. Les redondances proposées pour chacun des étages

peuvent être utilisées chacune seule, ou en combinaison avec une autre. Bien entendu, on élève le niveau de fiabilité en cumulant toutes les redondances proposées.

[0014] Tout d'abord au niveau de l'étage de puissance, on utilise plusieurs machines électriques rotatives, au moins deux et de préférence une par roue motrice, ce qui apporte déjà
5 une certaine redondance. En outre, de préférence, les moyens pour dissiper thermiquement l'énergie électrique comportent deux modules électroniques de dissipation et deux résistances électriques de dissipation afin de toujours offrir une certaine capacité de décélération en cas de panne d'une résistance ou de son module de commande. Cela forme deux sous-systèmes agencés comme indiqué ci-dessous.

10 [0015] Selon un aspect important, l'invention propose un système de freinage électrique d'un véhicule routier dont au moins deux roues sont reliées en rotation chacune à au moins une machine électrique rotative, chaque machine électrique rotative coopérant avec une seule roue, un module électronique de pilotage de roue pilotant la ou les machines électriques d'une même
15 roue, chaque module électronique de pilotage permettant d'imposer sélectivement à la roue considérée un couple de pilotage déterminé en amplitude et en signe, de façon à ce que la roue considérée impose au véhicule un effort moteur ou un effort freineur selon ledit couple de pilotage déterminé, caractérisé en ce qu'il comporte deux sous-systèmes connectés à une ligne électrique centrale, chacun des sous-systèmes comportant :

- une partie desdites roues,
- 20 • lesdits modules électroniques de pilotage associé à chacune desdites roues de ladite partie, et
- un dispositif de dissipation alimenté par un module électronique de dissipation.

[0016] Dans une mise en œuvre pour un véhicule à quatre roues, de préférence, chacune
25 des roues est mécaniquement reliée à sa ou à ses propres machines électriques rotatives, chacun desdits sous-systèmes comportant deux desdites roues. De préférence, chaque sous-système regroupe les roues du véhicule disposées en diagonale aux angles opposés du véhicule. On verra que cette solution offre plus de sécurité que les circuits de freinage hydrauliques doubles utilisés couramment sur les automobiles.

30 [0017] Par ailleurs, fort avantageusement, l'étage d'alimentation électrique basse tension pour alimenter des électroniques de contrôle et de commande des éléments de puissance comporte deux sources de tension indépendantes. Ledit étage d'alimentation électrique basse

5 tension comporte une première alimentation et au moins une deuxième alimentation, la première alimentation et la deuxième alimentation étant interconnectées par une ligne électrique basse tension comportant un premier tronçon et un second tronçon, lesdits premier et second tronçons étant reliés par un dispositif de dispositif de séparation galvanique des deux tronçons en cas de sous-tension sur l'un d'entre eux, chaque module électronique de pilotage de roue et module électronique de dissipation d'un des sous-systèmes étant alimenté par le premier tronçon et chaque module électronique de pilotage de roue et module électronique de dissipation de l'autre des sous-systèmes étant alimenté par le second tronçon.

10 [0018] La première alimentation est par exemple constituée d'un convertisseur de tension branché à la ligne électrique centrale. L'énergie électrique sur cette ligne centrale peut provenir soit d'une source principale, comme par exemple une pile à combustible, soit d'un dispositif de stockage d'énergie électrique, soit de l'énergie de freinage réutilisée en temps réel. On dispose donc aussi d'une redondance des sources d'énergie. La deuxième alimentation est par exemple constituée d'une batterie basse tension, dédiée à cette alimentation électrique en basse tension.

15 Bien entendu, il est possible d'utiliser pour cette seconde source de tension un deuxième convertisseur de tension branché lui aussi sur la ligne principale ou bien directement sur le dispositif de stockage. Les deux sources de tension sont interconnectées par ladite ligne électrique comportant ledit premier tronçon et ledit second tronçon.

20 [0019] Enfin, l'étage de circulation des signaux de commande du freinage du véhicule est construit autour de deux capteurs reliés mécaniquement, et de préférence séparément, à une commande de freinage à la disposition d'un conducteur, les capteurs étant exploités de façon totalement différente comme expliqué ci-après.

25 [0020] Signalons encore que, de préférence, pour tenir le véhicule immobile, on installe un dispositif de frein mécanique appelé communément frein de parking. Cependant, un tel dispositif n'est pas conçu pour freiner le véhicule mais seulement pour le tenir arrêté, de préférence même sur des pentes très importantes. Ainsi, le système selon l'invention comporte, associé à une roue au moins, un dispositif de freinage mécanique de la roue commandé uniquement par une commande de frein de parking. De préférence, le dispositif de frein de parking est commandé par un actionneur électrique piloté par une unité de commande de

30 freinage qui ne peut être activée que sous un seuil de vitesse longitudinale du véhicule, ledit seuil étant par exemple inférieur à 10 km/h.

[0021] L'invention s'étend aussi à un véhicule équipé d'un système de freinage électrique conforme à ce qui est décrit dans le présent mémoire.

5 BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0022] D'autres objectifs et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description qui va suivre d'un mode de réalisation préféré mais non limitatif, illustré par les figures suivantes dans lesquelles :

- 10 • la figure 1 représente schématiquement un système de freinage d'un véhicule à quatre roues, à production d'énergie électrique à bord ;
- la figure 2 est un schéma montrant le niveau de puissance organisé pour présenter une certaine redondance matérielle ;
- la figure 3 montre le niveau d'alimentation électrique basse tension des différentes
- 15 électroniques de commande ;
- la figure 4 montre le niveau des lignes de commande entre les électroniques de commandes des différents éléments et l'unité centrale.

20 DESCRIPTION DU MEILLEUR MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

[0023] A la figure 1, on a schématisé un véhicule à quatre roues 1_{AvG} , 1_{AvD} , 1_{ArG} et 1_{ArD} . Les roues sont notées 1_{AvG} pour la roue avant gauche, 1_{AvD} pour la roue avant droite, 1_{ArG} pour la roue arrière gauche et 1_{ArD} pour la roue arrière droite. Chaque roue est équipée

25 d'une machine électrique qui lui est couplée mécaniquement. On voit les machines électriques 2_{AvG} , 2_{AvD} , 2_{ArG} et 2_{ArD} . Dans la suite, on ne reprendra pas les indices désignant spécifiquement la position de la roue 1 ou de la machine électrique 2 dans le véhicule lorsque cela n'apporte rien à la clarté de l'exposé. Les machines électriques de traction 2 sont des machines synchrones triphasées, équipées d'un capteur de position angulaire de type resolver et

30 sont pilotées par les modules électroniques de pilotage de roue 23 auxquels elles sont reliées par des lignes électriques de puissance 21. Les modules électroniques de pilotage de roue 23 sont conçus pour piloter les machines électriques en couple. De ce fait, les machines électriques peuvent être utilisées en moteur et en génératrice. Chacune des roues arrières 1_{ArG} et 1_{ArD} est

équipée en outre d'un dispositif de freinage mécanique 71 de la roue commandé par un actionneur électrique 7 piloté par une unité de commande de freinage.

[0024] De nombreuses dispositions sont possibles pour agencer une machine électrique couplée mécaniquement à la roue. Notons cependant que l'on aura avantage à installer une
5 démultiplication assez grande, par exemple au moins égale à 10 et même de préférence supérieure à 15, afin que la machine électrique ne soit pas trop volumineuse. On peut installer une machine électrique de façon coaxiale à la roue, la liaison mécanique étant assuré par un train d'engrenages épicycloïdaux pour disposer de la démultiplication nécessaire. On peut aussi adopter une configuration du genre de celle décrite dans la demande de brevet EP 0878332, de
10 préférence en ajoutant un étage de démultiplication mécanique. On peut aussi choisir de disposer plusieurs machines électriques dont les couples s'additionnent. Dans ce cas, un module électronique de roue peut piloter plusieurs machines électriques en parallèle installées dans une même roue. Au sujet de l'installation de plusieurs machines électriques dans une roue, on consultera par exemple la demande de brevet WO 2003/065546 et la demande de brevet
15 FR 2776966.

[0025] L'invention est illustrée dans une application à un véhicule assurant la production d'énergie électrique à bord. On voit une pile à combustible 4 délivrant un courant électrique sur une ligne électrique centrale 40. Bien entendu, tout autre moyen d'alimentation en énergie électrique peut être utilisé, comme par exemple des batteries. On voit aussi un dispositif de
20 stockage d'énergie électrique constitué dans cet exemple par un banc de super condensateurs 5, relié à la ligne électrique centrale 40 par un module électronique de récupération 50. On voit une résistance électrique de dissipation 6, de préférence plongée dans un liquide caloporteur évacuant les calories vers un échangeur (non représentés), constituant un dispositif d'absorption d'énergie apte à absorber l'énergie électrique produite par l'ensemble des machines électriques
25 au cours d'un freinage. La résistance de dissipation 6 est reliée à la ligne électrique centrale 40 par un module électronique de dissipation 60.

[0026] Une unité centrale 3 gère différentes fonctions, parmi lesquelles la chaîne de traction électrique du véhicule. L'unité centrale 3 dialogue avec l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue 23 ainsi qu'avec le module électronique de récupération 50 via
30 les lignes électriques 30A (bus CAN). L'unité centrale 3 dialogue aussi avec une commande d'accélération 33 via une ligne électrique 30E, avec une commande de freinage 32 (freins de service) via une ligne électrique 30F, et avec une commande 31 sélectionnant la marche avant ou la marche arrière via une ligne électrique 30C. Cela permet de prendre en compte les

intentions du conducteur. L'unité centrale 3 dialogue également avec un capteur d'accélération longitudinale 34 via une ligne électrique 30D. Enfin, le module électronique de récupération 50 dialogue avec le module électronique de dissipation 60 via une ligne électrique 30B.

[0027] L'unité centrale 3 assure la gestion du déplacement longitudinal du véhicule.
5 Ladite unité centrale 3 contrôle l'ensemble des modules électronique de pilotage de roue 23. L'unité centrale 3 a un mode de fonctionnement de freinage du véhicule activé par un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour ledit véhicule. En mode freinage, quelle que soit l'amplitude du signal de commande du freinage, ladite unité centrale 3 contrôle l'ensemble des modules
10 électroniques de pilotage de roue 23 de façon à ce que la somme des efforts longitudinaux de l'ensemble des roues 1 provenant des machines électriques rotatives soit une fonction de ladite amplitude du signal de commande du freinage. Autrement dit, il n'y a pas de frein mécanique de service ; le système de freinage électrique décrit ici est le frein de service du véhicule.

[0028] On voit aussi une commande de frein de parking 35. L'actionneur 7 du dispositif
15 de freinage mécanique de roue est commandé via une ligne électrique 30H uniquement par cette commande de frein de parking 35, et absolument pas par la commande de freinage 32. De préférence, afin d'éviter toute détérioration des dispositifs de freinage mécanique 71 conçus uniquement pour maintenir immobile le véhicule et dont la capacité d'évacuer des calories est donc très limitée, ladite unité de commande de frein de parking ne peut être activée que sous un
20 seuil de vitesse longitudinale du véhicule assez bas, par exemple inférieur à 10 km/h.

[0029] Expliquons le fonctionnement du système selon l'invention.

[0030] Lorsque le conducteur sélectionne la marche avant à l'aide de la commande 31 et actionne la pédale d'accélération 33, l'unité centrale 3 ordonne aux modules électroniques de pilotage de roue 23 d'alimenter les machines électriques 2 en puisant l'énergie électrique sur la
25 ligne électrique centrale 40. Celle-ci est alimentée par la pile à combustible 4 et/ou le banc de super condensateurs 5, selon l'état de charge de celui-ci et sous le contrôle de l'unité centrale 3. Le véhicule se déplace en marche avant. Les machines électriques 2 transforment l'énergie électrique en énergie mécanique de traction. La puissance mise en œuvre dépend en particulier de la position de la commande d'accélération 33.

30 [0031] Lorsque le conducteur actionne la pédale de frein 32, l'unité centrale 3 passe en mode freinage. A partir de l'action du conducteur sur la pédale de frein 32, l'unité centrale 3 calcule une valeur du signal de commande du freinage. Quelle que soit l'amplitude du signal de

commande du freinage, ladite unité centrale 3 contrôle l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue 23 de façon à ce que la somme des efforts longitudinaux de l'ensemble des roues 1 soit proportionnelle à ladite amplitude du signal de commande du freinage. Les machines électriques rotatives 2 transforment alors de l'énergie mécanique de rotation en
5 énergie électrique.

[0032] Selon la stratégie de gestion de l'énergie électrique programmée dans le module électronique de récupération 50, celui-ci répartit l'énergie de freinage de façon à recharger le banc de super condensateurs 5 et/ou commande le module électronique de dissipation 60 de façon à dissiper l'énergie dans la résistance électrique de dissipation 6. On comprend bien que
10 lorsque les moyens de stockage tels que le banc de super condensateurs 5 sont saturés, la totalité de l'énergie doit être dissipée. De plus, la puissance des moyens de stockage peut être limitée, c'est à dire que la vitesse de charge des moyens de stockage peut par exemple correspondre à un freinage léger comme il est couramment attendu de la part d'un moteur thermique (ce qu'on appelle le « frein moteur »). Au-delà de ce niveau de freinage, la puissance électrique produite
15 est alors dirigée vers les moyens de dissipation.

[0033] Afin d'assurer la sécurité de fonctionnement du véhicule, la résistance électrique de dissipation 6 est dimensionnée et refroidie de façon à ce que la totalité de l'énergie électrique produite en manœuvres de freinage d'urgence, les plus violentes, puisse être dissipée. En fait, il convient de dimensionner la chaîne constituée par les machines électriques rotatives 2, les
20 modules électroniques de pilotage de roue 23, la ligne électrique centrale 40, le module électronique de dissipation 60 et la résistance électrique de dissipation 6 selon des critères de même sévérité que ce que l'on applique aux systèmes de freinage mécanique.

[0034] De préférence, l'ensemble des machines électriques rotatives 2 est apte à produire de puissance de crête supérieure à 500 kW par tonne de véhicule, et de
25 préférence l'ensemble des résistances électriques de dissipation 6 forme un dispositif d'absorption d'énergie de puissance supérieure à 500 kW par tonne de véhicule. En effet, si F est la force appliquée au véhicule pour le freiner, si sa masse vaut M et sa vitesse vaut V et si γ est l'accélération, on a $F = M * \gamma$ et $P = F * V = M * (\gamma * V)$. En posant que la décélération maximale vaut 1 g, à 130 km/h, la puissance par tonne de véhicule vaut environ 350 kW et elle
30 vaut environ 500 kW à 160 km/h. Sur la base de ces indications, l'homme du métier dimensionnera aisément la puissance du dispositif d'absorption d'énergie et des machines électriques rotatives en fonction des caractéristiques du véhicule qu'il veut construire.

[0035] Ainsi, comme dans l'exemple illustrant l'invention, il y a deux sous-systèmes ayant chacun une résistance électrique de dissipation, chacune de ces résistances électriques de dissipation 6A et 6B est de préférence de puissance supérieure à 250 kW et l'ensemble des machines électriques rotatives 2 est apte à produire de puissance de crête supérieure à
5 500 kW, le tout par tonne de véhicule.

[0036] Lorsque le conducteur sélectionne la marche arrière, l'unité centrale 3 ordonne aux modules électroniques de pilotage de roue 23 d'inverser le fonctionnement des machines électriques rotatives 2, y compris en cas de freinage.

[0037] Décrivons maintenant comment on peut implanter une fonction anti-blocage
10 de roue.

[0038] Les machines électriques de traction 2 étant équipées d'un capteur de position angulaire de type resolver, chaque roue 1 ayant sa propre machine électrique rotative 2, on dispose ainsi d'un capteur de vitesse de rotation de chaque roue. C'est à partir de cela que l'on construit un dispositif de contrôle du glissement de chaque roue dans lequel, en mode freinage,
15 le couple de pilotage d'une roue est diminué lorsque le dispositif de contrôle du glissement détecte un glissement de la roue considérée. On peut par exemple analyser en temps réel le signal que le capteur de vitesse de rotation de chaque roue délivre et déduire d'une forte variation (décélération) une amorce de blocage. On peut calculer en temps réel la dérivée du signal de vitesse de rotation de chaque roue, obtenir ainsi un signal représentatif de
20 l'accélération/décélération de chaque roue et comparer ce dernier à un signal donnant l'accélération/décélération réelle du véhicule si l'on dispose d'un capteur approprié. C'est le capteur d'accélération longitudinale 34 déjà introduit plus haut, ou c'est le fait d'un traitement de plusieurs signaux permettant d'estimer l'accélération/décélération réelle du véhicule. Dès
25 lors, l'unité centrale 3 peut ordonner aux modules électroniques de pilotage de roue 23 de diminuer le couple de pilotage de roue (sélectivement par roue) lorsque le dispositif de contrôle du glissement détecte un glissement de la roue considérée. Notons que cette réduction du couple peut être pilotée directement par les modules électroniques de roue, qui peuvent réagir en temps réel à la vitesse et à l'accélération mesurées à la roue, l'unité centrale transmettant par exemple des instructions de vitesse maximale et d'accélération à respecter.

[0039] En conclusion, signalons que l'absence d'organe de freinage conventionnel (voir disque et pince dans la demande EP 0878332) simplifie substantiellement non seulement l'architecture du véhicule équipé d'un système selon l'invention, mais également son entretien

en éliminant les opérations périodiques de remplacement des plaquettes et des disques. Parmi les avantages de la suppression des organes de freinage hydraulique conventionnels, on peut citer en outre l'élimination de tout frottement résiduel des plaquettes (on sait que ces frottements consomment une part non négligeable de l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un véhicule à freinage conventionnel). On peut également citer comme avantage la suppression des contraintes thermiques induites sur la liaison au sol par les organes de freinage hydraulique conventionnels et l'élimination des nuisances liées aux poussières produites par l'usure des plaquettes et des disques.

[0040] On a décrit ci-dessus un système de traction pour véhicule automobile dans lequel aucune des roues n'est équipée de freins mécaniques. La capacité de décélération du véhicule provient du pilotage de machines électriques rotatives en génératrice et celles-ci sont dimensionnées de façon à pouvoir amener chacune des roues du véhicule au blocage, c'est-à-dire qu'elles sont capables de fournir un couple freineur suffisamment important.

[0041] La suite de la description illustre un exemple particulier, non limitatif, permettant de construire un système présentant une redondance matérielle suffisante pour pouvoir assurer un très haut niveau de sécurité au système de freinage du véhicule.

[0042] On voit à la figure 2 que le système de freinage électrique comporte deux sous-systèmes (A et B) connectés à la ligne électrique centrale 40, chacun des sous-systèmes comporte deux roues reliées en rotation chacune à au moins une machine électrique rotative 2 qui lui est propre. La roue avant droite et la roue arrière gauche, ou plus exactement les machines électriques rotatives 2 et les modules électroniques de pilotage de roue 23 qui leur sont associées forment le sous-système A. La roue avant gauche et la roue arrière droite, ou plus exactement les machines électriques rotatives 2 et les modules électroniques de pilotage de roue 23 qui leur sont associées forment le sous-système B. Chaque sous-système comporte une résistance électrique de dissipation 6A, respectivement 6B, chacune alimentée par un module électronique de dissipation 60A, respectivement 60B.

[0043] Si l'on examine les différents éléments constitutifs du système de traction au regard du critère de redondance matérielle, les machines électriques rotatives 2 intégrées aux roues forment un système qui présente naturellement une redondance puisque chacune des roues dispose de sa propre machine électrique. L'électronique de commande de ces machines, à savoir les modules électroniques de pilotage de roue 23, forme également un système qui présente une

redondance matérielle puisque chacune de ces machines électriques 2 dispose de sa propre électronique de commande.

[0044] En freinage récupératif, chacune des machines électriques rotatives 2 fournit sur la ligne électrique de puissance 40 de l'énergie électrique via les modules électroniques de pilotage de roue 23. Cette énergie peut être soit stockée dans des accumulateurs comme le banc de super condensateurs 5 ou être dissipée par les résistances électriques de puissance 6A et 6B. En freinage d'urgence, il est évident que l'on ne peut pas tabler sur la capacité de stockage des accumulateurs car ceux-ci pourraient très bien être déjà à leur charge maximale et incapables d'absorber de l'énergie électrique. Dès lors, la résistance électrique 6 est un organe crucial pour la sécurité de fonctionnement. De même, la ligne électrique de puissance 40 est un élément crucial pour la sécurité de fonctionnement du système de freinage du véhicule par voie toute électrique. On examinera ci-dessous différents scénarii de défaillance.

[0045] A la figure 2, on reconnaît la source d'énergie électrique principale qui, dans cet exemple de réalisation, est une pile à combustible 4. On voit également la batterie d'accumulateurs permettant de stocker de l'énergie électrique qui, dans cet exemple de réalisation, est un banc de super condensateurs 5 et son module électronique de récupération 50. Enfin, l'alimentation électrique basse tension des différents modules électroniques est assurée d'une part par un convertisseur de tension 41 permettant de convertir la tension disponible sur la ligne électrique de puissance 40 en basse tension (par exemple 12 volts) utilisée pour alimenter les différentes électroniques de commande, et d'autre part par une batterie 42 telle qu'une batterie utilisée classiquement sur un véhicule en tension de 12 volts continus.

[0046] On a vu que, afin d'assurer la sécurité du freinage, le système de freinage est organisé en deux sous-systèmes, à savoir le système A regroupant la roue avant droite et la roue arrière gauche et le système B regroupant la roue avant gauche et la roue arrière droite. Le sous-système A est branché sur la ligne de puissance 40 via un dispositif de protection contre les surintensités 41A. Le sous-système B est branché sur la ligne de puissance 40 via un dispositif de protection contre les surintensités 41B. Chacun des sous-systèmes comporte donc sa propre résistance de dissipation 6A, 6B et chacune dispose de sa propre électronique de commande 60A, 60B. En aval du dispositif 41A, un tronçon 40A de ligne électrique de puissance est connecté au module électronique de pilotage de roue 23 associé à la roue arrière gauche, au module électronique de pilotage de roue 23 associé à la roue avant droite et enfin au module électronique de dissipation 60A associé à la résistance de dissipation 6A. De même, pour le sous-système B.

[0047] Chacun des modules électroniques de pilotage de roue 23 est capable de gérer par lui-même le fonctionnement en freinage électrique. De la sorte, en cas d'avarie sur la ligne de puissance 40 provoquant une coupure entre les points de connexion des disjoncteurs 41A et 41B, il reste deux sous-systèmes indépendants l'un de l'autre, les systèmes A et B, chacun capable d'assurer un freinage électrique du véhicule. Chacun de ces sous-systèmes dispose de sa propre résistance électrique de dissipation. On a donc une redondance matérielle de l'étage de puissance.

[0048] L'étage de puissance peut présenter d'autres avaries qu'une avarie sur la ligne de puissance 40. Imaginons par exemple que le tronçon de la ligne de puissance 40A aboutissant au module électronique de dissipation 60A soit interrompu. Dans ce cas, la résistance de dissipation 6A est hors circuit. La puissance électrique produite par le sous-système A en freinage électrique peut transiter par la section de la ligne électrique de puissance 40A non interrompue et, via le disjoncteur 41A, remonter sur la ligne de puissance 40 et être acheminée, via la ligne de puissance 40B, vers la résistance électrique de dissipation 6B. La résistance électrique de dissipation 6B devient donc commune, dans ce cas-là, au sous-système A et au sous-système B.

[0049] Même si la puissance électrique de dissipation disponible est divisée par deux, dans ce cas précis, la capacité de ralentissement du système de freinage électrique reste importante, suffisante pour assurer un freinage d'urgence. En effet, chacune des résistances électriques de dissipation 6 est plongée dans un circuit hydraulique de refroidissement. En cas de freinage d'urgence, l'énergie produite par le freinage électrique est suffisante pour porter le fluide de refroidissement à ébullition. Il n'empêche, au fur et à mesure de sa transformation en phase vapeur, le fluide vaporisé est immédiatement remplacé par du fluide de refroidissement en phase liquide, qui lèche à nouveau la résistance et le système continue de présenter une certaine capacité à évacuer des calories. De plus, le système de refroidissement a une certaine inertie thermique. Les expérimentations du déposant ont démontré que, même dans ce cas de figure, le système de freinage électrique reste bien plus puissant et efficace qu'un système de freinage hydraulique en croix tel que ceux qui équipent les véhicules automobiles à l'heure actuelle.

[0050] Si la ligne électrique de puissance 40A est interrompue entre le module électronique de pilotage de roue 23 associée à la roue avant droite et le module électronique de pilotage de roue 23 associée à la roue arrière gauche, alors dans ce cas la résistance électrique de dissipation 6A reste disponible pour la machine électrique rotative 2 associée à la roue avant droite lorsqu'elle fonctionne en génératrice alors que la résistance électrique de dissipation 6B

est disponible pour le sous-système B et pour la machine électrique rotative 2 associée à la roue arrière gauche, c'est-à-dire l'une des machines électriques rotatives 2 du sous-système A. L'une des résistances électriques de dissipation va recevoir une puissance électrique plus élevée que l'autre 6A. Le fonctionnement n'est pas optimal mais on se trouve donc dans une configuration moins pénalisante pour la capacité de ralentissement du véhicule que celle exposée au paragraphe précédent.

[0051] Si, pour une raison quelconque, une avarie provoque l'ouverture du disjoncteur 41A, isolant ainsi le sous-système A, alors là aussi les capacités de freinage du véhicule restent maximales car les résistances électriques de dissipation sont dimensionnées de façon à pouvoir assurer, globalement, la pleine décélération du véhicule même lorsque l'accumulateur d'énergie électrique, constitué ici par le banc de super condensateurs 5, est à sa charge maximale. Dans ce cas, on n'est donc pas dans une situation de défaillance du système de freinage électrique quant à la capacité maximale de décélération. Certes l'on n'est pas dans une situation optimale quant à la gestion générale puisque, notamment, la possibilité de récupérer de l'énergie est perdue, mais ceci n'est pas préjudiciable à la sécurité.

[0052] Si l'une quelconques des défaillances qui viennent d'être expliquées pour le sous-système A surviennent au sous-système B, pour des raisons de symétrie, les conditions de sécurité du freinage électrique restent strictement identiques. En conclusion, en organisant l'étage de puissance en deux sous-systèmes indépendants, le système A et le système B, chacun relié à la ligne électrique de puissance 40 principale du véhicule par son propre disjoncteur (disjoncteurs 41A et 41B) et en équipant chacun des sous-systèmes de sa propre résistance électrique de dissipation, on a organisé une redondance matérielle double telle que l'on peut assurer le freinage électrique du véhicule dans d'excellentes conditions de sécurité.

[0053] La puissance de dissipation des résistances électriques de dissipation 6A et 6B dépend du bon fonctionnement du système de refroidissement. En effet, elles sont plongées dans un fluide caloporteur. La figure 3 montre de façon schématique le circuit de refroidissement. On voit que celui-ci comporte 2 pompes 8A et 8B et 2 radiateurs 80A et 80B. Les 2 pompes 8A et 8B sont montées en série et chacune est commandée par son propre moteur électrique 81A et 81B respectivement. Chacun de ces moteurs électriques est piloté par sa propre électronique de commande 82A et 82B. Les radiateurs 80A et 80B sont montés en parallèle, et équipés de vanes 83 qui permettent d'isoler chacun des radiateurs sélectivement en cas de fuites à l'un d'eux. D'autre part, l'ensemble pompe et moteur d'actionnement de la pompe est dimensionné

de telle façon que si l'une des pompes est en panne, l'autre pompe est capable d'assurer un débit suffisant du fluide caloporteur malgré le fait que l'autre pompe n'est plus fonctionnelle.

[0054] On décrit maintenant l'alimentation électrique basse puissance des différentes électroniques de commande et des différents auxiliaires, à l'aide de la figure 3. Sur celle-ci, on reconnaît les modules électroniques de dissipation 60 A et 60B des 2 résistances électriques de dissipation 6A et 6B, les modules électroniques de pilotage de roue 23 associés chacun à l'une des quatre machines électriques 2, le module électronique de récupération 50 associé au banc de super condensateurs 5. On voit également l'unité centrale 3, l'électronique de commande 82A de l'une des pompes du circuit de refroidissement et l'électronique de commande 82B de l'autre des pompes du circuit de refroidissement. La pédale de frein est supposée suffisamment sûre par sa construction et n'est donc pas doublée. Deux capteurs de position, C1 et C2, sont chacun associés à la pédale de frein et délivrent chacun un signal représentatif de la commande voulue par le conducteur du véhicule.

[0055] La redondance pour la fourniture de l'énergie électrique basse tension est conçue de la façon suivante. Puisque l'on dispose, d'une part, d'un convertisseur de tension 41 branché sur la ligne électrique de puissance 40 et délivrant une tension continue 12 volts et, d'autre part, d'une batterie 42 délivrant elle aussi une tension continue 12 volts, certains éléments vont être branchés sur le convertisseur de tension 41 et d'autres éléments vont être branchés sur la batterie 12 volts de la façon suivante. Une ligne 43 assure l'interconnexion entre le convertisseur de tension 41 et la batterie 42. Cette ligne 43 comporte un premier tronçon 43A et un second tronçon 43B, ainsi qu'un dispositif de séparation galvanique 430 des deux tronçons en cas de sous-tension sur l'un d'entre eux. Certains éléments sont branchés sur le premier tronçon 43A, chacun via un dispositif de protection contre les surintensités 434A. Certains autres éléments sont branchés sur le tronçon 43B, chacun via un dispositif de protection contre les surintensités 434B.

[0056] Par exemple, pour assurer le bon fonctionnement des pompes du circuit de refroidissement, l'un des moteurs 81A est branché sur le premier tronçon 43A via son électronique de commande 82A. L'autre des moteurs 81B est branché sur le second tronçon 43B via son électronique de commande 82B. Les électroniques de commande du sous-système A, à savoir le module électronique de pilotage de roue 23 associée à la machine électrique rotative 2 de la roue avant droite, le module électronique de pilotage de roue 23 associée à la machine électrique rotative 2 de la roue arrière gauche et le module électronique de dissipation 60A de la

résistance de dissipation 6A sont branchés sur le second tronçon 43B alors que les mêmes électroniques du sous-système B sont branchés sur le premier tronçon 43A.

[0057] L'unité centrale 3 assurant la gestion du déplacement du véhicule, puisqu'elle contrôle l'ensemble des modules électronique de pilotage de roue 23, bénéficie d'un double
5 branchement électrique. Elle est branchée tout à la fois sur le premier tronçon 43A et le second tronçon 43B, via une paire de diodes isolant lesdits premier et second tronçons. L'unité centrale 3 est connectée chaque fois via une diode 435 de façon à assurer la continuité de l'alimentation électrique de l'unité centrale 3, même en cas de défaillance d'une des 2 sources basse tension. En outre, un circuit approprié 436 surveille la présence de tension électrique sur
10 chacune des lignes d'alimentation afin d'envoyer un signal de défaut en cas de panne d'une des deux alimentations électriques. Le module électronique de récupération 50 associé au banc de super condensateurs 5 est branché sur le premier tronçon 43A uniquement. Notons que ce type de double branchement pourrait aussi être utilisé pour toutes les électroniques, notamment pour les modules électroniques de pilotage de roue 23.

[0058] On voit donc que, si pour une raison quelconque, il y avait un défaut important sur le convertisseur de tension 41, le dispositif de séparation galvanique 430 interrompt l'interconnexion entre le convertisseur de tension 41 et la batterie 42 et celle-ci peut continuer à alimenter en basse tension les électroniques de commande associées au sous-système A et l'unité centrale ainsi que l'une des 2 pompes du circuit hydraulique de refroidissement. A
20 l'inverse, s'il y avait un défaut important du côté de la batterie 42, le dispositif de séparation galvanique 430 peut interrompre l'interconnexion et le convertisseur de tension 41 peut continuer à alimenter le sous-système B, l'unité centrale et l'une des pompes du circuit hydraulique de refroidissement. On voit donc que l'architecture décrite permet de maintenir le fonctionnement de l'un des 2 sous-systèmes A ou B et l'on dispose donc encore de la moitié de
25 la puissance de freinage du véhicule.

[0059] Décrivons maintenant l'alimentation des capteurs de freinage C1 et C2 qui sont à la source de la chaîne de commande de freinage. Rappelons que le système selon l'invention comporte une unité centrale 3 qui contrôle l'ensemble des modules électronique de pilotage de roue 23. D'autre part, le système selon l'invention comporte une commande de freinage 32 à la
30 disposition d'un conducteur, ladite commande étant reliée mécaniquement au moins à un premier capteur C1 délivrant un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour le véhicule, et à un

deuxième capteur C2 délivrant un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour le véhicule.

[0060] L'architecture du système selon l'invention a dévolu aux capteurs C1 et C2 un rôle différent. Le capteur C1 est alimenté en énergie électrique basse tension par l'unité centrale 3. Il
5 délivre le signal de commande à l'unité centrale 3 et celle-ci ne reçoit le signal de commande de freinage que du capteur C1 pour créer les signaux de commande globale du freinage du véhicule d'un premier niveau. Le second capteur C2 est alimenté par les modules électroniques de pilotage de roue 23 associés à chacune des machines électriques. Ledit deuxième capteur C2 délivre son signal de commande à chacun des modules électronique de pilotage de roue 23. Bien
10 entendu, une diode 230 est implantée dans la ligne de connexion entre chacune des électroniques de commande 23 et le capteur C2. En outre, un circuit approprié 231 surveille la présence de tension électrique sur chacune des quatre lignes d'alimentation, afin d'envoyer un signal de défaut en cas de panne d'une des quatre alimentations électriques. On verra au paragraphe suivant que le capteur C2 est directement associé aux électroniques de pilotage de
15 roue 23 et seulement aux électroniques de pilotage de roue 23.

[0061] On vient de voir que l'étage d'alimentation électrique basse tension comporte une première alimentation et au moins une deuxième alimentation, la première alimentation et la deuxième alimentation étant interconnectées par une ligne électrique 43 comportant un premier tronçon 43A et un second tronçon 43B, lesdits premier et second tronçons étant reliés par un
20 dispositif de séparation galvanique 430 des deux tronçons capable d'interrompre l'interconnexion sur commande, en cas de sous-tension sur l'un d'entre eux. Ledit premier capteur C1 est alimenté par le même tronçon que l'unité centrale 3 et ledit deuxième capteur C2 est alimenté à la fois par une électronique de pilotage de roue 23 d'un (A) des sous-systèmes et par une électronique de pilotage de roue 23 de l'autre (B) des sous-systèmes via une paire de
25 diodes isolant lesdites alimentations.

[0062] A la figure 4, on voit que l'unité centrale 3 est interconnectée avec chacun des modules électroniques de pilotage de roue 23 et avec le module électronique de récupération 50 par un bus CAN[®] (Control Area Network, désigné par la référence 30A) permettant le transfert
30 d'ordres de pilotage sous forme informatique. L'unité centrale 3 est chargée des logiciels adéquats pour pouvoir prendre en compte tous les paramètres souhaitables afin d'élaborer un signal de commande de freinage qui est envoyé aux différentes électroniques pilotant les machines suivant les protocoles voulus pour circuler sur le bus CAN 30A. Chacun des modules

électroniques de pilotage de roue 23 reçoit en outre directement des signaux analogiques délivrés par le capteur C2, cette fois via des lignes analogiques 300.

[0063] Enfin, des lignes de commande 30B relient le module électronique de récupération 50 aux modules électroniques de dissipation 60 A et 60B. En cas de défaut sur le module
5 électronique de récupération 50, les modules électroniques de dissipation 60A et 60B conservent la possibilité de dissiper la puissance de freinage qui remonte sur la ligne de puissance 40 de manière autonome, sans recevoir de commande sur la ligne 30B (le principe des sous-ensembles A et B reste donc pleinement opérationnel pour le freinage mais sans possibilité de stocker l'énergie puisque dans cette dernière hypothèse, le module électronique 50 de
10 récupération est hors service.

[0064] Revenons à la création des couples freineurs par les machines électriques 2. Le pilotage des machines électriques 2 étant assuré directement par un module électronique de pilotage de roue 23 particulier à chacune des machines électriques 2. Celui-ci est chargé des logiciels adéquats pour piloter chaque machine électrique en couple selon les signaux de
15 commande reçus. Chaque module électronique de pilotage de roue 23 reçoit des signaux de commande de freinage d'une part sur le bus 30A et d'autre part sur la ligne analogique 300 délivrant le signal du capteur C2. Chaque module électronique de pilotage de roue 23 peut donc comparer à tout moment le signal de commande délivré sur le bus 30A et le signal de commande délivré par la ligne analogique 300 et, dans une certaine marge de tolérance par
20 exemple de l'ordre de 10 à 20 % selon des déterminations expérimentales, donner priorité au signal de commande de freinage en provenance du bus 30A. C'est le mode de fonctionnement normal.

[0065] En revanche, si pour une raison de dysfonctionnement de l'unité centrale 3 ou du logiciel implanté dans l'unité centrale 3, le signal de commande de freinage envoyé par le
25 bus 30A était très inférieur au signal de commande de freinage provenant directement de façon analogique du capteur C2, priorité peut être donnée au signal de commande en provenance du capteur C2 pour assurer la sécurité de fonctionnement en freinage du véhicule. On voit que l'architecture proposée réalise une exploitation différente des signaux délivrés par chacun des capteurs C1 et C2. Le capteur C1 est associé à l'unité centrale 3 et permet de calculer un signal
30 de freinage global de premier niveau. D'autre part, le signal de commande délivré par le capteur C2 est directement délivré par voie analogique par des lignes appropriées aux modules électroniques de pilotage de roue 23. Une cohérence globale est assurée en comparant les différents signaux. Le signal correspondant à une demande de décélération la plus élevée, dans

une marge de tolérance choisie, a alors priorité. De la sorte, la sécurité dans la commande du freinage est assurée même en cas de défaillance du bus 30A, ou d'un tronçon du bus, ou de l'une quelconque des lignes analogiques 300.

[0066] En plus de tout ceci, on peut implanter une possibilité de créer un signal de freinage prédéterminé par une commande d'urgence au moyen par exemple d'un bouton d'urgence à la disposition du conducteur. Ce type de commande de freinage est pris en compte par l'unité centrale 3, plus précisément par le logiciel implanté dans l'unité centrale 3, et est acheminé aux électroniques de commande 23 de chacune des machines par le bus CAN 30A. Ceci peut assurer une sécurité de fonctionnement au freinage même en cas de rupture de la pédale de frein. De même, ceci peut assurer une sécurité de fonctionnement au freinage en cas de rupture des 2 capteurs ou de rupture de la fixation des 2 capteurs de frein C1 et C2. Si seule la liaison mécanique de l'un des 2 capteurs C1 ou C2 ou l'un des 2 capteurs est défaillant, bien entendu la sécurité de fonctionnement en freinage est assurée comme expliqué au paragraphe précédent. Mais dans ce cas, on peut par exemple autoriser la fin du trajet et, après arrêt du véhicule, interdire son redémarrage.

[0067] Enfin, signalons que de préférence la redondance matérielle qui vient d'être exposée est utilisée en combinaison avec une redondance logicielle, avantageusement à la fois pour les logiciels chargés dans l'unité centrale 3 et ceux chargés dans les modules électroniques de pilotage de roue 23. De la sorte, on atteint un haut degré de sécurité du système de freinage pour véhicule par voie totalement électrique.

REVENDICATIONS

1. Système de freinage électrique pour un véhicule routier équipé de roues (1) qui sont reliées
5 en rotation chacune à au moins une machine électrique rotative (2), chaque machine
électrique rotative (2) coopérant avec une seule roue, un module électronique de pilotage de
roue pilotant la ou les machines électriques d'une même roue (23), chaque module
électronique de pilotage permettant d'imposer sélectivement à la roue considérée un couple
10 de pilotage déterminé en amplitude et en signe, de façon à ce que la roue considérée impose
au véhicule un effort longitudinal moteur ou un effort longitudinal freineur selon ledit
couple de pilotage déterminé, le système comportant une unité centrale (3) assurant la
gestion du déplacement longitudinal du véhicule, ladite unité centrale (3) contrôlant
l'ensemble des modules électronique de pilotage de roue (23), caractérisé en ce que ladite
15 unité centrale (3) a un mode de fonctionnement de freinage du véhicule activé par un signal
de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la
force totale de freinage souhaitée pour ledit véhicule et, en mode freinage, quelle que soit
l'amplitude du signal de commande du freinage, ladite unité centrale (3) contrôle
l'ensemble des modules électroniques de pilotage de roue (23) de façon à ce que la somme
20 des efforts longitudinaux de l'ensemble des roues (1) provenant des machines électriques
rotatives soit une fonction de ladite amplitude du signal de commande du freinage, et en ce
que le système comporte des moyens pour dissiper thermiquement l'énergie électrique, de
puissance supérieure à 350 kW par tonne de véhicule, l'ensemble des machines électriques
rotatives (2) étant apte à produire une puissance de crête supérieure à 350 kW par tonne de
véhicule.
- 25
2. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 dans lequel ladite fonction de
ladite amplitude du signal de commande du freinage est une fonction proportionnelle.
3. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 comportant, associé à une roue
30 au moins, un dispositif de freinage mécanique (71) commandé par un actionneur électrique
(7) piloté par une unité de commande de freinage, ladite unité de commande de freinage ne
pouvant être activée que sous un seuil de vitesse longitudinale du véhicule, ledit seuil étant
inférieur à 10 km/h.

4. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 comportant, associé à une roue au moins, un dispositif de freinage mécanique (71) de la roue commandé uniquement par une commande de frein de parking (35).
- 5 5. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 dans lequel il n'y a pas de frein mécanique de service.
6. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 comportant un dispositif de contrôle du glissement de chaque roue dans lequel, en mode freinage, le couple de pilotage d'une roue est diminué lorsque le dispositif de contrôle du glissement détecte un glissement de la roue considérée.
10
7. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 6 dans lequel on calcule en temps réel la dérivée du signal de vitesse de rotation de chaque roue pour obtenir un signal représentatif de l'accélération/décélération de chaque roue et on compare ce dernier à un signal donnant l'accélération/décélération réelle du véhicule, délivré par un capteur d'accélération longitudinale (34).
15
8. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 6 ou 7 dans lequel les machines électriques de traction (2) sont équipées d'un capteur de position angulaire de type résoudre.
20
9. Système de freinage d'un véhicule selon l'une des revendications 1 à 8 dans lequel les moyens pour dissiper thermiquement l'énergie électrique comportent une ou plusieurs résistances électriques de dissipation (6).
25
10. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 1 dans lequel chaque roue comporte une machine électrique rotative montée dans la roue.
11. Système de freinage électrique selon l'une des revendications précédentes, comportant au moins deux sous-systèmes (A et B) connectés à une ligne électrique centrale (40), chacun des sous-systèmes comportant :
30
 - une partie desdites roues (1),
 - les modules électroniques de pilotage associés à chaque roue de ladite partie, et
 - un dispositif de dissipation alimenté par un module électronique de dissipation (60).

12. Système de freinage d'un véhicule selon la revendication 11, pour un véhicule à quatre roues, chacune reliée en rotation à au moins une machine électrique rotative (2) qui lui est propre, comportant deux sous-systèmes, dans lequel chacun desdits sous-systèmes comporte deux desdites roues, et dans lequel chaque sous-système regroupe les roues du véhicule disposées en diagonale aux angles opposés du véhicule.
13. Système selon l'une des revendications 11 ou 12, , comportant deux sous-systèmes, dans lequel le dispositif de dissipation de chaque sous-système est de puissance supérieure à 250 kW par tonne de véhicule et l'ensemble des machines électriques rotatives 2 est apte à produire une puissance de crête supérieure à 500 kW, par tonne de véhicule.
14. Système selon l'une des revendications 11 à 13, dans lequel chacun des sous-systèmes (A et B) est relié à la ligne électrique centrale (40) par un dispositif de protection contre les surintensités (41A et 41B), un moyen d'alimentation en énergie électrique étant connecté à la ligne électrique centrale (40).
15. Système selon l'une des revendications 11 à 14, comportant un étage d'alimentation électrique basse tension pour alimenter des électroniques de contrôle et de commande des éléments de puissance, ledit étage d'alimentation électrique basse tension comportant une première alimentation et au moins une deuxième alimentation, la première alimentation et la deuxième alimentation étant interconnectées par une ligne électrique basse tension (43) comportant un premier tronçon (43A) et un second tronçon (43B), lesdits premier et second tronçons étant reliés par un dispositif de séparation galvanique (430) des deux tronçons, capable d'interrompre l'interconnexion sur commande, en cas de sous-tension sur l'un d'entre eux, chaque module électronique de pilotage de roue (23) et module électronique de dissipation (60) d'un (A) des sous-systèmes étant alimenté par le premier tronçon et chaque module électronique de pilotage de roue (23) et module électronique de dissipation (60) de l'autre (B) des sous-systèmes étant alimenté par le second tronçon.
16. Système selon l'une des revendications 11 à 15, comportant une unité centrale (3) assurant la gestion du déplacement longitudinal du véhicule, ladite unité centrale (3) contrôlant l'ensemble des modules électronique de pilotage de roue (23), comportant une commande de freinage (32) à la disposition d'un conducteur, ladite commande étant reliée mécaniquement au moins à un premier capteur (C1) délivrant un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de

freinage souhaitée pour le véhicule, et à un deuxième capteur (C2) délivrant un signal de commande du freinage du véhicule ayant une amplitude donnée représentative de la force totale de freinage souhaitée pour le véhicule, dans lequel ledit premier capteur (C1) délivre son signal de commande à ladite unité centrale (3) et ledit deuxième capteur (C2) délivre son signal de commande à chacun des modules électronique de pilotage de roue (23).

5

17. Système selon la revendication 16 comportant un étage d'alimentation électrique basse tension pour alimenter des électroniques de contrôle et de commande des éléments de puissance, ledit étage d'alimentation électrique basse tension comportant une première alimentation et au moins une deuxième alimentation, la première alimentation et la deuxième alimentation étant interconnectées par une ligne électrique (43) comportant un premier tronçon (43A) et un second tronçon (43B), lesdits premier et second tronçons étant reliés par un dispositif de séparation galvanique (430) des deux tronçons capable d'interrompre l'interconnexion sur commande, en cas de sous-tension sur l'un d'entre eux, ledit premier capteur (C1) étant alimenté par le même tronçon que l'unité centrale (3), ledit deuxième capteur (C2) étant alimenté à la fois par une électronique de pilotage de roue (23) d'un des sous-systèmes (A) et par une électronique de pilotage de roue (23) de l'autre des sous-systèmes (B) via une paire de diodes isolant lesdites alimentations.

10

15

20

18. Système de motorisation d'un véhicule selon la revendication 10 dans lequel le rapport de réduction est supérieur à 10.

19. Système de motorisation d'un véhicule selon la revendication 10 dans lequel le rapport de réduction est supérieur à 15.

25

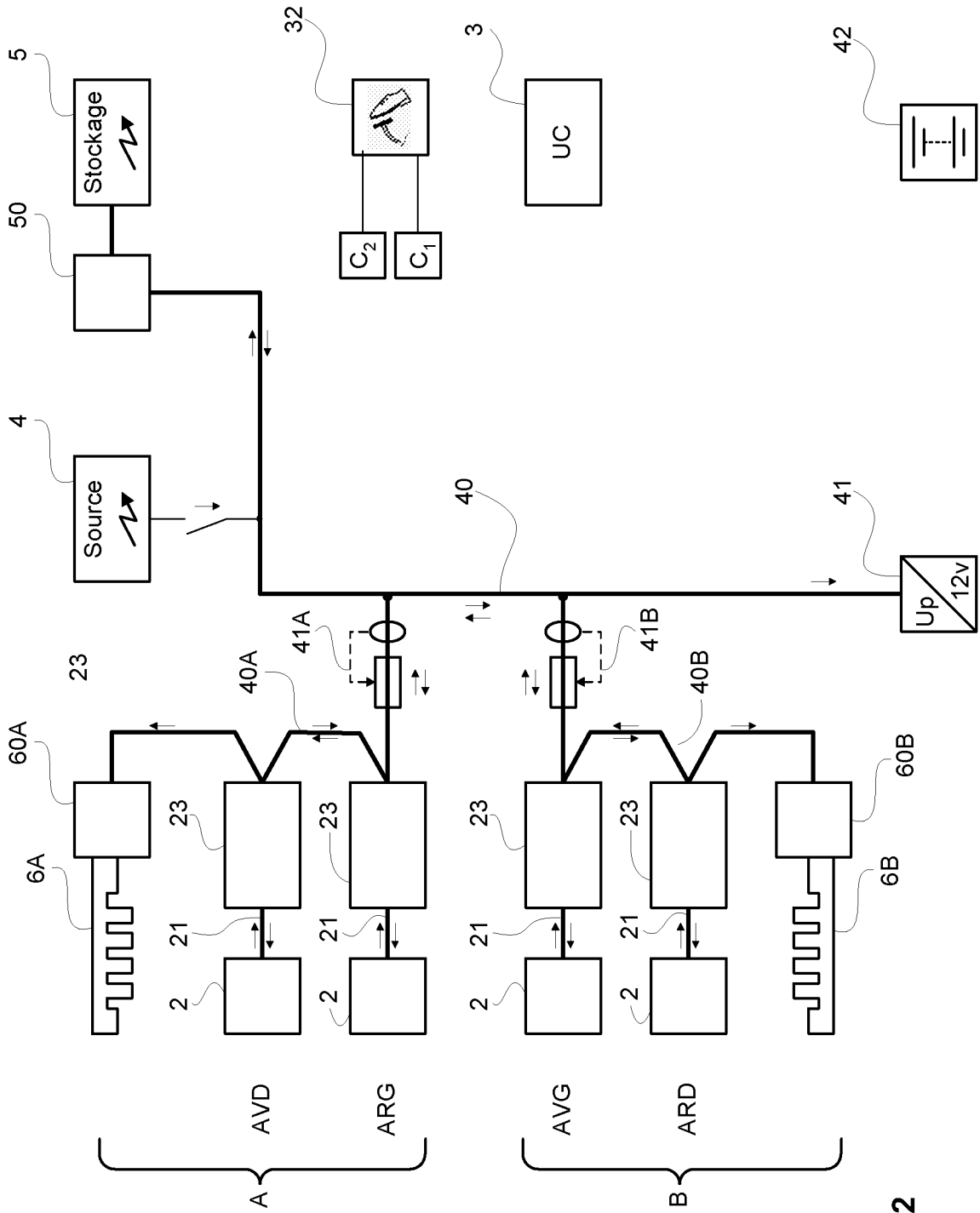


Fig. 2

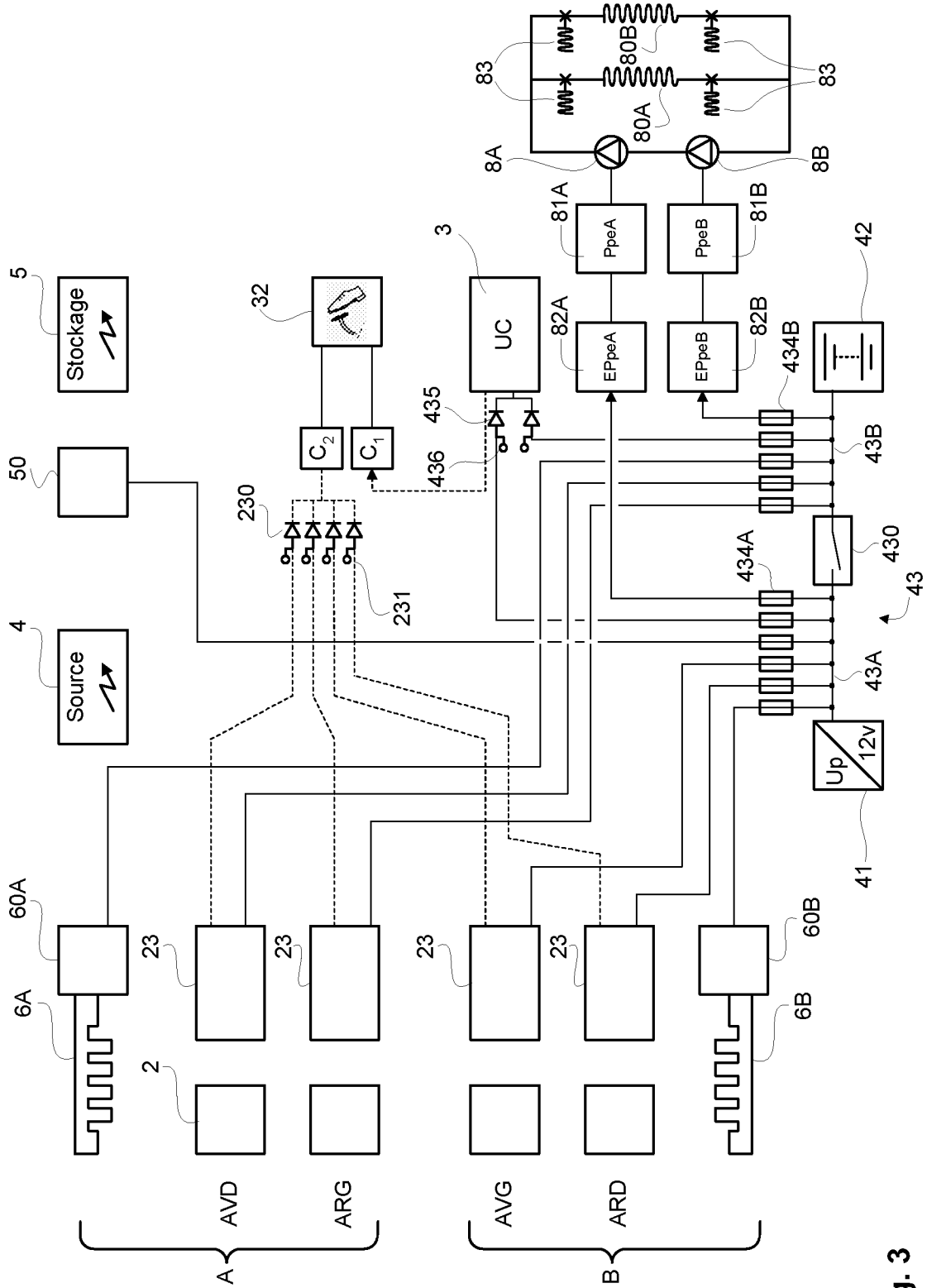


Fig. 3

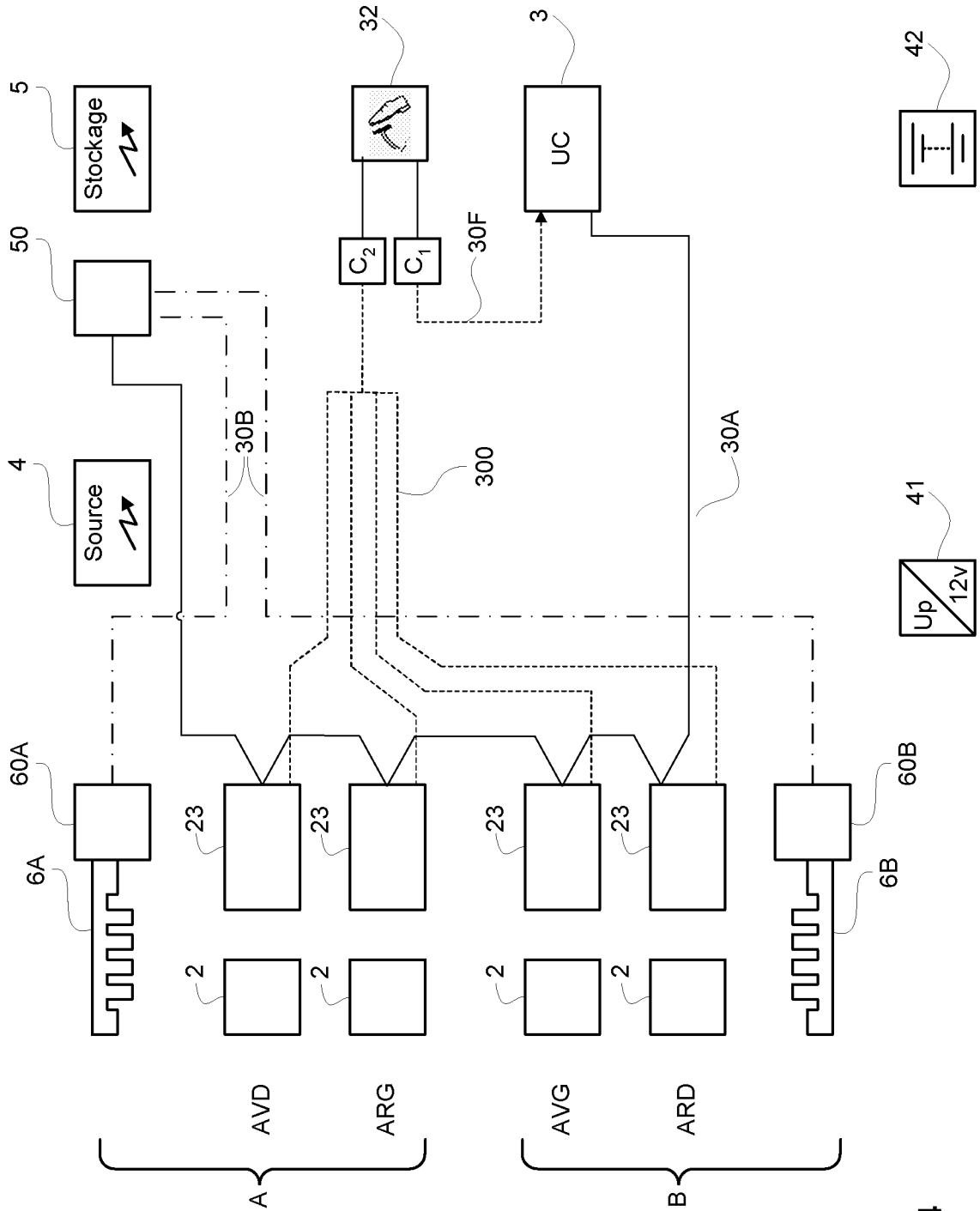


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/052660

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B60L7/22 B60L7/06
 ADD. B60L11/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	GB 2 344 799 A (ROVER GROUP [GB]) 21 June 2000 (2000-06-21) the whole document	1-10, 18, 19 11-19
A	GB 2 383 567 A (VISTEON GLOBAL TECH INC [US]) 2 July 2003 (2003-07-02) page 6, column 20 - page 10, column 9; figures 2-4	1
A	GB 2 282 651 A (LUCAS IND PLC [GB]) 12 April 1995 (1995-04-12) the whole document	1
A	US 6 709 075 B1 (CROMBEZ DALE SCOTT [US] ET AL) 23 March 2004 (2004-03-23) the whole document	1
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
E earlier document but published on or after the international filing date	*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	*Z* document member of the same patent family
P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 June 2007	Date of mailing of the international search report 21/06/2007
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Segaert, Pascal
---	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/052660

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 992 950 A (KUMAR AJITH KUTTANNAIR [US] ET AL) 30 November 1999 (1999-11-30) -----	
A	DE 100 54 368 A1 (TIIT GMBH TRAINING IN IND TECH [DE]) 16 May 2002 (2002-05-16) cited in the application -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/052660

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2344799	A	21-06-2000	NONE	
GB 2383567	A	02-07-2003	DE 10240649 A1 US 2003125847 A1	17-07-2003 03-07-2003
GB 2282651	A	12-04-1995	DE 4435953 A1 US 5632534 A	04-05-1995 27-05-1997
US 6709075	B1	23-03-2004	NONE	
US 5992950	A	30-11-1999	NONE	
DE 10054368	A1	16-05-2002	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052660

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B60L7/22 B60L7/06 ADD. B60L11/18		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B60L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X A A A A A	GB 2 344 799 A (ROVER GROUP [GB]) 21 juin 2000 (2000-06-21) le document en entier ----- GB 2 383 567 A (VISTEON GLOBAL TECH INC [US]) 2 juillet 2003 (2003-07-02) page 6, colonne 20 - page 10, colonne 9; figures 2-4 ----- GB 2 282 651 A (LUCAS IND PLC [GB]) 12 avril 1995 (1995-04-12) le document en entier ----- US 6 709 075 B1 (CROMBEZ DALE SCOTT [US] ET AL) 23 mars 2004 (2004-03-23) le document en entier ----- -/--	1-10, 18, 19 11-19 1 1 1
<input checked="" type="checkbox"/>	Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 13 juin 2007		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 21/06/2007
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Segaert, Pascal

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052660

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 992 950 A (KUMAR AJITH KUTTANNAIR [US] ET AL) 30 novembre 1999 (1999-11-30) -----	
A	DE 100 54 368 A1 (TIIT GMBH TRAINING IN IND TECH [DE]) 16 mai 2002 (2002-05-16) cité dans la demande -----	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052660

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2344799	A	21-06-2000	AUCUN	
GB 2383567	A	02-07-2003	DE 10240649 A1 US 2003125847 A1	17-07-2003 03-07-2003
GB 2282651	A	12-04-1995	DE 4435953 A1 US 5632534 A	04-05-1995 27-05-1997
US 6709075	B1	23-03-2004	AUCUN	
US 5992950	A	30-11-1999	AUCUN	
DE 10054368	A1	16-05-2002	AUCUN	