



(43) Date de la publication internationale
9 août 2012 (09.08.2012)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/104542 A2

(51) Classification internationale des brevets :
B60L 11/12 (2006.01) **B60L 11/00** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/050205

(22) Date de dépôt international :
31 janvier 2012 (31.01.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1150754 1 février 2011 (01.02.2011) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS SNCF** [FR/FR]; 34 rue du Commandant René Mouchotte, F-75014 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **JEUNESSE, Alain** [FR/FR]; 5 parvis du Breuil, F-92160 Antony (FR). **EVAIN, Yannick** [FR/FR]; 39 rue Jonquoy, F-75014 Paris (FR). **JOFFRIN, Florian** [FR/FR]; 24 rue de la Gare, F-92320 Chatillon (FR).

(74) Mandataires : **LEVEILLE, Christophe** et al.; Gevers France, 23bis rue de Turin, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, 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, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : METHOD AND SYSTEM FOR MANAGING THE ENERGY OF A RAIL VEHICLE

(54) Titre : PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE GESTION DE L'ÉNERGIE D'UN ENGIN FERROVIAIRE

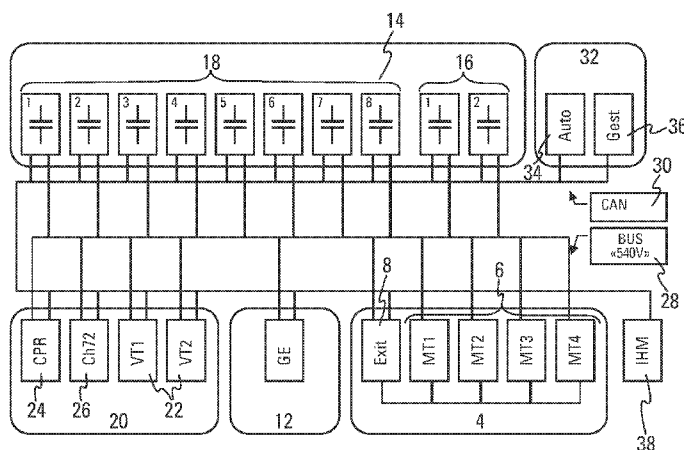


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a method for managing the energy of a rail vehicle (2) comprising a plurality of on-board sources (12, 14) and electrical energy consumers (6, 20), said sources comprising energy storage means (14). Said method comprises the steps of: collecting information relating to the available quantities of electrical energy that can be produced by the storage means (14) and to the maximum electrical power that may be absorbed by the consumers (6, 20); calculating an autonomy of the storage means (14), said autonomy being equal to the ratio between the electrical energy available in the storage means (14) and the maximum electrical power collected; and optimising the use of the sources (12, 14) for supplying the electrical energy according to the calculated autonomy.

(57) Abrégé : Procédé de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire (2) comprenant une pluralité de sources embarquées (12,14) et de consommateurs d'énergie électrique (6,20), lesdites sources comprenant des moyens de stockage d'énergie (14), ledit procédé comprenant les étapes de: - collecte d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage (14) et à la

[Suite sur la page suivante]



puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs (6,20); - calcul d'une autonomie des moyens de stockage (14), ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage (14) et la puissance électrique maximale collectée; et - optimisation de l'utilisation des sources (12,14) pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée.

Procédé et système de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire

La présente invention concerne un procédé de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire. Elle concerne également un système de gestion correspondant.

5 L'invention s'intéresse plus particulièrement au domaine du transport ferroviaire, notamment au domaine des engins ferroviaires hybrides.

Actuellement, deux architectures principales d'engins ferroviaires sont exploitées en Europe. La première architecture repose sur des locomotives électriques et la deuxième architecture repose sur des locomotives diesel. A bord
10 des locomotives électriques, l'énergie est distribuée par prélèvement sur une caténaire à travers des pantographes, des transformateurs (dans le cas de réseaux alternatifs) et des convertisseurs. Sur une locomotive diesel, l'énergie est produite sur place par un générateur associé à un moteur thermique. Les deux architectures ont une partie commune constituée de moteurs de traction et
15 d'auxiliaires.

Les engins ferroviaires propulsés par un moteur électrique ne disposaient auparavant que d'une seule source d'énergie comme par exemple une caténaire, un troisième rail, un moteur thermique, etc. Cette source était dimensionnée pour fournir la puissance maximale nécessaire pour assurer la traction de l'engin et les
20 besoins des auxiliaires comme par exemple le confort des voyageurs, la production d'air, le refroidissement des organes de puissance, etc. Ainsi, à tout instant, le besoin en puissance électrique de la mission de l'engin est assuré par la seule source d'énergie présente.

Il existe actuellement des engins ferroviaires comprenant deux sources
25 d'énergie électrique combinant une source d'énergie principale et un moyen de stockage électrique. Pour ces engins, la mise en œuvre d'un moyen de stockage en plus de la source principale demande une évolution légère des principes de commande existant pour tenir compte des caractéristiques du moyen de stockage.

30 A titre d'exemple d'une telle commande, la source principale recharge le moyen de stockage à partir d'un seuil prédéfini. Cette commande permet d'aligner la génération d'alimentation électrique par rapport à la vitesse de l'engin et l'état

de charge du moyen de stockage.

Cependant, ce type de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire n'est pas adapté à un engin ferroviaire comprenant une pluralité de sources d'énergie électrique embarquées de différents types.

5 La présente invention vise à améliorer la situation.

A cet effet, l'invention concerne d'abord un procédé de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire comprenant une pluralité de sources d'énergie embarquées et de consommateurs d'énergie électrique, lesdites sources comprenant des moyens de stockage d'énergie, ledit procédé comprenant les étapes de:

- 10 - collecte d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage et à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs ;
- calcul d'une autonomie des moyens de stockage, ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de
- 15 stockage et la puissance électrique maximale collectée ; et
- optimisation de l'utilisation des sources pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée.

L'utilisation de l'autonomie des moyens de stockage d'énergie électrique permet d'optimiser la gestion de l'énergie de l'engin en permettant d'utiliser de

20 manière optimisée les moyens de stockage d'énergie.

Avantageusement, les sources comprennent, outre les moyens de stockage d'énergie, une source d'énergie principale comprenant un groupe électrogène et/ou une pile à combustible.

Cette source d'énergie principale embarquée permet la production de

25 l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'engin et à la charge des moyens de stockage.

Avantageusement, l'étape d'optimisation comprend une étape de commande de mise en marche de la source d'énergie principale si l'autonomie est inférieure à un seuil déterminé.

30 L'étape d'optimisation permet ainsi de limiter le recours à la source d'énergie principale et privilégie le prélèvement d'énergie sur les moyens de stockage.

De préférence, le seuil est compris entre 20 et 40 secondes, notamment

égal à 30 secondes. Ce seuil correspond au temps de démarrage et de mise en puissance de la source d'énergie principale.

Avantageusement, l'étape de commande de mise en marche comprend une étape de transmission d'une consigne d'énergie électrique vers la source
5 d'énergie principale.

Selon une réalisation préférée, l'étape d'optimisation comprend les étapes de :

- définition d'au moins deux domaines fréquentiels de fonctionnement de l'engin ;
- 10 - allocation d'au moins un moyen de stockage parmi les moyens de stockage à chaque domaine fréquentiel défini ; et
- dans chaque domaine fréquentiel, commande de l'engin pour utiliser en priorité le moyen de stockage alloué audit domaine fréquentiel lors d'un fonctionnement de l'engin dans ce domaine.

15 Cela permet d'optimiser l'utilisation des moyens de stockage embarqués en exploitant l'adéquation de chaque type de moyen de stockage à un domaine fréquentiel de fonctionnement particulier. Le domaine fréquentiel de fonctionnement est directement lié à la variation de la sollicitation en puissance électrique de l'engin pendant ce fonctionnement.

20 A titre d'exemple, lors d'une manœuvre, la puissance sollicitée montre des variations d'amplitude importantes, brèves et rapides, correspondant ainsi à un domaine fréquentiel de fonctionnement situé du côté des hautes fréquences.

A l'inverse, lors de dessertes locales, la puissance sollicitée par le fonctionnement de l'engin est davantage continue, son amplitude pouvant être
25 importante et peu variable. Le domaine fréquentiel de fonctionnement est, dans ce cas, situé du côté des basses fréquences.

De préférence, les domaines fréquentiels définis comprennent :

- un premier domaine de fréquences inférieures à une dizaine de mHz (millihertz) ; et
- 30 - un deuxième domaine de fréquences supérieures à une vingtaine de mHz.

Le premier domaine fréquentiel, proche du continu, est une image de la

valeur moyenne de la mission de l'engin alors que le deuxième domaine fréquentiel correspond à des régimes très variables.

De préférence, le moyen de stockage alloué au premier domaine de fréquences est un bloc de batteries.

5 Les caractéristiques des batteries nécessitent en effet un fonctionnement en régime stabilisé pour une utilisation optimale en terme de rendement, de consommation, de durée de vie d'émission de polluants, etc. Les batteries sont ainsi aptes à supporter des fréquences de fonctionnement situées dans les basses fréquences, du continu à quelques mHz.

10 Avantageusement, le moyen de stockage alloué au deuxième domaine de fréquences est un bloc de supercondensateurs.

En effet, les supercondensateurs sont aptes à supporter des cycles de fonctionnement voisins de la centaine de mHz jusqu'à quelques Hz. Autrement dit, leurs cycles de charge et de décharge présentent une fréquence adaptée au
15 deuxième domaine de fréquences.

Selon une réalisation préférée, l'étape de collecte d'informations relatives à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs comprend une étape de prédiction de cette puissance maximale à partir de valeurs enregistrées de la puissance électrique absorbée par les
20 consommateurs lors de fonctionnements précédents de l'engin.

En effet, lors de chaque fonctionnement de l'engin, les valeurs de la puissance électrique absorbée par les consommateurs sont enregistrées. Une étude statistique de ces valeurs enregistrées pour différents types de mission (opération de maintenance, desserte entre deux stations données, etc.) permet de
25 prédire la puissance maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs lors d'une future mission de l'engin.

L'invention concerne également un système de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire comprenant une pluralité de sources d'énergie embarquées et de consommateurs d'énergie électrique, les dites sources comprenant des
30 moyens de stockage d'énergie, ledit système comprenant des moyens de :

- collecte d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage et à la puissance

électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs ;

- calcul d'une autonomie des moyens de stockage, ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage et la puissance électrique maximale collectée ; et

- 5 - optimisation de l'utilisation des sources pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée.

Des exemples de réalisation de l'invention vont maintenant être décrits de façon plus précise, mais non limitative, en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 10 - la figure 1 est un schéma illustrant la structure électrique d'un engin ferroviaire selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 2 est un schéma illustrant la structure et le fonctionnement du système de gestion de l'énergie selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 3 est un schéma illustrant la structure détaillée des moyens de
15 traitement du système de gestion de la figure 2 selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 4 est un diagramme illustrant le fonctionnement du procédé de gestion de l'énergie selon un mode de réalisation de l'invention ; et

- la figure 5 est une vue agrandie d'une partie du diagramme de la figure 4.

- 20 La figure 1 illustre le réseau électrique d'un engin ferroviaire 2 de type hybride. L'engin 2 est muni d'un bloc de traction 4 pour l'entraînement de l'engin. Le bloc de traction 4 comprend, à titre d'exemple non limitatif, quatre moteurs 6 de traction électrique.

Le bloc de traction 4 comprend également une alimentation 8 d'excitation
25 des moteurs 6.

De préférence, le schéma de traction de l'engin 2 autorise un freinage par récupération d'énergie.

Ces moteurs 6 consomment de l'énergie électrique produite par une pluralité de sources électriques embarquées sur l'engin 2. Ces sources embarquées
30 produisent ou stockent de l'énergie à bord de l'engin 2.

Dans l'exemple de la figure 1, ces sources comprennent un groupe électrogène 12.

Le groupe électrogène 12 comprend notamment un moteur thermique diesel fournissant une puissance égale à 230 kW, par exemple. Il constitue la source principale de l'énergie électrique.

En variante, cette source principale peut comprendre une pile à combustible,
5 ou une combinaison d'un groupe électrogène avec une pile à combustible.

Les sources embarquées à bord de l'engin 2 comprennent également des moyens de stockage d'énergie 14.

Les moyens de stockage d'énergie 14 comprennent notamment un bloc de batteries 16 et un bloc de supercondensateurs 18.

10 Le bloc de batteries 16 comprend de préférence des batteries Ni-Cd (cadmium - nickel). A titre d'exemple, le bloc de batteries 16 comprend 2 groupes de 6 modules de 48 éléments de cellules de batteries d'une capacité de 135 Ah.

Le bloc de supercondensateurs 18 comprend une pluralité de supercondensateurs, par exemple 8 modules de 200 supercondensateurs
15 5000F/2,5V connectés en série. La capacité totale du bloc de supercondensateurs 18 est alors égale, dans cet exemple à 200 F.

Il est également possible d'utiliser des supercondensateurs de capacité différente, par exemple 2600F ou 9000F.

L'engin 2 comprend également un ensemble d'auxiliaires 20 qui comprend
20 notamment des ventilateurs 22 des moteurs de traction 6, un compresseur d'air 24 pour le fonctionnement des freins de l'engin 2, et un chargeur de batterie 26 couplé à un accumulateur électrique fournissant une énergie à un circuit basse tension (72 V) de l'engin 2.

L'ensemble des sources d'énergie électrique, c'est-à-dire le groupe
25 électrogène 12, le bloc de batteries 16 et le bloc de supercondensateurs 18, et des consommateurs d'énergie électrique, c'est-à-dire les moteurs de traction 6 et les auxiliaires 20, sont raccordés entre eux par l'intermédiaire d'un bus ou réseau électrique haute tension 28, autrement appelé bus de puissance.

Les sources d'énergie électrique 12, 16, 18 et les consommateurs 6, 20 sont
30 en outre raccordées entre eux à travers un réseau informatique de bord CAN 30 auquel est raccordé un superviseur 32.

Le superviseur 32 a pour fonction principale de répartir de manière optimale l'énergie fournie des sources d'énergie disponibles vers les consommateurs et l'énergie fournie par le groupe électrogène 12 vers le bloc de batteries 16 et le bloc de supercondensateurs 18.

5 Le superviseur 32 constitue le composant dans lequel sont mises en œuvre les étapes du procédé de gestion d'énergie de l'invention. Autrement dit, c'est ce composant qui comprend les moyens du système de gestion d'énergie de l'invention.

10 Le superviseur 32 comprend un automate 34 et un calculateur temps réel 36.

L'automate 34 réalise notamment des fonctions de contrôle commande de l'engin 2 en mettant en œuvre une logique numérisée.

15 Le calculateur 36, faisant l'objet de l'invention, assure la gestion optimisée de l'énergie à bord de l'engin 2 en élaborant des consignes de tension ou de courant que doivent fournir et/ou absorber les sources et les consommateurs en fonction de la mission ferroviaire à accomplir et en fonction de l'état des équipements (en service ou non par exemple).

20 Une interface homme machine IHM 38 est également prévue. Cette interface IHM 38 raccordée au réseau CAN 30 est apte à montrer à un agent de conduite ou de maintenance de l'engin 2, l'état des sources d'énergie, leur autonomie, les flux énergétiques, les consignes émises, etc. Ces informations peuvent être données sous forme de valeurs numériques et/ou sous forme d'animation. L'interface IHM 38 est mise en œuvre soit de manière traditionnelle par des commandes classiques à un pupitre de commande, soit par un écran tactile
25 raccordé au système de conduite et/ou de maintenance par une liaison informatique.

La structure du système de gestion de l'énergie de l'invention, mis en œuvre par le calculateur 36, est décrite en référence à la figure 2.

30 Le système de gestion de l'énergie gère les flux d'énergie entre la pluralité de sources et les consommateurs. Il assure le besoin énergétique de la mission de l'engin 2 tout en optimisant la consommation, la pollution et la durée de vie des composants le constituant. Par l'observation de la mission de l'engin et de l'état

des sources, notamment des moyens de stockage 14, il décide à tout moment de la contribution de chacune des sources selon sa disponibilité et sa capacité en termes d'autonomie et de puissance maximale notamment, ainsi que cela sera décrit dans la suite de la description.

5 Le système de gestion d'énergie comprend des moyens d'acquisition d'informations 40. Ces moyens comprennent notamment des moyens de décodage des informations disponibles sur le réseau informatique de bord CAN 30 et des moyens de mise à l'échelle de ces informations, par exemple des moyens d'uniformisation des unités de mesure, etc. Les informations acquises
10 sont analogiques ou booléennes. A titre d'exemples non limitatifs, ces informations peuvent être un état de charge des batteries et/ou des supercondensateurs, une quantité d'énergie stockée dans les moyens de stockage, une puissance instantanée consommée et/ou fournie, des consignes d'effort, une disponibilité des équipements, une donnée de géolocalisation de
15 l'engin dans le domaine ferroviaire, une vitesse de l'engin, un niveau de carburant dans le réservoir qui alimente le groupe électrogène, etc.

Le système de gestion d'énergie comprend également des moyens de traitement 42 des informations acquises.

Le système de gestion de l'énergie comprend aussi des moyens d'émission
20 44 de consignes. Ces moyens sont aptes à réaliser des post-traitements des informations reçues des moyens de traitement 42. Ces post-traitements comprennent notamment la mise à l'échelle de ces informations et leur codage en messages émis sur le réseau de bord CAN 30.

La structure et le fonctionnement des moyens de traitement 42 sont détaillés
25 en référence à la figure 3.

Les moyens de traitement 42 comprennent des moyens de collecte 46 d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les sources et à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs à partir des informations acquises par les
30 moyens d'acquisition d'informations 40.

Plus particulièrement, les moyens de collecte 46 reçoivent des moyens d'acquisition 40 des informations relatives à la puissance du groupe électrogène

12, aux états de charge du bloc de batteries 16 et/ou du bloc de supercondensateurs 18, à une limitation de pente de montée en charge des moyens de stockage 14, à une quantité d'énergie disponible stockée dans les moyens de stockage 14, à une puissance nécessaire pour la mission, c'est-à-dire
5 devant être fournie aux moteurs de traction 6, etc.

Les moyens de traitement 42 comprennent également des moyens de calcul 48 d'une autonomie des moyens de stockage 14 à partir des informations collectées par les moyens de collecte 46. L'autonomie est définie comme étant le rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage 14 et la
10 puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs.

L'énergie disponible dans chacun des moyens de stockage 14 est liée à une profondeur de décharge maximale tolérée par ledit moyen de stockage en tenant compte du nombre de cycles du moyen de stockage pour une durée de vie
15 définie.

La puissance maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs est proportionnelle à la somme des courants maximum consommables par les auxiliaires 20 et les moteurs de traction 6.

L'autonomie calculée est transmise vers des moyens de commande 50 de mise en marche du groupe électrogène 12. Ces moyens de commande décident
20 la mise en marche du groupe électrogène 12 lorsque la valeur de l'autonomie calculée est inférieure à un seuil déterminé, compris de préférence entre 20 et 40 secondes, notamment égal à 30 secondes.

Ce seuil d'autonomie est déterminé en tenant compte de la composition de la rame tractée par l'engin ainsi que de sa mission, en termes de vitesse à
25 respecter, de profil de ligne, etc., ainsi que des caractéristiques des moyens de stockage afin d'optimiser leur utilisation en termes d'efficacité énergétique, de pollution, de durée de vie, etc.

Les moyens de commande 50 transmettent une consigne d'énergie électrique 52 devant être fournie par le groupe électrogène 12 et une consigne de
30 courant électrique 54 correspondante devant être fournie par le groupe électrogène 12.

Les moyens de traitement 42 comprennent en outre des moyens de calcul 56 du courant électrique devant être fourni par les moyens de stockage 14 à partir du courant 57 devant être fourni aux consommateurs pour la réalisation de la mission, dont la valeur est reçue depuis les moyens d'acquisition 40 d'informations, et de la consigne de courant électrique 54 devant être fournie par le groupe électrogène 12 reçue depuis les moyens de commande 50.

Les moyens de calcul 56 mettent en œuvre le principe de conservation des courants (loi des nœuds), le courant électrique 58 devant être fourni par les moyens de stockage 14 étant alors égal à la différence entre le courant 57 devant être fourni aux consommateurs pour la réalisation de la mission et la consigne de courant électrique 54 devant être fournie par le groupe électrogène 12.

Les moyens de traitement 42 comprennent également des moyens de discrimination fréquentielle 60. Ces moyens de discrimination fréquentielle 60 répartissent le courant 58 devant être fourni par les moyens de stockage 14 sur au moins deux domaines de fréquences selon les caractéristiques de la mission souhaitée de l'engin 2.

Plus particulièrement, les moyens de discrimination fréquentielle 60 définissent trois domaines fréquentiels 62, 64, 66 de fonctionnement de l'engin 2.

Le premier domaine fréquentiel 62 est proche du continu. Il correspond à la valeur moyenne de la mission de l'engin 2. Une desserte locale constitue un exemple d'un fonctionnement de l'engin 2 dans ce domaine fréquentiel. En effet, lors d'une telle desserte, la puissance sollicitée par la mission est quasi continue avec des amplitudes pouvant être importantes et peu variables. Ce premier domaine de fréquences 62 comprend, de préférence, des fréquences inférieures à 10 mHz.

Le deuxième domaine fréquentiel 64 correspond à un régime de fonctionnement très variable de l'engin 2. Une manœuvre constitue un exemple d'un fonctionnement de l'engin 2 dans ce domaine fréquentiel. En effet, lors d'une telle manœuvre, la puissance sollicitée par la mission montre des variations d'amplitude importantes, brèves et rapides. Ce deuxième domaine de fréquences 64 comprend, de préférence, des fréquences supérieures à 20 mHz.

Le troisième domaine fréquentiel 66 est intermédiaire au premier et au deuxième domaine fréquentsiels. Il comprend, de préférence, des fréquences comprises entre 10 mHz et 20 mHz.

Les moyens de discrimination fréquentielle 60 allouent à chaque domaine
5 fréquentiel défini au moins une source apte à fournir de l'énergie électrique lors d'un fonctionnement de l'engin dans ledit domaine.

De manière remarquable, les inventeurs ont découvert que les propriétés intrinsèques temporelles des composants de stockage de l'énergie se projettent à des endroits distincts de l'axe fréquentiel. Plus particulièrement, les batteries se
10 situent dans le domaine des basses fréquences, du continu à quelques mHz alors que les supercondensateurs sont aptes à supporter des cycles de fonctionnement voisins de la centaine de mHz vers quelques Hz. Les caractéristiques des volants d'inertie les placent entre les batteries et les supercondensateurs.

Ainsi, les moyens de discrimination fréquentielle 60 allouent en priorité le
15 bloc de batteries 16 au premier domaine fréquentiel 62. Le groupe électrogène 12 est également adapté à ce domaine fréquentiel 62.

Par ailleurs, les moyens de discrimination fréquentielle 60 allouent le bloc de supercondensateurs 18 au deuxième domaine fréquentiel 64.

En outre, les moyens de discrimination fréquentielle 60 allouent un volant
20 d'inertie et/ou le bloc de batteries 16 et/ou le bloc de supercondensateurs 18 au troisième domaine fréquentiel 66, selon le cas, suivant leur quantité d'énergie stockée disponible et leur état de charge.

Des consignes d'énergie électrique 68, 70, 72 devant être fournies par les moyens de stockage alloués au premier, deuxième et troisième domaines de
25 fréquences sont émises par les moyens de discrimination fréquentielle 60.

Les moyens de traitement 42 comprennent également des moyens de report
74 de missions. Ces moyens de report 74 reçoivent les consignes d'énergie électriques 68, 70, 72 des trois domaines fréquentsiels 62, 64, 66 émises depuis les moyens de discrimination fréquentielle 60. Ils reçoivent également la consigne
30 d'énergie électrique 52 devant être fournie par le groupe électrogène 12 depuis les moyens de commande 50 de mise en marche du groupe électrogène 12.

Les moyens de report 74 reçoivent également des informations relatives aux caractéristiques fonctionnelles des différentes sources depuis les moyens de collecte 46 d'informations.

5 Ces caractéristiques fonctionnelles sont notamment les limitations physiques des sources.

Dans le cas du groupe électrogène 12, de telles limitations sont par exemple la puissance maximale pouvant être fournie et/ou le temps d'arrêt minimal entre deux fonctionnements successifs.

10 Dans le cas des moyens de stockage 14, une telle limitation est par exemple le niveau de charge, le courant maximal de décharge ou de charge.

De manière remarquable, les moyens de report 74 déterminent la quantité d'énergie pouvant effectivement être fournie par chaque source à partir des limitations physiques.

15 Ensuite, pour chaque source, les moyens de report 74, comparent la consigne d'énergie électrique devant être fournie par la source et la quantité d'énergie déterminée pouvant être effectivement fournie par cette même source. Si la consigne est supérieure à la quantité d'énergie déterminée, les moyens de report 74 sélectionnent une autre source et commandent à l'autre source de fournir la différence d'énergie entre la consigne et la quantité d'énergie
20 déterminée.

A titre d'exemple, si la consigne d'énergie électrique devant être fournie par les sources allouées au deuxième domaine fréquentiel 64 est égale à 70% de l'énergie totale nécessaire au fonctionnement de l'engin alors que ces sources ne peuvent fournir que 30% de l'énergie totale, les moyens de report 74 commandent
25 aux sources d'énergie allouées au premier et troisième domaines de fréquences de fournir la différence d'énergie égale à 40%.

Ainsi, afin d'assurer un fonctionnement correct de l'engin, les moyens de report 74 peuvent reporter une partie de la mission d'un domaine fréquentiel vers un autre domaine fréquentiel quand le premier domaine ne peut assurer
30 totalement la mission qui lui a été assignée par les moyens de discrimination fréquentielle 60.

A titre d'exemple, la stratégie de report mise en œuvre lors de la sélection d'une autre source favorise l'utilisation du bloc de supercondensateurs 18 qui présentent une durée de vie plus longue en termes du nombre de cycles de charge et décharge.

5 Suite à la mise en œuvre du report par les moyens de report 74, de nouvelles consignes d'énergie électrique 76, 78, 80 devant être fournies par les moyens de stockage alloués au premier, deuxième et troisième domaines de fréquences sont émises à partir des moyens de report 74.

10 En outre, une consigne de limitation de l'effort de traction 81 est émise à partir des moyens de report 74, vers les moyens d'émission 44 de consignes, lorsque la somme des énergies électriques pouvant être fournies par les différentes sources n'est pas suffisante pour assurer le fonctionnement exigé par la mission.

15 En outre, les moyens de traitement 42 comprennent des moyens d'équilibrage 82, 84, 86 de l'utilisation des sources allouées au domaine fréquentiel 62, 64, 66 respectivement. Les moyens d'équilibrage équilibrent la tâche demandée, c'est-à-dire la consigne d'énergie électrique devant être fournie par les sources allouées au domaine fréquentiel concerné, entre chacune des sources allouées audit domaine.

20 Plus particulièrement, pour des moyens de stockage de même type, les moyens d'équilibrage assurent l'équilibrage des niveaux de charge.

25 A titre d'exemple, le bloc de batteries 16 est alloué au premier domaine de fréquences 62. Les moyens d'équilibrage 82 cherchent alors à équilibrer les niveaux de charge des batteries du bloc de batteries 16. On évite ainsi qu'une des batteries soit complètement déchargée alors qu'une autre serait entièrement chargée.

30 De la même manière, le bloc de supercondensateurs 18 est alloué au deuxième domaine de fréquences 64. Les moyens d'équilibrage 84 cherchent alors à équilibrer les niveaux de charge des supercondensateurs du bloc de supercondensateurs 18. On évite ainsi qu'un des supercondensateurs soit complètement déchargé alors qu'un autre serait entièrement chargé.

Suite à la mise en œuvre de l'équilibrage de l'utilisation des sources par les moyens de d'équilibrage 82, 84, 86, de nouvelles consignes d'énergie électrique 88, 90, 92 devant être fournies par les moyens de stockage alloués respectivement au premier, deuxième et troisième domaines de fréquences sont
5 émises depuis les moyens de d'équilibrage 82, 84, 86 vers les moyens d'émission 44 de consignes.

Le diagramme de la figure 4 illustre un exemple de gestion de l'énergie de l'engin 2 par les moyens de traitement 42 lorsque l'engin 2 effectue une desserte locale entre deux stations. Ce diagramme montre l'évolution des puissances
10 fournies par les sources 12, 16, 18 et de la puissance absorbée par les moteurs de traction 6.

Le diagramme de la figure 4 comprend 6 courbes 100, 102, 104, 106, 108, 110.

La courbe 100 représente la puissance absorbée par les moteurs de traction 6 exprimée en kilowatts (kW) en fonction du temps en secondes (s). Cette
15 puissance est de signe négatif étant donné qu'elle est absorbée.

La courbe 102 représente la puissance fournie par le groupe électrogène 12 exprimée en kilowatts (kW) en fonction du temps en secondes (s).

La courbe 104 représente la puissance fournie par le bloc de batteries 16
20 exprimée en kilowatts (kW) en fonction du temps en secondes (s).

La courbe 106 représente la puissance fournie par le bloc de supercondensateurs 18 exprimée en kilowatts (kW) en fonction du temps en secondes (s).

Par ailleurs, la courbe 108 représente la vitesse de l'engin en km/h en
25 fonction du temps et la courbe 110 représente la consommation de carburant par l'engin en litres par heure en fonction du temps.

Le diagramme de la figure 5 est un extrait du diagramme de la figure 4 pour la période de temps comprise entre 0 et 180 secondes environ.

Dans un premier temps, compris entre 0 et 50 secondes environ, l'engin est
30 à l'arrêt. En effet, la vitesse 108 de l'engin 2 et la puissance 100 absorbée par les moteurs de traction 6 sont nulles. Pendant ce temps, le bloc de batteries 16 (puissance négative sur la courbe 104) est rechargé par le bloc de

supercondensateurs 18 (puissance positive sur la courbe 106). Le groupe électrogène 12 est à l'arrêt pendant ce temps (puissance nulle sur la courbe 102).

Ensuite, dans un deuxième temps compris entre 50 et 75 secondes environ, l'engin 2 démarre. La vitesse 108 est quasi nulle et la puissance 100 absorbée par les moteurs de traction 6 augmente lentement. Ce fonctionnement relève du premier domaine fréquentiel 62. Ainsi, conformément à la stratégie adoptée par les moyens de discrimination fréquentielle 60, c'est le bloc de batteries 16 qui est sollicité (puissance positive sur la courbe 104 alors que la puissance est nulle sur les courbes 102 et 106).

Puis, dans un troisième temps compris entre 75 et 100 secondes environ, la demande de traction devient plus importante. La vitesse 108 augmente et la puissance 100 absorbée par les moteurs de traction 6 augmente plus rapidement. Le bloc de batteries 16 n'arrive plus à fournir l'énergie nécessaire à la mission de l'engin 2. Les moyens de report 74 commandent alors au bloc de supercondensateurs 18 de compléter la fourniture d'énergie bien que le fonctionnement est toujours dans le premier domaine fréquentiel 62. La puissance fournie par le bloc de batteries 16 est au maximum. On observe en effet un palier au niveau de la courbe 104. La puissance fournie par le bloc de supercondensateurs 18 augmente.

Ensuite, dans un quatrième temps compris entre 100 et 150 secondes environ, la puissance absorbée par la traction (courbe 100) est constante alors que la vitesse de l'engin (courbe 108) augmente. Le bloc de batteries 16 et le bloc de supercondensateurs 18 fournissent la puissance nécessaire à la mission. On observe en effet deux paliers au niveau des courbes 104 et 106.

Au temps 150 secondes environ, l'autonomie des moyens de stockage calculée par les moyens de calcul d'autonomie 48 devient inférieure au seuil de 30 secondes. Plus particulièrement, ainsi que cela est pointé par les flèches 120, l'autonomie du bloc de supercondensateurs 18 devient insuffisante pour assurer le besoin de la mission de traction de l'engin 2. Les moyens de commande 50 commandent alors la mise en marche du groupe électrogène 12. La puissance fournie par le groupe électrogène 12 (courbe 102) augmente progressivement. Le

groupe électrogène 12 prend d'abord la relève du bloc de supercondensateurs 18 puis du bloc de batteries 16.

Pendant le période de temps de 400 à 700 secondes environ, le groupe électrogène assure pleinement la mission de traction de l'engin, les blocs de batteries 16 et de supercondensateurs 18 ne fournissant aucune puissance.

Au temps 700 secondes environ, la traction est coupée afin de réduire la vitesse de l'engin 2 pour stationner. Ainsi que cela est pointé par les flèches 130, l'énergie disponible du groupe électrogène 12 permet une recharge des blocs de batteries 16 et de supercondensateurs 18 alors que l'engin 2 est toujours en mouvement (courbe 108). La recharge des supercondensateurs est beaucoup plus rapide que celle des batteries.

Bien entendu, d'autres modes de réalisation peuvent encore être envisagés.

Il est ainsi possible de prévoir dans le système de gestion d'énergie de l'invention des moyens d'« éco-conduite ». Par la connaissance de la topologie de la ligne, du temps de parcours, des arrêts en gare à effectuer, de la composition de l'engin, du trafic prévu et en temps réel, de tels moyens ont pour fonction d'anticiper les actions du système de gestion d'énergie afin d'obtenir une conduite encore plus économique. Par exemple, à l'approche d'une descente, de tels moyens d'« éco-conduite » peuvent commander la recharge des moyens de stockage non pas par le groupe électrogène mais par un freinage récupératif.

Le procédé de gestion de l'énergie décrit dans la présente demande comprend les étapes de :

- définition d'au moins deux domaines fréquentiels (62,64,66) de fonctionnement de l'engin (2);
- allocation d'au moins une source parmi la pluralité de sources à chaque domaine fréquentiel défini ; et
- dans chaque domaine fréquentiel, commande de l'engin (2) pour utiliser en priorité la source allouée audit domaine fréquentiel lors d'un fonctionnement de l'engin (2) dans ce domaine.

Lesdites sources comprenant des moyens de stockage d'énergie (14), ledit procédé comprend les étapes de:

- collecte d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage (14) et à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs (6,20);

5 - calcul d'une autonomie des moyens de stockage (14), ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage (14) et la puissance électrique maximale collectée ; et

- optimisation de l'utilisation des sources (12,14) pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée.

10 En outre, ledit procédé comprend, pour chaque source, les étapes de :

- définition d'une consigne d'énergie électrique devant être fournie par ladite source;

- acquisition d'informations relatives à au moins une caractéristique fonctionnelle de ladite source ;

15 - détermination d'une quantité d'énergie électrique devant être fournie par ladite source en fonction de la caractéristique fonctionnelle de ladite source ; et

- si la consigne est supérieure à la quantité d'énergie déterminée,

- sélection d'une autre source ; et

- commande à l'autre source de fournir la différence d'énergie entre

20 la consigne et la quantité d'énergie déterminée.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire (2) comprenant une pluralité de sources d'énergie embarquées (12,14) et de consommateurs d'énergie électrique (6,20), lesdites sources comprenant des moyens de stockage d'énergie (14) , ledit procédé comprenant les étapes de:
- collecte d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage (14) et à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs (6,20);
 - calcul d'une autonomie des moyens de stockage (14), ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage (14) et la puissance électrique maximale collectée ; et
 - optimisation de l'utilisation des sources (12,14) pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée, cette étape d'optimisation comprenant les étapes de :
- définition d'au moins deux domaines fréquentiels (62, 64, 66) de fonctionnement de l'engin (2);
 - allocation d'au moins un moyen de stockage parmi les moyens de stockage (14) à chaque domaine fréquentiel défini ; et
 - dans chaque domaine fréquentiel, commande de l'engin (2) pour utiliser en priorité le moyen de stockage alloué audit domaine fréquentiel lors d'un fonctionnement de l'engin (2) dans ce domaine.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les sources (12,14) comprennent, outre les moyens de stockage (14) d'énergie, une source d'énergie principale comprenant un groupe électrogène (12) et/ou une pile à combustible.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'étape d'optimisation comprend une étape de commande de mise en marche de la source d'énergie principale (12) si l'autonomie est inférieure à un seuil déterminé.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le seuil est compris entre 20 et 40 secondes, de préférence égal à 30 secondes.
5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel l'étape de commande de mise en marche comprend une étape de transmission d'une consigne d'énergie (52) électrique vers la source d'énergie principale (12).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les domaines fréquentiels définis comprennent :

- un premier domaine (62) de fréquences inférieures à une dizaine de mHz ; et
- un deuxième domaine (64) de fréquences supérieures à une vingtaine de mHz.

5

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel le moyen de stockage alloué au premier domaine de fréquences est un bloc de batteries (16).

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le moyen de stockage alloué au deuxième domaine de fréquences est un bloc de supercondensateurs (18).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de collecte d'informations relatives à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs (6,20) comprend une étape de prédiction de cette puissance maximale à partir de valeurs enregistrées de la puissance électrique absorbée par les consommateurs lors de fonctionnements précédents de l'engin (2).

10. Système de gestion de l'énergie d'un engin ferroviaire (2) comprenant une pluralité de sources d'énergie embarquées (12,14) et de consommateurs (6,20) d'énergie électrique, les dites sources comprenant des moyens de stockage (14) d'énergie, ledit système comprenant des moyens de :

- collecte (46) d'informations relatives aux quantités d'énergie électrique disponibles pouvant être fournies par les moyens de stockage (14) et à la puissance électrique maximale susceptible d'être absorbée par les consommateurs (6,20) ;

- calcul d'une autonomie des moyens de stockage (14), ladite autonomie étant égale au rapport entre l'énergie électrique disponible dans les moyens de stockage (14) et la puissance électrique maximale collectée ; et

- optimisation de l'utilisation des sources (12,14) pour la fourniture de l'énergie électrique en fonction de l'autonomie calculée, lesdits moyens d'optimisation comprenant une :

- définition d'au moins deux domaines fréquentiels (62, 64, 66) de fonctionnement de l'engin (2);

- allocation d'au moins un moyen de stockage parmi les moyens de stockage (14) à chaque domaine fréquentiel défini ; et

- dans chaque domaine fréquentiel, commande de l'engin (2) pour utiliser en priorité le moyen de stockage alloué audit domaine fréquentiel lors d'un fonctionnement de l'engin (2) dans ce domaine.

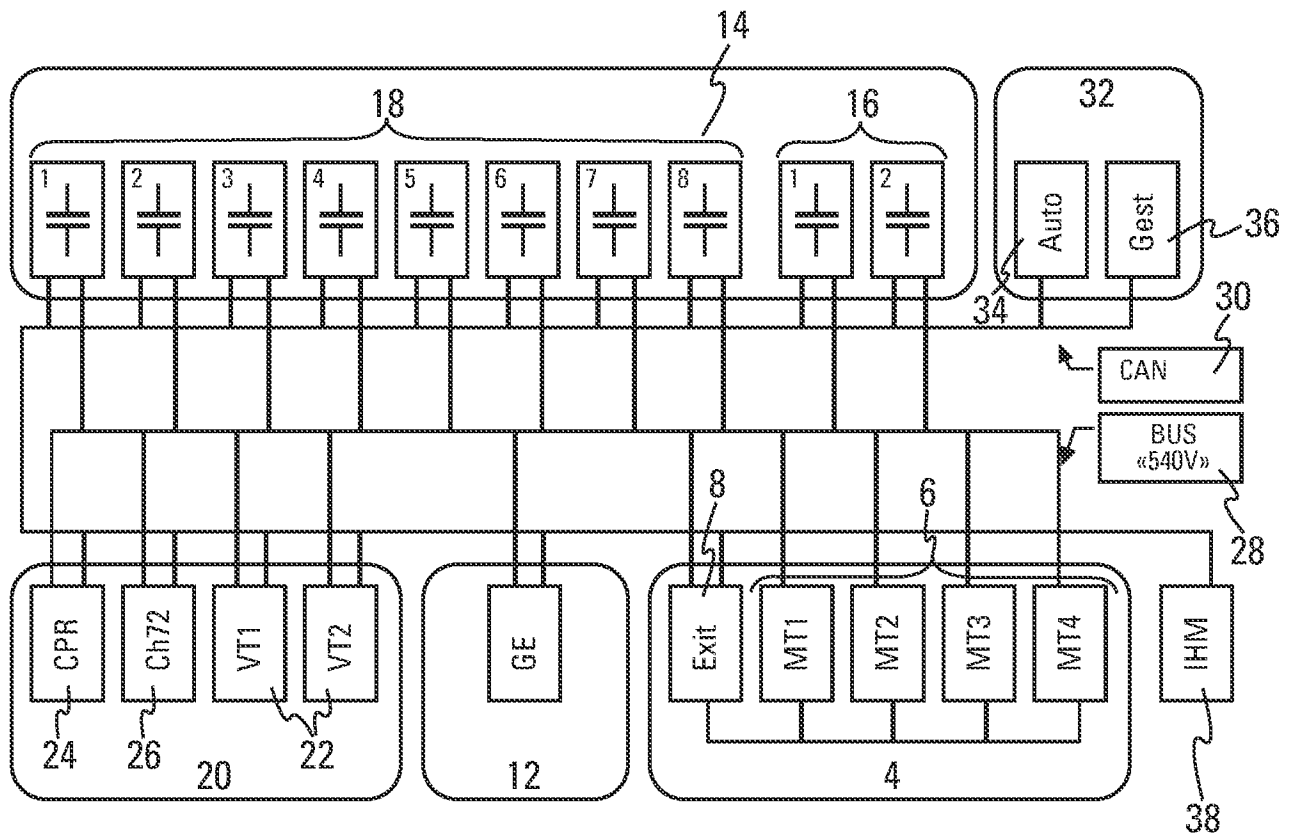
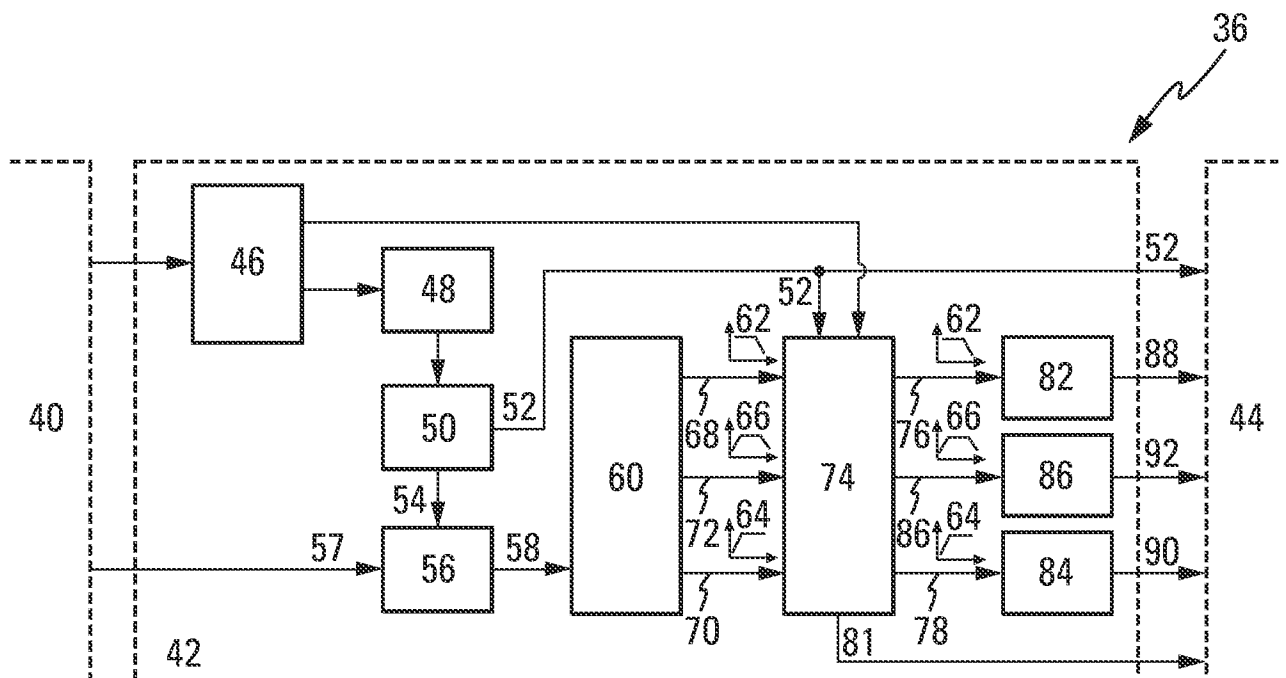
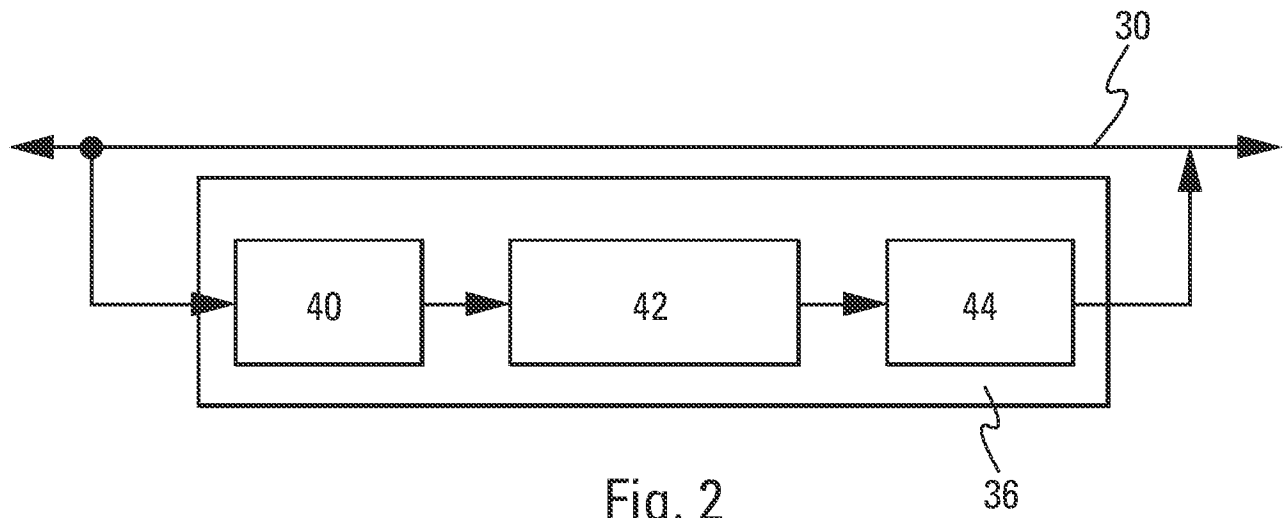


Fig. 1



3/3

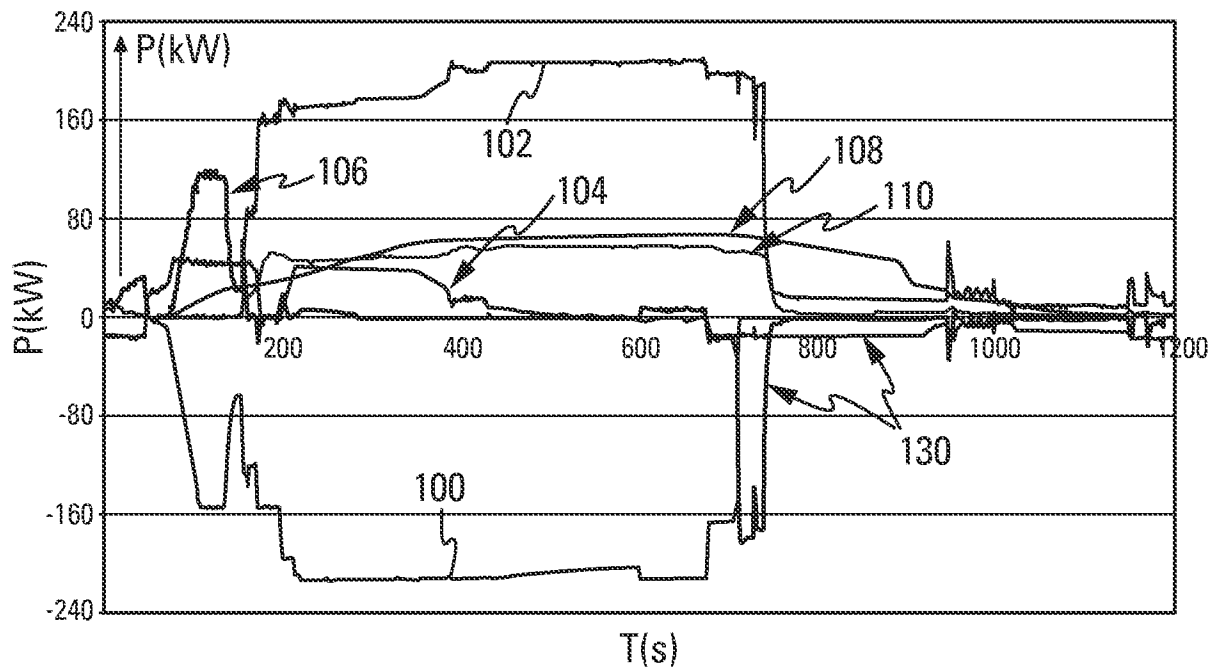


Fig. 4

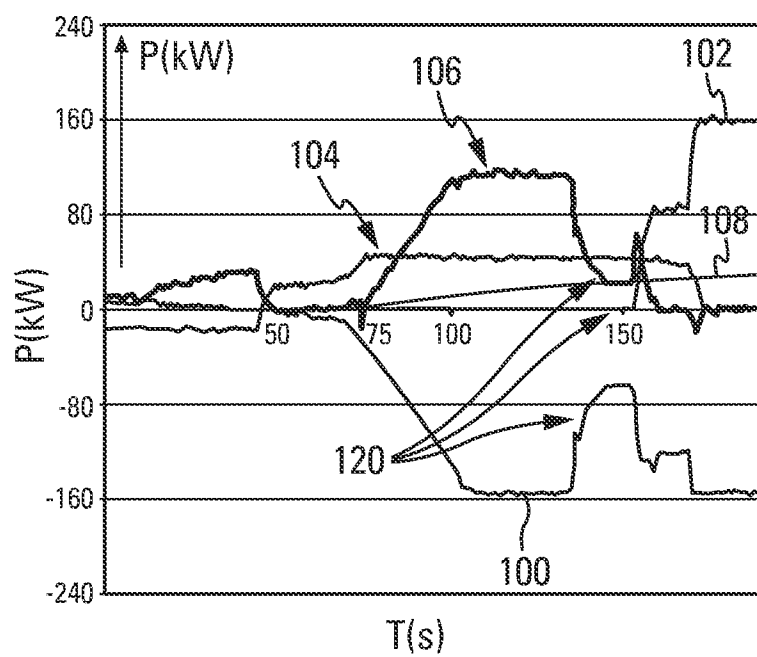


Fig. 5