

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

22 Date de dépôt : 20.11.96.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 22.05.98 Bulletin 98/21.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : MOTEURS FOX SOCIETE A RESPONSABILITE LIMITEE — FR.

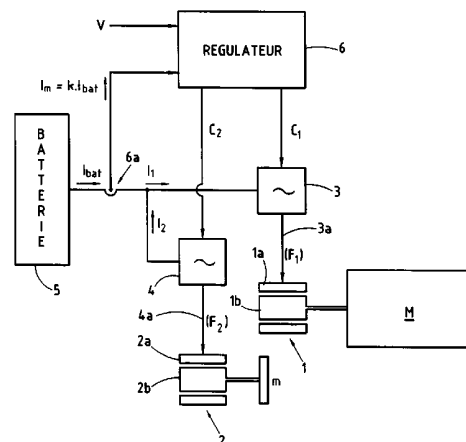
72 Inventeur(s) : ODOUX GERARD DOMINIQUE, BOULIER MARCEL et BROCHET PASCAL.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : BEAU DE LOMENIE.

54 **MACHINE ELECTRIQUE MOTRICE A STOCKAGE INERTIEL ALIMENTEE PAR UNE SOURCE DE TENSION CONTINUE AUTONOME.**

57 La machine comporte:  
 - un premier moteur alternatif (1) dont le rotor (1b) est destiné à entraîner une masse (M), et dont le stator (1a) est alimenté par des tensions alternatives de fréquence (F<sub>1</sub>) réglable, délivrées par un premier convertisseur de tension (3) à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par une source de tension continue autonome (5),  
 - un second moteur alternatif (2) dont le rotor (2b) est solidaire d'une masse (m) et constitue avec cette masse un volant d'inertie, et dont le stator (2a) est alimenté par des tensions alternatives de fréquence (F<sub>2</sub>) réglable, délivrées par un second convertisseur de tension (4) à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par la même source de tension continue autonome (5),  
 - et des moyens de régulation électronique (6) conçus pour piloter les deux convertisseurs de tension (3, 4), en fonction d'une commande de changement de vitesse (V) et de l'intensité mesurée du courant (I<sub>bat</sub>) absorbé ou délivré par la source de tension continue autonome (5).



FR 2 756 118 - A1



**MACHINE ELECTRIQUE MOTRICE A STOCKAGE INERTIEL  
ALIMENTEE PAR UNE SOURCE DE TENSION CONTINUE  
AUTONOME**

La présente invention a pour objet une machine électrique motrice à stockage  
5 inertiel, qui est alimentée à partir d'une source de tension continue autonome, et  
plus particulièrement d'une batterie d'accumulateurs, et qui permet d'augmenter  
l'autonomie de la source de tension continue. Elle trouve avantageusement, mais  
non exclusivement, son application à la motorisation de véhicules automobiles  
électriques.

10 Dans le domaine de la motorisation de véhicules automobiles électriques,  
il est à ce jour connu d'utiliser un moteur alternatif dont le stator est alimenté par  
tensions alternatives de fréquence réglable. Ces fréquences alternatives sont  
délivrées par un convertisseur de tension à variation de fréquence, à partir d'une  
tension continue délivrée par une batterie d'accumulateurs, c'est-à-dire une source  
15 de tension continue autonome, et rechargeable. En réglant judicieusement la  
fréquence des tensions alternatives alimentant le stator, on règle la vitesse de  
rotation du moteur et par là-même la vitesse de déplacement du véhicule.

On est à ce jour capable de réaliser des batteries d'accumulateurs, dont le  
poids et l'encombrement sont suffisamment faibles pour qu'elles puissent être  
20 embarquées sur un véhicule automobile, et qui sont capables de fournir une  
énergie moyenne suffisante pour entraîner ledit véhicule automobile. Cependant,  
l'utilisation de ces batteries pose un problème d'autonomie, pour les raisons qui  
vont à présent être succinctement décrites.

Lorsque les batteries sont sollicitées de manière importante en puissance  
25 instantanée, notamment durant les phases d'accélération du véhicule, elles voient  
leurs performances, et notamment leur autonomie, se dégrader. Par ailleurs, lorsque  
l'on diminue suffisamment la fréquence d'alimentation du moteur alternatif pour  
décélérer le véhicule, ledit moteur se comporte comme une génératrice de courant,  
transformant une partie de l'énergie cinétique du véhicule se retrouvant sur le rotor

du moteur via le convertisseur, en un courant continu à destination des batteries. La récupération de ce courant continu par les batteries se fait dans de mauvaises conditions, et ce d'autant plus que la décélération est importante. Il en résulte que la plus grande partie de l'énergie cinétique du véhicule qui est récupérée en étant transformée en courant continu à destination des batteries, n'est en pratique pas utilisée pour recharger les batteries, mais se trouve dissipée par effet joule.

Le but de la présente invention est de proposer une machine électrique motrice, qui utilise un moteur alternatif destiné à entraîner une masse, telle que par exemple un véhicule automobile, qui est alimentée par une tension continue délivrée par une source de tension continue autonome, et de préférence par une source de tension continue autonome rechargeable du type batterie d'accumulateurs, mais qui permet de pallier les inconvénients constatés ci-dessus, et par là-même d'augmenter l'autonomie de la source de tension continue.

Ce but est parfaitement atteint par la machine électrique motrice à stockage inertiel de l'invention qui de manière connue comporte un premier moteur alternatif dont le rotor est destiné à entraîner une masse (M), dont le stator est alimenté par des tensions alternatives de fréquence réglable, délivrées par un premier convertisseur de tension à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par une source de tension continue autonome.

De manière caractéristique selon l'invention, la machine comprend :

- un second moteur alternatif dont le rotor est solidaire d'une masse (m) et constitue avec cette masse un volant d'inertie, et dont le stator est alimenté par des tensions alternatives de fréquence réglable, délivrées par un second convertisseur de tension à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par la même source de tension continue autonome,
- et des moyens de régulation électronique conçus pour piloter les deux convertisseurs de tension à variation de fréquence, en fonction d'une commande de changement de vitesse et de l'intensité mesurée du courant absorbé ou délivré par la source de tension continue.

Grâce à la machine électrique de l'invention, lorsque le premier moteur est décéléré, une partie du courant continu délivré par le premier moteur qui fonctionne en génératrice, peut être récupérée pour alimenter le stator du second moteur. Il suffit pour cela de débloquent le rotor du second moteur, en augmentant la fréquence des tensions alternatives du stator de ce second moteur, par l'intermédiaire des moyens de régulation électronique, ce qui se traduit par une mise en rotation du volant d'inertie. Ainsi, en agissant sur la fréquence d'alimentation du stator du second moteur, on peut utiliser en phase de décélération, aux pertes de rendement près, une partie de l'énergie cinétique de la masse (M) entraînée par le rotor du premier moteur qui est récupérée sous forme de courant continu lors de la décélération, pour la stocker provisoirement sous forme d'énergie cinétique dans le volant d'inertie constitué par le rotor et la masse (m) du second moteur, et l'autre partie de cette énergie cinétique pour s'il y a lieu recharger en partie la source de tension continue autonome, lorsque celle-ci est rechargeable.

A l'inverse, lors des phases d'accélération, il est possible en diminuant la fréquence d'alimentation du stator du second moteur par l'intermédiaire des moyens de régulation électronique, de ralentir le rotor du second moteur en récupérant l'énergie cinétique acquise par le volant d'inertie, sous la forme d'un courant continu à destination du premier moteur, en complément du courant demandé par le premier moteur à la source de tension continue autonome.

La commande du second moteur qui fait office de réservoir d'énergie étant réalisée par les moyens électroniques de régulation à partir d'une mesure de l'intensité du courant absorbé ou délivré par la batterie, il devient ainsi possible de limiter les pics de courant demandé ou fourni à la source de tension continue autonome, ce qui permet d'en augmenter l'autonomie.

Jusqu'à ce jour, les machines électriques à deux moteurs, encore appelées machines bi-rotatives, était utilisées pour réaliser de la variation de vitesse du rotor de sortie. Un exemple d'utilisation des ces machines en variation de vitesse est

notamment décrit dans la demande de brevet français FR 2.172.130. D'une part, il faut souligner que ces machines étaient en pratique alimentées à partir du réseau alternatif, et n'étaient pas alimentées à partir d'une source de tension continue autonome. Le problème résolu par l'invention, et lié à l'utilisation de ce type particulier d'alimentation, ne se posait donc pas dans le cadre de cette utilisation. D'autre part, le but étant de réaliser de la variation de vitesse, il était recherché que l'inertie du rotor du second moteur soit la plus faible possible, la fonction de ce rotor n'étant pas, contrairement à l'invention, de stocker de l'énergie cinétique.

10 Plus particulièrement, dans un souci de limiter l'encombrement de la machine électrique, les deux moteurs seront de préférence coaxiaux, le stator du premier moteur étant solidaire en rotation du rotor du second moteur, et faisant office de masse (m).

15 Pour des raisons de coût, on utilisera de préférence deux moteurs alternatifs asynchrones qui présentent l'intérêt d'être moins onéreux que des moteurs synchrones.

De préférence, dans le but de simplifier la commande, les deux moteurs seront des moteurs asynchrones diphasés.

20 Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un exemple particulier de réalisation d'une machine électrique motrice à stockage inertiel de l'invention, laquelle description est donnée à titre d'exemple non limitatif et en référence au dessin annexé sur lequel :

25 - la figure 1 représente un schéma de principe de l'alimentation et de la commande des deux moteurs d'une machine électrique motrice selon l'invention,  
- la figure 2 est une vue en coupe d'une machine de l'invention à deux moteurs coaxiaux.

Si l'on se réfère à la figure 1, une machine électrique motrice de l'invention comprend deux moteurs alternatifs 1 et 2 dont les stators sont

référencés respectivement  $1_a$  et  $2_a$ , et les rotors sont référencés  $1_b$ ,  $2_b$ . Le stator  $1_a$  du premier moteur 1 est alimenté par une batterie d'accumulateurs 5, par l'intermédiaire d'un convertisseur à variation de fréquence 3 du type onduleur. Ce convertisseur 3 permet de transformer une tension continue à son entrée en un système de tensions alternatives  $3_a$ , qui alimente le stator  $1_a$ , et dont la fréquence  $F_1$  est réglable. De manière similaire, le stator  $2_a$  du second moteur 2 est alimenté par la même batterie 5, par l'intermédiaire d'un convertisseur à variation de fréquence 4 transformant une tension continue à son entrée en un système de tensions alternatives  $4_a$  de fréquence réglable  $F_2$ .

Le rotor  $1_b$  du premier moteur est couplé mécaniquement à une masse schématisée (M) sur la figure 1. Il s'agira par exemple d'un véhicule automobile, dont le mécanisme d'entraînement des roues est couplé au rotor  $1_b$  par une chaîne de transmission cinématique connue. Le rotor  $2_b$  du second moteur 2 comporte en bout d'arbre une masse (m), et constitue avec cette masse un volant d'inertie.

La machine de l'invention de la figure 1 comprend en outre un régulateur électronique 6, qui pilote les deux convertisseurs 3 et 4 par l'intermédiaire de signaux de commande  $C_1$  et  $C_2$ . Les fréquences  $F_1$  et  $F_2$  des signaux alternatifs  $3_a$  et  $4_a$ , sont fonction du niveau respectivement des signaux de commande  $C_1$  et  $C_2$ . La commande des convertisseurs 3 et 4 par le régulateur électronique 6 est réalisée à partir d'une part d'un premier signal (V) caractéristique d'une commande de changement de vitesse (accélération ou décélération), et d'autre part de l'intensité mesurée du courant global  $I_{bat}$  produit ou absorbé par la batterie 5. A cet effet, la machine de l'invention comprend un capteur de courant  $6_a$  délivrant pour le régulateur 6 un courant de mesure  $I_m$  proportionnel au courant  $I_{bat}$ .

Avec les conventions de courant adoptées sur la figure 1, on a la relation suivante :

$$I_1 = I_{bat} + I_2$$

Le signal de commande de changement de vitesse (V) est un signal analogique, dont le signe sera caractéristique d'une décélération ou d'une

accélération, et dont le niveau sera caractéristique de la valeur du changement de vitesse demandé. Ce signal sera délivré de manière connue par un convertisseur mécanique/électrique relié aux commandes manuelles d'accélération ou de freinage de la masse M, c'est-à-dire dans le cas d'un véhicule automobile aux pédales d'accélération et de frein du véhicule.

Afin de mieux comprendre la fonction du régulateur 6 et des deux moteurs 1 et 2, un exemple particulier de commande des deux moteurs 1 et 2 de la machine de la figure 1, en phase de décélération et en phase d'accélération va à présent être détaillée.

10 Phase de décélération :

On suppose que préalablement à cette phase de décélération, la masse M est entraînée à une vitesse donnée par le rotor 1b du premier moteur 1. Cette vitesse est fonction de la fréquence du signal alternatif 3a.

On suppose par ailleurs que le rotor 2b du second moteur 2 est à l'arrêt.

15 Lorsque la machine est constituée de deux moteurs 1 et 2 indépendants, tel qu'illustré sur le schéma de principe de la figure 1, le second moteur 2 ne sera pas alimenté. Lorsque la machine est constituée de deux moteurs coaxiaux 1 et 2, conformément à la variante de la figure 2, deux cas sont à envisager. Si le second moteur 2 est asynchrone, le stator 2a de ce moteur 2 sera alimenté par un signal alternatif 4a dont la fréquence  $F_2$  sera tout juste suffisante pour créer un champ induit tournant à vitesse nulle. Si le moteur 2 est un moteur alternatif synchrone,

20 la fréquence  $F_2$  du signal 4a sera nulle.

Lorsque le régulateur 6 reçoit une commande de décélération (le signal de commande (V) ayant par exemple une valeur négative), il est conçu pour délivrer un sortie un signal de commande  $C_1$  pour le convertisseur 3, qui permet de faire diminuer la fréquence du signal alternatif 3a alimentant le stator 1a du premier moteur 1, jusqu'à une fréquence donnée fonction du niveau du signal de changement de vitesse (V).

Compte-tenu de l'inertie de la masse (M), pendant la phase de

décélération, le rotor  $1b$  de ce premier moteur 1 se trouve entraîné en rotation à une vitesse supérieure à celle du champ tournant induit par le stator  $1a$ . Il en résulte que le premier moteur 1 fonctionne comme une génératrice de courant, transformant l'énergie cinétique de la masse (M) en un courant alternatif à destination du convertisseur 3. Cette génératrice sera asynchrone si le premier  
5 moteur 1 est un moteur alternatif asynchrone, ou sera assimilable à un alternateur si le premier moteur 1 est un moteur alternatif synchrone. Le convertisseur 3 joue alors le rôle d'un redresseur en convertissant le signal alternatif produit par le moteur 1 en un courant continu  $I_1$  à destination de la batterie 5, c'est-à-dire en un  
10 courant négatif avec la notation adoptée sur la figure 1. Tant que le rotor du moteur 2 est à l'arrêt, le courant  $I_2$  consommé par ce second moteur est négligeable, et on peut considérer que l'intégralité du courant continu  $I_1$  délivré par le convertisseur 3 est dirigé vers l'entrée de la batterie 5, ce qui permet de recharger en partie cette batterie.

15 Dans un exemple particulier de réalisation, le régulateur électronique 6 est conçu pour comparer pendant la phase de décélération l'intensité du courant  $I_{bat}$  absorbé par la batterie 5 en fonction d'un seuil prédéterminé ( $S_d$ ), et pour augmenter par l'intermédiaire de la commande  $C_2$  la fréquence  $F_2$  du signal  $4a$  lorsque l'intensité mesurée du courant  $I_{bat}$  atteint ce seuil prédéterminé. Il en résulte  
20 une mise en rotation du rotor  $2b$  du second moteur 2, qui de ce fait se met à consommer un courant  $I_2$  plus important. Ainsi à partir d'un seuil prédéterminé de courant absorbé  $I_{bat}$  par la batterie en phase de décélération, le régulateur 6 effectue une régulation automatique de la fréquence  $F_2$  du signal alimentant le stator  $2a$  du second moteur 2, de telle sorte qu'une partie du courant  $I_1$  produit par  
25 le convertisseur 3 serve à alimenter le second moteur 2, et que l'intensité  $I_{bat}$  absorbée par la batterie ne dépasse pas le seuil d'intensité prédéterminé ( $S_d$ ). On utilise ainsi une partie de l'énergie cinétique de la masse (M) récupérée lors du freinage pour mettre en rotation le volant d'inertie constitué par le rotor  $2b$  et la masse (m) du second moteur 2.



Phase d'accélération :

A l'issue de la phase de décélération précitée, le stator 2a du second moteur 2 est alimenté à une fréquence  $F_2$  donnée. Le volant d'inertie constitué par le rotor 2b et la masse (m) est entraîné en rotation à une vitesse donnée, et le second moteur consomme un courant  $I_2$  délivré par la batterie 5.

Lorsque le régulateur 6 reçoit une commande l'accélération (le signal de commande (V) ayant une valeur positive), il est conçu pour commander par l'intermédiaire de la commande  $C_1$  l'augmentation de la fréquence  $F_1$  du signal 3 alimentant le stator 1a du premier moteur 1, jusqu' à une valeur prédéterminée fonction du niveau du signal de changement de vitesse (V). Le régulateur 6 est en outre conçu pour comparer, pendant la phase d'accélération, l'intensité du courant  $I_{bat}$  en sortie de la batterie 5 avec un seuil prédéterminé ( $S_a$ ). Lorsque l'intensité du courant  $I_{bat}$  délivré par la batterie 5 atteint ce seuil, le régulateur 6 est conçu pour commander une diminution de la fréquence  $F_2$  du signal 4a alimentant le stator 2a du second moteur, de telle sorte que l'intensité du courant  $I_{bat}$  ne dépasse pas le seuil ( $S_a$ ). Cette commande en décélération du second moteur 2 permet de récupérer l'énergie cinétique du volant d'inertie en rotation constitué par le rotor 2b et sa masse (m), de la même manière que pendant la phase de décélération pour le premier moteur 1 et la masse (M), sous la forme d'un courant continu  $I_2$  qui vient s'additionner au courant  $I_{bat}$  pour alimenter le premier moteur 1. On restitue ainsi l'énergie cinétique du volant d'inertie, constitué par le moteur 2b et la masse (m), pour entraîner en rotation la masse (M).

On comprend à la lumière de l'exemple ci-dessus que le régulateur électronique 6 est conçu pour réguler les fréquences  $F_1$ ,  $F_2$  des deux moteurs par l'intermédiaire des signaux de commande  $C_1$ ,  $C_2$ , de telle sorte qu'en phase d'accélération ou de décélération, l'intensité du courant  $I_{bat}$  délivré ou absorbé par la batterie 5, reste inférieure ou égale à seuil maximal donné qui dépendra des seuils de détection ( $S_a$ ) et ( $S_d$ ). Il revient à l'homme du métier de choisir judicieusement ces seuils de détection, en fonction des caractéristiques de la

batterie 5, et plus particulièrement de la puissance maximale pouvant être délivrée ou absorbée par la batterie 5, afin d'augmenter de manière optimale l'autonomie de cette batterie.

5 Dans le cadre de l'invention, tel qu'illustré sur la figure 1, les moteurs 1 et 2 peuvent n'avoir aucune liaison mécanique entre eux. Néanmoins dans une variante préférée de réalisation, illustrée à la figure 2, les deux moteurs 1 et 2 seront coaxiaux, le stator 1a du premier moteur 1 étant solidaire mécaniquement en rotation du rotor 2b du second moteur 2, et jouant le rôle de la masse (m) du schéma de principe de la figure 1.

10 Il revient à l'homme du métier de dimensionner le volant d'inertie constitué par l'ensemble rotor 2b -masse (m) sur la figure 1, ou par l'ensemble rotor 2b - stator 1a sur la figure 2, de telle sorte que ce volant d'inertie présente d'une part une masse suffisante pour stocker suffisamment d'énergie cinétique pendant les phases de décélération, mais par ailleurs une masse suffisamment  
15 faible pour limiter le poids supplémentaire embarqué.

Dans un exemple précis de réalisation, les deux moteurs 1 et 2 consistaient en deux moteurs alternatifs asynchrones avec induits à cage d'écureuil. De préférence, il s'agissait de moteurs alternatifs asynchrones diphasés. Bien entendu l'invention n'est pas limitée à ce type particulier de moteurs, mais peut par  
20 exemple être mise en oeuvre avec tout type de moteurs alternatifs asynchrones polyphasés et notamment triphasés, ou encore avec des moteurs alternatifs synchrones.

## REVENDEICATIONS

1. Machine électrique motrice à stockage inertielle comportant un premier moteur alternatif (1) dont le rotor (1b) est destiné à entraîner une masse (M), et dont le stator (1a) est alimenté par des tensions alternatives de fréquence ( $F_1$ ) réglable, 5  
délivrées par un premier convertisseur de tension (3) à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par une source de tension continue autonome (5), de préférence rechargeable, du type batterie d'accumulateurs, caractérisée en ce qu'elle comprend :
- un second moteur alternatif (2) dont le rotor (2b) est solidaire d'une masse (m) 10  
et constitue avec cette masse un volant d'inertie, et dont le stator (2a) est alimenté par des tensions alternatives de fréquence ( $F_2$ ) réglable, délivrées par un second convertisseur de tension (4) à variation de fréquence, à partir d'une tension continue délivrée par la même source de tension continue autonome (5),
  - et des moyens de régulation électronique (6) conçus pour piloter les deux 15  
convertisseurs de tension (3,4), en fonction d'une commande de changement de vitesse (V) et de l'intensité mesurée du courant ( $I_{bat}$ ) absorbé ou délivré par la source de tension continue autonome (5).
2. Machine selon la revendication 1 caractérisée en ce que les moyens de régulation électronique (6) sont conçus pour piloter les deux convertisseurs (3,4) 20  
de telle sorte que l'intensité du courant ( $I_{bat}$ ) absorbé ou délivré par la source de tension continue autonome (5) respectivement en phases de décélération ou d'accélération du premier moteur (1) reste inférieure ou égale à un seuil maximal prédéterminé.
3. Machine selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les deux moteurs 25  
sont coaxiaux, le stator (1a) du premier moteur (1) étant solidaire en rotation du rotor (2b) du second moteur (2), et faisant office de masse (m).
4. Machine selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisée en ce que les deux moteurs sont asynchrones, et de préférence diphasés.

1/2

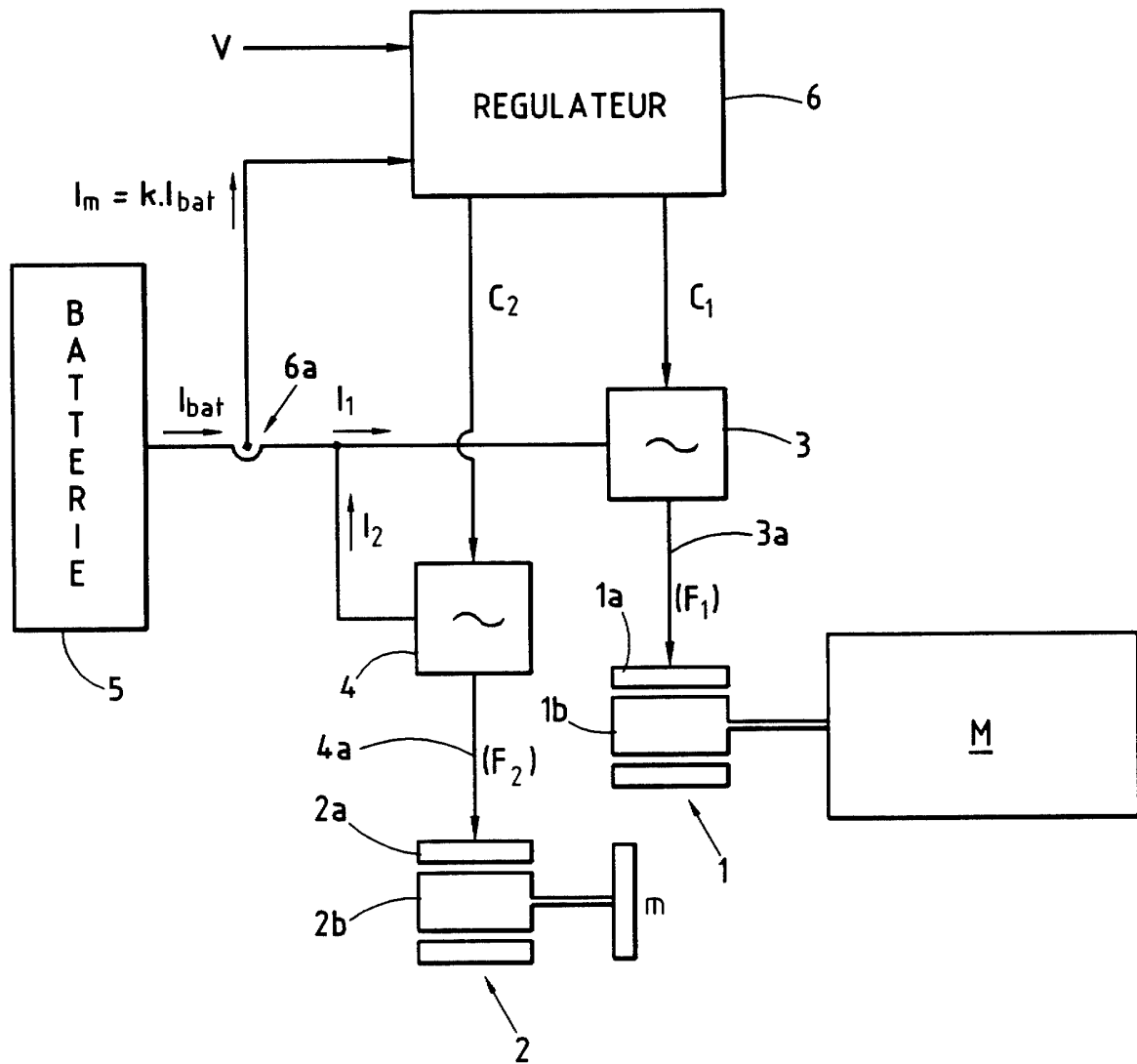


FIG.1

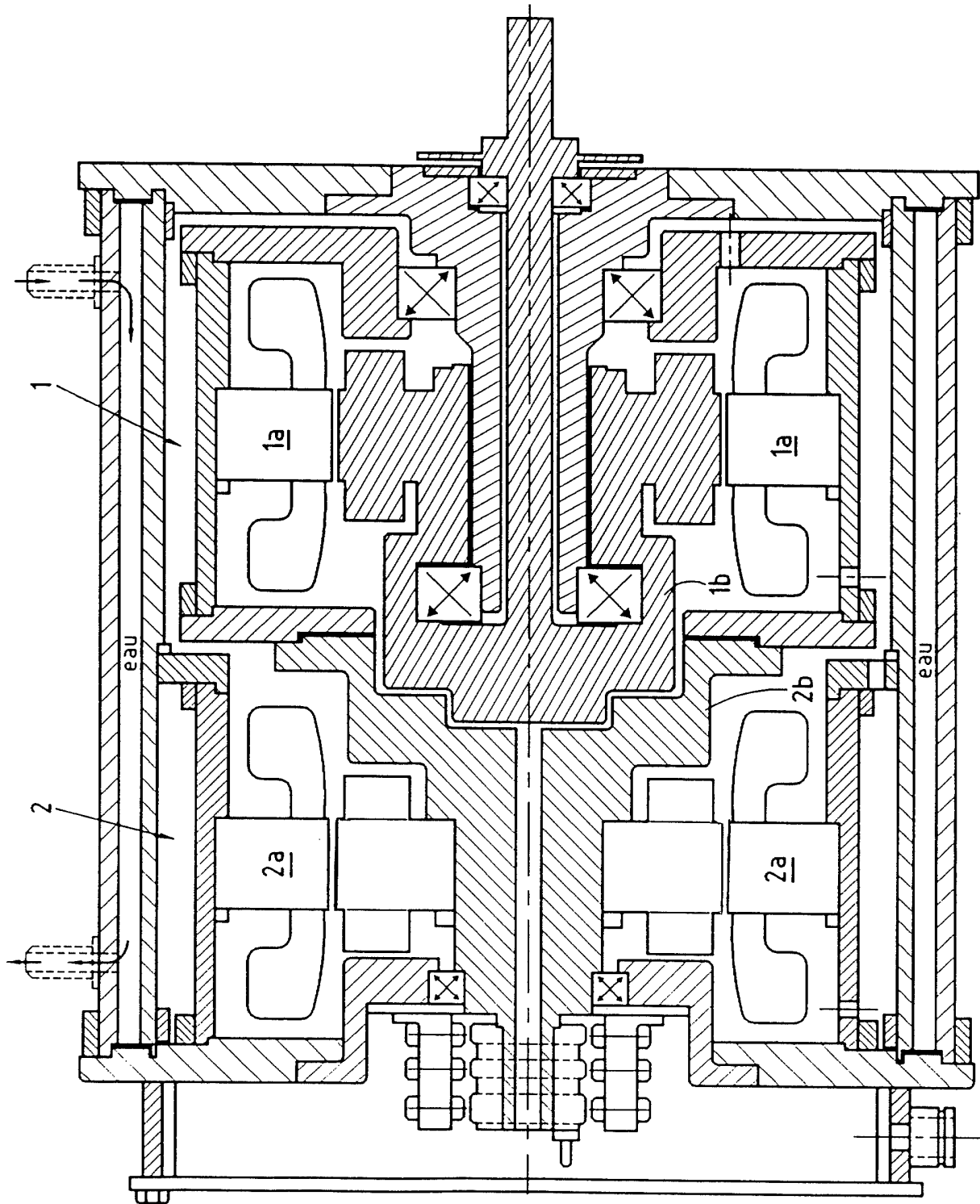


FIG. 2

INSTITUT NATIONAL

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

de la

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

PROPRIETE INDUSTRIELLE

FA 535267

FR 9614422

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	CONFERENCE RECORD OF THE 1994 INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE, vol. 1, 2 - 5 Octobre 1994, DENVER, US, pages 435-442, XP000514786 SCHAIBLE ET AL.: "A Torque Controlled High Speed Flywheel Energy Storage System for Peak Power Transfer in Electric Vehicles" * le document en entier *	1,2
A	--- US 4 629 947 A (HAMMERSLAG ET AL.) * colonne 3, ligne 19 - ligne 46; figure 1 *	1,2
A	--- US 4 321 478 A (PLUNKETT) * abrégé; revendication 1; figure 1A *	1,4
A	--- WO 92 01532 A (GARU AG PRÄZISIONSMECHANIK) * abrégé; figures 1-3 * -----	4
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		B60L H02K B60K H02J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
31 Juillet 1997		Kempen, P
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                  A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général                  O : divulgation non-écrite                  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.                  D : cité dans la demande                  L : cité pour d'autres raisons                  -----                  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03/82 (P04C13)