

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 947 969

21 N° d'enregistrement national : 09 03429

51 Int Cl⁸ : H 02 M 1/42 (2006.01), H 02 J 3/01

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 10.07.09.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.01.11 Bulletin 11/02.

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) : THALES Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : THOMAS PHILIPPE, LE BAS PHILIPPE, CUSSAC PHILIPPE, FOCH HENRI, FERRER DIDIER et LACOSTE AYMERIC.

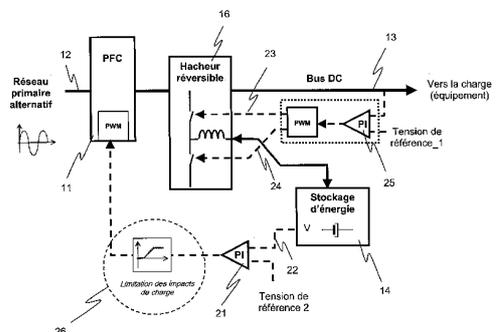
73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

54 NOUVELLE ARCHITECTURE DE COMPENSATEUR DES FACTEURS DE PUISSANCE ET D'HARMONIQUES POUR RESEAU DE DISTRIBUTION D'ENERGIE.

57 L'invention a pour objet un système redresseur pour réseau primaire de distribution d'alimentation électrique alternative comportant un circuit PFC relié sur le réseau primaire qui délivre une alimentation continue et des moyens de stockage d'énergie électrique reliés aux sorties du PFC par l'intermédiaire d'un circuit de commutation. Ce circuit est commandé de façon à réaliser soit la décharge de l'énergie électrique stockée dans les moyens de stockage sur la ligne d'alimentation continue, soit la charge des moyens de stockage par la ligne d'alimentation continue. Un premier circuit de commande détermine l'état de fonctionnement du circuit de commutation en comparant la valeur de la tension sur la ligne d'alimentation à une première tension de référence. Un second circuit de commande régule l'énergie délivrée par le PFC sur la ligne d'alimentation en comparant la tension présente en sortie des moyens de stockage à une seconde tension de référence. Les deux circuits de commande sont croisés.

Le système selon l'invention permet avantageusement de répondre à des appels de charge sans perturber le réseau primaire



FR 2 947 969 - A1



NOUVELLE ARCHITECTURE DE COMPENSATEUR DES FACTEURS DE PUISSANCE ET D'HARMONIQUES POUR RESEAU DE DISTRIBUTION D'ENERGIE.

L'invention concerne le domaine général des systèmes électriques de puissance connectés aux réseaux de distribution d'énergie. Elle concerne plus particulièrement les dispositifs chargés de compenser les variations de charge que doit supporter un réseau de distribution d'énergie électrique principalement lorsque que la charge varie de manière rapide. Elle est particulièrement adaptée aux systèmes conçus pour alimenter des charges pulsées

Un réseau de distribution d'énergie électrique est généralement constitué d'une ligne de distribution sur laquelle sont reliés les équipements dont le réseau assure l'alimentation, et qui "chargent" plus ou moins le réseau selon la valeur de l'impédance qu'ils présentent. Il comporte également des moyens pour produire l'énergie électrique délivrée ainsi que des moyens de commande qui agissent sur les moyens de production d'énergie électrique de façon à ce que l'énergie électrique produite soit à tout instant le plus possible adaptée à la charge imposée par les équipements montés sur la ligne d'alimentation.

Le réseau est généralement configuré et dimensionné pour qu'en fonctionnement en régime établi, et compte tenu de variations de charge lentes, il puisse délivrer, avec une certaine marge de sécurité, la puissance électrique demandée par l'ensemble des équipements raccordés. Autrement dit, ces moyens sont dimensionnés pour délivrer une puissance moyenne donnée, tout en acceptant, dans une certaine mesure, des variations autour de cette valeur moyenne de puissance délivrée, variations de préférence faibles et lentes. C'est pourquoi, il est souvent nécessaire d'intercaler entre la charge appliquée et le réseau, un dispositif capable de détecter les variations de cette charge et de réagir à ces variations en faisant en sorte d'en limiter l'impact, ou même, en fournissant la totalité du supplément de puissance demandé, en utilisant pour cela un dispositif de stockage d'énergie.

Pour réaliser l'alimentation à partir d'un réseau de distribution alternatif d'équipements de puissance, on interpose généralement comme l'illustre la

2

figure 1, une structure comportant un dispositif communément appelé PFC, acronyme de l'expression anglo-saxonne "Power Factor Corrector" ("correcteur de facteur de puissance" en français). Ce dispositif de structure connue par ailleurs assure la conversion du courant alternatif fourni par le réseau alternatif en courant continu. Ce type de dispositif comporte principalement des moyens de conversion AC-DC, ainsi que des moyens pour assurer l'asservissement de la tension DC produite à une valeur de consigne donnée qui correspond à la tension d'alimentation requise par l'équipement raccordé. De la sorte, une variation de la charge de cet équipement provoque normalement un accroissement du courant produit par le PFC qui absorbe alors une Puissance plus importante sur le réseau.

Le PFC est généralement associé à un ensemble de moyens formant une chaîne de réaction dont le rôle est de détecter les variations de charge présentées par l'équipement raccordé au réseau, variations de charge qui se traduisent par une chute de la tension DC délivrée à l'équipement. Lorsqu'une telle chute de tension est détectée les moyens qui constituent la chaîne de réaction agissent sur le PFC, de façon à ce que celui-ci délivre un courant DC répondant à l'appel de courant induit par la variation de charge.

Un inconvénient connu des dispositifs de type PFC, est qu'ils doivent présenter un temps de réaction relativement long, afin notamment de préserver la qualité du réseau alternatif primaire (creux de tension et harmoniques), réseau qui est généralement alimenté par des moyens incapables, par nature, de faire face très rapidement à un accroissement de la puissance demandée. Le PFC comporte donc une boucle d'asservissement en tension lente, dont la fréquence de coupure est très inférieure à la fréquence du réseau, ceci afin de lui permettre d'absorber sur le primaire un courant alternatif en phase avec la tension et comportant le moins d'harmoniques possibles.

La faible bande passante de l'asservissement du PFC limite donc la qualité de la régulation de la tension DC face à des variations de charge rapides, et en particulier dans le cas d'une charge de nature pulsée. Ainsi, pour répondre à une brusque variation de la charge présentée par l'équipement raccordé au réseau, on est contraint de prévoir des moyens complémentaires capables de pallier pendant un intervalle de temps relativement long l'incapacité du PFC de délivrer la puissance nécessaire.

3

Ces moyens complémentaires sont généralement des moyens capables de stocker et de restituer de l'énergie électrique, des batteries d'accumulateurs ou de condensateurs principalement. Ces moyens de stockage d'énergie sont ici dimensionnés de façon à assurer un apport
5 d'énergie complémentaire pendant l'intervalle de temps nécessaire au PFC pour être en mesure, de faire face à la demande d'énergie supplémentaire de l'équipement et pour maintenir une alimentation satisfaisante de l'équipement malgré la variation de charge.

10 En pratique, comme l'illustre la figure 1, il est connu de réaliser une telle structure, en associant au PFC des moyens de stockage d'énergie par l'intermédiaire d'un dispositif de type hacheur. Le circuit hacheur est ici conçu pour adopter alternativement deux états de fonctionnement, un premier état dans lequel il est configuré pour décharger l'énergie électrique stockée dans
15 les moyens de stockage sur la ligne DC qui alimente l'équipement raccordé au réseau, et un second état dans lequel il est configuré pour recharger des moyens de stockage à partir du courant électrique produit par le PFC.

Selon ce mode de réalisation connu, le passage d'un état à l'autre est directement commandé par l'état de fonctionnement du PFC. Ainsi, lorsque
20 le PFC se trouve, à un instant donné, dans l'incapacité de produire la puissance nécessaire, le hacheur est commandé de façon à décharger les moyens de stockage d'énergie, pour que ces derniers apportent sur la ligne d'alimentation un courant complémentaire qui vient s'ajouter au courant produit par le PFC pour fournir à l'équipement la puissance requise. De
25 même, lorsque le PFC se trouve en mesure de fournir une puissance supérieure à la puissance demandée, le hacheur est commandé de façon à recharger les moyens de stockage d'énergie. La commande du hacheur 16 est généralement réalisée à partir d'informations fournies directement par le PFC, qui indique que le courant fourni par le PFC est suffisant ou non pour
30 alimenter correctement l'équipement.

Cependant, dans la mesure où le processus de régulation de la puissance de sortie par le PFC est un processus lent, une brusque variation de la charge imposée, n'est prise en compte par le PFC qu'au bout d'un laps de temps relativement long. Par conséquent, durant un laps de temps donné
35 qui suit l'instant correspondant à une brusque variation de la charge, le PFC

4

11 ne manifeste aucune réaction de sorte que, le hacheur 16 n'étant pas commandé de façon à décharger les moyens de stockage, il se produit un déficit de puissance fournie qui se traduit par une chute de la tension délivrée.

5 Ce mode de réalisation connu conduit finalement à l'obtention d'un réseau de distribution d'énergie présentant une régulation insuffisante, en particulier face à de brusques et importantes variations de charge, de nature à perturber de manière importante le fonctionnement de l'équipement alimenté.

10

Un but de l'invention est de proposer une structure à base de PFC permettant de réaliser un réseau de distribution d'énergie, sous forme de courant continu, pouvant alimenter de manière satisfaisante un équipement imposant de brusques et importantes variations de charge (i.e. de
15 consommation), autrement dit une structure présentant une réponse à ces variations sensiblement plus rapide que les structures connues dont le principe à été évoqué précédemment.

A cet effet l'invention a pour objet un système redresseur pour réseau
20 primaire de distribution d'alimentation électrique alternative, à compensation du facteur de puissance et du taux d'harmoniques. Le dispositif selon l'invention comporte au moins un circuit PFC relié sur le réseau de distribution primaire et délivrant une alimentation continue sur une ligne d'alimentation continue et des moyens de stockage et de restitution d'énergie
25 électrique, reliés à la ligne d'alimentation continue par l'intermédiaire d'un circuit de commutation. Ce circuit de commutation est configuré pour présenter deux états de fonctionnement, un premier état de fonctionnement dans lequel il réalise le décharge sur la ligne d'alimentation continue de l'énergie électrique stockée dans les moyens de stockage et un second état
30 de fonctionnement dans lequel il réalise la charge des moyens de stockage par la ligne d'alimentation continue. Le dispositif selon l'invention comporte en outre deux circuits de commande croisés:

- un premier circuit de commande qui détermine l'état de fonctionnement du circuit de commutation par comparaison de la valeur de la
35 tension sur la ligne d'alimentation à une première tension de référence, le

5

circuit de commutation étant positionné dans le premier état de fonctionnement si la tension sur la ligne d'alimentation est inférieure à la première tension de référence et dans le second état de fonctionnement dans le cas contraire,

5 - un second circuit de commande qui régule l'énergie délivrée par le PFC sur la ligne d'alimentation en fonction de la tension présente en sortie des moyens de stockage, par comparaison de cette tension à une seconde tension de référence.

10 Dans une forme de mise en œuvre préférée du système selon l'invention, la tension de service des moyens de stockage d'énergie électrique étant sensiblement inférieure à la tension électrique délivrée par la ligne d'alimentation, le circuit de commutation est un circuit hacheur réversible, qui élève la tension électrique délivrée par les moyens de
15 stockage lorsque ceux-ci sont déchargés sur la ligne d'alimentation et qui abaissent la tension du courant électrique prélevé sur la ligne d'alimentation lorsque les moyens de stockage sont rechargés par la ligne d'alimentation.

 Dans une forme de réalisation particulière du système selon
20 l'invention, les moyens de stockage d'énergie comportent une batterie d'accumulateurs.

 Dans une autre forme de réalisation particulière du système selon l'invention, les moyens de stockage d'énergie comportent une batterie de
25 condensateurs.

 Dans une forme de mise en œuvre préférée du système selon l'invention, le premier et le second circuit de commande comportent un amplificateur intégrateur (PI) qui intègre la variation de la tension mesurée
30 par rapport à la tension de référence.

 Dans une forme de réalisation particulière du système selon l'invention, le second circuit de commande comportant en outre un circuit de filtrage configuré pour limiter la bande passante de la boucle de commande
35 du PFC.

6

L'invention a également pour objet un réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative à facteur de charge et taux d'harmoniques améliorés, qui comporte un système redresseur selon l'invention et un circuit onduleur monté en sortie dudit système redresseur.

Selon l'invention, le circuit onduleur est un circuit onduleur commandé, configuré pour délivrer des impulsions de courant alternatif sous l'action d'une commande de découpage.

Dans une variante de réalisation du Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative selon l'invention, le circuit onduleur est un circuit onduleur multi-niveaux.

Dans une autre variante de réalisation du Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative selon l'invention, le circuit onduleur est un circuit onduleur multi-phases.

Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux appréciés grâce à la description qui suit, description qui expose le principe de l'invention en s'appuyant sur les figures annexées qui représentent:

- la figure 1, le schéma de principe de la structure type conforme à l'art antérieur connu, d'un réseau de production et de distribution d'énergie électrique continue bâti autour d'un PFC,

- la figure 2, le schéma de principe de la structure type selon l'invention, d'un réseau de production et de distribution d'énergie électrique continue bâti autour d'un PFC;

- la figure 3, un chronogramme de principe illustrant les états de fonctionnement de la structure selon l'invention;

- la figure 4, un chronogramme de principe illustrant les états de fonctionnement de la structure selon l'invention considérée dans une variante de réalisation;

- la figure 5, un exemple d'application de la structure de réseau de distribution d'énergie selon l'invention.;

Comme il a été dit précédemment la figure 1 est une représentation schématique de la structure générale d'un système de régulation connu destiné à être installé sur le réseau de distribution d'énergie électrique et dont la principale fonction est à la fois de permettre d'améliorer le facteur de puissance et d'harmonique du courant électrique délivré par le réseau primaire et d'assurer une adaptation permanente de la puissance délivrée à la puissance demandée au réseau.

Cette structure connue intègre un dispositif 11 appelé PFC selon l'acronyme la dénomination anglo-saxonne "Power Factor Corrector" ou "Correcteur de Facteur de Puissance" en français. Le PFC est alimenté en entrée par le réseau primaire alternatif de distribution d'énergie 12, et délivre en sortie une alimentation électrique continue 13, qui peut être utilisée pour produire une tension alternative.

La structure interne d'un PFC, connu par ailleurs, n'est pas décrite ici. On se borne à rappeler que le PFC est un dispositif comportant des boucles d'asservissement contrôlées en interne et dont le rôle est de commuter sur la ligne d'alimentation des éléments réactifs de façon à réguler le facteur de puissance du réseau en fonction de la charge imposée. De manière générale, il comporte également une entrée de commande permettant de le faire fonctionner, comme l'illustre la figure 1, dans une configuration comportant une boucle de régulation externe prenant en compte la tension de l'alimentation délivrée 13. Dans l'illustration de la figure 1, la commande externe est constituée par le signal produit par un intégrateur proportionnel PI 15 sur les entrées duquel sont appliquées une tension de référence et la tension d'alimentation délivrée 13.

Comme il a été dit précédemment, la vitesse de réaction du PFC à une variation de la nature de la charge imposée au réseau est lente, cette lenteur étant induite par la nécessité de limiter le taux d'harmoniques produites sur le réseau. C'est pourquoi on parle plutôt d'une régulation de l'alimentation délivrée que d'un asservissement. En pratique la bande passante de la chaîne de réaction du PFC est très inférieure à la fréquence du réseau, un réseau alternatif 50 Hz par exemple, sur lequel il est interposé. Comme il a également été dit précédemment, cette caractéristique a pour conséquence que le PFC ne permet pas de réaliser une régulation correcte

de la puissance délivrée par le réseau sur la ligne de distribution 13, en aval du PFC. En particulier, on assiste, dans le cas d'une variation brusque et importante de la charge imposée au réseau, à une impossibilité de fournir de manière instantanée la puissance demandée par l'équipement responsable
5 de cette brusque variation. Cette impossibilité se traduit, pendant un laps de temps donné, par une chute de tension temporaire qui peut engendrer un mauvais fonctionnement de l'équipement pendant ce laps de temps.

Pour pallier cet inconvénient, il est connu comme cela a été dit précédemment d'associer le PFC à des moyens de stockage d'énergie
10 dimensionnés de façon à fournir un complément d'énergie sur le réseau, en aval du PFC, durant les périodes de fonctionnement pendant lesquelles le PFC ne fournit pas la totalité de la puissance demandée. Ces moyens sont couplés à la ligne de distribution d'énergie 13 par l'intermédiaire d'un dispositif hacheur 16 qui présente alternativement deux états de
15 fonctionnement:

- un premier état où il décharge sur la ligne 13 la réserve d'énergie stockée dans les moyens 14, le courant délivré par ces moyens venant s'ajouter au courant produit par le PFC 11;

- un second état où il recharge les moyens 14 en énergie électrique.

20 La commande de l'état de fonctionnement du hacheur 16 est généralement réalisée, comme l'illustre les flèches 17 et 18 de la figure 1, à partir d'une information relative à l'état de fonctionnement du PFC 11. Cette information peut par exemple être déduite de la valeur d'une tension de consigne mesurée au niveau des boucles de régulation du courant délivré du
25 PFC, tension qui par Principe varie lentement dans un PFC.

Ainsi, si le PFC est dans un état dans lequel il ne peut pas fournir la totalité de la puissance demandée, le hacheur 16 est placé dans le premier état. Inversement, si le PFC est dans un état dans lequel il peut fournir une puissance supérieure à la puissance demandée, le hacheur 16 est placé
30 dans le second état.

Comme l'illustre la figure 1, cette structure connue de régulation du facteur de charge et du taux d'harmoniques, structure simple couramment mise en œuvre, présente ainsi deux circuits de commande indépendants
35 et 17-18.

Le premier circuit de commande 15, de régulation, agit sur le PFC 11 de façon à ce que celui-ci adapte son fonctionnement de façon à fournir la puissance demandée et éviter la chute de la tension délivrée à l'équipement alimenté. Du fait de la faible bande passante des boucles de régulation du PFC, la réactivité de ce premier circuit est faible et la modification du fonctionnement du PFC n'étant effective qu'au bout d'un laps de temps dont la durée est fonction de la bande passante.

Le deuxième circuit de commande 17, 18 agit, quant à lui, sur le hacheur 16 de façon à procéder à la décharge ou à la charge des moyens de stockage d'énergie 14 en fonction de l'information transmise par le PFC 11, l'ordre de décharger la réserve d'énergie n'étant donné au hacheur que lorsque le PFC a commencé à réagir à la brusque variation de la charge imposée et à un accroissement de la demande d'énergie fournie.

Par suite, du fait de la lenteur de réaction du PFC 11, une brusque variation de la charge imposée ne se traduit pas de manière instantanée par un basculement de l'état de fonctionnement du hacheur 16 vers l'état de fonctionnement correspondant à une décharge sur le réseau de l'énergie stockée dans les moyens de stockage 14. Par voie de conséquence, aucun apport d'énergie n'est encore réalisé et la baisse de tension persiste tant que le PFC ne manifeste une réaction à cette chute de tension.

On obtient ainsi une régulation imparfaite de la puissance délivrée sur le réseau en particulier lors de variation brusques et importante de la charge imposée au réseau. Cette structure connue, couramment mise en œuvre ne permet donc pas à la fois d'obtenir une bonne régulation du facteur de puissance et du taux d'harmonique et d'opérer une régulation totalement efficace de la puissance délivrée par le réseau.

La figure 2 est une représentation schématique de la structure générale du système de régulation selon l'invention.

Le dispositif illustré ici a pour objet principal de remplir les mêmes objectifs que le système connu illustré par la figure 1. A ce titre il comporte les mêmes éléments. Il comporte ainsi un PFC 11 monté sur le réseau principal et des moyens de stockage d'énergie électrique 14 reliés à la ligne d'alimentation 13 en aval du PFC par rapport à la source d'énergie primaire un réseau alternatif mono ou triphasé par exemple. Selon l'invention les

moyens de stockage d'énergie 14 peuvent par exemple consister en une batterie d'accumulateurs ou de condensateurs.

Comme pour le système décrit précédemment les moyens de stockage d'énergie 14 sont reliés à la ligne d'alimentation 13 par l'intermédiaire d'un circuit hacheur 16 commandé, qui selon la valeur de la commande qui lui est appliquée assure la décharge de moyens de stockage d'énergie électrique 14 sur la ligne d'alimentation 13 ou bien la recharge des mêmes moyens de stockage 14 à partir du courant électrique circulant sur cette même ligne 13. Le hacheur 16 assure également l'élévation de la tension produite par les moyens de stockage 14 jusqu'à la valeur nominale de la tension délivrée par la ligne d'alimentation 13 lors de l'opération de décharge et l'abaissement de la tension de la ligne d'alimentation jusqu'à la tension nominale des moyens de stockage 14 lors de l'opération de recharge de ces moyens.

Le système selon l'invention comporte également comme le système connu deux circuits de commande et de régulation, un des circuits étant destiné à opérer un asservissement du PFC sur la tension délivrée et l'autre circuit étant destiné à effectuer la sélection de l'état de fonctionnement, décharge ou charge des moyens de stockage 14, du circuit hacheur 16. Cependant, à la différence du système connu décrit précédemment, l'asservissement du PFC n'est pas directement réalisé à partir de la valeur de la tension mesurée sur la ligne d'alimentation 13, mais sur la valeur de la tension présente à la sortie des moyens de stockage d'énergie 14. De même, à la différence du système connu décrit précédemment, la commande du circuit hacheur n'est pas directement produite par le PFC ou déduite de l'état de fonctionnement du PFC, mais directement synthétisée à partir de la tension délivrée sur la ligne d'alimentation 13. De la sorte, à la différence de ce qui se produit dans le système décrit précédemment, l'apport d'énergie complémentaire par les moyens de stockage d'énergie 14 peut avantageusement être réalisé instantanément dès l'apparition d'une chute de la tension de la ligne d'alimentation 13, sans attendre une quelconque réaction du PFC.

Selon l'invention, les circuits de commande du PFC 11 et du hacheur 16 ont une structure similaire classique centrée autour d'un amplificateur intégrateur ou "PI" qui mesure la différence entre une tension mesurée, la

tension sur la ligne d'alimentation pour le PI 25 du circuit de commande du hacheur 16 et la tension délivrée par les moyens de stockage 14 pour le PI 21 du circuit de commande du PFC, et une tension de référence de valeur appropriée constituant la valeur de la tension de régulation. Selon l'invention
5 chaque amplificateur intégrateur PI est associé à une électronique de commutation appropriée au fonctionnement du circuit commandé (PFC ou hacheur). Cette électronique de commutation est symbolisée par les encadrés intitulés "PWM" sur la figure (PWM est l'acronyme de l'expression anglo-saxonne "pulse width modulator", qui signifie "modulateur de largeur
10 d'impulsion" en français).

L'exemple de la figure 3 met en évidence le caractère particulièrement avantageux, en terme de régulation de la puissance délivrée, du système selon l'invention. Il met également en évidence les différentes phases de
15 fonctionnement du système.

Dans l'exemple illustré ici, l'équipement alimenté par le réseau de distribution d'énergie est un équipement dont la consommation est décrite par le chronogramme 3-a. Un tel équipement présente des périodes d'activité de durée $\Delta t = t_1 - t_0$ déterminée durant lesquelles il consomme une énergie de
20 valeur significative constante, séparées par des intervalles de temps plus ou moins long durant lesquels il ne consomme pas d'énergie ou une énergie de valeur non significative. La charge imposée au réseau par un tel équipement apparaît donc comme brusquement variable.

25 Le chronogramme 3-b présente l'évolution de la puissance délivrée par le PFC dans un tel cas de fonctionnement. On peut constater que dans une telle circonstance, la réponse du PFC à la brusque variation de la puissance demandée présente, du fait de la lenteur de réaction de celui-ci, trois phases de fonctionnement:

- 30 - une première phase 31 qui s'étend de l'instant t_0 à un instant t_2 durant laquelle la puissance délivrée par le PFC 11 augmente régulièrement pour atteindre la valeur demandée. Durant cette phase on assiste, en l'absence de moyens supplétifs, à un déficit de la puissance délivré à l'équipement;
- 35 - une deuxième phase 32 qui s'étend de l'instant t_2 à l'instant t_1 durant

12

laquelle le PFC délivre de manière permanente la puissance demandée. Durant cette phase le PFC délivre à lui seul l'énergie demandée;

- une troisième phase 33 qui s'étend de l'instant t_1 à un instant t_3 durant laquelle, la puissance consommée par l'équipement étant brusquement devenue négligeable, le PFC diminue progressivement la valeur de la puissance délivrée. Durant cette dernière phase le PFC délivre une énergie qui n'est pas absorbée par l'équipement, mais par les moyens de stockage d'énergie électrique 14.

Le chronogramme 3-c présente quant à lui, pour l'exemple d'équipement choisi, l'évolution au cours du temps, de la puissance échangée entre les moyens de stockage d'énergie 14 et la ligne d'alimentation 13 dans le système selon l'invention.

Comme on peut le constater, cet échange comporte avantageusement trois phases, synchrone des phases de fonctionnement du PFC.

Durant une première phase 31 le PFC n'étant pas en mesure de délivrer la puissance demandée, la tension de la ligne d'alimentation 13 tend à diminuer de sorte que le circuit de commande du hacheur 16 active la décharge des moyens de stockage d'énergie. L'énergie électrique est alors transférée des moyens de stockage vers la ligne d'alimentation de façon à suppléer le PFC. La puissance transmise par les moyens de stockage diminue régulièrement durant cette phase à mesure que la puissance délivrée par le PFC augmente, jusqu'à l'instant t_1 pour lequel la puissance transmise par les moyens de stockage devient négligeable, voire nulle. A l'issue de cette étape la tension V délivrée par les moyens de stockage 14 a chuté à une valeur sensiblement inférieure à sa valeur nominale.

Durant une deuxième phase 32 la puissance échangée entre la ligne d'alimentation 13 et les moyens de stockage d'énergie électrique 14 reste négligeable voire nulle, l'énergie délivrée par le PFC étant alors consommée par l'équipement;

Durant une troisième phase 33 la puissance absorbée par l'équipement est redevenue brusquement nulle, de sorte que la tension de la ligne d'alimentation tend à augmenter de sorte que le circuit de commande du hacheur 16 active la recharge des moyens de stockage d'énergie 14. Cependant, la tension délivrée par les moyens de stockage 14 restant,

pendant un certain temps, inférieure à la valeur nominale, le circuit de commande du PFC agit sur ce dernier de façon à ce qu'il continue à délivrer une puissance électrique non nulle sur la ligne 13, la puissance délivrée diminuant à mesure que la tension aux bornes des moyens de stockage
5 d'énergie électrique 14 tend à atteindre sa valeur nominale. La puissance délivrée par le PFC est alors totalement transférée aux moyens de stockage. Par suite, lorsque les moyens de stockage d'énergie sont totalement rechargés, le circuit de commande du PFC stoppe la délivrance d'énergie.

10 Ainsi comme on peut le constater à partir de la figure 3 le système selon l'invention permet avantageusement de délivrer à chaque instant la puissance demandée par l'équipement alimenté et ce, bien que le PFC ne soit par nature pas en mesure de faire face de manière instantanée à une brusque et importante variation de la puissance demandée. En outre, de par
15 leurs agencements, les circuits de commande du PFC 11 et du circuit hacheur 16 permettent de piloter le fonctionnement du PFC de façon à assurer le rechargement des moyens de stockage 14 par ce dernier lorsque l'énergie demandée par l'équipement alimenté devient nulle.

20 Il est à noter que le PFC ne produit pas lui-même l'énergie électrique délivrée sur la ligne d'alimentation 13, l'action du PFC étant de réguler le facteur de puissance et le taux d'harmonique. L'énergie est prélevée sur un réseau de distribution d'énergie primaire. De la sorte, lorsque le réseau secondaire alimenté par le PFC présente une brusque variation de
25 consommation d'énergie, la puissance prélevée par le PFC sur le réseau primaire s'accroît en conséquence, de manière cependant moins brutale du fait de la lenteur de réaction du PFC. Néanmoins, dans le cas où la variation de la puissance consommée est réellement très importante et brève, par rapport à la valeur moyenne fournie par le réseau primaire par exemple il
30 peut être judicieux de prévoir des moyens pour limiter l'impact de charge sur le réseau primaire, c'est-à-dire l'accroissement de la puissance absorbée sur ce réseau.

Le système selon l'invention peut avantageusement être adapté de manière simple, de façon à répondre à cette exigence. Pour ce faire, on peut
35 par exemple ajouter au circuit de commande du PFC un dispositif de filtrage

26 dont le rôle est précisément de limiter les impacts de charge, c'est à dire les brusques variation de la puissance absorbée par le PFC sur le réseau primaire en réponse à une variation brusque de la charge. Cependant, ce dispositif de filtrage a pour effet de ralentir encore la réponse du PFC à une brusque augmentation de la puissance consommée, il est alors nécessaire de dimensionner les moyens de stockage d'énergie 14 en conséquence. On obtient alors un fonctionnement du système de régulation selon l'invention proche de celui illustré par la figure 4 pour lequel l'essentiel de la puissance fournie à l'équipement alimenté est délivrée par les moyens de stockage 14.

10 Le PFC ne fournit alors, avantageusement, que la valeur moyenne de la puissance absorbée par la charge et n'a pas à être dimensionné pour la puissance crête fournie par le système.

Le système de régulation selon l'invention peut avoir de multiples applications, en particulier pour alimenter des équipements dont le bon fonctionnement passe par la maîtrise de la tension d'alimentation. La figure 5 illustre l'application du système selon l'invention à la réalisation d'un réseau de distribution d'énergie adapté à un émetteur d'ondes acoustiques. Cette application est cependant présentée à titre d'exemple non limitatif.

20 Dans cette application, le système selon l'invention alimente un circuit onduleur 51 configuré pour convertir le courant continu délivré par le système sur la ligne d'alimentation 13 en un courant alternatif lui-même destiné à alimenter une charge d'utilisation par l'intermédiaire d'une ligne d'alimentation 53. La charge d'utilisation peut par exemple consister en un ensemble de transducteurs sonars, le circuit onduleur étant alors un onduleur multi-niveaux, c'est-à-dire un dispositif constitué de plusieurs convertisseurs utilisés en générateurs de tension associés en série et dont les tensions délivrées sont sommées. Alternativement l'onduleur peut être un onduleur multi-phases, c'est-à-dire un dispositif constitué de plusieurs convertisseurs utilisés en générateurs de courant associés en parallèle et dont les courants délivrés sont sommés. A cet effet l'onduleur est configuré pour produire un courant alternatif lorsqu'il est sollicité, par l'intermédiaire d'une commande de modulation, de découpage, 52. De la sorte, un train d'ondes sinusoïdales est produit par l'onduleur lorsque celui-ci est activé par la commande 52.

35 L'utilisation du système selon l'invention pour réaliser une telle

alimentation permet avantageusement de produire des impulsions sinusoïdales (i.e. des trains d'ondes sinusoïdales) affectées d'un très faible taux d'harmoniques en tension, tout en garantissant la tenue des normes en vigueur, en termes de Compatibilité électromagnétique (CEM) et de limitation 5 du taux d'harmoniques en courant produites sur le réseau. Elle permet également de réaliser une alimentation capable de délivrer de manière brusque et limitée dans le temps de fortes puissances, tout en limitant par ailleurs l'impact correspondant des variations de puissance absorbée sur le réseau primaire, puissance du réseau primaire naturellement limitée.

REVENDEICATIONS

1. Système redresseur pour réseau primaire (12) de distribution d'alimentation électrique alternative, à compensation du facteur de puissance et du taux d'harmoniques, comportant au moins un circuit PFC (11) relié sur le réseau de distribution primaire et délivrant une
5 alimentation continue sur une ligne d'alimentation continue (13) et des moyens de stockage et de restitution d'énergie électrique (14) reliés à la ligne d'alimentation continue (13) par l'intermédiaire d'un circuit de commutation (16) configuré pour présenter deux états de fonctionnement, un premier état de fonctionnement dans lequel il
10 réalise la décharge sur la ligne d'alimentation continue (13) de l'énergie électrique stockée dans les moyens de stockage (14) et un second état de fonctionnement dans lequel il réalise la charge des moyens de stockage (13) par la ligne d'alimentation continue(13); caractérisé en ce qu'il comporte en outre deux circuits de commande
15 (21, 25):

- un premier circuit de commande (25) qui détermine l'état de fonctionnement du circuit de commutation par comparaison de la valeur de la tension sur la ligne d'alimentation (13) à une première
20 tension de référence, le circuit de commutation (16) étant positionné dans le premier état de fonctionnement si la tension sur la ligne d'alimentation (13) est inférieure à la première tension de référence et dans le second état de fonctionnement dans le cas contraire;

- un second circuit de commande (21) qui régule l'énergie délivrée par le PFC (11) sur la ligne d'alimentation (13) en fonction de
25 la tension présente en sortie des moyens de stockage (14), par comparaison de cette tension à une seconde tension de référence.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que, la tension de service des moyens de stockage d'énergie électrique (14)
30 étant sensiblement inférieure à la tension électrique délivrée par la ligne d'alimentation (13), le circuit de commutation (16) est un circuit hacheur réversible, qui élève la tension électrique délivrée par les moyens de stockage (14) lorsque ceux-ci sont déchargés sur la ligne

d'alimentation (13) et qui abaissent la tension du courant électrique prélevé sur la ligne d'alimentation (13) lorsque les moyens de stockage (14) sont rechargés par la ligne d'alimentation(13).

5 3. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens de stockage d'énergie (14) comportent une batterie d'accumulateurs.

10 4. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens de stockage d'énergie (14) comportent une batterie de condensateurs.

15 5. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier et le second circuit de commande (21, 25) comportent un amplificateur intégrateur (PI) qui intègre la variation de la tension mesurée par rapport à la tension de référence.

20 6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes; caractérisé en ce que, le second circuit de commande comportant en outre un circuit de filtrage (26) configuré pour limiter la bande passante de la boucle de commande du PFC.

25 7. Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative à facteur de charge et taux d'harmoniques améliorés, caractérisé en ce qu'il comporte un système redresseur selon l'une quelconque des revendications précédentes et un circuit onduleur (51) monté sur la ligne d'alimentation continue (13) dudit système.

30 8. Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative selon la revendication 7, caractérisé en ce que le circuit onduleur (51) est un circuit onduleur commandé, configuré pour délivrer des impulsions de courant alternatif sous l'action d'une commande de découpage (52).

9. Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que le circuit onduleur (51) est un circuit onduleur multi-niveaux.
- 5 10. Réseau secondaire de distribution d'énergie électrique alternative selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que le circuit onduleur (51) est un circuit onduleur multi-phases.

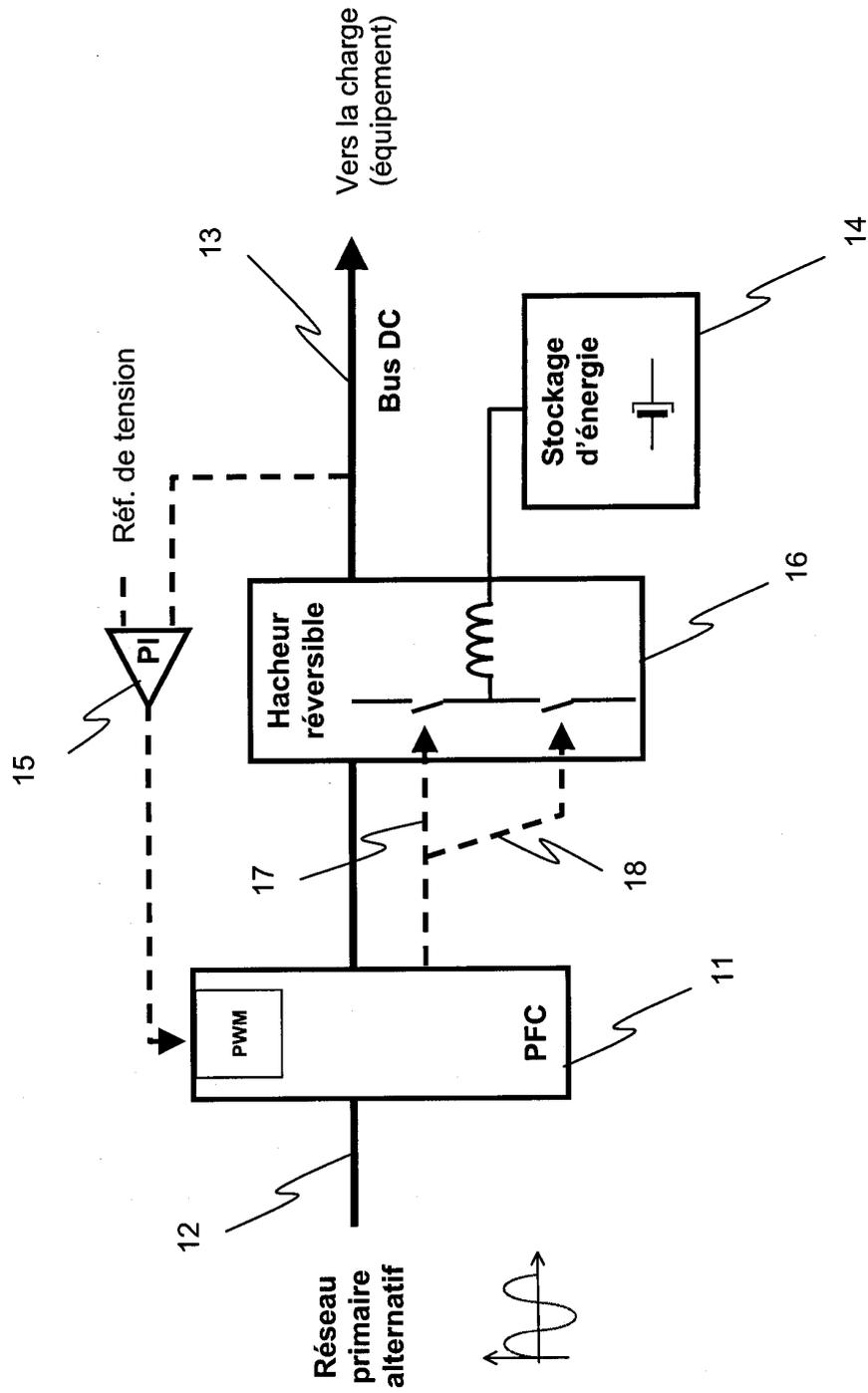


Fig. 1

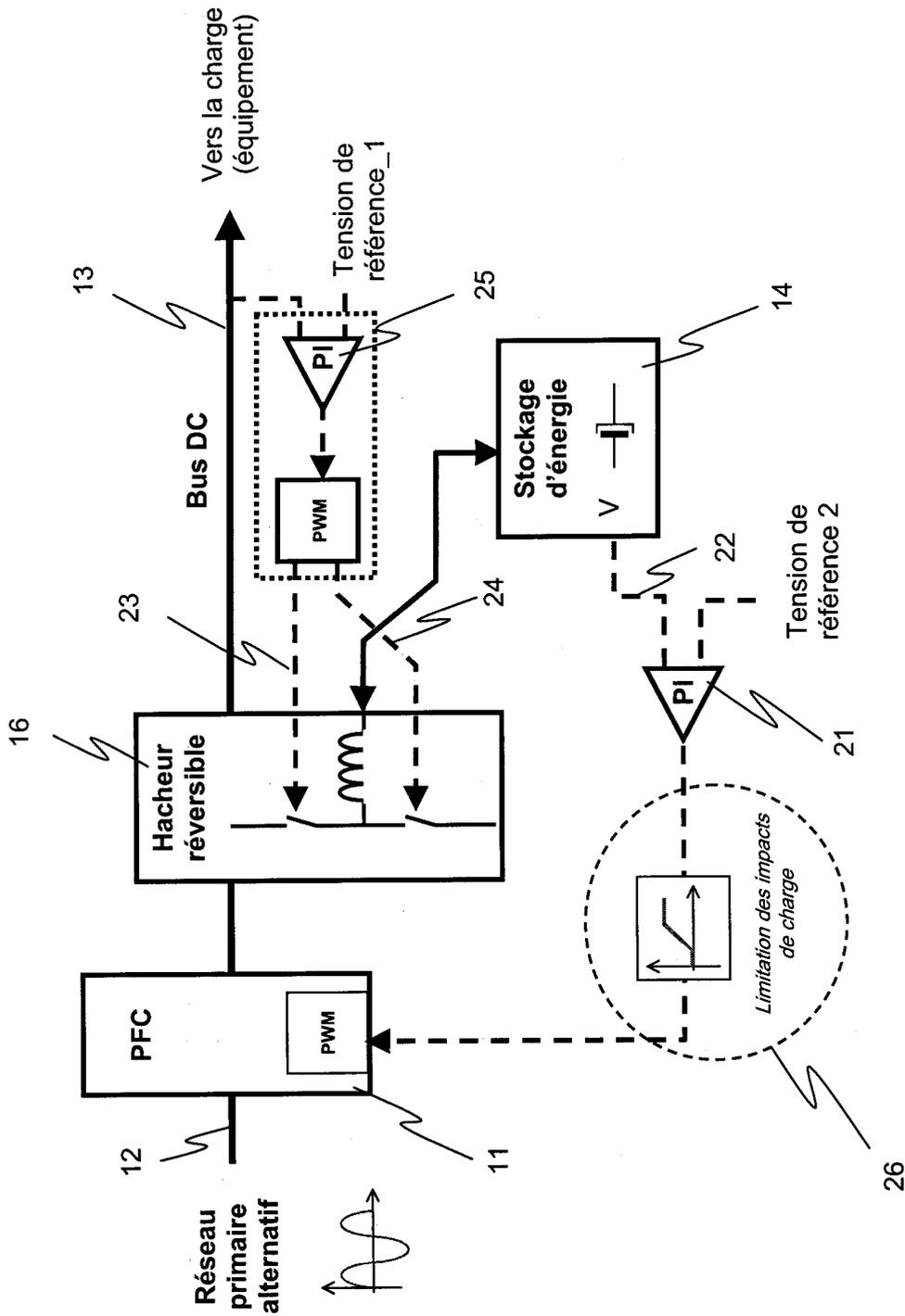


Fig. 2

3/4

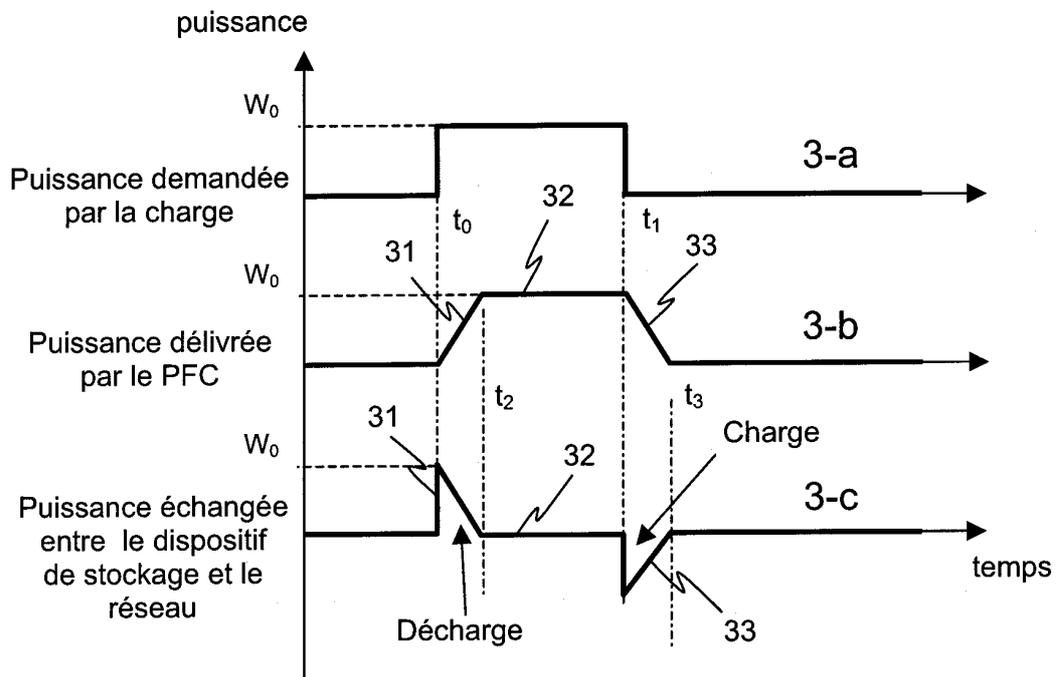


Fig. 3

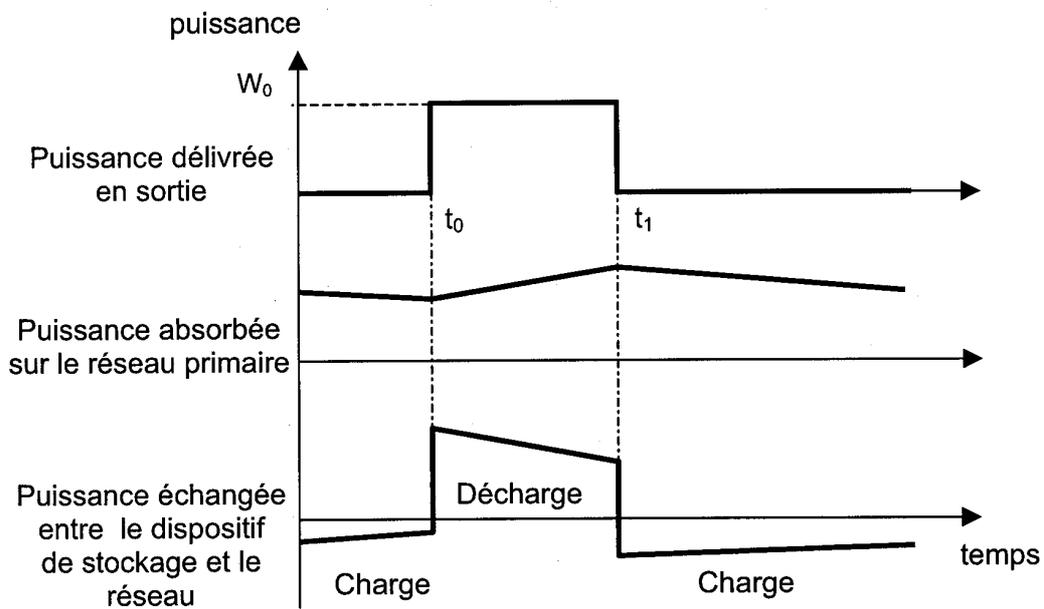


Fig. 4

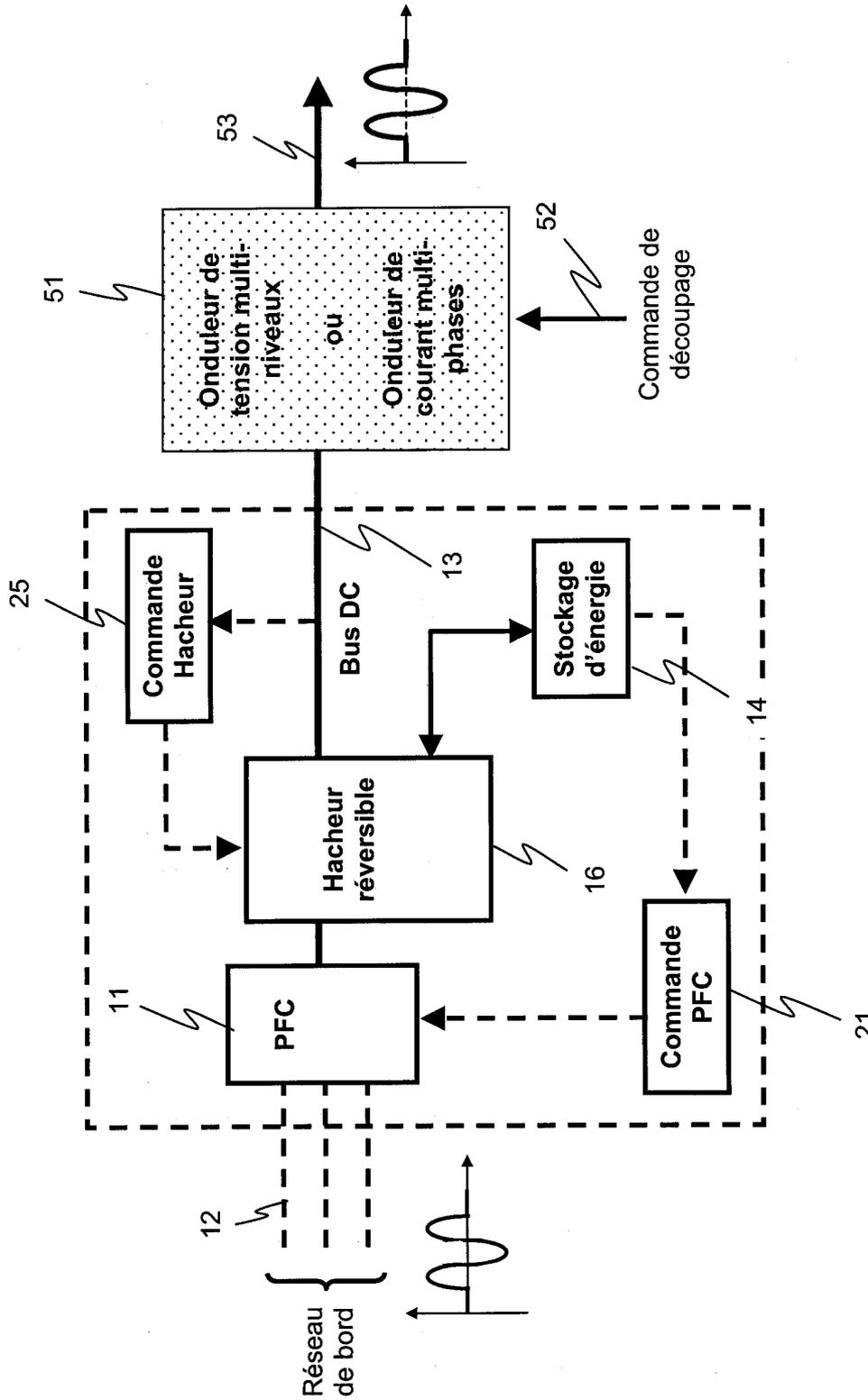


Fig. 5



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 723585
FR 0903429

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2009/027931 A1 (USUI HIROSHI [JP]) 29 janvier 2009 (2009-01-29) * alinéas [0020] - [0040]; figures 2-4 * -----	1-10	H02M1/42 H02J3/01
A	PACHECO V M ET AL: "An on line no-break with power factor correction and output voltage stabilization" INTELEC 2002. 24TH. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE. MONTREAL, QUEBEC, CANADA, SEPT. 29 - OCT. 3, 2002; [INTELEC. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE], NEW YORK, NY : IEEE, US, vol. CONF. 24, 29 septembre 2002 (2002-09-29), pages 438-443, XP010614659 ISBN: 978-0-7803-7512-3 * le document en entier * -----	1-10	
A	FR 2 895 167 A1 (THALES SA [FR]) 22 juin 2007 (2007-06-22) * page 6, ligne 11 - page 9, ligne 30; figures 4,5 * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02M H02J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 février 2010		Braccini, Roberto	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0903429 FA 723585**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-02-2010**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009027931 A1	29-01-2009	CN 101355311 A JP 2009027887 A	28-01-2009 05-02-2009
FR 2895167 A1	22-06-2007	AUCUN	