



(51) Classification internationale des brevets :
H02M 3/335 (2006.01) H02M 7/21 (2006.01)
H02M 1/42 (2007.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/001710

(22) Date de dépôt international :
9 décembre 2008 (09.12.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
07 08909 19 décembre 2007 (19.12.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SAGEM DEFENSE SECURITE [FR/FR]; Le Ponant de
Paris, 27 rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
GUILLOT, François [FR/FR]; c/o Sagem Defense
Securite, Le Ponant de Paris, 27 rue Leblanc, F-75015
Paris (FR). COURTEILLE, Jean-Marie [FR/FR]; c/o

Sagem Defense Securite, Le Ponant de Paris, 27 rue
Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(74) Mandataires : LAVIALLE, Bruno et al.; c/o Cabinet
Boettcher, 22 rue du Général Foy, F-75008 Paris (FR).

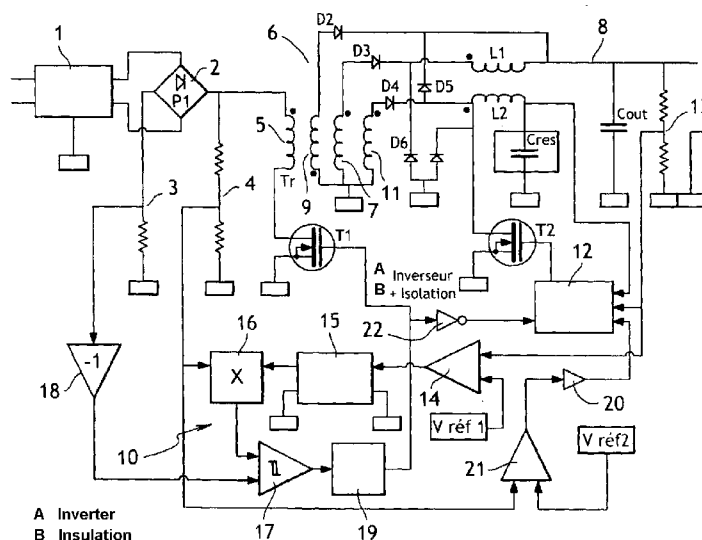
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : AC/DC CONVERTER WITH GALVANIC INSULATION

(54) Titre : CONVERTISSEUR ALTERNATIF/CONTINU A ISOLEMENT GALVANIQUE



(57) Abstract : The invention relates to an AC/DC converter that comprises at the input a rectifying circuit (2) connected in series to the primary winding (5) of an insulation transformer (6) and to a splitting switch (T1) connected to a pulse-width modulation control circuit (10), the insulation transformer including a first secondary winding (7) having a direction identical to that of the primary winding and connected to the output line (8) of the converter via a diode (D4), the output line being connected to an output capacitor (C_{out}), characterised in that the insulation transformer includes a second secondary winding (9) having a direction opposed to that of the primary winding and connected to the output line via a diode (D2).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



(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)*

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))*

L'invention concerne un convertisseur alternatif / continu comportant en entrée un circuit redresseur (2) raccordé en série à un enroulement primaire (5) d'un transformateur d'isolement (6) et à un commutateur de découpage (T1) relié à un circuit de commande (10) par modulation de largeur d'impulsion, le transformateur d'isolement comprenant un premier enroulement secondaire (7) qui est de sens identique à l'enroulement primaire et qui est relié à une ligne de sortie (8) du convertisseur via une diode (D4), la ligne de sortie étant reliée à un condensateur de sortie (C_{out}), caractérisé en ce que le transformateur d'isolement comprend un deuxième enroulement secondaire (9) qui a un sens opposé à l'enroulement primaire et qui est relié à la ligne de sortie via une diode (D2).

Convertisseur alternatif / continu à isolement galvanique

La présente invention concerne un convertisseur alternatif / continu à isolement galvanique utilisable par exemple sur le réseau de distribution électrique d'un aéronef.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

Dans un avion, l'énergie électrique est fournie par un alternateur entraîné par le moteur de l'avion. L'alternateur délivre une tension alternative convertie en tension continue pour être exploitée par les équipements électriques embarqués dans l'avion.

Dans sa version la plus simplifiée, la conversion est réalisée au moyen d'un transformateur comportant un enroulement primaire relié à l'alternateur et un enroulement secondaire relié à un pont redresseur associé à un condensateur de filtrage. La tension en sortie du pont redresseur est en sinusoïde double alternance tandis que le courant consommé est soumis à une forte distorsion qui provoque une baisse du rendement du transformateur et de l'alternateur, un échauffement des conducteurs et un rayonnement électromagnétique à haute fréquence source de parasites.

Un moyen pour remédier à cet inconvénient est de réaliser un filtrage en série sur le circuit primaire du transformateur. Toutefois, cette option n'est pas adaptée lorsque la fréquence de la tension alternative est variable, comme dans le cas d'un alternateur entraîné par une turbine de réacteur pour lequel la fréquence varie de 360 Hz à 800 Hz environ.

Il est également connu de recourir à un circuit de correction de facteur de puissance ou PFC (« power factor corrector ») pour réduire la distorsion en forçant le courant consommé à suivre une forme d'onde identique à celle de la tension d'entrée, à savoir une sinusoïde re-

dressée double alternance. Il existe différentes structures de PFC.

Dans la structure de type « BOOST », le circuit ne comporte pas d'isolement galvanique obligeant à associer à ce circuit un convertisseur continu / continu assurant cette fonction. Cet ensemble présente un rendement total relativement faible, ainsi qu'un encombrement et un poids élevés.

Dans la structure de type « FLYBACK », le circuit comprend un transformateur d'isolement dont les enroulements primaire et secondaire sont de sens opposés. Le fonctionnement des circuits PFC de ce type entraîne périodiquement le stockage d'une grande quantité d'énergie dans le noyau magnétique du transformateur. Il est donc nécessaire d'utiliser de gros transformateurs pour les fortes puissances, ce qui augmente la masse et l'encombrement du circuit.

Dans la structure de type « FORWARD », le circuit comprend également un transformateur d'isolement mais dont les enroulements primaire et secondaire sont de même sens. Dans ce type de circuit, il n'est pas possible d'exploiter le courant sur la totalité de la sinusoïde obtenue et donc de consommer un courant suivant la forme d'onde de la tension d'entrée.

OBJET DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer une structure de convertisseur ayant des performances améliorées.

RESUME DE L'INVENTION

A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un convertisseur alternatif / continu, comportant en entrée un circuit redresseur raccordé en série à un enroulement primaire d'un transformateur d'isolement et à un commutateur de découpage relié à un circuit de commande par modulation de largeur d'impulsion, le transformateur d'isolement comprenant un premier enroulement secondaire

qui est de sens identique à l'enroulement primaire et qui est relié à une ligne de sortie du convertisseur via une diode et une bobine de filtrage, la ligne de sortie étant reliée à un condensateur de sortie, le transformateur d'isolement comprenant un deuxième enroulement secondaire qui a un sens opposé à l'enroulement primaire et qui est directement relié à la ligne de sortie via une diode.

Ainsi, pour les tensions moyennes à fortes, l'énergie est transmise vers la sortie via le premier enroulement secondaire, la diode et la bobine de filtrage. Ceci permet de faire passer de fortes puissances. En revanche, lorsque la tension est faible, l'énergie emmagasinée dans le noyau magnétique du transformateur peut être transmise, à l'ouverture du commutateur de découpage, vers le condensateur de sortie via le deuxième enroulement secondaire et la diode y raccordée. Le deuxième enroulement secondaire permet donc d'évacuer l'énergie stockée dans le noyau magnétique vers la sortie et évite donc un gaspillage d'énergie. Il permet aussi d'assurer une consommation d'énergie, utilisée par la sortie, pour les tensions faibles (partie basse amplitude de la sinusoïde). De plus, le flux résiduel présent dans le noyau à l'ouverture du commutateur de découpage excite le deuxième enroulement secondaire qui évacue l'énergie correspondante vers la sortie, minimisant ainsi l'apparition de surtensions à l'ouverture du commutateur de découpage, surtensions qui risqueraient de détériorer le commutateur de découpage. Un seul étage de conversion permet ainsi de réaliser l'isolement galvanique et une fonction PFC de manière simple, fiable et efficace grâce à un rendement relativement élevé.

Selon une caractéristique particulière, le convertisseur comprend une réserve d'énergie comprenant un troisième enroulement secondaire du transformateur d'isolement qui est de même sens que l'enroulement pri-

maire et qui est relié d'une part à une bobine de filtrage et un condensateur d'accumulation d'énergie et d'autre part à la ligne de sortie via un commutateur de décharge piloté par un circuit de commande de décharge en fonction d'un niveau de charge du condensateur d'accumulation d'énergie.

Une réserve d'énergie est ainsi intégrée dans le circuit du convertisseur sans trop en augmenter le poids et l'encombrement, en altérant de façon minime son rendement.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation particulier non limitatif de l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Il sera fait référence à la figure unique annexée représentant schématiquement le circuit d'un convertisseur conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

En référence à la figure, le convertisseur conforme à l'invention est destiné à être raccordé, en entrée, à un réseau de distribution électrique de courant alternatif et, en sortie, à au moins un équipement électronique fonctionnant en courant continu.

Le convertisseur comprend en entrée un circuit de filtrage 1, connu en lui-même, relié à un circuit redresseur 2. Le circuit redresseur 2 est lui aussi connu en lui-même et formé ici d'un pont de diodes ayant des bornes d'entrée reliées au circuit de filtrage 1, une première borne de sortie reliée à un shunt de mesure 3 de courant et une deuxième borne de sortie reliée, d'une part, à un pont diviseur 4 et, d'autre part, à un enroulement primaire 5 d'un transformateur d'isolement 6 en série avec un commutateur de découpage T1. Le commutateur de découpage T1 est un transistor de puissance tel qu'un

transistor à effet de champ à grille métal-oxyde ou MOSFET (de l'anglais « metal oxide semiconductor field effect transistor ») ou un transistor bipolaire à grille isolée ou IGBT (de l'anglais « insulated gate bipolar transistor »). Le commutateur de découpage T1 est relié à un circuit de commande ou, plus précisément, circuit de commande de découpage 10 qui sera décrit ci-après.

Le transformateur d'isolement 6 possède un premier enroulement secondaire 7 qui est de sens identique à l'enroulement primaire 5 et qui est relié en série à une ligne de sortie 8 du convertisseur via une diode D3 et une bobine de filtrage (couramment appelée inductance) L1. Une diode de roue libre D6 relie la masse à la bobine de filtrage L1 de façon connue en soi pour assurer la continuité du courant lorsque la diode D3 ne conduit pas (restitution de l'énergie par la bobine de filtrage L1).

Le transformateur d'isolement 6 possède un deuxième enroulement secondaire 9 qui a un sens opposé à l'enroulement primaire 5 et qui est relié via une diode D2 directement à la ligne de sortie 8, c'est-à-dire en aval de la bobine L1.

Le transformateur d'isolement 6 possède un troisième enroulement secondaire 11 qui est de même sens que l'enroulement primaire 5 et qui est relié via une diode D4 :

- à la ligne de sortie 8,
- à une bobine de filtrage L2 qui est couplée à la bobine de filtrage L1 et qui est en série avec un condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$,
- à un commutateur de décharge T2 piloté par un circuit de commande de décharge 12 en fonction d'un niveau de charge du condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$.

Le condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$ est un supercondensateur de très forte capacité, de l'ordre

de quelques centaines de farads. La capacité et le nombre de condensateurs d'accumulation d'énergie sont déterminés en fonction de la quantité d'énergie dont on souhaite disposer en cas d'interruption de l'alimentation.

Le commutateur de décharge T2 est du même type que le commutateur de découpage T1.

A la ligne de sortie 8, sont en outre reliés un condensateur de sortie C_{out} et un pont diviseur 13.

Le circuit de commande de découpage 10 est un circuit de commande par modulation de largeur d'impulsion agencé pour commander le commutateur de découpage T1 en fonction d'une comparaison d'une tension image d'un courant consommé en entrée du convertisseur avec un signal en forme de sinusoïde redressée double alternance ayant une amplitude dépendant d'une tension d'erreur entre une tension de sortie du convertisseur et une tension de référence.

Le circuit de commande de découpage 10 comprend un comparateur 14 ayant une entrée reliée au pont diviseur 13 relié à la ligne de sortie 8 et une entrée reliée à une source de tension de référence V_{réf1}. Le comparateur 14 a une sortie reliée via un organe d'isolement 15 (ici un coupleur opto-électronique) à une première entrée d'un multiplieur 16 ayant une deuxième entrée reliée au pont diviseur 4. Le multiplieur 16 a une sortie reliée à une première entrée d'un comparateur à hystérésis 17 ayant une deuxième entrée reliée au shunt de mesure 3 via un inverseur 18 pour recevoir une tension image du courant consommé et une sortie reliée via une temporisation 19 à une entrée de commande (la grille) du commutateur de découpage T1.

Le circuit de commande de décharge 12 possède :

- une entrée reliée via un inverseur 20 à une sortie d'un comparateur 21 ayant une première entrée reliée au pont diviseur 4 pour recevoir une tension repré-

sentative de la tension de sortie du circuit redresseur 2 et une deuxième entrée reliée à une source de tension de référence $V_{réf2}$ pour fournir au circuit de commande de décharge 12 une tension d'erreur entre une la tension présente en sortie du circuit redresseur 12 et la tension de référence $V_{réf2}$ (le but étant de détecter la disparition du réseau d'alimentation),

- une entrée reliée à la bobine de filtrage L2 et au condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$ (pour la mesure de la tension de réserve),

- une entrée reliée au pont diviseur 13 (pour la mesure de la tension de sortie),

- une entrée reliée via un organe d'inversion et d'isolement 22 (un inverseur associé à un coupleur opto-électronique) à la sortie de la temporisation 19 (pour interdire la commande du commutateur de décharge T2 quand le commutateur de découpage T1 est passant),

- une sortie reliée à l'entrée de commande (la grille) du commutateur de décharge T2.

Le fonctionnement du convertisseur conforme à l'invention va maintenant être décrit.

Dans l'exemple décrit, le transformateur d'isolement 6 a un rapport de transformation de 1,5.

Le principe du convertisseur consiste à commander en modulation de largeur d'impulsion le commutateur de découpage T1 de manière à forcer le courant consommé à suivre une forme d'onde identique à celle de la tension à savoir une sinusoïde redressée double alternance.

Pour ce faire, le signal issu du pont diviseur 4, représentatif de la tension en sortie du circuit redresseur 2 (sinusoïde redressée double alternance), est multiplié par le multiplieur 16 à un signal représentatif d'une tension d'erreur résultant de la comparaison par le comparateur 14 de la tension en sortie du pont diviseur 13 et de la tension de référence $V_{réf1}$. Le produit de ces

signaux est un signal en forme de sinusoïde redressé double alternance dont l'amplitude dépend de l'erreur sur la tension de sortie.

Ce signal est comparé, avec un hystérésis, par le comparateur à hystérésis 17 à une tension image du courant consommé captée au niveau du shunt de mesure 3. Le signal sortant du comparateur à hystérésis 17 alimente après temporisation la grille du commutateur de découpage T1.

Ainsi, quand le courant est plus faible que la tension d'erreur, le commutateur de décharge T1 est passant tandis que lorsque le courant est plus fort que la tension d'erreur, le commutateur de découpage T1 est bloqué.

A l'ouverture du commutateur de découpage T1, lorsque la tension est faible (tension de sortie inférieure à un seuil égal au produit de la tension d'entrée et du rapport de transformation, soit 1,5), l'énergie stockée dans le noyau magnétique du transformateur d'isolement 6 excite le deuxième enroulement secondaire 9 et est transmise vers la ligne de sortie 8 à travers la diode D2. Le fonctionnement du convertisseur s'apparente alors à celui d'un convertisseur du type FLYBACK, permettant d'assurer une consommation d'énergie, utilisée par la sortie, pendant les phases de basse amplitude de la tension sinusoïdale redressée.

Lorsque la tension de sortie a augmenté jusqu'à atteindre un seuil égal au produit de la tension d'entrée et du rapport de transformation, la diode D3 conduit et l'énergie du noyau magnétique est transférée vers la ligne de sortie par le premier enroulement 7, la diode D3 et la bobine de filtrage L1. Le fonctionnement du convertisseur s'apparente alors à celui d'un convertisseur de type FORWARD. Le convertisseur a également alors un mode minoritaire de fonctionnement de type FLYBACK qui contri-

bue à la décharge complète du noyau magnétique du transformateur d'isolement.

On est donc en présence d'un système auto-oscillant asservi sur l'amplitude de la tension d'erreur elle-même en forme de sinusoïde redressé double alternance, permettant d'obtenir une tension de sortie précise et un courant consommé sinusoïdal.

Le condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$ est chargé (lorsque le convertisseur a un mode de fonctionnement de type FORWARD) par l'intermédiaire du troisième enroulement secondaire 11 et de la diode D4. Les bobines de filtrage L1 et L2, couplées, assurent une limitation des pics de courant de charge et une régulation approximative de la tension de charge.

Une disparition de la tension d'alimentation est détectée par le circuit de commande de décharge 12 qui pilote le commutateur de décharge T2 en modulation de largeur d'impulsion. L'ensemble bobine de filtrage L2 et condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$ fonctionne alors en élévateur de tension avec une valeur résultante asservie à la valeur de consigne de fonctionnement normal d'utilisation. Le circuit de commande de décharge 12 est agencé pour ajuster le rapport cyclique de sa commande au niveau de charge du condensateur d'accumulation d'énergie $C_{rés}$.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit mais englobe toute variante entrant dans le cadre de l'invention telle que définie par les revendications.

En particulier, la réserve d'énergie est facultative.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur alternatif / continu, comportant en entrée un circuit redresseur (2) raccordé en série à un enroulement primaire (5) d'un transformateur d'isolement (6) et à un commutateur de découpage (T1) relié à un circuit de commande (10) par modulation de largeur d'impulsion, le transformateur d'isolement comprenant un premier enroulement secondaire (7) qui est de sens identique à l'enroulement primaire et qui est relié à une ligne de sortie (8) du convertisseur via une diode (D4) et une bobine de filtrage (L1), la ligne de sortie étant reliée à un condensateur de sortie (C_{out}), caractérisé en ce que le transformateur d'isolement comprend un deuxième enroulement secondaire (9) qui a un sens opposé à l'enroulement primaire et qui est relié directement à la ligne de sortie via une diode (D2).

2. Convertisseur selon la revendication 1, dans lequel le circuit de commande (10) est agencé pour commander le commutateur de puissance en fonction d'une comparaison d'une tension image d'un courant consommé en entrée du convertisseur avec un signal en forme de sinusoïde redressée double alternance ayant une amplitude dépendant d'une tension d'erreur entre une tension de sortie du convertisseur et une tension de référence (V_{réf1}).

3. Convertisseur selon la revendication 2, dans lequel le circuit de commande (10) du commutateur de découpage (T1) comprend un comparateur (14) ayant des entrées reliées à la ligne de sortie (8) et à une source de tension de référence (V_{réf1}) et une sortie reliée à une première entrée d'un multiplieur (16) ayant une deuxième entrée recevant une tension de sortie du circuit redresseur (2) et une sortie reliée à une première entrée d'un comparateur à hystérésis (17) ayant une deuxième entrée recevant une tension image du courant consommé et une

sortie reliée via une temporisation (19) à une entrée de commande du commutateur de découpage.

4. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant une réserve d'énergie comprenant un troisième enroulement secondaire (11) du transformateur d'isolement (6) qui est de même sens que l'enroulement primaire (5) et qui est relié d'une part à une bobine de filtrage (L2) et un condensateur d'accumulation d'énergie ($C_{rés}$) et d'autre part à la ligne de sortie (8) via un commutateur de puissance (T2) piloté par un circuit de commande de décharge (12) en fonction d'un niveau de charge du condensateur d'accumulation d'énergie.

5. Convertisseur selon la revendication 4 prise en dépendance de la revendication 3, comprenant un comparateur (21) ayant une première entrée recevant une tension de sortie du circuit redresseur (2) et une deuxième entrée reliée à une source de tension de référence ($V_{réf2}$) et une sortie reliée au circuit de commande de décharge (12).

6. Convertisseur selon la revendication 5, dans lequel le circuit de décharge (12) possède en outre :

- une entrée reliée à la bobine de filtrage (L2) et au condensateur d'accumulation d'énergie ($C_{rés}$),
- une entrée reliée à la ligne de sortie (8),
- une entrée reliée via un organe d'inversion et d'isolement (22) à la sortie de la temporisation (19),
- une sortie reliée à l'entrée de commande du commutateur de puissance (T2).

7. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant un circuit de filtrage (1) en amont du circuit redresseur (2).

1 / 1

