

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication : 3 129 544

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 21 12503

51 Int Cl⁸ : H 02 M 7/68 (2022.01), H 02 J 5/00, 3/38

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.11.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.05.23 Bulletin 23/21.

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 :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : IFP Energies nouvelles Etablissement
public — FR.

72 Inventeur(s) : BATTISTON Alexandre.

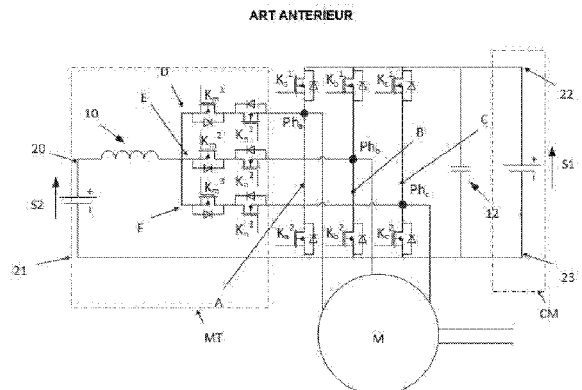
73 Titulaire(s) : IFP Energies nouvelles Etablissement
public.

54 ~~Caractéristique~~ **Caractéristique** d'énergie électrique apte à être
connecté à deux sources d'alimentation et apte à la
récupération d'énergie.

57 L'invention concerne un système de conversion de puissance électrique comprenant N bras de commutation (A, B, C) et un circuit de montage (CM) d'une première source (S1), chacun des N bras de commutation (A, B, C) comprenant deux éléments de commutation en série (Ka1, Ka2, Kb1, Kb2, Kc1, Kc2) et connectés entre eux en un point milieu (Pha,

Phb, Phc). Chaque point milieu (Pha, Phb, Phc) de chacun des bras de commutation (A, B, C) forme une phase pour la connexion à une charge électrique (M) et le système de conversion de puissance comprend une capacité (12) montée en parallèle des bras de commutation (A, B, C). De plus, le système de conversion de puissance comprend un module de transformation (MT) de la tension entre un point de jonction pour la connexion à une borne d'une deuxième source (S2) et à chacun des N points milieux (Pha, Phb, Phc), ce module (MT) comprenant un inducteur (10) et un circuit de N branches de commutation (D, E, F) en parallèle, chacune comprenant deux organes de commutation (Km1, Km2, Km3, Kn1, Kn2, Kn3) montés en tête bêche.

Figure 2 à publier



FR 3 129 544 - A1



Description

Titre de l'invention : Convertisseur d'énergie électrique apte à être connecté à deux sources d'alimentation et apte à la récupération d'énergie

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des convertisseurs pour la conversion de l'énergie électrique, notamment pour l'alimentation des machines électriques multi-phasées.

Technique antérieure

[0002] Un convertisseur statique est un système permettant de convertir un signal électrique en un autre signal électrique possédant des caractéristiques différentes. Par exemple, un convertisseur peut permettre de convertir une tension alternative en une autre tension alternative avec une fréquence et/ou une amplitude différente, on parle alors de convertisseur alternatif/alternatif ou AC/AC. Selon un autre exemple, un convertisseur peut permettre de convertir une tension alternative en une tension continue, on parle alors de convertisseur alternatif/continu ou AC/DC (aussi appelé redresseur). Pour la conversion inverse continu/alternatif, on parle de convertisseur DC/AC, aussi appelé onduleur. Selon un dernier exemple, un convertisseur peut convertir une tension continue en une tension continue de tension différente, on parle alors de convertisseur DC/DC. Les convertisseurs peuvent être réversibles ou non réversibles. Généralement, la conversion est mise en œuvre au moyen de commutateurs (interrupteurs) commandés.

[0003] Pour piloter des machines électriques, par exemple pour des machines électriques à aimants permanents, des machines synchro réluctantes ou des machines synchrones, à partir de système(s) de stockage d'énergie électrique (par exemple une batterie), il est nécessaire de convertir l'énergie électrique continue en énergie alternative multi-phasée. Cette conversion peut être réalisée au moyen d'un convertisseur DC/AC. Pour l'exemple d'une machine électrique triphasée, un tel convertisseur doit fournir trois tensions électriques sinusoïdales déphasées de 120° les unes par rapport aux autres, et dont l'amplitude dépend directement du couple demandé (et du régime de rotation), et dont la fréquence dépend uniquement du régime de rotation de la machine électrique reliée au convertisseur.

[0004] Classiquement, un convertisseur DC/AC comprend trois bras de commutations. Chaque bras de commutation comporte deux commutateurs commandés et deux diodes placées en parallèle des commutateurs commandés, les diodes pouvant être intrinsèquement intégrés au commutateur pour des commutateurs de type MOSFET

(acronyme anglais de « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » qui se traduit par transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semi-conducteur), par exemple des MOSFET SiC (carbure de silicium) ou GaN HEMT (HEMT pour l'acronyme anglais de « High electron mobility transistor » qui se traduit par transistor à haute mobilité électronique, GaN signifiant en Nitrure de Gallium). En fonction du courant de charge demandé, un bras peut être composé de plusieurs 'sous bras' en parallèle. Les phases de la machine électrique sont reliées au point milieu de chaque bras. On commande chaque bras séparément en pilotant l'ouverture et la fermeture des commutateurs sur des périodes de découpage, de manière à former un signal triphasé.

[0005] La [Fig.1] illustre un tel convertisseur classique DC/AC. La tension continue du moyen de stockage d'énergie électrique est indiquée U_{dc} . Le moteur triphasé M est représenté schématiquement par trois bobines, alimentées respectivement par les courants I_a , I_b et I_c . Le convertisseur comporte trois bras de commutation A, B, C, chaque bras de commutation A, B, C est relié à une phase de la machine électrique M. Chaque bras de commutation comporte deux commutateurs 1 et deux diodes 2. Les bras de commutation A, B, C sont disposés en parallèle, entre les deux bornes d'entrée continues du convertisseur de tension U_{dc} . Les phases de sortie des bras de commutation A, B, C sont reliées au point milieu (entre les deux commutateurs) des bras de commutation.

[0006] On connaît également la demande de brevet US2014/0117 770 A1 qui permet de connecter plusieurs sources électriques à un même convertisseur. Toutefois, pour cette solution, il n'y a pas deux sources indépendantes mais deux niveaux de tension issus d'une même source. En outre, la conversion DC/DC pour passer d'une source à l'autre est indépendante du convertisseur et de ce fait, le rendement de l'ensemble est relativement bas.

[0007] On connaît également la demande de brevet US2011/115 294 AA qui concerne un convertisseur pour connecter plusieurs sources. Toutefois, l'architecture proposée ne permet pas la récupération d'énergie pour recharger au moins une source et elle ne permet pas le pilotage de connexion/déconnexion des différentes sources

[0008] Ainsi, l'objet de l'invention consiste à concevoir un système de conversion d'énergie électrique apte à être connecté à deux sources alternativement ou simultanément, à augmenter le rendement du système et à permettre la recharge d'au moins une des sources et de préférence de permettre la recharge des deux sources.

Résumé de l'invention

[0009] Pour se faire, l'invention concerne un système de conversion de puissance électrique comprenant N bras de commutation en parallèle d'un circuit de montage d'une première source d'alimentation électrique, N étant supérieur ou égal à trois et de

préférence égal à trois, chacun des N bras de commutation comprenant au moins deux éléments de commutation en série et connectés entre eux en un point milieu, les éléments de commutation étant pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles, chaque point milieu de chacun des N bras de commutation formant une phase pour la connexion à une charge électrique multi-phasée, le système de conversion de puissance comprenant une capacité montée en parallèle desdits N bras de commutation. De plus, le système de conversion de puissance comprend un module de transformation de la tension entre un point de jonction destiné à être connecté à une borne d'une deuxième source d'alimentation électrique et à chacun des N points milieux, le module de transformation comprenant un premier inducteur connecté audit point de jonction et à un circuit comprenant N branches de commutation en parallèle, chaque branche de commutation comprenant deux organes de commutation en série et étant connectée à un point milieu distinct d'un des N bras de commutation, chacun desdits organes de commutation étant pilotable en ouverture et en fermeture et réversible, les deux organes de commutation d'une même branche étant montés en tête bêche.

[0010] De préférence, les éléments de commutation des N bras de commutation comprennent chacun un transistor et une diode montés en parallèle.

[0011] Préférentiellement, chaque organe de commutation comprend un transistor et une diode montés en parallèle.

[0012] Avantageusement, le circuit de montage comprend la première source d'alimentation électrique, de préférence de tension continue.

[0013] De manière avantageuse, le système de conversion comprend ladite deuxième source d'alimentation électrique, de préférence de tension continue, connectée entre ledit premier inducteur et la masse.

[0014] Selon une configuration de l'invention, la première source d'alimentation électrique et la deuxième source d'alimentation électrique sont de nature différente et/ou de tension différente.

[0015] Selon une variante de l'invention, l'une desdites première et deuxième sources d'alimentation électrique est un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique tel qu'une batterie, et pour lequel l'autre desdites première et deuxième sources d'alimentation électrique est une pile à combustible.

[0016] Selon un mode de réalisation de l'invention, la première source d'alimentation électrique est directement connectée en parallèle desdits N bras de commutation.

[0017] Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le circuit de montage comprend un bras de commutation supplémentaire en parallèle desdits N bras de commutation, ledit bras de commutation supplémentaire comprenant au moins deux dispositifs de commutation en série et connectés entre eux par un point intermédiaire, les dispositifs de commutation étant pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles, un deuxième

inducteur étant connecté entre le point intermédiaire et un point de connexion destiné à être connecté à une borne de la première source d'alimentation électrique.

- [0018] Avantageusement, ladite première source d'alimentation électrique, de préférence de tension continue, est connectée entre le point de connexion et la masse.
- [0019] Selon une configuration avantageuse, le système de conversion comprend un système de commande pour piloter les ouvertures/fermetures des éléments de commutations et pour piloter les ouvertures/fermetures des organes de commutation en fonction des états des éléments de commutation.
- [0020] Préférentiellement, le système de commande est configuré pour commander la fermeture des organes de commutation des branches de commutation reliés à un point milieu d'un des bras de commutation lorsque l'élément de commutation de ce bras de commutation connecté à la masse est fermé ou lorsque les éléments de commutation des Ns bras de commutation connectés à la masse sont ouverts.
- [0021] Selon une mise en œuvre, le système de commande est configuré pour commander les éléments de commutation de chacun des N bras de commutation de manière opposée, l'ouverture d'un des deux éléments de commutation en série de chaque bras de commutation impliquant la fermeture de l'autre desdits deux éléments de commutation en série de ce bras de commutation.
- [0022] L'invention concerne également un système d'entraînement comprenant au moins un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique tel qu'une batterie, une pile à combustible et une machine électrique multi-phasée, de préférence triphasée, le système d'entraînement comprenant un système de conversion de puissance électrique tel que décrit précédemment pour convertir l'énergie électrique dudit moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique et/ou de ladite pile à combustible en énergie électrique alternative multi-phasée pour ladite machine électrique multi-phasée ou inversement.
- [0023] En outre, l'invention concerne aussi un véhicule comprenant un système d'entraînement tel que décrit ou un système de conversion de puissance tel que décrit.

Liste des figures

- [0024] D'autres caractéristiques et avantages du dispositif et/ou du système selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

[Fig 1]

- [0025] La [Fig.1], déjà décrite, représente un convertisseur DC/AC classique selon l'art antérieur.

[Fig 2]

- [0026] La [Fig.2] représente un premier mode de réalisation d'un système de conversion de

puissance électrique selon l'invention.

[Fig 3]

[0027] La [Fig.3] représente un deuxième mode de réalisation d'un système de conversion de puissance électrique selon l'invention.

[Fig 4]

[0028] La [Fig.4] représente quatre états possibles du système de conversion de la [Fig.2] selon un mode de réalisation de l'invention.

[Fig 5]

[0029] La [Fig.5] représente les quatre autres états possibles du système de conversion de la [Fig.2] selon un mode de réalisation de l'invention.

[Fig 6]

[0030] La [Fig.6] représente des courbes donnant les états des éléments de commutation et les états des organes de commutation en fonction des états des éléments de commutation.

[Fig 7]

[0031] La [Fig.7] représente les courbes des états des éléments de commutation, des états des organes de commutation en fonction des états des éléments de commutation, ainsi que le courant dans le premier inducteur.

[Fig 8]

[0032] La [Fig.8] représente un exemple de gestion d'énergie des première et deuxième source d'alimentation électrique pour entraîner une machine électrique au moyen du système selon un mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

[0033] L'invention concerne un système de conversion de puissance électrique (un convertisseur par exemple), notamment un convertisseur DC/AC (aussi appelé onduleur ou variateur), comprenant N bras de commutation en parallèle d'un circuit de montage d'une première source d'alimentation électrique, N étant supérieur ou égal à trois et de préférence égal à trois. Le circuit de montage est un circuit sert à connecter la première source d'alimentation électrique au système de conversion de puissance électrique. Chacun des N bras de commutation comprend au moins deux éléments de commutation (des commutateurs par exemple) en série connectés entre eux en un point milieu. Chaque point milieu de chacun des N bras de commutation forme une phase pour la connexion à une charge électrique multi-phasée (un moteur électrique par exemple). Lorsque N est égal à trois, la charge électrique est une charge triphasée. Les N bras de commutation servent à générer N phases pour l'alimentation multi-phasée d'une charge électrique. Les éléments de commutation sont pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles (en courant) pour permettre le contrôle du passage du

courant dans chacune des phases. De manière connue, la commande des éléments de commutation permet de générer une tension alternative. Les phases de sortie alternatives du système de conversion sont reliées au point milieu de chaque bras de commutation, c'est-à-dire entre les deux éléments de commutations d'un même bras de commutation.

[0034] De plus, le système de conversion de puissance comprend une capacité, tel qu'un condensateur, montée en parallèle des N bras de commutation. Cette capacité permet de lisser les fluctuations de tension. La tension aux bornes de la capacité est appelée tension du bus continu et correspond à la tension aux bornes des N bras de commutation.

[0035] Selon l'invention, le système de conversion de puissance comprend en outre un module de transformation de la tension entre un point de jonction destiné à être connecté à une borne d'une deuxième source d'alimentation électrique et chacun des N points milieux. Le module de transformation est un circuit permettant de connecter une deuxième source d'alimentation électrique aux bras de commutation et d'adapter le courant et la tension. Le module de transformation comprend un premier inducteur et N branches de commutation. Le module de transformation comprend un premier inducteur connecté audit point de jonction permettant de surélever la tension de la deuxième source d'alimentation électrique pour alimenter la charge électrique multi-phasée (triphase si N est égal à trois) et pour permettre la connexion à la première source d'alimentation dont le niveau de tension est différent de celui de la deuxième source d'alimentation. L'inducteur est également connecté à un circuit comprenant N branches de commutation en parallèle, chaque branche de commutation comprenant deux organes de commutation en série et chaque branche de commutation étant connectée à un point milieu distinct d'un des N bras de commutation. Autrement dit, les N branches de commutation sont connectées aux N points milieux des bras de commutation, chaque branche de commutation étant connectée à un point milieu distinct des autres branches de commutation. Le premier inducteur et les N branches de commutation constituent un étage DC/DC dit « Boost » permettant de surélever la tension de la deuxième source d'alimentation électrique pour la rendre compatible avec la tension d'alimentation de la charge électrique et avec le niveau de tension de la première source.

[0036] Dans la présente demande, les termes « bras de commutation » et « éléments de commutation » sont donc associés à la première source d'alimentation électrique, et les termes « branches de commutation » et « organes de commutation » sont donc associés à la deuxième source d'alimentation électrique. Bien que les termes soient différents, leurs composants peuvent être du même type ou de type différent.

[0037] De ce fait, le système de conversion comprend un onduleur pour transformer une

source de tension continue en tension alternative (et inversement) et un module DC/DC apte à surélever la tension d'une des sources : l'onduleur et le module DC/DC ne sont pas indépendants l'un de l'autre mais sont au contraire intégrés dans un seul et même étage de conversion. De ce fait, le rendement de l'étage DC/DC n'est pas indépendant de celui de l'onduleur. Cette architecture imbriquée de l'étage DC/DC et de l'onduleur permet ainsi d'augmenter le rendement du système de conversion de puissance électrique et de mutualiser les fonctions électriques des convertisseurs DC/DC et DC/AC.

- [0038] Lorsque la première source d'alimentation électrique est déconnectée (physiquement), le système de conversion agit comme un onduleur avec un étage DC/DC de type « Boost » apte à surélever la tension du bus continu pour la rendre compatible avec la tension d'alimentation de la charge électrique multi-phasée.
- [0039] De plus, chacun des organes de commutation est pilotable en ouverture et en fermeture et réversible et les deux organes de commutation d'une même branche sont montés en tête bêche. Par « organes de commutation montés en tête bêche », on entend que les organes de commutation sont montés en sens inverse (ou opposé) : par exemple, lorsque les organes de commutation sont des IGBT, les deux organes de commutation d'une même branche de commutation peuvent être montés de manière à avoir leurs collecteurs communs ou leurs émetteurs communs ; lorsque les organes de commutation sont des MOSFET, les deux organes de commutation d'une même branche de commutation peuvent être montés de manière à avoir leurs drains communs ou leurs sources communes. Pouvoir contrôler l'ouverture et la fermeture des organes de commutation permet de connecter ou non la deuxième source d'alimentation électrique et de la protéger en permettant une déconnexion électrique totale de la deuxième source, sans nécessiter de déconnexion physique de cette deuxième source d'alimentation électrique. De plus, comme les organes de commutation sont réversibles, il est possible de récupérer l'énergie de la charge électrique pour recharger la deuxième source d'alimentation électrique. Par ailleurs, en commandant les deux organes de commutation d'une même branche de la même manière (tous les deux ouverts ou tous les deux fermés), l'architecture peut être totalement réversible vis-à-vis de la deuxième source d'alimentation électrique. En commandant les deux organes de commutation d'une même branche de manière indépendante l'un de l'autre (à certains moments à minima l'un peut être fermé et l'autre ouvert), l'architecture peut ne plus être rendue réversible, ce qui peut être utile lorsqu'il n'est pas possible de recharger la deuxième source d'alimentation électrique (une pile à combustible ou un panneau photovoltaïque par exemple).
- [0040] En outre, monter les deux organes de commutation d'une même branche de commutation en tête bêche permet d'ajouter des modes de charge ou de décharge inductive

en dehors des états de séquence nulles de la commande des N bras de commutation.

- [0041] Le système de conversion selon l'invention comporte ainsi N bras de commutation, de préférence trois bras de commutation, un module de transformation de la tension avec N branches de commutation (de préférence trois branches lorsque le système comprend trois bras de commutation), deux phases (ou bornes) d'entrée continue, chaque phase d'entrée continue correspondant à l'une des deux sources d'alimentation électrique, et N phases de sorties alternatives pour la sortie (ou l'entrée) multi-phasée (trois phases de sorties alternatives pour la sortie triphasée).
- [0042] La masse (ou référence de potentiel) peut être avantageusement connectée à une borne de la première source d'alimentation électrique et à une borne de la deuxième source d'alimentation électrique
- [0043] Le système de conversion selon l'invention permet une conversion de l'énergie électrique. Il peut permettre de convertir une tension alternative en une tension continue, on parle alors de redresseur, convertisseur alternatif/continu ou AC/DC. Il peut aussi permettre la conversion inverse en transformant une tension continue en tension alternative : on parle alors d'onduleur ou de variateur ou convertisseur DC/AC. Enfin, le système de conversion selon l'invention peut convertir une tension continue en une tension continue de tension différente, on parle alors de convertisseur DC/DC. En outre, les systèmes de conversion selon l'invention sont réversibles en courant (le courant électrique peut circuler dans les deux sens dans un système dit réversible).
- [0044] La charge électrique désigne tout système utilisant de l'énergie électrique ou permettant la récupération de l'énergie électrique pour recharger au moins l'une des deux sources d'alimentation électrique. La charge électrique peut être une machine électrique tel qu'un moteur électrique, un générateur électrique, une charge résistive, un réseau électrique, etc.
- [0045] Le système de conversion selon l'invention est particulièrement avantageux car il permet plusieurs modes de pilotage :
- [0046] – Avec seulement la première source d'alimentation électrique connectée : dans ce cas, le mode de pilotage correspond à un onduleur de tension simple ;
- Avec seulement la deuxième source d'alimentation électrique connectée : dans ce cas, le mode de pilotage correspond à un onduleur de tension simple avec un étage de conversion DC/DC qui permet de surélever la tension. Ce type de fonctionnement est intéressant lorsque la tension continue de la deuxième source d'alimentation électrique est inférieure à la tension d'alimentation de la charge électrique multi-phasée.
- Avec une connexion simultanée aux première et deuxième source d'alimentation électrique qui peuvent être de nature différente et/ou de tension différente. La première source d'alimentation électrique correspond à la

source principale et la deuxième source d'alimentation électrique correspond à une source auxiliaire qui sert de soutien à la source principale. Bien évidemment, ce pourrait également être l'inverse.

- Un mode de récupération de l'énergie issue de la charge électrique multi-phasée en direction de la première et/ou de la deuxième source d'alimentation électrique.
- Un mode où la première source d'alimentation électrique permet la recharge de la deuxième source d'alimentation, ou inversement, sans énergie provenant de la charge électrique multi-phasée.

[0047] Lorsque tous les organes de commutation du système de conversion sont ouverts, la deuxième source d'alimentation électrique est alors déconnectée électriquement du système de conversion. Le système de conversion fonctionne alors comme un onduleur simple. Ce mode de pilotage peut permettre de protéger ou préserver la deuxième source d'alimentation électrique. Il permet de solliciter ou non la deuxième source d'alimentation électrique simultanément avec la première source d'alimentation électrique.

[0048] De préférence, les éléments de commutation des N bras de commutation peuvent comprendre chacun un transistor et une diode montés en parallèle. Le transistor est un interrupteur dont l'ouverture et la fermeture sont pilotables par un moyen de commande électronique. Pour des éléments de commutation de type IGBT (transistor bipolaire à grille isolée de l'anglais « Insulated Gate Bipolar Transistor »), le transistor a un sens de passage du courant unidirectionnel lorsqu'il est en position fermée. Pour rendre l'élément de commutation réversible, une diode est ajoutée en parallèle pour permettre le passage du courant dans le sens opposé à celui du sens passant dans le transistor. Pour d'autres éléments de commutation, tels que des MOSFET, comme des MOSFET SiC ou GaN HEMT, la diode est intrinsèquement existante dans le composant et les composants fonctionnent dans les deux sens quand ils sont fermés.

[0049] Avantageusement, chaque organe de commutation peut comprendre un transistor et une diode montés en parallèle. Ainsi, l'ouverture et la fermeture du transistor sont pilotables par un moyen de commande électronique. Le transistor a un sens de passage du courant unidirectionnel lorsqu'il est en position fermée. Pour rendre l'élément de commutation réversible, une diode est ajoutée en parallèle pour permettre le passage du courant dans le sens opposé à celui du sens passant dans le transistor.

[0050] L'utilisation de deux organes de commutation en série sur chaque branche de commutation et composés chacun d'un transistor et d'une diode et montés en tête bêche permet de rendre les trois branches de commutation activement pilotable et complètement réversibles en courant.

[0051] Conformément à une caractéristique de l'invention, les transistors (qui sont des inter-

rupteurs commandés) des organes de commutation et/ou les transistors des éléments de commutation peuvent être des commutateurs de type MOSFET (acronyme anglais de « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » qui se traduit par transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semi-conducteur) et/ou IGBT (transistor bipolaire à grille isolée de l'anglais « Insulated Gate Bipolar Transistor »). Les MOSFET peuvent notamment être des MOSFET SiC (carbure de silicium) ou GaN HEMT (« High electron mobility transistor » en Nitrure de Gallium).

- [0052] Selon une configuration de l'invention, le circuit de montage peut comprendre uniquement la première source d'alimentation électrique directement connectée en parallèle des N bras de commutation. En d'autres termes, les bornes de la première source d'alimentation sont connectées directement à chaque extrémité des bras de commutation (et donc de la capacité). En d'autres termes, la première source d'alimentation électrique est connectée au bus continu. Cette solution est par exemple adaptée lorsque la première source d'alimentation électrique a une tension suffisante pour le fonctionnement de la charge électrique multi-phasée.
- [0053] La [Fig.2] illustre, de manière schématique et non limitative un premier mode de réalisation du système de conversion selon l'invention.
- [0054] Le système présenté comprend un système de conversion, deux sources d'alimentation électriques S1 et S2 et une charge électrique triphasée M.
- [0055] Le système de conversion comprend trois bras de commutation A, B, et C en parallèle de la première source d'alimentation S1. La masse est connectée à une première borne 23 de la première source d'alimentation S1, aux premières extrémités des trois bras de commutation A, B et C et à la première borne 21 de la deuxième source d'alimentation S2. La deuxième borne 22 de la première source d'alimentation S1 est connectée aux autres extrémités des trois bras de commutation A, B et C.
- [0056] Un condensateur 12 est également monté en parallèle de la première source d'alimentation S1 et des trois bras de commutation A, B et C entre la masse et la deuxième borne 22 de la première source d'alimentation S1.
- [0057] Les trois bras de commutation A, B, C comprennent chacun un demi-bras supérieur et un demi-bras inférieur montés en série l'un par rapport à l'autre et connectés entre eux par un point milieu, respectivement Pha, Phb et Phc.
- [0058] Les demi-bras supérieurs de chacun des trois bras de commutation A, B et C comprennent chacun, entre le point milieu Pha, Phb, Phc et la deuxième borne 22 de la première source d'alimentation électrique S1 un élément de commutation Ka^1 , Kb^1 , Kc^1 .
- [0059] Les demi-bras inférieurs de chacun des trois bras de commutation A, B et C comprennent chacun, entre le point milieu Pha, Phb, Phc et la masse connectée à la première borne 23 de la première source d'alimentation électrique S1 un élément de

commutation Ka^2 , Kb^2 , Kc^2 .

- [0060] Chaque élément de commutation Ka^1 , Ka^2 , Kb^1 , Kb^2 , Kc^1 et Kc^2 comprend un transistor (interrupteur commandable) et une diode montés en parallèle. Les transistors peuvent être des IGBT ou des MOSFET comme des MOSFET SiC ou des HEMT GaN par exemple.
- [0061] Les points milieux Ph_a , Ph_b , et Ph_c sont connectés chacun à une phase de la charge électrique de manière à fournir ou à récupérer une énergie (ou puissance) électrique triphasée.
- [0062] Par ailleurs, la deuxième borne 20 de la deuxième source d'alimentation électrique S2 est connecté à un inducteur 10, l'autre borne de l'inducteur étant connecté à un circuit comprenant trois branches de commutation D, E, F en parallèle. Chacune des trois branches de commutation D, E, F comporte deux organes de commutation, Km^1 , Kn^1 , Km^2 , Kn^2 , Km^3 , Kn^3 qui sont composés chacun d'un transistor et d'une diode en parallèle. Les transistors peuvent être des IGBT ou des MOSFET, comme des MOSFET SiC ou des HEMT GaN par exemple.
- [0063] L'inducteur 10, la deuxième source d'alimentation électrique S2 et les trois branches de commutation D, E, F forment un module de transformation de la tension MT, représenté par le cadre à gauche en traits mixtes, pour surélever ou interfacer la tension du bus continu, connecté à la deuxième source d'alimentation électrique. La deuxième borne 20 de la deuxième source d'alimentation électrique S2 forme le point de jonction du module de transformation de la tension.
- [0064] Le circuit de montage CM représenté par le cadre à droite en traits mixtes est ici constitué uniquement par la première source d'alimentation S1.
- [0065] Les deux organes de commutation montés en série sur une même branche de commutation D, E, F sont montés en tête bêche c'est-à-dire de manière inversée : par exemple, lorsque les organes de commutation sont des IGBT, les deux organes de commutation d'une même branche de commutation peuvent être montés de manière à avoir leurs collecteurs communs ou leurs émetteurs communs ; lorsque les organes de commutation sont des MOSFET, les deux organes de commutation d'une même branche de commutation peuvent être montés de manière à avoir leurs drains communs ou leurs sources communes .
- [0066] La diode des organes de commutation Km^1 , Km^2 , Km^3 est passante en sens opposé de la diode des organes de commutation Kn^1 , Kn^2 , Kn^3 de la même branche de commutation.
- [0067] Par exemple, si la deuxième source d'alimentation électrique S2 est une pile à combustible, il suffit d'appliquer une commande nulle aux transistors des organes de commutation Km^1 , Km^2 et Km^3 pour rendre non réversible l'architecture. Si la deuxième source d'alimentation électrique est une batterie, les commandes des organes de com-

mutation Km^1 , Km^2 et Km^3 sont par exemple identiques aux commandes des organes de commutation Kn^1 , Kn^2 et Kn^3 pour rendre l'architecture totalement réversible.

[0068] Alternativement, le circuit de montage peut comprendre :

- [0069] – un bras de commutation supplémentaire (un $(N+1)$ -ème bras de commutation) en parallèle des N bras de commutation et le bras de commutation supplémentaire peut comprendre au moins deux dispositifs de commutation en série et connectés entre eux par un point intermédiaire,
- un deuxième inducteur, connecté au point milieu du bras de commutation supplémentaire, et
- la première source d'alimentation électrique connectée entre le deuxième inducteur et la masse du système de conversion.

[0070] Par exemple, si le système comprend trois bras de commutation et trois branches de commutation (donc si N est égal à trois), le circuit de montage peut comprendre un quatrième bras de commutation en parallèle des trois bras de commutation et le quatrième bras de commutation peut comprendre au moins deux dispositifs de commutation en série et connectés entre eux par un point intermédiaire. De plus, les dispositifs de commutation peuvent être pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles et un deuxième inducteur peut être connecté entre le point intermédiaire et un point de connexion destiné à être connecté à une borne de la première source d'alimentation électrique. Il agit ainsi comme un étage DC/DC dit « Boost ». Cette architecture permet de surélever la tension de la première source d'alimentation, notamment lorsque la tension de la première source d'alimentation ne suffit pas à un fonctionnement normal et correct de la charge électrique multi-phasée.

[0071] De préférence, le circuit de montage peut comprendre la première source d'alimentation électrique, qui peut notamment être une source de tension continue, connectée entre le point de connexion et la masse, elle-même pouvant être connectée à une des deux bornes de la deuxième source d'alimentation électrique.

[0072] De manière avantageuse, le système de conversion peut comprendre la deuxième source d'alimentation électrique, qui peut notamment être une source de tension continue, connectée entre le premier inducteur du module de transformation de la tension, au niveau du point de jonction, et la masse (connectée à une borne de la première source d'alimentation électrique). Par l'utilisation du premier inducteur, il est possible de surélever la tension du bus continu pour interfacer la deuxième source d'alimentation électrique.

[0073] Le système de conversion ainsi constitué peut donc s'adapter à différentes sources d'alimentation électrique qui peuvent être connectées à la charge électrique de manière séparée ou simultanée. De plus, les sources peuvent être indépendantes l'une de l'autre et donc la première source d'alimentation électrique et la deuxième source

d'alimentation électrique peuvent être de nature différente et/ou de tension différente. Par des sources de nature différente, on entend des sources d'alimentation de technologie différente qui ont des caractéristiques distinctes et indépendantes (tension, courant, durée de charge etc..). Par exemple, un panneau photovoltaïque, une batterie électrochimique, un supercondensateur ou une pile à combustible sont des sources différentes. De ce fait, le système de conversion offre une grande adaptabilité à différentes sources d'énergie et de multiples solutions de fonctionnement, et ce dans un espace réduit.

- [0074] La [Fig.3] illustre, de manière schématique et non limitative un deuxième mode de réalisation du système de conversion selon l'invention.
- [0075] Le système présenté comprend un système de conversion, deux sources d'alimentation électriques S1 et S2 et une charge électrique triphasée M.
- [0076] Le système de conversion comprend trois bras de commutation A, B, et C et une première source d'alimentation S1. La masse est connectée à une première borne 23 de la première source d'alimentation S1, aux premières extrémités des trois bras de commutation A, B et C et à la première borne 21 de la deuxième source d'alimentation S2. La deuxième borne 22 de la première source d'alimentation S1 est connectée à un deuxième inducteur 11 qui est aussi connecté au point intermédiaire Ph_d d'un quatrième bras de commutation G. Le quatrième bras de commutation G est monté en parallèle des trois bras de commutation A, B et C et du condensateur 12. Le quatrième bras de commutation G comprend un demi-bras supérieur et un demi-bras inférieur montés en série l'un par rapport à l'autre et connectés entre eux par le point intermédiaire Ph_d .
- [0077] Le demi-bras inférieur comprend un dispositif de commutation K_x^2 entre le point intermédiaire Ph_d et la masse connectée à la première borne 23 de la première source d'alimentation électrique S1.
- [0078] Le demi-bras supérieur comprend un dispositif de commutation K_x^1 entre le point intermédiaire Ph_d et l'autre extrémité du bras de commutation G (extrémité non connectée à la masse).
- [0079] Les dispositifs de commutation K_x^1 et K_x^2 comprennent chacun un transistor (interrupteur commandable) et une diode en parallèle. Les transistors peuvent être des IGBT ou des MOSFET, comme des MOSFET SiC ou des GaN HEMT par exemple.
- [0080] Les trois bras de commutation A, B, C comprennent chacun un demi-bras supérieur et un demi-bras inférieur montés en série l'un par rapport à l'autre et connectés entre eux par un point milieu, respectivement Ph_a , Ph_b et Ph_c .
- [0081] Les demi-bras inférieurs de chacun des trois bras de commutation A, B et C comprennent chacun, entre le point milieu Ph_a , Ph_b , Ph_c et la masse connectée à la première borne 23 de la première source d'alimentation électrique S1 un élément de com-

mutation K_a^2 , K_b^2 , K_c^2 .

- [0082] Les demi-bras supérieurs de chacun des trois bras de commutation A, B et C comprennent chacun, entre le point milieu Ph_a , Ph_b , Ph_c et l'autre extrémité des bras de commutation A, B et C (extrémité non connectée à la masse) un élément de commutation K_a^1 , K_b^1 , K_c^1 .
- [0083] Chaque élément de commutation K_a^1 , K_a^2 , K_b^1 , K_b^2 , K_c^1 et K_c^2 comprend un transistor (interrupteur commandable) et une diode en parallèle. Les transistors peuvent être des IGBT ou des MOSFET, comme des MOSFET SiC ou des HEMT GaN par exemple.
- [0084] Les points milieux Ph_a , Ph_b , et Ph_c sont connectés chacun à une phase de la charge électrique de manière à fournir ou à récupérer une tension électrique triphasée.
- [0085] Par ailleurs, la deuxième borne 20 de la deuxième source d'alimentation électrique S2 forme un point de jonction du module de transformation MT de la tension qui est connecté à un inducteur 10, l'autre borne de l'inducteur étant connecté à un circuit comprenant trois branches de commutation D, E, F en parallèle. Chacune des trois branches de commutation D, E, F comporte deux organes de commutation, K_m^1 , K_n^1 , K_m^2 , K_n^2 , K_m^3 , K_n^3 qui sont composés chacun d'un transistor et d'une diode en parallèle. Les transistors peuvent être des MOSFET ou des IGBT.
- [0086] Les deux organes de commutation montés en série sur une même branche de commutation D, E, F sont montés en tête bêche c'est-à-dire de manière inversée : la diode des organes de commutation K_m^1 , K_m^2 , K_m^3 est passante en sens opposé de la diode des organes de commutation K_n^1 , K_n^2 , K_n^3 de la même branche de commutation.
- [0087] L'inducteur 10, la deuxième source d'alimentation électrique S2 et les trois branches de commutation D, E, F forment un module de transformation de la tension MT, représenté par le cadre à gauche en traits mixtes, pour surélever ou interfacer la tension du bus continu, connecté à la deuxième source d'alimentation électrique. La deuxième borne 20 de la deuxième source d'alimentation électrique S2 forme le point de jonction du module de transformation de la tension.
- [0088] Le circuit de montage CM représenté par le cadre à droite en traits mixtes est ici constitué par le quatrième bras de commutation G tel que décrit, par le deuxième inducteur 11 relié au point intermédiaire Ph_d du quatrième bras de commutation G et par la première source d'alimentation électrique S1.
- [0089] De préférence, l'une des première et deuxième sources d'alimentation électrique peut être un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique tel qu'une batterie et l'autre des première et deuxième sources d'alimentation électrique peut être une pile à combustible, un supercondensateur ou un panneau photovoltaïque. Alternativement, les première et deuxième sources d'alimentation électrique peuvent être de deux types différents parmi un moyen de stockage électrochimique tel qu'une batterie, une pile à combustible, un supercondensateur et un panneau photovoltaïque. La combinaison

d'une pile à combustible avec une batterie permet de gérer l'énergie électrique qui transite vers la charge selon des modes de fonctionnement adaptés à la technologie des organes de stockage. Par exemple, la pile à combustible peut fournir une puissance moyennée à la charge tandis que la batterie peut être utilisée en tampon de puissance, c'est-à-dire pour fournir des pics de puissance dynamiques.

[0090] Ainsi, le système peut fonctionner dans différentes situations de fonctionnement et est capable de s'adapter à différentes sources énergétiques.

[0091] Selon une variante avantageuse de l'invention, les dispositifs de commutation peuvent comprendre chacun un transistor et une diode en parallèle. Ainsi, l'ouverture et la fermeture du transistor sont pilotables par un moyen de commande électronique. Le transistor a un sens de passage du courant unidirectionnel lorsqu'il est en position fermée. Pour rendre le dispositif de commutation réversible, une diode est ajoutée en parallèle pour permettre le passage du courant dans le sens opposé à celui du sens passant dans le transistor.

[0092] Conformément à une caractéristique de l'invention, les transistors (qui sont des interrupteurs commandés) des dispositifs de commutation peuvent être des commutateurs de type MOSFET (acronyme anglais de « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » qui se traduit par transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semi-conducteur) et/ou IGBT (transistor bipolaire à grille isolée de l'anglais « Insulated Gate Bipolar Transistor »). Les MOSFET peuvent notamment être des MOSFET SiC (carbure de silicium) ou GaN HEMT (« High electron mobility transistor » en Nitrure de Gallium).

[0093] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, le système de commande peut être configuré pour commander les éléments de commutation de chacun des N bras de commutation de manière opposée, l'ouverture d'un des deux éléments de commutation en série de chaque bras de commutation impliquant la fermeture de l'autre desdits deux éléments de commutation en série de ce bras de commutation. En d'autres termes, les ouvertures/fermetures de l'un des éléments de commutation d'un même bras de commutation sont complémentaires des ouvertures/fermetures de l'autre des éléments de commutation de ce même bras de commutation. Ainsi, il est possible de transformer la tension continue en tension alternative et inversement.

[0094] De préférence, les commutateurs (les transistors par exemple) des éléments de commutation, des organes de commutation et des dispositifs de commutation peuvent être commandés par une méthode de modulation de largeur d'impulsion (MLI ou en anglais PWM pour « Pulse Width Modulation »). Le principe général de cette méthode de modulation est qu'en appliquant une succession d'états discrets pendant des durées bien choisies, on peut obtenir en moyenne sur une certaine durée n'importe quelle valeur intermédiaire.

- [0095] Préférentiellement, le système de conversion peut comprendre un système de commande pour piloter les ouvertures/fermetures des éléments de commutations et pour piloter les ouvertures/fermetures des organes de commutation en fonction des états des éléments de commutation. Autrement dit, les états des organes de commutation ne sont pas découplés (ou décorrélés) des états des éléments de commutation mais au contraire sont dépendants des états des éléments de commutation (ou corrélés à ces états). Ainsi, les états d'ouverture et de fermeture des organes de commutations dépendent des états d'ouverture et de fermeture des éléments de commutations. De cette manière, on peut contrôler la charge et la décharge du premier inducteur, la décharge du premier inducteur correspondant à la charge de la capacité.
- [0096] Selon une mise en œuvre de l'invention, le système de commande peut être configuré pour commander la fermeture des organes de commutation des branches de commutation reliés à un point milieu d'un des bras de commutation lorsque l'élément de commutation de ce bras de commutation connecté à la masse est fermé ou lorsque les éléments de commutation des N bras de commutation (donc de tous les bras de commutation) connectés à la masse sont ouverts. Ainsi, on commande en fermeture les deux organes de commutation d'une branche de commutation relié au point milieu d'un bras de commutation :
- [0097] – Si l'élément de commutation de ce bras de commutation qui est connecté à la masse (reliée à la deuxième source d'alimentation électrique et à la première source d'alimentation électrique) est fermé ;
- Ou si les éléments de commutation des N bras de commutation qui sont connectés à la masse (reliée à la première et à la deuxième sources d'alimentation électrique) sont ouverts.
- [0098] Dans cette configuration, lorsque N est égal à trois pour une charge électrique triphasée, le système peut disposer de sept états de charge de l'inducteur et d'un seul état de décharge de l'inducteur qui correspond au mode où les organes de commutations sont ouverts lorsque les trois éléments de commutation des trois bras de commutation connectés à la masse sont ouverts.
- [0099] Lorsque les N éléments de commutation des bras de commutation qui sont connectés à la masse (les N autres éléments de commutation des bras de commutation étant connectés au circuit de montage de la première source d'alimentation électrique) sont dans un même état, c'est-à-dire qu'ils sont tous ouverts ou qu'ils sont tous fermés, on parle de séquence nulle de commande.
- [0100] La séquence nulle de commande du système de conversion correspond aux instants de la commande du système de conversion pendant lesquels aucun courant différentiel ne transite vers la charge électrique. La puissance prélevée sur les sources d'alimentation électrique est donc nulle pendant ces séquences. Une première séquence

nulle est obtenue lorsque les éléments de commutation connectés à la borne positive des bras de commutation sont tous fermés (et donc que les éléments de commutations connectés à la masse sont tous ouverts, les éléments de commutation d'un même bras étant complémentaires). Une deuxième séquence nulle est obtenue lorsque les éléments de commutation connectés à la masse sont tous fermés (et donc que les éléments de commutation connectés à la borne positive des bras de commutation sont tous ouverts).

- [0101] Les figures 4 et 5 illustrent, de manière schématique et non limitative, les 8 états possibles du système de conversion de puissance électrique selon le mode de réalisation de la [Fig.2] et suivant un exemple de configuration de contrôle du système de commande.
- [0102] La [Fig.4] illustre quatre états possibles (schéma a), b) c) et d)) et la [Fig.5] illustre les quatre autres états possibles (schéma a), b), c), d)).
- [0103] Sur les différents schémas, la ou les flèches indiquent le passage du courant dans les différents bras/ branches. Par convention, le courant ne passe pas dans les autres branches/bras (l'un des interrupteurs empêchant le passage du courant).
- [0104] Selon l'exemple de contrôle du système de commande illustré, les éléments de commutation d'un même bras de commutation sont commandés de manière complémentaire :
- [0105] – Si l'un de K_a^1 et K_a^2 est ouvert, l'autre de K_a^1 et K_a^2 est fermé.
 – Si l'un de K_b^1 et K_b^2 est ouvert, l'autre de K_b^1 et K_b^2 est fermé.
 – Si l'un de K_c^1 et K_c^2 est ouvert, l'autre de K_c^1 et K_c^2 est fermé.
- [0106] Par ailleurs, les organes de commutation K_m^1 , K_n^1 , K_m^2 , K_n^2 , K_m^3 , K_n^3 sont commandés en fonction des états des éléments de commutation du bras de commutation par lequel la branche sur laquelle ils se trouvent sont reliés via le point milieu. Les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés lorsque :
- [0107] – K_a^2 est fermé (voir schéma d) de la [Fig.4], schémas a), b) et c) de la [Fig.5]) ;
 – K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont tous les trois ouverts simultanément (schéma d) de la [Fig.5]).
- [0108] Les organes de commutation K_m^2 et K_n^2 sont fermés lorsque :
- [0109] – K_b^2 est fermé (voir schémas a) et c) de la [Fig.4], schémas a) et c) de la [Fig.5]) ;
 – K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont tous les trois ouverts simultanément (schéma d) de la [Fig.5]).
- [0110] Les organes de commutation K_m^3 et K_n^3 sont fermés lorsque :
- [0111] – K_c^2 est fermé (voir schémas a) et b) de la [Fig.4], schémas b) et c) de la [Fig.5]) ;
 – K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont tous les trois ouverts simultanément (schéma d) de la [Fig.5]).

- [0112] Dans les autres conditions, les organes de commutation sont ouverts.
- [0113] Les schémas c) et d) de la [Fig.5] correspondent à des états de séquence nulle où aucune énergie n'est transférée ou récupérée de la charge électrique M.
- [0114] Les schémas a), b), c) et d) de la [Fig.4] ainsi que les schémas a), b) et c) de la [Fig.5] correspondent à des états de charge du premier inducteur 10. Le schéma d) de la [Fig.5] correspond au seul état de décharge du premier inducteur 10, qui correspond à un état de charge du condensateur 12.
- [0115] La [Fig.6] illustre, de manière schématique et non limitative, la génération des commandes des organes de commutation K_m^1 et K_n^1 en fonction des états des éléments de commutation de K_a^1 , K_b^1 et K_c^2 , tel que décrit précédemment et correspondant aux commandes des figures 4 et 5.
- [0116] Les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés lorsque :
- [0117] – K_a^2 est fermé donc quand K_a^1 est ouvert (voir schéma d) de la [Fig.4], schémas a), b) et c) de la [Fig.5]) ;
- K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont tous les trois ouverts simultanément (schéma d) de la [Fig.5]) qui par complémentarité correspondant à un état où les éléments de commutations K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés simultanément.
- [0118] Sur la figure, une commande égale à 1 correspond à un état fermé et une commande égale à zéro correspond à un état ouvert.
- [0119] Les trois graphes supérieurs présentent les états de commande C1 des éléments de commutation respectivement de K_b^1 , K_c^1 et K_a^1 des figures 4 et 5 en fonction du temps T.
- [0120] Le graphe inférieur présente les états de commande C2 des organes de commutation K_m^1 et K_n^1 des figures 4 et 5 en fonction du temps T. On observe que les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés uniquement lorsque les trois interrupteurs K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés simultanément (Sit1) ou lorsque K_a^1 est ouvert (Sit2). Les courbes K_m^1 et K_n^1 sont confondues.
- [0121] La [Fig.7] illustre, de manière schématique et non limitative, la génération des commandes des organes de commutation K_m^1 et K_n^1 en fonction des états des éléments de commutation de K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 , telle que décrite précédemment et correspondant aux commandes des figures 4 et 5.
- [0122] Les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés lorsque :
- [0123] – K_a^2 est fermé donc quand K_a^1 est ouvert (voir schéma d) de la [Fig.4], schémas a), b) et c) de la [Fig.5]) ;
- K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont tous les trois ouverts simultanément (schéma d) de la [Fig.5]) qui par complémentarité correspondant à un état où les éléments de commutations K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés simultanément.
- [0124] Sur la figure, une commande égale à 1 correspond à un état fermé et une commande

égale à zéro correspond à un état ouvert.

- [0125] Les trois graphes supérieurs présentent les états de commande C1 des éléments de commutation respectivement K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 des figures 4 et 5 en fonction du temps T.
- [0126] Le quatrième graphe présente les états de commande C2 des organes de commutation K_m^1 et K_n^1 des figures 4 et 5 en fonction du temps T. Les courbes K_m^1 et K_n^1 sont confondues. On observe que les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés uniquement lorsque les trois interrupteurs K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés simultanément (Sit1) ou lorsque K_a^1 est ouvert (Sit2).
- [0127] La [Fig.7] diffère de la [Fig.6] en ce que les séquences de changements d'état des éléments de commutation K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 ne sont pas régulièrement répartis à intervalle régulier comme c'est le cas de la [Fig.6]. En effet, sur la [Fig.7], la durée pour laquelle les trois éléments de commutation K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés est plus longue sur celle où K_a^1 seul est fermé, elle-même plus longue que celle où K_a^1 et K_b^1 sont fermés simultanément.
- [0128] Le graphe inférieur représente le courant II dans le premier inducteur en fonction du temps T. Il résulte des différents états de commandes des éléments de commutation et des organes de commutation.
- [0129] On observe une succession d'états de charge Ch du premier inducteur (augmentation de l'intensité du courant II au cours du temps T dans le premier inducteur) et d'états de décharge DCh du premier inducteur (diminution de l'intensité du courant II au cours du temps T dans le premier inducteur).
- [0130] Les deux états de séquence nulle correspondant aux états où K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont tous ouverts ou sont tous fermés correspondent à des états où les organes de commutation K_m^1 et K_n^1 sont fermés.
- [0131] La décharge du premier inducteur DCh a lieu uniquement lorsque les trois éléments de commutation K_a^1 , K_b^1 et K_c^1 sont fermés (par conséquent, K_a^2 , K_b^2 et K_c^2 sont ouverts et tous les organes de commutations sont fermés).
- [0132] La charge du premier inducteur Ch a lieu dans tous les autres états de commande.
- [0133] La génération des commandes présentées en figures 4 à 7 n'est pas restrictive et d'autres générations des commandes des organes de commutation en fonction des états des éléments de commutation sont envisageables sans sortir du cadre de l'invention. Par exemple, on peut envisager des états de commande des organes de commutation où les deux organes de commutation d'une même branche de commutation sont commandés de manière différente l'un de l'autre (ils peuvent par exemple ne pas être toujours tous les deux ouverts ou tous les deux fermés en même temps).
- [0134] Le système de conversion selon l'invention permet de piloter des machines électriques, pour tous types d'application, en particulier pour des machines électriques tournant à de très hautes vitesses avec un rendement de du système de conversion

(convertisseur) élevé.

[0135] Le système de conversion selon l'invention peut être prévu pour une utilisation embarquée, en particulier au sein d'un véhicule, notamment terrestre, aéronautique ou naval.

[0136] L'invention concerne aussi un système d'entraînement comprenant au moins un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique (tel qu'une batterie), une pile à combustible et une machine électrique multi-phasée, de préférence triphasée. Le système d'entraînement comprend un système de conversion de puissance électrique tel que décrit précédemment pour convertir l'énergie électrique du moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique et/ou de la pile à combustible en énergie électrique alternative multi-phasée pour la machine électrique multi-phasée (triphasee de préférence). Inversement, il est possible de recharger le moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique (une batterie notamment) à partir de la charge électrique multi-phasée qui agit alors comme une génératrice électrique.

[0137] En outre, l'invention concerne encore un véhicule comprenant un système d'entraînement tel que décrit précédemment ou un système de conversion de puissance électrique comme présenté préalablement.

[0138] Le système de conversion et le système d'entraînement selon l'invention sont également adaptés à toutes applications embarquées ou stationnaires.

[0139] Les éléments de commutation, les organes de commutation et les dispositifs de commutation peuvent être des commutateurs. La distinction de leur terminologie a pour vocation dans ce texte à distinguer ces éléments en fonction de leur position dans le système.

Exemples

[0140] Le système de conversion de la [Fig.2] selon l'invention a été modélisé avec une première source d'alimentation électrique de tension continue de 80V et une deuxième source d'alimentation électrique de tension continue de 30V.

[0141] La charge électrique est une machine électrique triphasée de puissance de 10 kW et de 400A.

[0142] La première source d'alimentation électrique est une source dite « tampon de puissance ». Elle permet de générer la puissance transitoire et a ainsi un effet dynamique.

[0143] La deuxième source d'alimentation électrique est une source dite d'« énergie ». Elle permet de fournir une puissance moyenne, avec de faibles transitoires. C'est le courant inductif de la deuxième source d'alimentation qui est régulé via les commandes des organes de commutation.

[0144] Les résultats des simulations numériques sont donnés en [Fig.8] et présentent la ré-

partition de puissance entre la première source d'alimentation électrique et la deuxième source d'alimentation électrique selon la stratégie de gestion d'énergie considérée à titre d'exemple. Le graphe montre également les courants triphasés i_a , i_b , i_c de la machine électrique triphasée, obtenus ici pour une vitesse de rotation de la machine électrique de 5000 tours/min avec quatre paires de pôles.

[0145] Sur le graphe supérieur, P_m représente la puissance de la machine électrique triphasée ; $PS1$, la puissance de la première source d'alimentation électrique et $PS2$, la puissance de la deuxième source d'alimentation électrique. Les courbes représentent la variation de la puissance $P1$ en W en fonction du temps T en secondes.

[0146] Sur le graphe inférieur, on peut observer les courants triphasés i_a , i_b et i_c suivant la variation de l'intensité en Ampère en fonction du temps T en secondes.

[0147] On remarque que la première source d'alimentation agit en tant que tampon de puissance avec une dynamique plus rapide, et que la deuxième source d'alimentation électrique agit en tant que source d'énergie avec une dynamique plus lente. L'invention permet donc bien d'obtenir la puissance attendue de la machine électrique, en optimisant le rôle de chacune des sources d'alimentation électrique. Bien entendu, le rôle de chacune des deux sources d'alimentation pourrait être inversée, la première source d'alimentation agissant alors en tant que source d'énergie et la deuxième source d'alimentation agissant en tant que tampon de puissance.

Revendications

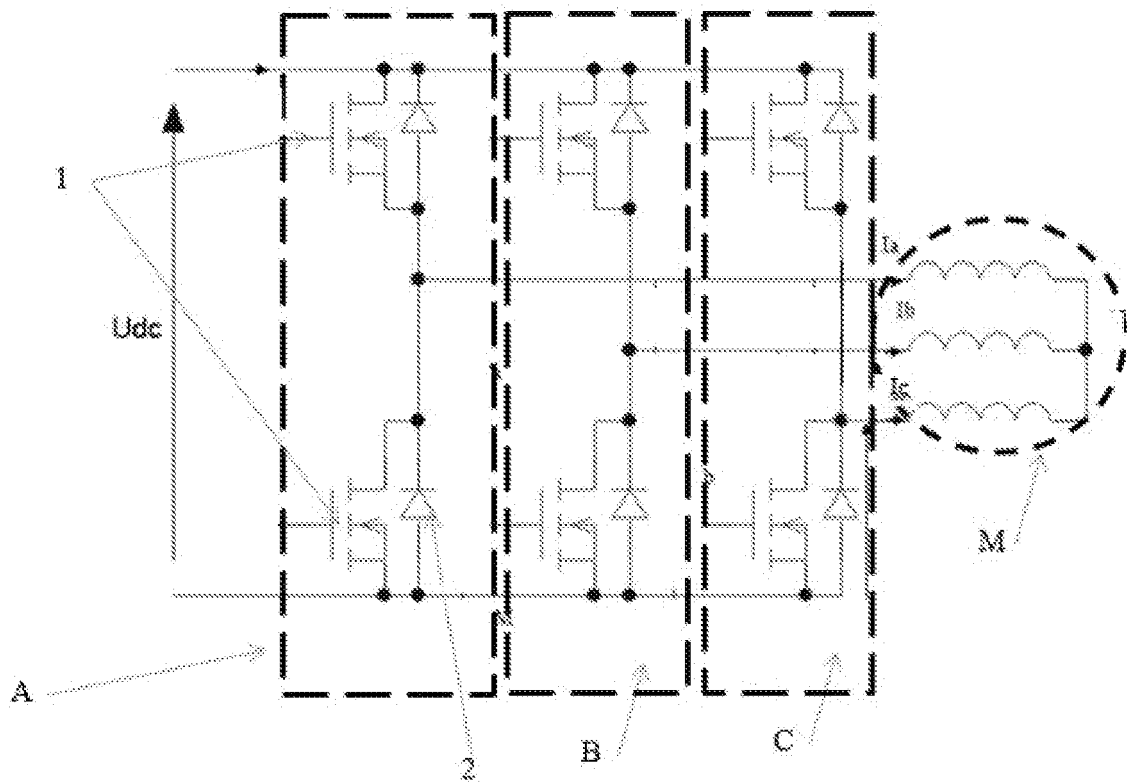
- [Revendication 1] Système de conversion de puissance électrique comprenant N bras de commutation (A, B, C) en parallèle d'un circuit de montage (CM) d'une première source d'alimentation électrique (S1), N étant supérieur ou égal à trois, de préférence N est égal à trois, chacun des N bras de commutation (A, B, C) comprenant au moins deux éléments de commutation ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$) en série et connectés entre eux en un point milieu (Ph_a, Ph_b, Ph_c), les éléments de commutation ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$) étant pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles, chaque point milieu (Ph_a, Ph_b, Ph_c) de chacun des N bras de commutation (A, B, C) formant une phase pour la connexion à une charge électrique multi-phasée (M), le système de conversion de puissance comprenant une capacité (12) montée en parallèle desdits N bras de commutation (A, B, C), caractérisé en ce que le système de conversion de puissance comprend un module de transformation (MT) de la tension entre un point de jonction destiné à être connecté à une borne d'une deuxième source d'alimentation électrique (S2) et chacun des N points milieux (Ph_a, Ph_b, Ph_c), le module de transformation (MT) comprenant un premier inducteur (10) connecté audit point de jonction et à un circuit comprenant N branches de commutation (D, E, F) en parallèle, chaque branche de commutation (D, E, F) comprenant deux organes de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) en série et étant connectée à un point milieu distinct (Ph_a, Ph_b, Ph_c) d'un des N bras de commutation (A, B, C), chacun desdits organes de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) étant pilotable en ouverture et en fermeture et réversible, les deux organes de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) d'une même branche étant montés en tête bêche.
- [Revendication 2] Système de conversion de puissance électrique selon la revendication 1, pour lequel les éléments de commutation ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$) des N bras de commutation (A, B, C) comprennent chacun un transistor et une diode montés en parallèle.
- [Revendication 3] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications précédentes, pour lequel chaque organe de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) comprend un transistor et une diode montés en parallèle.
- [Revendication 4] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications précédentes, pour lequel le circuit de montage (CM) comprend

- la première source d'alimentation électrique (S1) , de préférence de tension continue.
- [Revendication 5] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications précédentes, pour lequel le système de conversion comprend ladite deuxième source d'alimentation électrique (S2), de préférence de tension continue, connectée entre ledit premier inducteur (10) et la masse.
- [Revendication 6] Système de conversion de puissance électrique selon les revendications 4 et 5, pour lequel la première source d'alimentation électrique (S1) et la deuxième source d'alimentation électrique (S2) sont de nature différente et/ou de tension différente.
- [Revendication 7] Système de conversion de puissance électrique selon la revendication 6, pour lequel l'une desdites première et deuxième sources d'alimentation électrique (S1, S2) est un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique tel qu'une batterie, et pour lequel l'autre desdites première et deuxième sources d'alimentation électrique est une pile à combustible.
- [Revendication 8] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendication 4 à 7, pour lequel la première source d'alimentation électrique (S1) est directement connectée en parallèle desdits N bras de commutation (A, B, C).
- [Revendication 9] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications 1 à 7, pour lequel le circuit de montage (CM) comprend un bras de commutation supplémentaire (G) en parallèle desdits N bras de commutation (A, B, C), ledit bras de commutation supplémentaire (G) comprenant au moins deux dispositifs de commutation (K_x^1 , K_x^2) en série et connectés entre eux par un point intermédiaire (Ph_d), les dispositifs de commutation (K_x^1 , K_x^2) étant pilotables en ouverture et en fermeture et réversibles, un deuxième inducteur (11) étant connecté entre le point intermédiaire (Ph_d) et un point de connexion (22) destiné à être connecté à une borne de la première source d'alimentation électrique (S1).
- [Revendication 10] Système de conversion de puissance électrique selon la revendication 9, pour lequel ladite première source d'alimentation électrique (S1) , de préférence de tension continue, est connectée entre le point de connexion (22) et la masse.
- [Revendication 11] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications précédentes, pour lequel le système de conversion comprend un système de commande pour piloter les ouvertures/fermetures des

éléments de commutations ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$) et pour piloter les ouvertures/fermetures des organes de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) en fonction des états des éléments de commutation ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$).

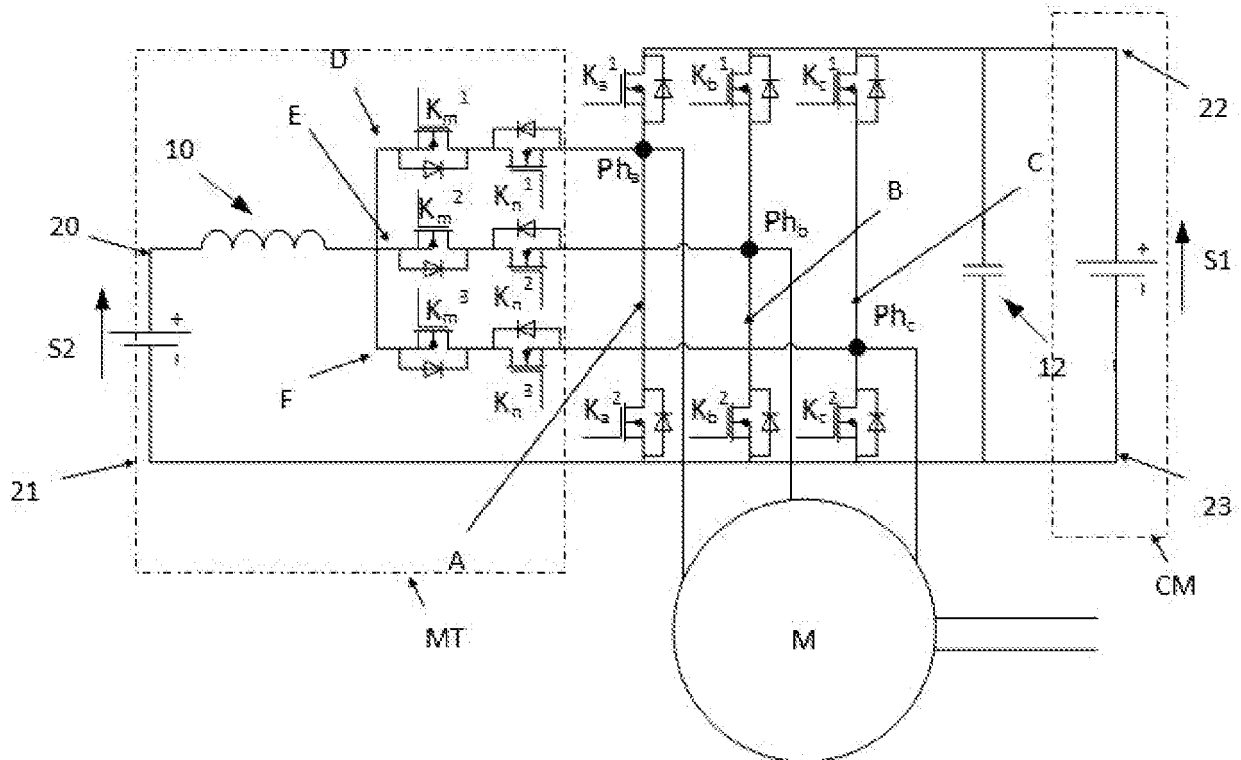
- [Revendication 12] Système de conversion de puissance électrique selon la revendication 11, pour lequel le système de commande est configuré pour commander la fermeture des organes de commutation ($K_m^1, K_m^2, K_m^3, K_n^1, K_n^2, K_n^3$) des branches de commutation (D, E, F) reliés à un point milieu d'un des bras de commutation (A, B, C) lorsque l'élément de commutation (de ce bras de commutation connecté à la masse est fermé ou lorsque les éléments de commutation des N bras de commutation connectés à la masse sont ouverts.
- [Revendication 13] Système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications 11 ou 12, pour lequel le système de commande est configuré pour commander les éléments de commutation ($K_a^1, K_a^2, K_b^1, K_b^2, K_c^1, K_c^2$) de chacun des N bras de commutation de manière opposée, l'ouverture d'un des deux éléments de commutation en série de chaque bras de commutation impliquant la fermeture de l'autre desdits deux éléments de commutation en série de ce bras de commutation.
- [Revendication 14] Système d'entraînement comprenant au moins un moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique tel qu'une batterie, une pile à combustible et une machine électrique multi-phasée, de préférence triphasée, le système d'entraînement comprenant un système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications précédentes pour convertir l'énergie électrique dudit moyen de stockage électrochimique d'énergie électrique et/ou de ladite pile à combustible en énergie électrique alternative multi-phasée pour ladite machine électrique multi-phasée ou inversement.
- [Revendication 15] Véhicule comprenant un système d'entraînement selon la revendication 14 ou un système de conversion de puissance électrique selon l'une des revendications 1 à 13.

[Fig. 1]

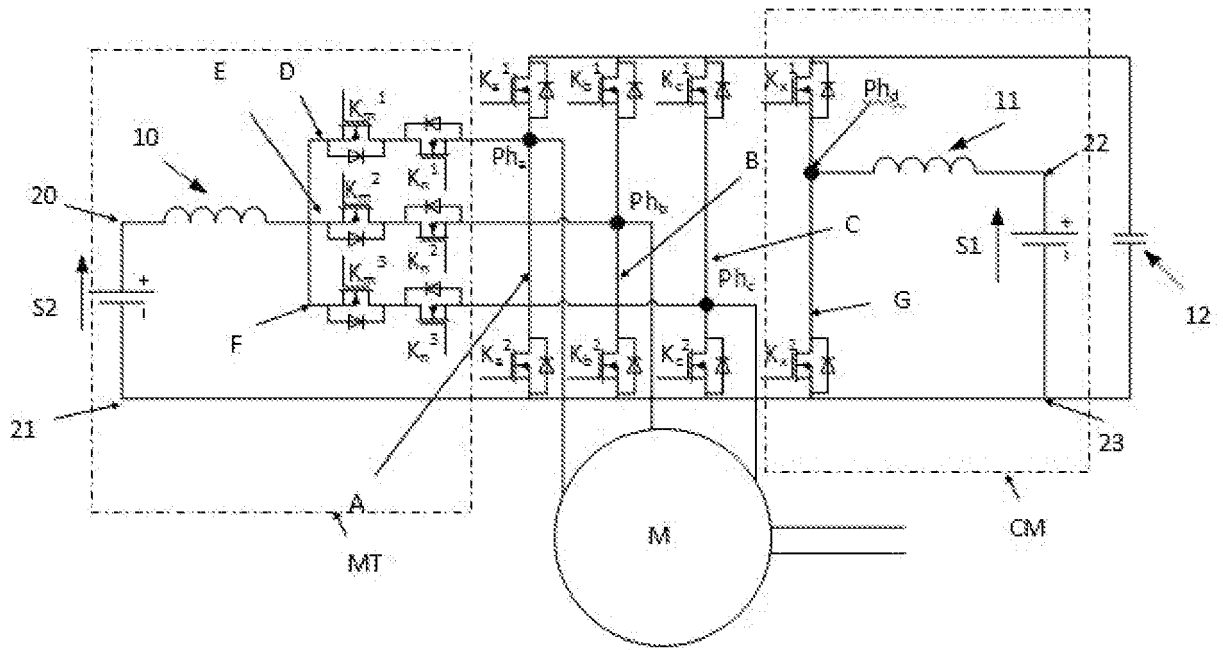


ART ANTERIEUR

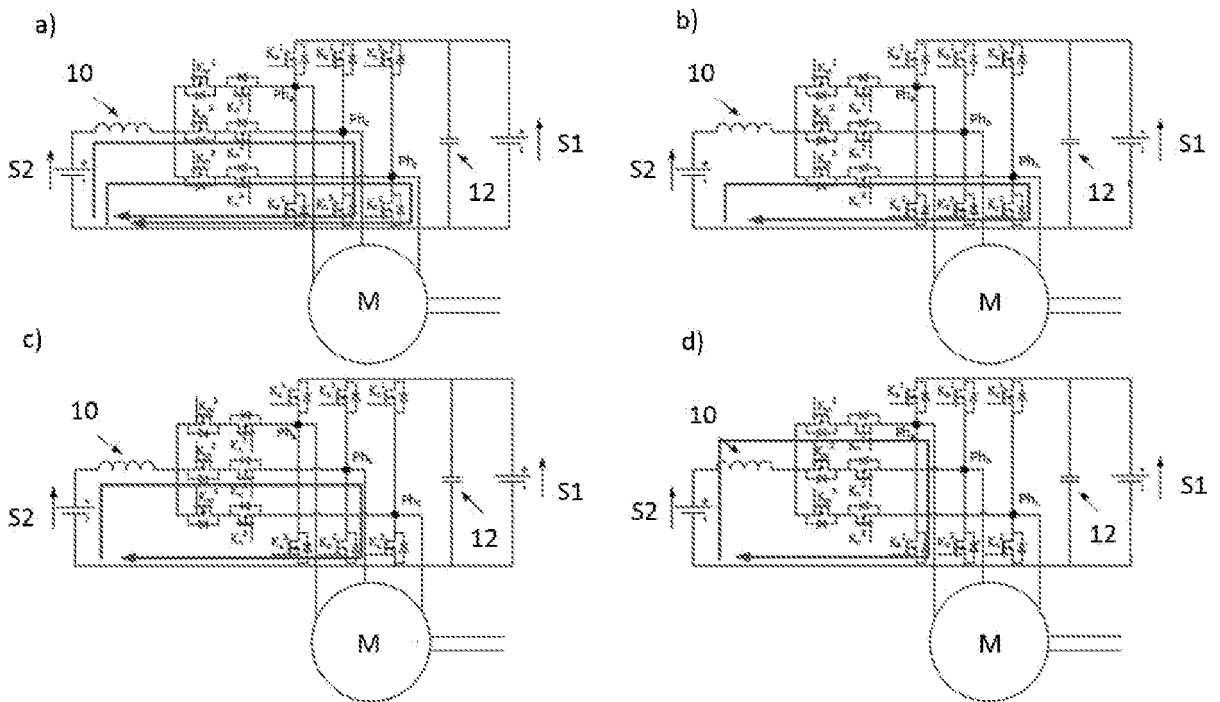
[Fig. 2]



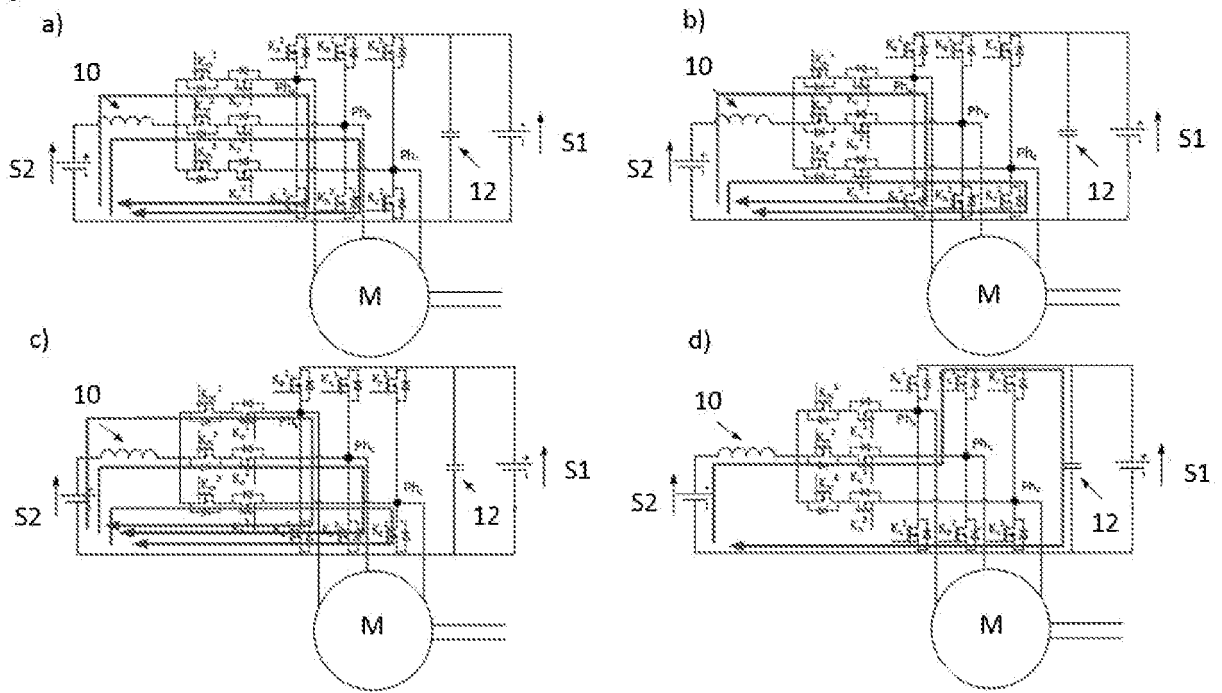
[Fig. 3]



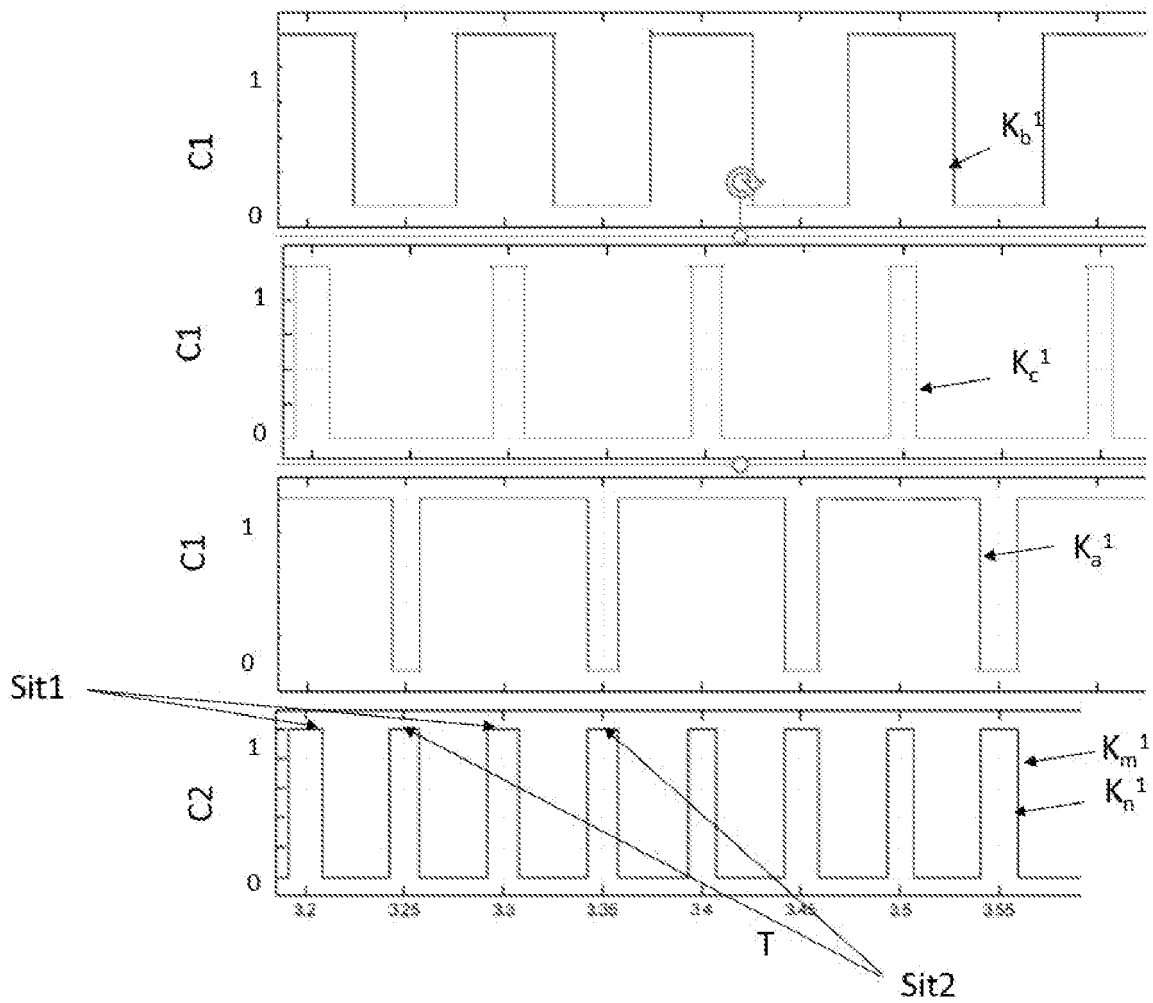
[Fig. 4]



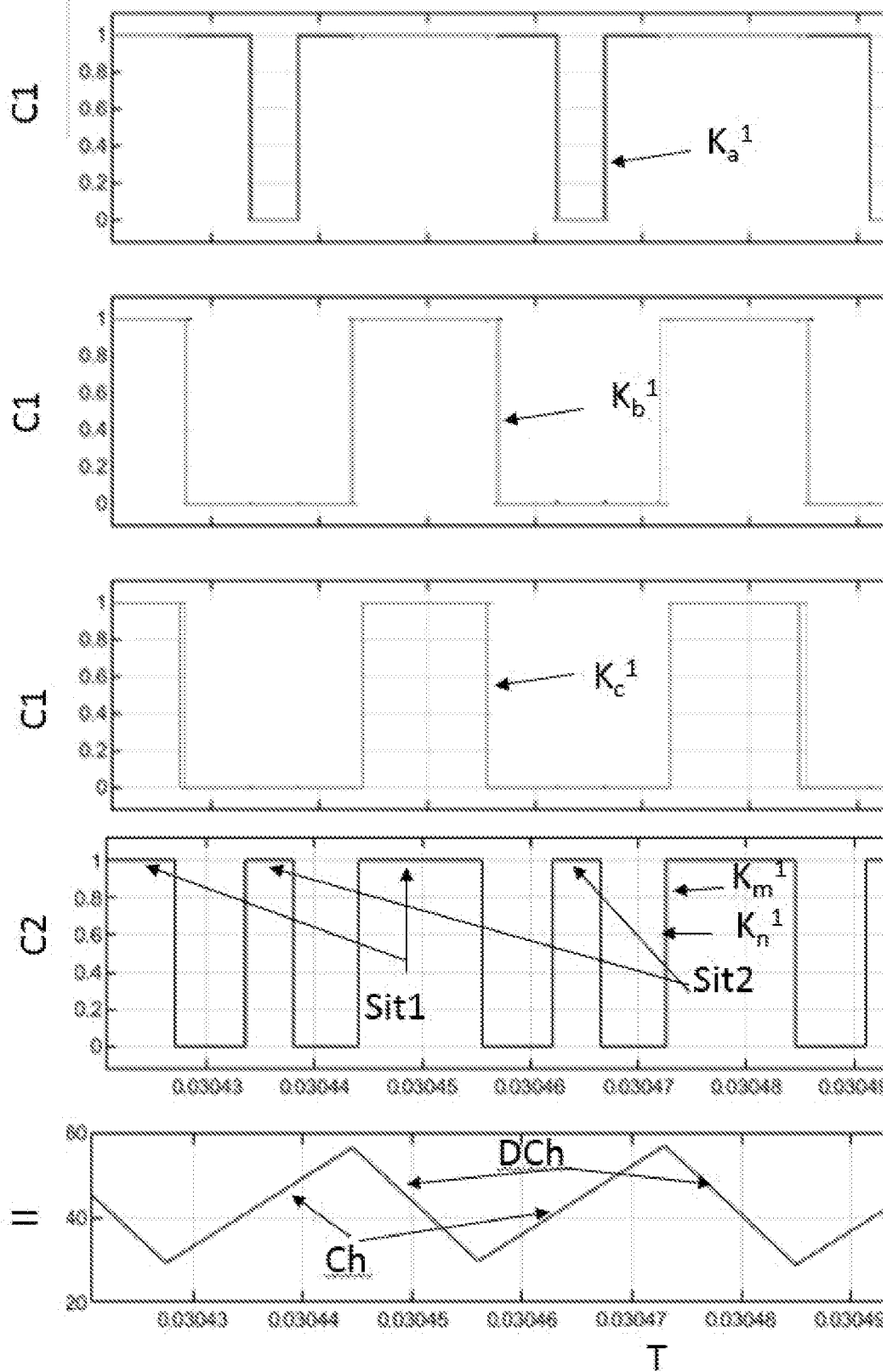
[Fig. 5]



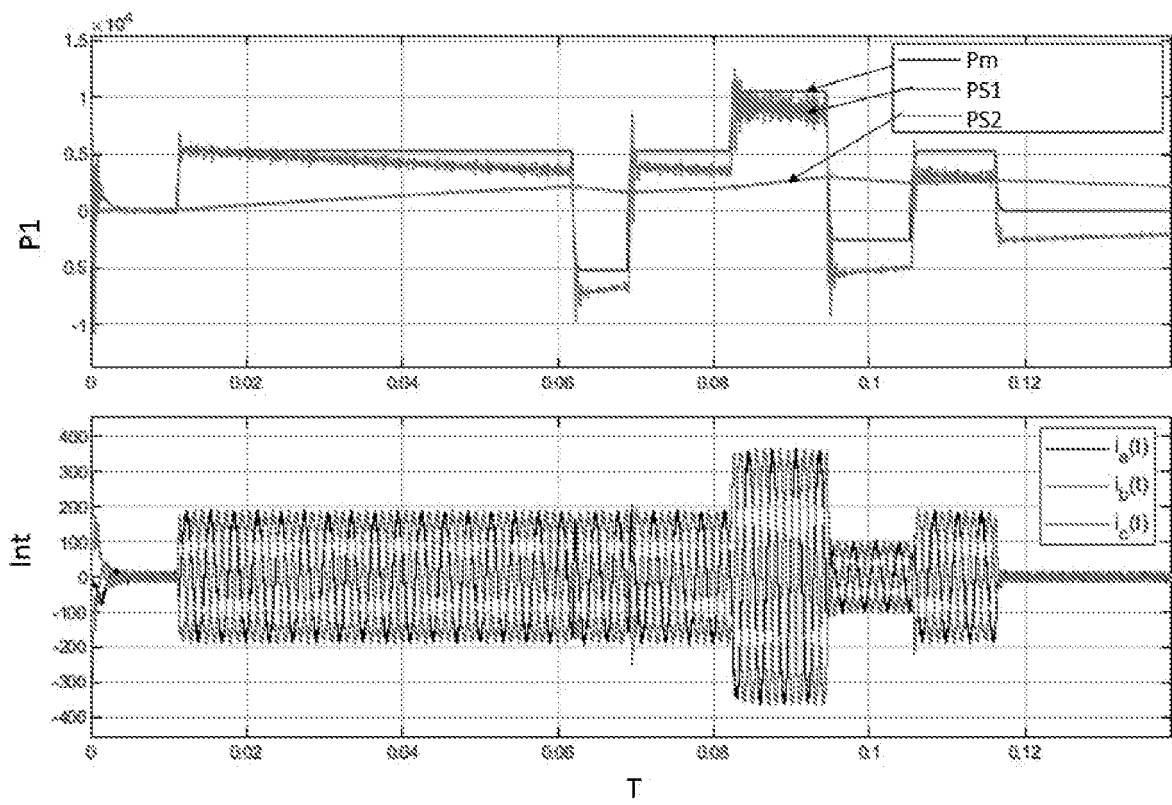
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

**FA 900631
FR 2112503**

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		
X	WO 2021/104621 A1 (ABB SCHWEIZ AG [CH]) 3 juin 2021 (2021-06-03) * figure 3 * * alinéas [0002], [0025] * -----	1-15	H02M7/68 H02J5/00 H02J3/38
X	EP 1 615 325 A2 (NISSAN MOTOR [JP]) 11 janvier 2006 (2006-01-11) * figure 2 * -----	1	
X	FR 2 985 615 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 12 juillet 2013 (2013-07-12) * figure 4 * -----	1	
A	Panguloori Rakesh: "Achieve Bidirectional Control and Protection Through Back-to-Back Connected eFuse Devices", Texas Instruments, 31 décembre 2017 (2017-12-31), pages 1-10, XP055831917, Extrait de l'Internet: URL:https://www.ti.com/lit/an/slva948/slva 948.pdf [extrait le 2021-08-13] * alinéa [0001]; figures 5,7,8 * -----	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02M B60L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 juin 2022		Gotzig, Bernhard	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		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 & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2112503 FA 900631**

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 **28-06-2022**
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
WO 2021104621 A1	03-06-2021	AUCUN	

EP 1615325 A2	11-01-2006	EP 1615325 A2	11-01-2006
		US 2006006832 A1	12-01-2006

FR 2985615 A1	12-07-2013	EP 2801150 A1	12-11-2014
		FR 2985615 A1	12-07-2013
		WO 2013102673 A1	11-07-2013
