(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 096 849**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **19 05646**

(51) Int Cl[8] : ***H 02 M 7/68*** *(2019.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 28.05.19.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 04.12.20 Bulletin 20/49.

(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) :** *ECOLE CENTRALE DE LYON Etablissement public* — FR, *UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 Etablissement public* — FR, *INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON Etablissement public* — FR, *SUPERGRID INSTITUTE Société par Actions Simplifiée* — FR et *CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** STECKLER Pierre-Baptiste, DWORAKOWSKI Piotr, GAUTHIER Jean-Yves, LIN-SHI Xuefang et WALLART François.

(73) **Titulaire(s) :** SUPERGRID INSTITUTE Société par Actions Simplifiée, ECOLE CENTRALE DE LYON Etablissement public, UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 Etablissement public, INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON Etablissement public, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public.

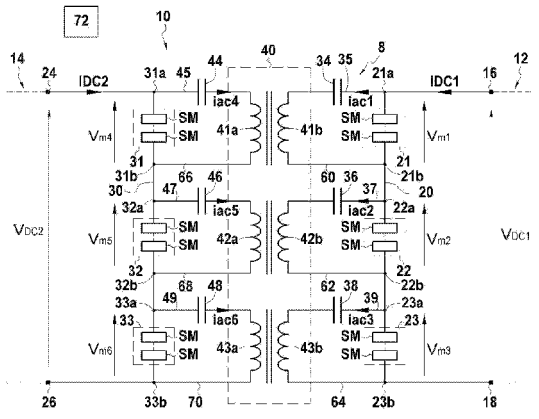
(74) **Mandataire(s) :** CABINET BEAU DE LOMENIE.

(54) Convertisseur de tension DC/DC comprenant un transformateur.

(57) Convertisseur de tension DC/DC comprenant un transformateur

Convertisseur de tension comprenant un bras (20) et un second bras (30) comportant chacun une pluralité de chaines (21,22,23,31,32,33) de sous-modules connectées en série dans le bras, chacune desdites chaines de sous-modules présentant un point supérieur (21a,22a,23a) et un point inférieur (21b,22b,23b) entre laquelle elle s'étend et comprenant une pluralité de sous-modules commandables individuellement par un organe de commande et au moins un dispositif de stockage d'énergie connectable, et un transformateur comportant une pluralité d'enroulements primaires et secondaires, chacune des chaines de sous-modules étant connectée en parallèle avec au moins un condensateur (34,36,38,44,46,48) et un des enroulements du transformateur, au moins un des condensateurs étant connecté électriquement à un des points supérieurs ou inférieurs d'une des chaines de sous-modules par une connexion électrique passive.

Figure pour l'abrégé : Fig. 1.



FR 3 096 849 - A1

Description

Titre de l'invention : Convertisseur de tension DC/DC comprenant un transformateur

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine technique des convertisseurs de tension permettant de convertir une première tension continue en une seconde tension continue. Ces convertisseurs sont également appelés convertisseurs de tension DC/DC. Ce type de convertisseurs est particulièrement adapté pour être implanté dans des installations d'alimentation électrique en courant continu haute tension (HVCD pour « High Voltage Direct Current » en langue anglaise).

[0002] Les convertisseurs de tension DC/DC permettent la connexion d'un premier réseau d'alimentation électrique continu et d'un second réseau d'alimentation électrique continu.

Technique antérieure

[0003] Les convertisseurs de tension les plus couramment utilisés dans les installations d'alimentation électrique HVDC sont les convertisseurs modulaires multi-niveaux (MMC pour « Modular Multilevel Converter » en langue anglaise). Ces convertisseurs MMC offrent un excellent rendement, sont facilement commandables et leurs propriétés ne se dégradent pas lorsqu'ils sont soumis à de très hautes tensions. Un inconvénient de ces convertisseurs est qu'ils comprennent de très nombreux composants.

[0004] On connait des convertisseurs type AC/DC de tension ayant un nombre de composants réduit, tels que le convertisseur décrit dans EP 3 352 354. Ce convertisseur comprend un bras s'étendant entre des premier et second terminaux continus dans lequel sont connectées en série une pluralité de chaines de sous-modules verticaux, chacune des chaines de sous-modules verticaux s'étendant entre un point supérieur et un point inférieur. Ce convertisseur comprend en outre un transformateur comportant une pluralité d'enroulements secondaires, chacune des chaines de sous-modules verticaux étant connectée en parallèle avec un des enroulements secondaires du transformateur et avec une pluralité de sous-modules horizontaux. Lesdits sous-modules horizontaux et ledit enroulement secondaire sont connectés en série les uns par rapports aux autres dans une branche.

[0005] Chacune des branches de ce convertisseur comprend plusieurs dizaines de sous-modules horizontaux. Or, chaque sous-module horizontal comprend une pluralité d'éléments de commande connectés en parallèle avec un dispositif de stockage d'énergie. Les éléments de commande comprennent chacun un transistor de type IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor en langue anglaise) connecté en parallèle avec une

diode antiparallèle.

[0006] Ce convertisseur est toutefois d'un autre type que le convertisseur selon la présente invention et est par conséquent très éloigné de la présente invention. En particulier, ce convertisseur selon la technique antérieur ne permet pas de connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus.

[0007] Par ailleurs, un inconvénient de ce convertisseur est que le nombre de composants reste très important. Aussi, ce convertisseur est très lourd, volumineux et encombrant. En outre, sa fabrication est particulièrement difficile et couteuse.

[0008] De plus, d'importantes ressources doivent être utilisées afin de contrôler l'ensemble des éléments de commande de ce convertisseur. Le contrôle du convertisseur est donc particulièrement coûteux et complexe.

Exposé de l'invention

[0009] Un but de la présente invention est de proposer un convertisseur de tension remédiant aux problèmes précités.

[0010] Pour ce faire, l'invention porte sur un convertisseur de tension permettant de convertir une première tension continue en une seconde tension continue, le convertisseur comprenant :

- des premier et second terminaux continus configurés pour être reliés électriquement à un premier réseau d'alimentation électrique continu ;
- des troisième et quatrième terminaux continus configurés pour être reliés électriquement à un second réseau d'alimentation électrique continu ;
- un premier bras s'étendant entre les premier et second terminaux continus ;
- un second bras s'étendant entre les troisième et quatrième terminaux continus,

les premier et second bras comportant chacun une pluralité de chaines de sous-modules connectées en série respectivement dans le premier bras et dans le second bras, chacune desdites chaines de sous-modules présentant un point supérieur et un point inférieur entre laquelle elle s'étend, chacune des chaines de sous-modules comprenant une pluralité de sous-modules commandables individuellement par un organe de commande propre à chaque sous-module et chaque sous-module comprenant au moins un dispositif de stockage d'énergie connectable en série respectivement dans le premier bras et dans le second bras lorsque l'organe de commande du sous-module est dans un état commandé,

le convertisseur de tension comprenant en outre un transformateur comportant une pluralité d'enroulements primaires et une pluralité d'enroulements secondaires, chacune des chaines de sous-modules étant connectée en parallèle avec au moins un condensateur et un des enroulements primaires ou secondaires du transformateur, ledit condensateur et ledit enroulement primaire ou secondaire étant connectés en série l'un

par rapport à l'autre, au moins un des condensateurs étant connecté électriquement à un des points supérieurs ou inférieurs d'une des chaines de sous-modules par une connexion électrique passive.

[0011] Le convertisseur de tension selon l'invention peut être aisément connecté dans une installation électrique HVDC, entre un premier réseau d'alimentation électrique continu et un second réseau d'alimentation électrique continu. Le convertisseur selon l'invention forme un convertisseur haute tension DC/DC. Le convertisseur DC/DC selon l'invention est en outre réversible. Par haute tension, on entend une tension supérieure à 1000 volts. Le convertisseur comprend avantageusement au moins deux chaines de sous-modules par bras.

[0012] Les chaines de sous-modules du premier bras sont avantageusement connectées en parallèles des enroulements secondaires du transformateur. Les chaines de sous-modules du second bras sont avantageusement connectées en parallèles des enroulements primaires du transformateur.

[0013] De préférence, chacun des enroulements primaires et secondaires du transformateur présente une première borne connectée à un condensateur et une seconde borne connectée à un point inférieur d'une des chaines de sous-modules. Sans sortir du cadre de l'invention, le transformateur peut être formé d'un unique transformateur ayant plusieurs phases ou d'une pluralité de transformateurs monophasés ayant chacun un enroulement primaire et un enroulement secondaire.

[0014] Les sous-modules des chaines de sous-modules sont connectés en série les uns par rapport aux autres.

[0015] Selon une variante non limitative, le convertisseur de tension peut comprendre deux chaines de sous-modules par bras et le transformateur peut comporter deux enroulements primaires et deux enroulements secondaires. Dans cette variante, le transformateur peut être formé de deux transformateurs monophasés.

[0016] De manière non limitative, les organes de commandes des sous-modules peuvent comprendre des éléments de commutation commandables de type interrupteur IGBT et une diode antiparallèle. De manière non limitative, les organes de commandes peuvent être placés dans l'état commandé en réponse à un ordre de commande, provenant par exemple d'un module de commande, ou encore en fonction du signe du courant circulant dans le bras correspondant et traversant la chaine de sous-modules. Le dispositif de stockage d'énergie des sous-modules peut comprendre un condensateur.

[0017] Les sous-modules peuvent être commandés selon une séquence choisie pour faire varier progressivement le nombre d'éléments de stockage d'énergie qui sont connectés en série dans le premier bras et dans le second bras du convertisseur de tension, de façon à fournir plusieurs niveaux de tension dans lesdits bras.

[0018] Par connexion électrique passive on entend une connexion sans composants actifs

(diode, transistor, circuit intégré, interrupteur). Cela signifie notamment qu'elle n'est pas commandable, par exemple pour passer d'un état conducteur à un état non-conducteur (ce qui est le cas quand un interrupteur est placé dans une connexion électrique, qui est alors active). Le condensateur est donc connecté électriquement au point supérieur ou inférieur de la chaine de sous-modules associée de manière permanente. Aucun moyen de commande ne permet d'interrompre la connexion électrique entre le condensateur et ledit point supérieur ou inférieur de la chaine de sous-modules.

[0019] Par exemple, la connexion électrique passive peut consister en des connecteurs électriques et un câble ou un fil électrique, une barre conductrice, une piste métallique imprimée sur un support, une traversée.

[0020] De préférence, le courant traversant le condensateur est sensiblement identique au courant au niveau du point supérieur, respectivement du point inférieur, de la chaine de sous-modules.

[0021] Aussi, la branche dans laquelle le condensateur est connecté électriquement, de manière passive, ne comporte pas de sous-module commandable.

[0022] Le condensateur peut être connecté par une connexion électrique passive au point supérieur ou au point inférieur de la chaine de sous-modules associée. De manière non limitative, un autre condensateur peut être connecté dans la branche, de sorte qu'un premier condensateur est connecté par une connexion électrique passive au point supérieur de la chaine de sous-modules associée tandis qu'un second condensateur est connecté par une connexion électrique passive au point inférieur de ladite chaine de sous-modules.

[0023] Chacune des chaines de sous-modules permet de générer une tension contrôlable insérée dans le bras entre ses points supérieur et inférieur. Ladite tension insérée présente une composante continue et une composante alternative. La composante continue de la tension insérée permet de contrôler un courant continu circulant dans le bras correspondant. La composante alternative de la tension insérée, générée par une chaine de sous-modules, permet de contrôler un courant alternatif traversant le condensateur et l'enroulement primaire ou secondaire du transformateur, connectés en parallèle de ladite chaine de sous-modules. Ces courants alternatifs étant contrôlables en phase et en amplitude, la puissance active et la puissance réactive du convertisseur peuvent également être contrôlées.

[0024] Par ailleurs, la somme des composantes alternatives des tensions insérées dans le premier bras, respectivement dans le second bras, générées par les chaines de sous-module, est nulle, de sorte que la circulation d'un courant alternatif dans le premier bras, respectivement dans le second bras, est empêchée.

[0025] Les inventeurs ont constaté qu'il est possible de s'affranchir de l'utilisation de sous-

modules horizontaux connectés en parallèles des chaines de sous-modules, tels que décrits dans EP 3 352 354.

[0026] L'utilisation, selon l'invention, d'un condensateur connecté électriquement et de manière passive au point supérieur ou inférieur d'une chaine de sous-modules permet de bloquer la circulation d'un courant continu dans l'enroulement correspondant du transformateur tout en autorisant la circulation d'un courant alternatif. Ce courant alternatif est contrôlable grâce aux chaines de sous-modules. Ceci rend possible les échanges de puissance entre les premier et second bras et notamment entre les chaines de sous-modules du premier bras et les chaines de sous-modules du second bras.

[0027] En particulier, les échanges de puissance entre les premier et second bras sont contrôlés en commandant les chaines de sous-modules afin d'ajuster le déphasage des composantes alternatives des tensions insérées par les chaines de sous-modules entre le premier bras et le second bras. De plus la fréquence desdites tensions alternatives peut être contrôlée, ce qui permet de réduire la taille et le poids des composants passifs, tels que les condensateurs.

[0028] Le convertisseur de tension selon l'invention offre donc les degrés de contrôle nécessaires pour compenser une différence de potentiel entre les premier et troisième terminaux continus et donc entre les points de connexion du convertisseur aux premier et second réseaux d'alimentation électrique continus. Le convertisseur de tension selon l'invention permet donc de connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus ayant des tensions nominales différentes. En particulier, l'adaptation de tension entre le premier bras et le second bras est facilitée par le transformateur et n'est pas compromise par l'utilisation d'un condensateur connecté au point supérieur ou inférieur d'une chaine de sous-modules par une connexion électrique passive.

[0029] Un intérêt de l'invention, par rapport aux convertisseurs de l'art antérieur, est donc de réduire le poids et l'encombrement du convertisseur en se dispensant d'un nombre important de sous-modules et donc d'éléments de commutation et d'éléments de stockage en parallèles des chaines de sous-modules. L'isolation et le refroidissement du convertisseur de tension sont améliorés. En outre, la fabrication du convertisseur est facilitée et les coûts de fabrication sont réduits.

[0030] De plus, le convertisseur de tension selon l'invention permet de connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus ayant des topologies différentes. De préférence, le convertisseur de tension est réversible de sorte qu'il permet les échanges de puissance du premier bras vers le second bras et inversement.

[0031] Par ailleurs, le nombre d'éléments commandables du convertisseur selon l'invention étant limité, le contrôle du convertisseur est également facilité.

[0032] De préférence, tous les condensateurs sont reliés électriquement aux points supérieurs ou inférieurs des chaines de sous-modules par des connexions électriques

passives.

[0033] De préférence, ledit au moins un des condensateurs est connecté directement audit point supérieur ou inférieur. Aussi, une ligne électrique dépourvue de composant ou de nœud électrique connecte une électrode du condensateur et le point supérieur ou inférieur de la chaine de sous-modules. A titre indicatif, cela implique qu'il n'y a pas de nœud électrique entre le condensateur et le point supérieur ou inférieur de la chaine de sous-modules, et que le courant qui circule dans la connexion électrique passive n'est pas divisé entre deux branches entre le condensateur et le point supérieur ou inférieur. Le potentiel du point supérieur ou inférieur est donc sensiblement égal au potentiel de ladite électrode du condensateur. Un intérêt est là encore de réduire le nombre de composants et donc le poids et l'encombrement du convertisseur de tension.

[0034] De manière non limitative, ledit condensateur peut former l'unique composant connecté entre ledit enroulement secondaire et le point supérieur ou inférieur de la chaine de sous-modules.

[0035] Avantageusement, le premier bras et le second bras comprennent chacun trois chaines de sous-modules et le transformateur comprend trois enroulements primaires et trois enroulements secondaires, chacune des trois chaines de sous-modules du premier bras étant connectée en parallèle avec un des trois enroulements secondaires du transformateur, chacune des trois chaines de sous-modules du second bras étant connectée en parallèle avec un des trois enroulements primaires du transformateur.

[0036] De préférence le transformateur est triphasé. En variante, et sans sortir du cadre de l'invention, le transformateur triphasé peut être formé de trois transformateurs monophasés ayant chacun un enroulement primaire et un enroulement secondaire.

[0037] Préférentiellement, les sous-modules des chaines de sous-modules des premier et second bras présentent une topologie demi-pont ou une topologie pont complet. Sans sortir du cadre de l'invention, d'autres topologies de sous-modules peuvent être envisagées.

[0038] L'organe de commande d'un sous-module en demi-pont (« Half Bridge » en langue anglaise) comporte un premier élément de commutation électronique connecté en série avec le dispositif de stockage d'énergie et un deuxième élément de commutation électronique couplé entre les bornes d'entrée et de sortie du sous-module.

[0039] L'organe de commande d'un sous-module pont-complet (« Full Bridge » en langue anglaise) comporte quatre éléments de commutation.

[0040] Dans ces deux topologies, l'organe de commande comprend avantageusement une diode antiparallèle connectée en parallèle de chacun des éléments de commutation.

[0041] De manière avantageuse, les sous-modules des chaines de sous-modules du premier bras présentent une topologie en demi-pont et les sous-modules des chaines de sous-modules du second bras présentent une topologie en pont complet.

[0042] Un intérêt est de permettre de connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus hétérogènes. En particulier, un réseau d'alimentation électrique continu comprenant un convertisseur de tension de type convertisseur source de tension (VSC pour « Voltage Source Converter » en langue anglaise) peut être connecté aux premier et second terminaux continu et un réseau d'alimentation électrique continu comprenant un convertisseur de tension de type convertisseur commuté par ligne (LCC pour « Line Commutated Converter » en langue anglaise) peut être connecté aux troisième et quatrième terminaux continus.

[0043] Sans sortir du cadre de l'invention, chacun des bras peut comprend une combinaison de sous-modules en pont complet et de sous-modules en demi-pont.

[0044] Selon un aspect particulièrement avantageux de l'invention, le convertisseur de tension comprend au moins un module de filtrage connecté en série avec le premier bras ou le second bras et configuré pour empêcher la circulation d'un courant alternatif dans ledit bras. Un module de filtrage est donc connecté en série avec le premier bras et/ou avec le second bras et est configuré pour empêcher la circulation d'un courant alternatif dans ledit bras. Un module de filtrage peut donc être connecté dans le premier bras, dans le second bras ou dans les deux bras.

[0045] Les chaines de sous-modules des premier et second bras du convertisseur de tension s'opposent efficacement à la circulation d'un courant alternatif dans lesdits bras. Cependant, en cas de perturbation ou de déséquilibre sur un des réseaux d'alimentation électrique continus connectés au convertisseur selon l'invention, il arrive que la tension résultant de la somme des tensions insérées dans l'un des bras, générées par les chaines de sous-modules dudit bras, présente une composante alternative résiduelle de sorte qu'un courant alternatif subsiste dans le bras correspondant.

[0046] Un intérêt du module de filtrage est de filtrer et donc de supprimer cette composante alternative de la tension totale dans le bras correspondant, de manière à garantir la circulation dans ce bras d'un unique courant continu.

[0047] Le module de filtrage est avantageusement connecté en série avec les chaines de sous-modules du bras correspondant, entre les premier et second terminaux continus ou entre les troisième et quatrième terminaux continus du convertisseur.

[0048] De préférence, le module de filtrage comprend au moins un composant passif et/ou un composant actif.

[0049] On entend par composant passif un composant ne produisant pas d'énergie, de tension ou de courant. Un tel composant passif permet de stocker ou conserver une énergie. De manière non limitative, il peut s'agir d'une résistance ou d'un condensateur.

[0050] Le module de filtrage peut ne comprendre que des composants passifs de sorte qu'il forme un module de filtrage passif. Les composants passifs sont alors avantageusement

dimensionnés de sorte que le module de filtrage présente une grande impédance à sa fréquence de résonance, afin de filtrer efficacement la composante alternative du courant dans le bras dans lequel il est connecté.

[0051] On entend par composant actif un composant commandable apte à générer une tension ou un courant contrôlé. De manière non limitative, il peut s'agir d'un interrupteur, d'un semi-conducteur, tel un transistor ou encore d'un sous-module comprenant au moins un semi-conducteur.

[0052] Le module de filtrage peut comprendre au moins un composant actif, de sorte qu'il forme un module de filtrage actif.

[0053] De préférence, le module de filtrage comprend une inductance et une capacité connectées en parallèle l'une de l'autre. Encore de préférence, le module de filtrage consiste en une inductance et une capacité connectées en parallèle l'une de l'autre, en série du bras correspondant.

[0054] Le module de filtrage forme alors un filtre empêchant la circulation du courant alternatif dans ledit bras.

[0055] Préférentiellement, le module de filtrage comprend une chaine de sous-modules supplémentaire comprenant une pluralité de sous-modules commandables individuellement par un organe de commande propre à chaque sous-module et chaque sous-module de ladite chaine de sous-modules supplémentaire comprenant au moins un dispositif de stockage d'énergie connectable en série avec le premier bras et/ou le second bras lorsque l'organe de commande du sous-module est dans un état commandé.

[0056] La chaîne de sous-modules supplémentaire permet de générer une tension alternative à ses bornes ayant une amplitude égale à celle de la composante alternative de la tension totale aux bornes de l'ensemble des chaines de sous-modules du bras dans lequel le module de filtrage est connecté, et ayant une phase opposée.

[0057] De manière avantageuse, chacune des chaines de sous-modules du premier bras et du second bras est en outre connectée en parallèle avec une inductance, ladite inductance étant connectée en série avec ledit condensateur et ledit enroulement primaire ou secondaire du transformateur.

[0058] L'inductance est de préférence disposée entre ledit enroulement primaire ou secondaire et ledit condensateur.

[0059] Avantageusement, le convertisseur de tension comprend un module de démarrage configuré pour charger les dispositifs de stockage d'énergie des sous-modules d'au moins un des bras du convertisseur lorsqu'il est placé dans un premier état. Lors de la charge des dispositifs de stockage d'énergie, la tension aux bornes des chaines de sous-modules augmente progressivement jusqu'à atteindre une valeur nominale.

[0060] Le module de démarrage est avantageusement connecté en série avec un des bras du

convertisseur.

[0061] Le module de démarrage est de préférence connecté entre un des terminaux continus du convertisseur de tension et un point inférieur d'une des chaines de sous-modules.

[0062] De préférence, le module de démarrage comprend au moins un premier interrupteur connecté à un des terminaux continus du convertisseur et une résistance de limitation connectée en parallèle dudit interrupteur, ledit interrupteur étant ouvert lorsque le module de démarrage est placé dans le premier état.

[0063] Dans le premier état, un courant non-contrôlé apparait dans le bras en série duquel est connecté le module de démarrage. Ce courant non-contrôlé est limité par la résistance de limitation et charge progressivement les organes de stockage des sous-modules dudit bras, jusqu'à une valeur de pré-charge prédéfinie.

[0064] Cette valeur de pré-charge prédéfinie est notamment choisie de manière à permettre l'alimentation d'un module de contrôle.

[0065] De préférence, le module de démarrage peut être placé dans un second état, dans lequel ledit au moins un interrupteur est fermé, de manière à court-circuiter ladite résistance de limitation.

[0066] Le module de limitation est d'abord maintenu dans le premier état jusqu'à ce que les organes de stockage des sous-modules atteignent la valeur de pré-charge prédéfinie. Les chaines de sous-modules sont alors commandables et peuvent être commandées pour augmenter progressivement l'énergie stockée dans leurs organes de stockage. Lorsque la tension aux bornes de chaque chaine de sous-modules atteint une valeur finale sensiblement égale à la tension du réseau d'alimentation électrique continu associé, le module de démarrage est placé dans le second état.

[0067] L'ensemble des organes de stockage d'énergie des sous-modules du bras en série duquel est connecté le module de démarrage sont chargés à une valeur de charge finale. Le contrôle du courant continu circulant dans ledit bras et des courants alternatifs circulant dans les branches du convertisseur est alors rétabli et le convertisseur de tension fonctionne alors normalement.

[0068] De manière non limitative, le convertisseur peut comprendre un premier module de démarrage et un second module de démarrage connectés respectivement en série avec le premier bras et avec le second bras.

[0069] Préférentiellement, le convertisseur de tension comprend un module de contrôle configuré pour commander les organes de commande des sous-modules des chaines de sous-modules du premier bras et du second bras, de manière à réguler les tensions aux bornes desdites chaines de sous-modules.

[0070] Le module de contrôle est configuré pour réguler l'énergie stockée dans les condensateurs des sous-modules des chaines de sous-modules du premier bras et du second bras et, de préférence, de la chaine de sous-modules supplémentaire, en

commandant les organes de commande des sous-modules.

[0071] Le module de contrôle permet notamment de réguler les composantes continues et alternatives des tensions insérées dans les premier et second bras, générées par les chaines de sous-modules.

[0072] En conséquence, le module de contrôle permet de réguler le courant continu circulant dans les premier et second bras et donc le courant alternatif circulant dans les condensateurs et les enroulements primaires et secondaires connectés en parallèles des chaines de sous-modules.

[0073] L'invention porte également sur une installation de transport de courant continu haute tension comprenant un premier réseau d'alimentation électrique continu, un second réseau d'alimentation électrique continu et un convertisseur de tension tel que décrit précédemment, ledit convertisseur de tension étant configuré pour connecter électriquement lesdits réseaux d'alimentation électrique continus entre eux.

Brève description des dessins

[0074] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

[0075] [fig.1]La figure 1 illustre une installation HVDC comprenant un premier mode de réalisation d'un convertisseur de tension selon l'invention ;

[0076] [fig.2]La figure 2 illustre un sous-module en demi-pont du convertisseur de tension de la figure 1;

[0077] [fig.3]La figure 3 illustre un sous-module en pont complet du convertisseur de tension de la figure 1 ;

[0078] [fig.4]La figure 4 illustre une installation HVDC comprenant un second mode de réalisation d'un convertisseur de tension selon l'invention ;

[0079] [fig.5]La figure 5 illustre une installation HVDC comprenant un troisième mode de réalisation d'un convertisseur de tension selon l'invention ;

[0080] [fig.6]La figure 6 illustre une première variante d'un module de filtrage du convertisseur de tension de la figure 4 ;

[0081] [fig.7]La figure 7 illustre une seconde variante d'un module de filtrage du convertisseur de tension de la figure 4 ; et

[0082] [fig.8]La figure 8 illustre une installation HVDC comprenant un quatrième mode de réalisation d'un convertisseur de tension selon l'invention.

Description des modes de réalisation

[0083] L'invention porte sur un convertisseur de tension permettant de convertir une première tension continue en une seconde tension continue.

[0084] La figure **1** illustre une installation HVDC **8** comprenant un premier mode de réa-

lisation d'un convertisseur de tension **10** selon l'invention, connectant entre eux un premier réseau d'alimentation électrique continu **12** et un second réseau d'alimentation électrique continu **14** de l'installation. Le convertisseur de tension **10** selon l'invention forme donc un convertisseur DC/DC.

[0085] Comme on le constate sur la figure **1**, le convertisseur de tension **10** comprend un premier terminal continu **16** et un deuxième terminal continu **18** configurés pour être reliés électriquement au premier réseau d'alimentation électrique continu **12**. La tension $\mathbf{V}_{\mathbf{DC\,1}}$ du premier réseau d'alimentation électrique continu **12** est illustrée entre le premier terminal continu **16** et le deuxième terminal continu **18**.

[0086] Le convertisseur de tension comprend un premier bras **20** s'étendant entre le premier terminal continu **16** et le deuxième terminal continu **18**. Le premier bras **20** comprend des première **21**, deuxième **22** et troisième **23** chaines de sous-modules **SM**. Les première, deuxième et troisième chaines **21**,**22**,**23** de sous-modules sont connectées en série dans le premier bras **20**.

[0087] La première chaine **21** de sous-modules s'étend entre un premier point supérieur **21a** et un premier point inférieur **21b**. La deuxième chaine **22** de sous-modules s'étend entre un deuxième point supérieur **22a** et un deuxième point inférieur **22b**. La troisième chaine **23** de sous-modules s'étend entre un troisième point supérieur **23a** et un troisième point inférieur **23b**.

[0088] Par ailleurs, le convertisseur de tension **10** comprend un troisième terminal continu **24** et un quatrième terminal continu **26** configurés pour être reliés électriquement au second réseau d'alimentation électrique continu **14**. La tension $\mathbf{V}_{\mathbf{DC\,2}}$ du second réseau d'alimentation électrique continu **14** est illustrée entre le troisième terminal continu **24** et le quatrième terminal continu **26**.

[0089] Le convertisseur de tension comprend un second bras **30** s'étendant entre le premier terminal continu **24** et le deuxième terminal continu **26**. Le second bras **30** comprend des quatrième **31**, cinquième **32** et sixième **33** chaines de sous-modules **SM**. Les quatrième, cinquième et sixième chaines **31**,**32**,**33** de sous-modules sont connectées en série dans le second bras **30**.

[0090] La quatrième chaine **31** de sous-modules s'étend entre un quatrième point supérieur **3 1a** et un quatrième point inférieur **31b**. La cinquième chaine **32** de sous-modules s'étend entre un cinquième point supérieur **32a** et un cinquième point inférieur **32b**. La sixième chaine **33** de sous-modules s'étend entre un sixième point supérieur **33a** et un sixième point inférieur **33b**.

[0091] Chacune des chaines de sous-modules des premier et second bras **20**,**30** comprend une pluralité de sous-modules **SM** qui peuvent être commandés suivant une séquence souhaitée. Chaque chaine de sous-modules peut comprendre de deux à plusieurs dizaines de sous-modules **SM**.

[0092] Comme illustré en figure **2** et **3**, chaque sous-module **SM** comporte un dispositif de stockage d'énergie comprenant dans cet exemple un condensateur $\mathbf{C}_{SM}$, et un organe de commande pour connecter sélectivement ce condensateur en série entre les bornes du sous-module **SM** ou pour le contourner.

[0093] La figure **2** illustre un sous-module ayant une topologie en demi-pont (« Half-bridge » en langue anglaise). Dans ce sous-module en demi-pont, l'organe de commande comporte un premier élément de commutation électronique **T1** tel qu'un transistor bipolaire à grille isolée (« IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor » en langue anglaise) connecté en série avec le condensateur $\mathbf{C}_{SM}$. Ce premier élément de commutation **T1** et ce condensateur $\mathbf{C}_{SM}$ sont montés en parallèle d'un deuxième élément de commutation électronique **T2**, également un transistor bipolaire à grille isolée (IGBT). Ce deuxième élément de commutation électronique **T2** est couplé entre les bornes d'entrée et de sortie du sous-module **SM**. Les premier et deuxième éléments de commutation **T1** et **T2** sont tous deux associés à une diode antiparallèle **D** représentée sur la figure **2**.

[0094] En fonctionnement, le sous-module peut être placé dans deux états distincts.

[0095] Dans un premier état dit état « on » ou commandé, le premier élément de commutation **T1** et le deuxième élément de commutation **T2** sont configurés de manière à connecter le condensateur $\mathbf{C}_{SM}$ en série avec les autres sous-modules de la chaine de sous-modules. Dans un deuxième état dit état « off » ou non-commandé, le premier élément de commutation **T1** et le deuxième élément de commutation **T2** sont configurés de sorte à contourner le condensateur $\mathbf{C}_{SM}$.

[0096] Les sous-modules sont commandés selon une séquence choisie pour faire varier progressivement le nombre d'éléments de stockage d'énergie, et donc le nombre de condensateurs, qui sont connectés en série dans la chaine de sous-modules correspondante et donc dans le premier bras **20** et dans le second bras **30** du convertisseur de tension **10**, de façon à fournir plusieurs niveaux de tension dans ces bras.

[0097] La figure **3** illustre une variante du sous-module de la figure **2**, dans laquelle le sous-module présente une topologie en pont complet (« Full-bridge » en langue anglaise). Dans cette topologie, le sous-module comprend quatre éléments de commutation **T'1**,**T'2**,**T'3**,**T'4**, chacun étant associé en parallèle avec une diode antiparallèle **D**.

[0098] De manière non limitative, les sous-modules des chaines de sous-modules du premier bras peuvent présenter une topologie en demi-pont et les sous-modules des chaines de sous-modules du second bras peuvent présenter une topologie en pont complet. Ceci permet connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus hétérogènes. En particulier, le premier réseau d'alimentation électrique continu **12** peut comprendre un convertisseur de tension de type convertisseur source de tension (VSC pour « Voltage Source Converter » en langue anglaise). Le second réseau

d'alimentation électrique continu **14** peut comprendre un convertisseur de tension de type convertisseur commuté par ligne (LCC pour « Line Commutated Converter » en langue anglaise).

[0099] Dans cet exemple non limitatif, le convertisseur de tension **10** comprend en outre un transformateur **40** comprenant des premier **41a**, deuxième **42a** et troisième **43a** enroulements primaires associés respectivement à des premier **41b**, deuxième **42b** et troisième **43b** enroulements secondaires.

[0100] Le convertisseur de tension **10** comprend de plus un premier condensateur **34**, un deuxième condensateur **36**, un troisième condensateur **38**, un quatrième condensateur **44,** un cinquième condensateur **46** et un sixième condensateur **48**.

[0101] Le premier condensateur **34** et le premier enroulement secondaire **41b** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une première branche **60** s'étendant entre le premier point supérieur **21a** et le premier point inférieur **21b** de la première chaine de sous-modules **21**. Le premier condensateur **34** et le premier enroulement secondaire **41b** sont donc connectés en parallèle de la première chaine **21** de sous-modules.

[0102] Selon l'invention, le premier condensateur **34** est relié électriquement au premier point supérieur **21a** de la première chaine **21** de sous-modules par une première liaison électrique **35** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables et de composants actifs.

[0103] Un intérêt est de s'affranchir de l'utilisation de sous-modules dans ladite première branche **60**, afin de réduire le nombre de composants du convertisseur de tension **10** et ainsi réduire son poids, son encombrement et son coût de fabrication.

[0104] Le premier condensateur **34** est en outre relié directement au premier point supérieur, de sorte qu'aucun composant ni aucun nœud n'est disposé entre le premier condensateur **34** et le premier point supérieur **21a**.

[0105] Le deuxième condensateur **36** et le deuxième enroulement secondaire **42b** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une deuxième branche **62** s'étendant entre le deuxième point supérieur **22a** et le deuxième point inférieur **22b** de la deuxième chaine de sous-modules **22**. Le deuxième condensateur **36** et le deuxième enroulement secondaire **42b** sont donc connectés en parallèle de la deuxième chaine de sous-modules **22**.

[0106] Selon l'invention, le deuxième condensateur **36** est relié électriquement au deuxième point supérieur **22a** par une deuxième liaison électrique **37** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables. Le deuxième condensateur **36** est relié directement au deuxième point supérieur **22a** de la deuxième chaine de sous-modules.

[0107] Le troisième condensateur **38** et le troisième enroulement secondaire **43b** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une troisième branche **64** s'étendant

entre le troisième point supérieur **23a** et le troisième point inférieur **23b** de la troisième chaine de sous-modules. Le troisième condensateur **38** et le troisième enroulement secondaire **43b** sont donc connectés en parallèle de la troisième chaine de sous-modules **23**.

[0108] Selon l'invention, le troisième condensateur **38** est relié électriquement au troisième point supérieur **23a** par une troisième liaison électrique **39** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables. Le troisième condensateur est relié directement au troisième point supérieur.

[0109] Le quatrième condensateur **44** et le premier enroulement primaire **41a** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une quatrième branche **66** s'étendant entre le quatrième point supérieur **31a** et le quatrième point inférieur **31b** de la quatrième chaine de sous-modules **31**. Le quatrième condensateur **44** et le premier enroulement primaire **41a** sont donc connectés en parallèle de la quatrième chaine de sous-modules **31**.

[0110] Selon l'invention, le quatrième condensateur **44** est relié électriquement au quatrième point supérieur **31a** par une quatrième liaison électrique **45** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables. Le quatrième condensateur est relié directement au quatrième point supérieur.

[0111] Le cinquième condensateur **46** et le deuxième enroulement primaire **42a** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une cinquième branche **68** s'étendant entre le cinquième point supérieur **32a** et le cinquième point inférieur **32b** de la cinquième chaine de sous-modules **32**. Le cinquième condensateur **46** et le deuxième enroulement primaire **42a** sont donc connectés en parallèle de la cinquième chaine de sous-modules **32**.

[0112] Selon l'invention, le cinquième condensateur **46** est relié électriquement au cinquième point supérieur **32a** par une cinquième liaison électrique **47** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables. Le cinquième condensateur est relié directement au cinquième point supérieur.

[0113] Le sixième condensateur **48** et le troisième enroulement secondaire **43a** sont connectés en série l'un par rapport à l'autre dans une sixième branche **70** s'étendant entre le sixième point supérieur **33a** et le sixième point inférieur **33b** de la sixième chaine de sous-modules. Le sixième condensateur **48** et le troisième enroulement primaire **43a** sont donc connectés en parallèle de la sixième chaine de sous-modules **33** .

[0114] Selon l'invention, le sixième condensateur **48** est relié électriquement au sixième point supérieur **33a** par une sixième liaison électrique **49** formant une connexion électrique passive, dépourvue de moyens commandables. Le sixième condensateur est relié directement au sixième point supérieur.

[0115] En variante, et sans sortir du cadre de l'invention, lesdits condensateurs pourraient être reliés électriquement aux points inférieurs des chaines de sous-modules associées par des connexions électriques passives.

[0116] Selon une autre variante, de manière non limitative, chacune des branches pourrait comprendre deux condensateurs, à savoir un premier condensateur connecté au point supérieur de la chaine de sous-modules associée par une connexion électrique passive et un second condensateur connecté au point inférieur de la chaine de sous-modules associée par une connexion électrique passive.

[0117] De manière non limitative, chacun des enroulements primaires **41a**,**42a**,**43a** et secondaires **41b**,**42b**,**43b** présente une borne supérieure reliée directement au condensateur correspondant et une borne inférieure reliée au point inférieur de la chaine de sous-modules associée en parallèle.

[0118] Le convertisseur comprend par ailleurs un module de contrôle **72** configuré pour commander les organes de commande des sous-modules **SM** des chaines de sous-modules **21**,**22**,**23**,**31**,**32**,**33** du premier bras et du second bras, de manière à réguler les tensions aux bornes desdites chaines de sous-modules.

[0119] Le fonctionnement du convertisseur de tension **10** de la figure **1**, selon l'invention va maintenant être détaillé.

[0120] Chacune des première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième chaines **21**,**22**,**23**,**31**,**32**,**33** de sous-modules **SM** se comporte comme une source de tension et permet de générer respectivement dans le premier bras **20** et dans le second bras **30** une tension insérée. Aussi, les première, deuxième et troisième chaines de sous-modules sont configurées pour générer respectivement une première tension insérée v_{m1}, une deuxième tension insérée v_{m2} et une troisième tension insérée v_{m3} dans le premier bras **20**, chacune dépendant du nombre de sous-modules commandés.

[0121] De même, les quatrième, cinquième et sixième chaines de sous-modules sont configurées pour générer respectivement une quatrième tension insérée v_{m4}, une cinquième tension insérée v_{m5} et une sixième tension insérée v_{m6} dans le second bras **30**, chacune dépendant du nombre de sous-modules commandés.

[0122] Lesdites tensions v_{m1}, v_{m2}, v_{m3}, v_{m4}, v_{m5}, v_{m6} insérées respectivement dans le premier bras **20** et dans le second bras **30** sont contrôlables grâce au module de contrôle **72** qui permet de commander les sous-modules des chaines de sous-modules. Lesdites tensions insérées présentent une composante continue et une composante alternative contrôlables indépendamment l'une de l'autre.

[0123] Les composantes continues des première, deuxième et troisième tensions insérées v_{m1}, v_{m2}, v_{m3} ont pour conséquence de générer un premier courant continu i_{DC1} circulant dans le premier bras **20** et traversant les chaines de sous-modules de ce premier bras. Les composantes continues des quatrième, cinquième et sixième tensions

insérées v_{m4} , v_{m5} , v_{m6} ont pour conséquence de générer un second courant continu $i_{DC\,2}$ circulant dans le second bras **30** et traversant les chaines de sous-modules de ce second bras.

[0124] La composante alternative de chacune des tensions insérées dans le premier bras et dans le second bras, générées par chacune des chaines de sous-modules, permet de générer un courant alternatif circulant dans la branche associée.

[0125] Aussi, un premier courant alternatif $i_{AC\,1}$ circule dans la première branche **60** et traverse le premier condensateur **34** et le premier enroulement secondaire **41b**. De même, un deuxième courant alternatif $i_{AC\,2}$ circule dans la deuxième branche **62** et traverse le deuxième condensateur **36** et le deuxième enroulement secondaire **42b**. En outre, un troisième courant alternatif $i_{AC\,3}$ circule dans la troisième branche **64** et traverse le troisième condensateur **38** et le troisième enroulement secondaire **43b**.

[0126] Il en résulte un quatrième courant alternatif $i_{AC\,4}$ circulant dans la quatrième branche **66** et traversant le quatrième condensateur **44** et le premier enroulement primaire **41a**. Le quatrième courant alternatif $i_{AC\,4}$ est proportionnel au premier courant alternatif $i_{AC\,1}$ d'un facteur égal au rapport de transformation du transformateur entre les premiers enroulements primaires et secondaires. De plus, un cinquième courant alternatif $i_{AC\,5}$ circule dans la cinquième branche **68** et traverse le cinquième condensateur **46** et le deuxième enroulement primaire **42a**. Enfin, un sixième courant alternatif $i_{AC\,6}$ circule dans la sixième branche **70** et traverse le sixième condensateur **48** et le troisième enroulement primaire **43a**.

[0127] Le flux de puissance entre le premier et le deuxième bras est ajusté en contrôlant l'amplitude des tensions insérées. Le flux de puissance est plus particulièrement ajusté en contrôlant le déphasage respectivement entre les composantes alternatives des première et quatrième tensions insérées v_{m1} , v_{m4} , des deuxième et cinquième tensions insérées v_{m2} , v_{m5} et des troisième et sixième tensions insérées v_{m3} , v_{m6} . Ceci permet en effet de contrôler les premier, deuxième troisième et courants alternatifs i_{AC1} , i_{AC2} et i_{AC3} et par voie de conséquence les quatrième, cinquième et sixième courants alternatifs $i_{AC\,4}$, $i_{AC\,5}$ et $i_{AC\,6}$.

[0128] Le premier condensateur **34** étant connecté directement et par une connexion passive au premier point supérieur **21a**, le potentiel de l'électrode du condensateur connectée à la première liaison **35** est sensiblement égal au potentiel du premier point supérieur **21a**. Il en est de même pour les deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième condensateurs **36**,**38**,**44**,**46**,**48**.

[0129] Par ailleurs, les premier, deuxième et troisième condensateurs **34**,**36**,**38** permettent de bloquer le passage d'un courant électrique continu respectivement dans les première, deuxième et troisième branches **60**,**62**,**64**. De même, les quatrième, cinquième et sixième condensateurs **44**,**46**,**48** permettent de bloquer le passage d'un courant

électrique continu respectivement dans les quatrième, cinquième et sixième branches **66**,**68**,**70**. Aussi, lesdits condensateurs permettent de découpler la composante continue de la composante alternative des tensions insérées, générées par les chaines de sous-modules.

[0130] Le contrôle de l'amplitude et du déphasage entre les composantes alternatives des tensions insérées du premier bras et du second bras permet de contrôler les échanges de puissance entre les premier et second bras et notamment entre les chaines de sous-modules du premier bras et les chaines de sous-modules du second bras.

[0131] De plus, la fréquence des tensions alternatives circulant dans les branches peuvent être contrôlées, ce qui permet de réduire la taille et le poids des composants passifs, tels que les condensateurs des branches et les transformateurs.

[0132] En outre, le transformateur **40** facilite l'adaptation de tension entre le premier bras et le deuxième bras.

[0133] Le convertisseur de tension **10** permet donc de connecter entre eux deux réseaux d'alimentation électrique continus ayant des tensions nominales différentes. En particulier, l'utilisation de condensateurs connectés aux points supérieurs des chaines de sous-modules par des connexions électriques passives permet de réduire le poids et l'encombrement du convertisseur en se dispensant d'un nombre important de sous-modules. En outre, la fabrication du convertisseur est facilitée, le hardware de commande est simplifié et les coûts de fabrication sont réduits.

[0134] La figure **4** illustre une installation HVDC **8** comprenant un second mode de réalisation du convertisseur de tension **10** selon l'invention. Ce second mode de réalisation est une variante du convertisseur de tension **10** de la figure **1**.

[0135] Dans cette variante, le convertisseur de tension **10** est en outre muni d'un module de filtrage **80** connecté en série avec le premier bras **20**, entre les premier et deuxième terminaux continus **16**,**18**, et plus précisément entre le premier terminal continu **16** et le premier point supérieur **21a** de la première chaine **21** de sous-modules. Le module de filtrage **80** est configuré pour filtrer la composante alternative de la tension totale résultant de la somme des tensions insérées v_{m1} , v_{m2} , v_{m3} dans le premier bras **20**, de manière à empêcher la circulation d'un courant alternatif dans le premier bras et à garantir la circulation dans le premier bras d'un unique courant continu $i_{DC\,1}$.

[0136] De manière non limitative, un second module de filtrage pourrait être connecté en série avec le second bras **30**.

[0137] Une première variante d'un module de filtrage est illustrée en figure **6**. Dans cet exemple, le module de filtrage **80** comprend une inductance **82** et une capacité **84** connectées en parallèle l'une de l'autre. Ces deux composants sont passifs de sorte que le module de filtrage **80** est également passif. Ladite inductance **82** et ladite capacité **84** forment un filtre.

[0138] La figure **7** illustre une seconde variante d'un module de filtrage **80**. Dans cet exemple, le module de filtrage **80** comprend une chaine de sous-modules supplémentaire **86** comprenant une pluralité de sous-modules **SM** commandables individuellement par un organe de commande propre à chaque sous-module et chaque sous-module de ladite chaine de sous-modules supplémentaire comprenant au moins un dispositif de stockage d'énergie connectable en série avec le premier bras ou dans le second bras lorsque l'organe de commande du sous-module est dans un état commandé. Ladite chaine de sous-modules est sensiblement identique aux première, deuxième et troisième chaines **21**,**22**,**23** de sous-modules. Sans sortir du cadre de l'invention, le module de filtrage pourrait comprendre des sous-modules de type Full Bridge tandis que les chaines de sous-modules du premier bras pourraient être de type Half-Bridge.

[0139] La chaîne de sous-module supplémentaire **86** permet de générer une tension alternative $\mathbf{v}_m$ à ses bornes ayant une amplitude égale à celle de la composante alternative de la tension totale aux bornes de l'ensemble des chaines de sous-modules du bras dans laquelle le module de filtrage est connecté, et ayant une phase opposée

[0140] En se référant de nouveau à la figure **4**, on constate que le convertisseur de tension **10** comprend de plus, de manière non limitative, une première inductance **74** connectée en série avec le premier bras **20** et une seconde inductance **76** connectée en série avec le second bras **30**. La première inductance **74** est connectée entre le module de filtrage **50** et la première chaine de sous-module **21**.

[0141] Toujours sur la figure **4**, on remarque que le convertisseur de tension **10** comprend en outre un module de démarrage **88**. Dans cet exemple non limitatif, le module de démarrage comprend un interrupteur **90** connecté au deuxième terminal continu **18** du convertisseur de tension et une résistance de limitation **92** connectée en parallèle dudit interrupteur **90**. Le module de démarrage **88** est configuré pour charger les dispositifs de stockage d'énergie $\mathbf{C}_{SM}$ des sous-modules **SM** des chaines de sous-modules afin de permettre le démarrage du convertisseur de tension **10** et le contrôle des courants continu et alternatifs circulant dans le convertisseur de tension.

[0142] Lorsque le module de démarrage est placé dans un premier état, ledit interrupteur **90** est ouvert de sorte qu'un courant non-contrôlé apparait et circule dans le premier bras **20**.

[0143] Les dispositifs de stockage d'énergie des sous-modules du bras se chargent et la tension aux bornes des chaines de sous-modules augmente progressivement. Les sous-modules sont ensuite commandés pour augmenter progressivement l'énergie stockée dans leurs organes de stockage. Lorsque la tension aux bornes de chaque chaine de sous-modules atteint une valeur finale sensiblement égale à la tension du réseau d'alimentation électrique continu associé, l'interrupteur **90** est alors fermé de manière à

contourner ladite résistance de limitation **92**. Le module de démarrage est alors placé dans un second état.

[0144] Le contrôle du courant continu circulant dans les bras et des courants alternatifs circulant dans les branches du convertisseur est alors rétabli et le convertisseur de tension fonctionne alors normalement.

[0145] En variante, le module de démarrage **88** pourrait être connecté entre le premier terminal continu **16** et le premier point supérieur **21a**. Le module de démarrage **88** pourrait également être connecté entre le second réseau d'alimentation électrique continu **14** et le convertisseur, et plus précisément entre le quatrième terminal continu **26** et le sixième point inférieur **33b** ou entre le troisième terminal continu **24** et le quatrième point supérieur **31a**.

[0146] La figure **5** illustre une installation HVDC **8** comprenant un troisième mode de réalisation du convertisseur de tension **10** selon l'invention. Ce troisième mode de réalisation est une variante du convertisseur de tension **10** de la figure **4**.

[0147] Dans cette variante, les condensateurs sont connectés, via des connexions électriques passives, aux points inférieurs des chaines de sous-modules associées.

[0148] En variante, chacune des branches peut comprendre deux condensateurs, de sorte de sorte qu'un premier condensateur est connecté par une connexion électrique passive au point supérieur de la chaine de sous-modules associée tandis qu'un second condensateur est connecté par une connexion électrique passive au point inférieur de ladite chaine de sous-modules.

[0149] La figure **8** illustre une installation **8** comprenant un quatrième mode de réalisation d'un convertisseur de tension **10** selon l'invention. Dans cet exemple non limitatif, chacun des bras du convertisseur de tension ne comprend que deux chaines de sous-modules. Aussi, le premier bras **20'** du convertisseur comprend une première et une deuxième chaines de sous-modules **21',22'** connectées respectivement entre des premier points supérieur et inférieur **21a',21b'** et entre des deuxième points supérieur et inférieur **22a',22b'**. Le second bras **30'** comprend une troisième et une quatrième chaines de sous-modules **31',32'** connectées respectivement entre des troisième points supérieur et inférieur **31a',31b'** et entre des quatrième points supérieur et inférieur **32a',32b'**.

[0150] Par ailleurs, le transformateur **40** ne comprend qu'un premier et un deuxième enroulements primaires **41a',42a'** et un premier et un deuxième enroulements secondaires **41b',42b'**.

[0151] Chacun des condensateurs est connecté en série avec un enroulement correspondant du transformateur dans une branche **60',64',66',70'** et relié au point supérieur correspondant via une connexion électrique passive **35',37',45',47'**.

[0152] Chacune des première, deuxième, troisième et quatrième chaine de sous-modules

permet de générer une tension insérée v_{m1} , v_{m2} , v_{m3} , v_{m4} .

Revendications

[Revendication 1] Convertisseur de tension (10) permettant de convertir une première tension continue en une seconde tension continue, le convertisseur comprenant :

- des premier et second terminaux continus (16,18) configurés pour être reliés électriquement à un premier réseau d'alimentation électrique continu (12);
- des troisième et quatrième terminaux continus (24,26) configurés pour être reliés électriquement à un second réseau d'alimentation électrique continu (14);
- un premier bras (20) s'étendant entre les premier et second terminaux continus ;
- un second bras (30) s'étendant entre les troisième et quatrième terminaux continus,

les premier et second bras comportant chacun une pluralité de chaines (21,22,23,31,32,33) de sous-modules connectées en série respectivement dans le premier bras et dans le second bras, chacune desdites chaines de sous-modules présentant un point supérieur (21a,22a,23a,31a,32a,33a) et un point inférieur (21b,22b,23b,31b,32b,33b) entre laquelle elle s'étend, chacune des chaines de sous-modules comprenant une pluralité de sous-modules (SM) commandables individuellement par un organe de commande (T1,T2) propre à chaque sous-module et chaque sous-module comprenant au moins un dispositif de stockage d'énergie (C_{SM}) connectable en série respectivement dans le premier bras et dans le second bras lorsque l'organe de commande du sous-module est dans un état commandé,

le convertisseur de tension comprenant en outre un transformateur (40) comportant une pluralité d'enroulements primaires (41a,42a,43a) et une pluralité d'enroulements secondaires (41b,42b,43b), chacune des chaines de sous-modules étant connectée en parallèle avec au moins un condensateur (34,36,38,44,46,48) et un des enroulements primaires ou secondaires du transformateur, ledit condensateur et ledit enroulement primaire ou secondaire étant connectés en série l'un par rapport à l'autre, au moins un des condensateurs étant connecté électriquement à un des points supérieurs ou inférieurs d'une des chaines de sous-modules par une connexion électrique passive (35,37,39,45,47,49).

[Revendication 2] Convertisseur de tension selon la revendication 1, dans lequel ledit au moins un des condensateurs (34,36,38,44,46,48) est connecté directement audit point supérieur (21a,22a,23a,31a,32a,33a) ou inférieur.

[Revendication 3] Convertisseur de tension selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier bras (20) et le second bras (30) comprennent chacun trois chaines (21,22,23,31,32,33) de sous-modules et dans lequel le transformateur (40) comprend trois enroulements primaires (41a,42a,43a) et trois enroulements secondaires (41b,42b,43b), chacune des trois chaines de sous-modules du premier bras étant connectée en parallèle avec un des trois enroulements secondaires du transformateur, chacune des trois chaines de sous-modules du second bras étant connectée en parallèle avec un des trois enroulements primaires du transformateur.

[Revendication 4] Convertisseur de tension selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les sous-modules des chaines (21,22,23,31,32,33) de sous-modules des premier et second bras (20,30) présentent une topologie demi-pont ou une topologie pont complet.

[Revendication 5] Convertisseur de tension selon la revendication 4, dans lequel les sous-modules des chaines de sous-modules (21,22,23) du premier bras (20) présentent une topologie en demi-pont et dans lequel les sous-modules des chaines de sous-modules (31,32,33) du second bras (30) présentent une topologie en pont complet.

[Revendication 6] Convertisseur de tension selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant au moins un module de filtrage (80) connecté en série avec le premier bras (20) ou le second bras (30) et configuré pour empêcher la circulation d'un courant alternatif dans ledit bras.

[Revendication 7] Convertisseur de tension selon la revendication 6, dans lequel le module de filtrage (80) comprend au moins un composant passif et/ou un composant actif.

[Revendication 8] Convertisseur de tension selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le module de filtrage (80) comprend une inductance (82) et une capacité (84) connectées en parallèle l'une de l'autre.

[Revendication 9] Convertisseur de tension selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel le module de filtrage (80) comprend une chaine de sous-modules supplémentaire (86) comprenant une pluralité de sous-modules (SM) commandables individuellement par un organe de commande propre à chaque sous-module et chaque sous-module de ladite chaine de sous-modules supplémentaire comprenant au moins un dispositif de stockage d'énergie connectable en série avec le premier bras (20) et/ou

le second bras (30) lorsque l'organe de commande du sous-module est dans un état commandé.

[Revendication 10] Convertisseur de tension selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant un module de démarrage (88) configuré pour charger les dispositifs de stockage d'énergie (C_{SM}) des sous-modules d'au moins un des bras du convertisseur lorsqu'il est placé dans un premier état.

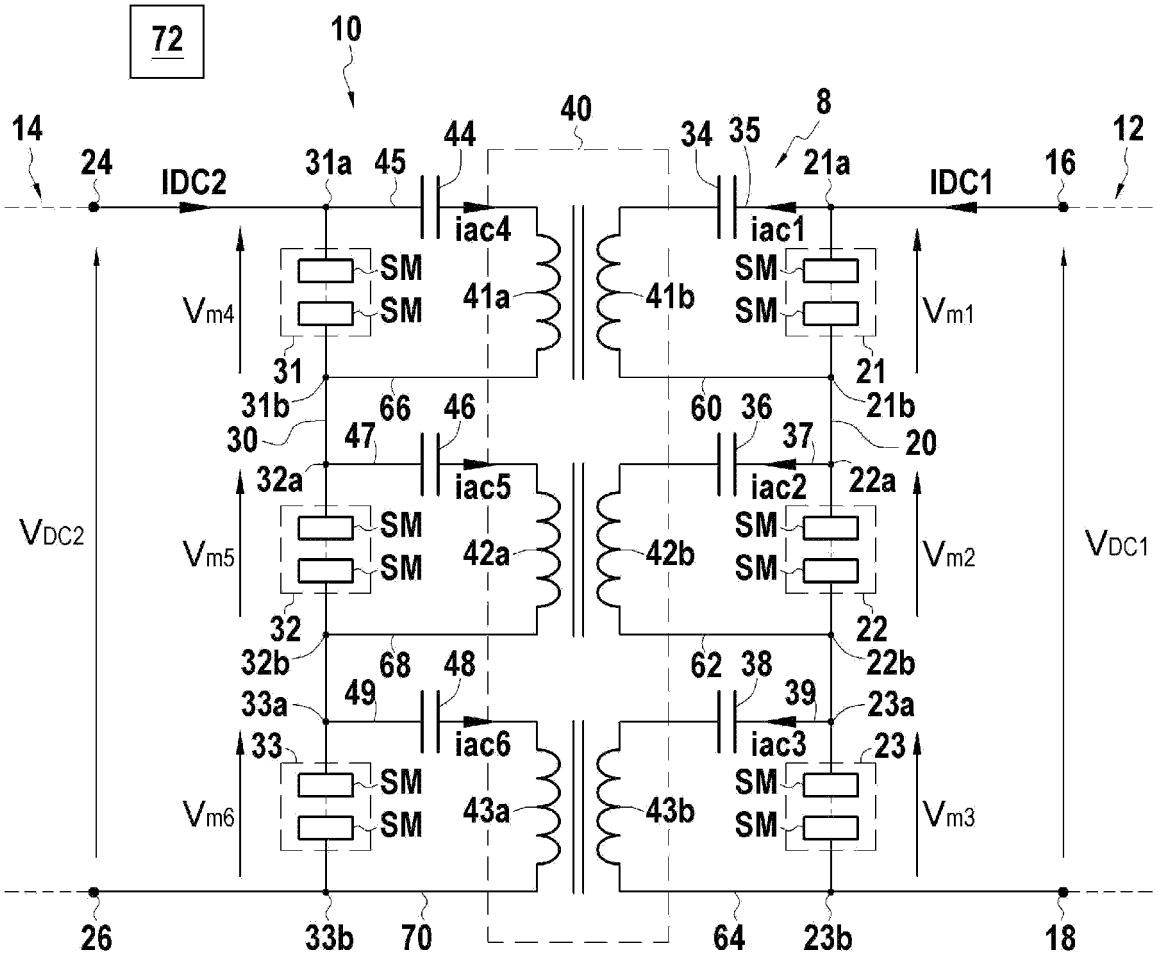
[Revendication 11] Convertisseur de tension selon la revendication 10, dans lequel le module de démarrage (88) comprend au moins un premier interrupteur (90) connecté à un des terminaux continus du convertisseur et une résistance de limitation (92) connectée en parallèle dudit interrupteur, ledit interrupteur étant ouvert lorsque le module de démarrage est placé dans le premier état.

[Revendication 12] Convertisseur de tension selon la revendication 11, dans lequel le module de démarrage (88) peut être placé dans un second état, dans lequel ledit au moins un interrupteur (90) est fermé, de manière à court-circuiter ladite résistance de limitation (92).

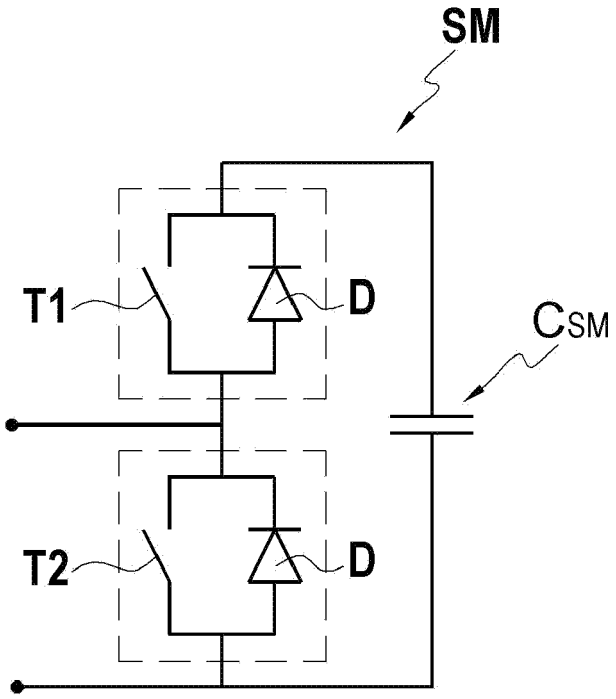
[Revendication 13] Convertisseur de tension selon l'une quelconque des revendication 1 à 12, comprenant en outre un module de contrôle (72) configuré pour commander les organes de commande des sous-modules des chaines (21,22,23,31,32,33) de sous-modules du premier bras (20) et du second bras (30), de manière à réguler les tensions aux bornes desdites chaines de sous-modules.

[Revendication 14] Installation de transport de courant continu haute tension (8) comprenant un premier réseau d'alimentation électrique continu (12), un second réseau d'alimentation électrique continu (14) et un convertisseur de tension (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, ledit convertisseur de tension étant configuré pour connecter électriquement lesdits réseaux d'alimentation électrique continus entre eux.

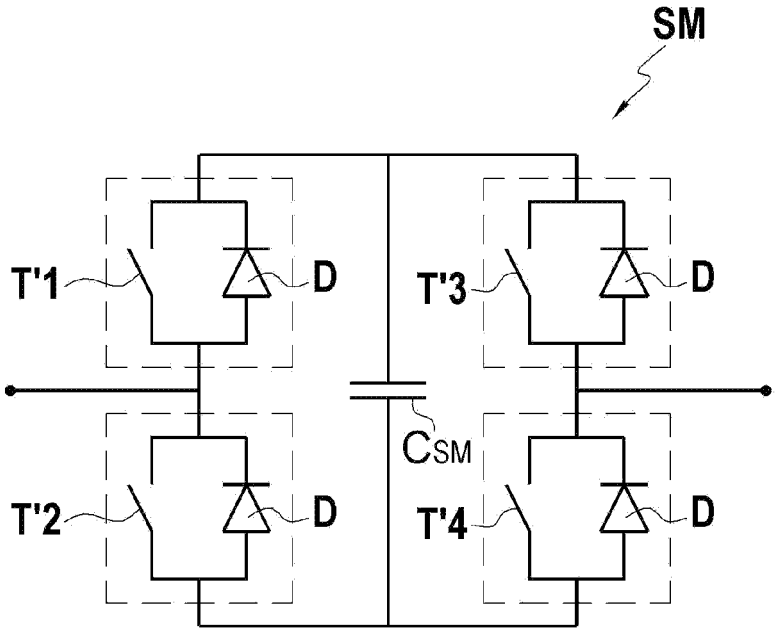
[Fig. 1]


72
10
14
24
IDC2
31a
45
44
40
34
35
8
21a
IDC1
16
12
iac4
iac1
SM
SM
41a
41b
Vm4
Vm1
31
31b
66
46
60
36
21
21b
30
47
37
20
32a
iac5
iac2
22a
VDC2
Vm5
42a
42b
Vm2
VDC1
32
32b
68
48
62
38
22
22b
33a
49
39
23a
33
iac6
iac3
23
Vm6
43a
43b
Vm3
26
33b
70
64
23b
18

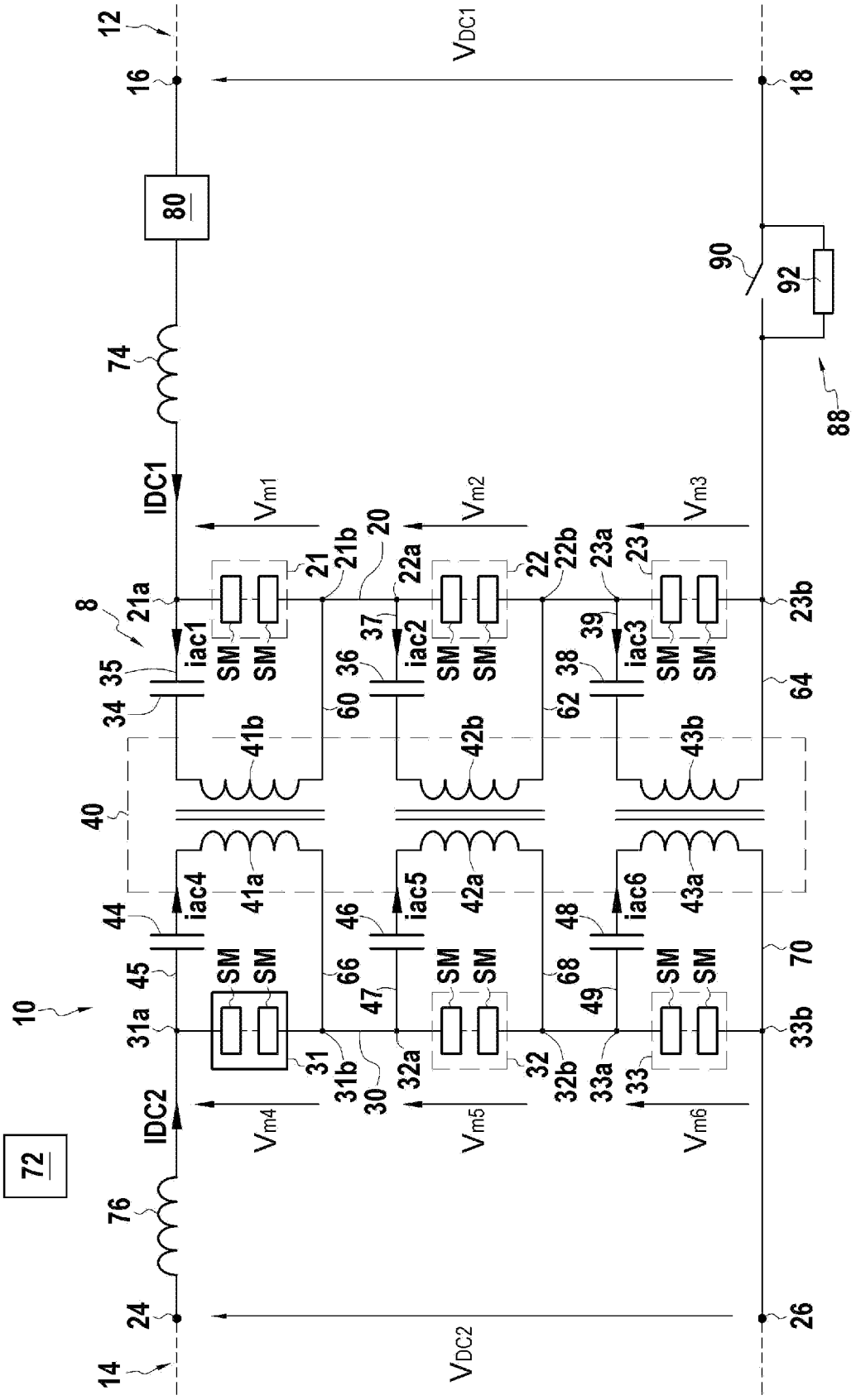
[Fig. 2]


SM
T1
D
CSM
T2
D

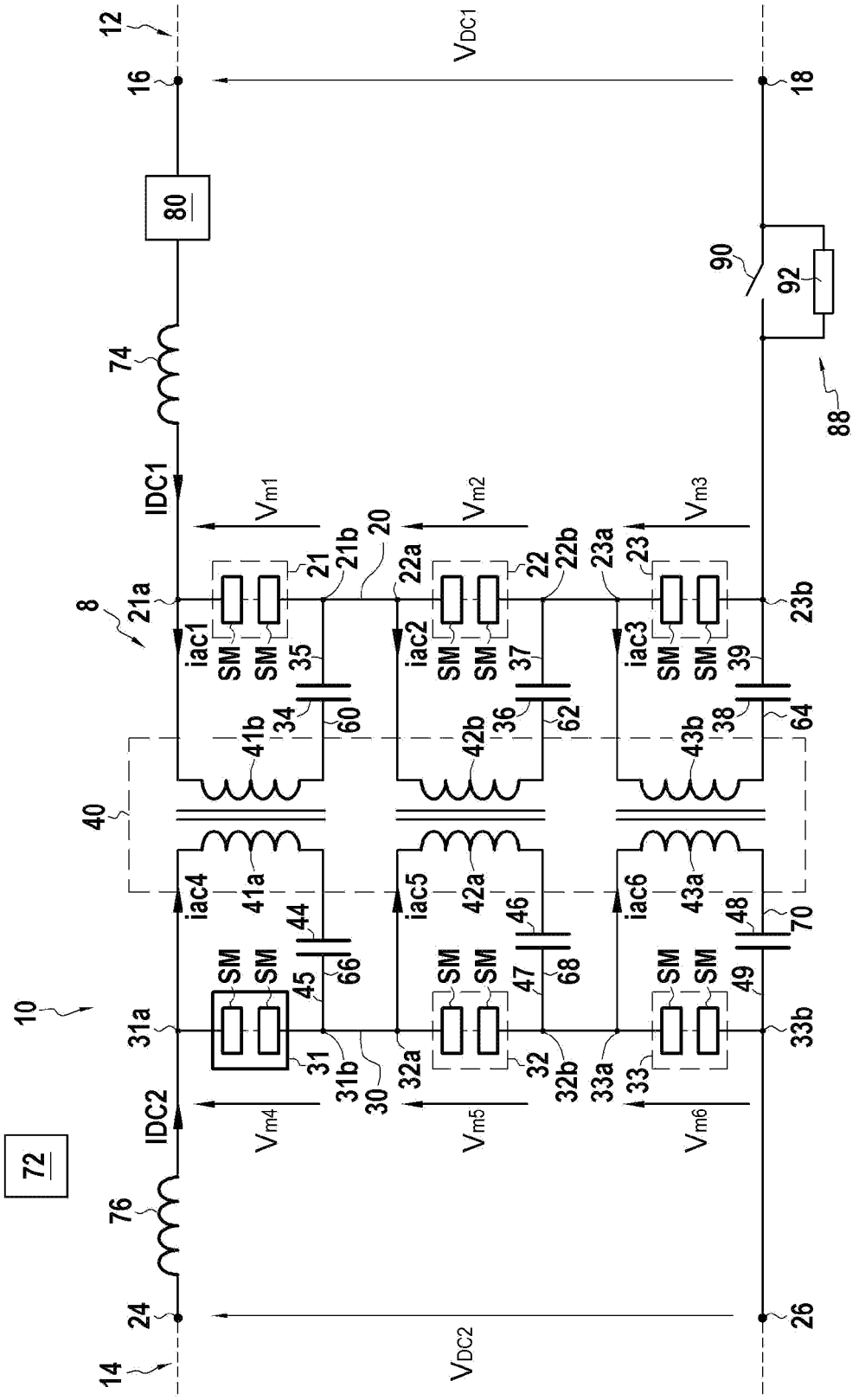
[Fig. 3]



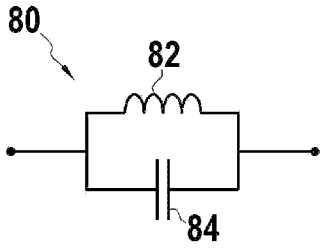
[Fig. 4]


12
16
18
V_{DC1}
80
90
92
88
74
IDC1
V_{m1}
V_{m2}
V_{m3}
8
21a
21
21b
20
22a
22
22b
23a
23
23b
35
iac1
37
iac2
39
iac3
34
36
38
64
60
62
41b
42b
43b
40
iac4
41a
iac5
42a
iac6
43a
44
46
48
70
10
45
SM
66
47
68
49
31a
31
31b
30
32a
32
32b
33a
33
33b
72
IDC2
V_{m4}
V_{m5}
V_{m6}
76
24
26
14
V_{DC2}

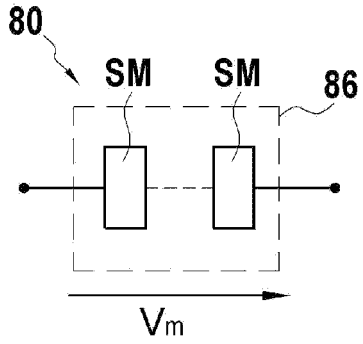
[Fig. 5]


12
16
18
VDC1
80
90
92
88
74
IDC1
Vm1
Vm2
Vm3
8
21a
21
21b
20
22a
22
22b
23a
23
23b
iac1
iac2
iac3
SM
35
37
39
34
60
36
62
38
64
41b
42b
43b
40
iac4
iac5
iac6
41a
42a
43a
44
46
48
70
45
66
47
68
49
10
31a
33b
31
31b
30
32a
32
32b
33a
33
Vm4
Vm5
Vm6
72
IDC2
76
24
26
14
VDC2

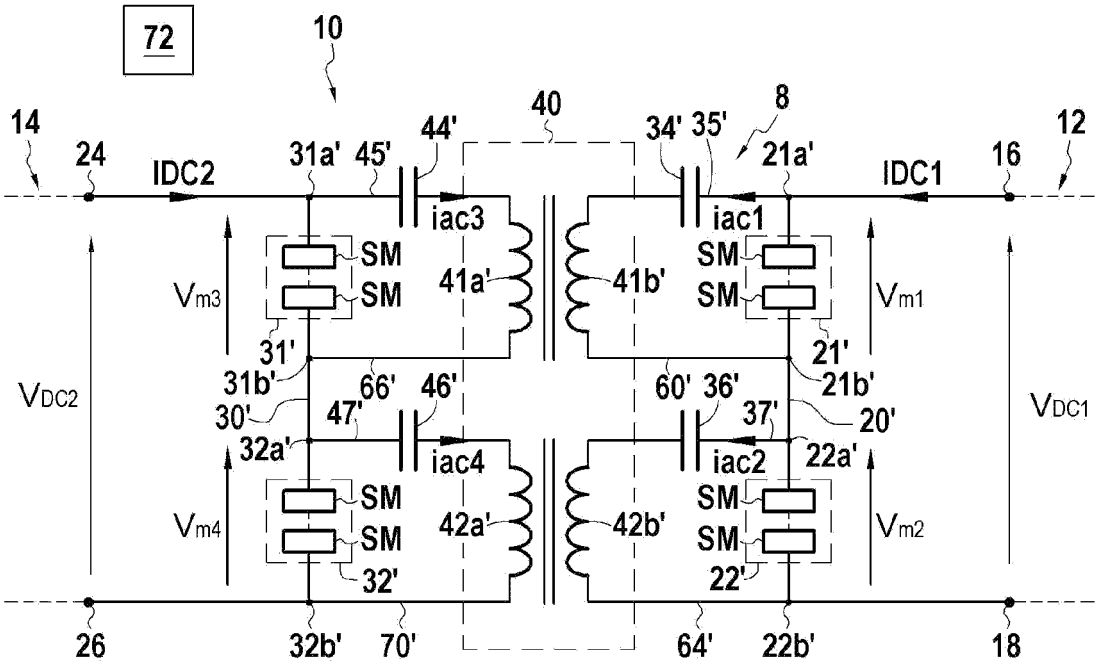
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 868581
FR 1905646

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 Y	EP 2 730 016 A1 (ABB TECHNOLOGY AG [CH]) 14 mai 2014 (2014-05-14) * abrégé * * figures 1-6C * * alinéa [0060] * -----	1-8, 10-14 9	H02M7/68
Y,D	EP 3 352 354 A1 (GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH [CH]) 25 juillet 2018 (2018-07-25) * abrégé * * figure 4c * * alinéa [0083] - alinéa [0085] * -----	9	
A	WO 2016/138949 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9 septembre 2016 (2016-09-09) * abrégé * * figure 1 * * page 2, ligne 13 - ligne 20 * -----	1-14	
A	EP 2 928 062 A1 (TOSHIBA KK [JP]) 7 octobre 2015 (2015-10-07) * abrégé * * figure 6 * -----	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02M
A	T. LUTH ET AL: "Choice of AC operating voltage in HV DC/AC/DC system", 2013 IEEE POWER & ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING, 1 janvier 2013 (2013-01-01), pages 1-5, XP055169129, DOI: 10.1109/PESMG.2013.6672913 ISBN: 978-1-47-991303-9 * abrégé * * figure 1 * -----	1-14	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
27 janvier 2020	Adami, Salah-Eddine

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1905646 FA 868581

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 27-01-2020
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
EP 2730016 A1	14-05-2014	CN 103828211 A	28-05-2014
		EP 2730016 A1	14-05-2014
		US 2014140104 A1	22-05-2014
		WO 2013004282 A1	10-01-2013
EP 3352354 A1	25-07-2018	CN 110366811 A	22-10-2019
		EP 3352354 A1	25-07-2018
		US 2019372479 A1	05-12-2019
		WO 2018134134 A1	26-07-2018
WO 2016138949 A1	09-09-2016	EP 3245723 A1	22-11-2017
		WO 2016138949 A1	09-09-2016
EP 2928062 A1	07-10-2015	BR 112015012350 A2	11-07-2017
		CN 104685771 A	03-06-2015
		EP 2928062 A1	07-10-2015
		JP 6099951 B2	22-03-2017
		JP 2014108000 A	09-06-2014
		KR 20150045462 A	28-04-2015
		US 2015236611 A1	20-08-2015
		WO 2014084010 A1	05-06-2014

EPO FORM P0465