

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.06.25 Bulletin 25/26.

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) : SuperGrid Institute Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : BOUTRY Arthur et ASLLANI Besar.

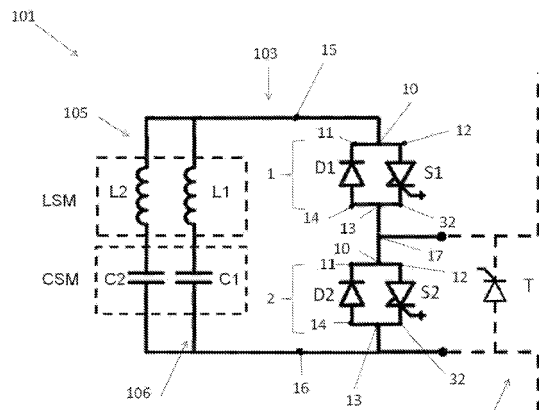
73 Titulaire(s) : SuperGrid Institute Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

54 Sous-module d'un bras d'un convertisseur HVDC de type MMC, et convertisseur MMC comprenant un tel module.

57 Sous-module (101) d'un convertisseur MMC comprenant une première et une deuxième unité de commutation (1, 2) comprenant chacune une diode (D1, D2), un IGCT (S1, S2), un premier connecteur (10) connecté à un premier pôle (11) de la diode et un premier pôle (12) de l'IGCT, et un deuxième connecteur (13) connecté à un deuxième pôle (14) de la diode et un deuxième pôle (32) de l'IGCT, les IGCT étant disposés dans un boîtier pressé, au moins une des diodes étant disposée dans un boîtier de type module plastique, un premier et deuxième condensateurs (C1, C2) placés entre la première et deuxième borne et disposés de part et d'autres des diodes et des IGCT, symétriquement l'un par rapport à l'autre.

Figure pour l'abrégié : Fig. 5.



Description

Titre de l'invention : Sous-module d'un bras d'un convertisseur HVDC de type MMC, et convertisseur MMC comprenant un tel module

- [0001] La demande a trait au domaine technique des convertisseurs modulaire multi-niveaux (MMC), et plus particulièrement à un sous-module d'un bras d'un convertisseur modulaire multi-niveaux.
- [0002] L'invention se rapporte plus particulièrement aux réseaux de transport haute tension à courant continu (dénommés par la suite réseaux HVDC).
- [0003] Les réseaux HVDC sont notamment envisagés comme une solution à l'interconnexion de sites de production d'électricité disparates ou non synchrones. Les réseaux HVDC sont notamment envisagés pour la transmission et la distribution d'énergie produite par des fermes éoliennes offshore plutôt que des technologies de courant alternatif, du fait de pertes en ligne inférieures et d'absence d'incidence des capacités parasites du réseau sur de longues distances. De tels réseaux ont typiquement des niveaux de tension nominale de service supérieure à 75 kV, notamment de l'ordre de 100 kV et plus.
- [0004] De manière à pouvoir répondre aux besoins du marché, les interfaces d'électroniques de puissance doivent faire preuve d'une extrême fiabilité, d'une grande efficacité et rester économiquement abordables.
- [0005] A ce titre, il est connu d'utiliser la technologie MMC en tant que moyen de conversion des tensions de type AC/DC.
- [0006] Comme il peut être observé sur la [Fig.1], un convertisseur MMC 1 comprend typiquement une pluralité de bras 2, connectés à une des phases P1, P2, P3, et délivrant une tension continue, et permet –une conversion AC/DC ou DC/AC.
- [0007] Comme il peut être observé sur la [Fig.1], les demi-bras 2 présentent chacun des sous-modules SM, qui sont arrangés en série. Les sous-modules présentent le plus souvent une topologie dite de demi-pont, également dénommé half-bridge, ou moins souvent de pont complet, également dénommé full bridge. Toutefois, d'autres topologies peuvent être utilisées en fonction de l'application visée.
- [0008] De tels convertisseurs MMC sont particulièrement adaptés pour des applications en HVDC, et présentent des avantages significatifs par rapport aux technologies de conversion précédemment utilisés.
- [0009] Ainsi, il est connu que de tels convertisseurs MMC offrent une grande modularité car pouvant fonctionner pour une grande plage de tension, une faible fréquence de commutation, permettant de limiter les pertes, et d'un faible taux de distorsion harmonique

(voir par exemple FALAH, Design, *Modeling and control of Modular Multilevel Converter based HVDC systems*, 2015).

- [0010] Sur la [Fig.2], il est représenté un sous-module SM typique avec utilisation d'IGCT. Comme il peut être observé, un tel sous-module comprend une capacité CSM connectée en série avec un circuit de puissance, tous les deux protégés par exemple par un commutateur permanent ou semi-permanent.
- [0011] La capacité CSM se comporte dans le module MMC comme une source de tension, et est reliée au restant du circuit par le biais d'une barre de connexion, ou barre de courant, également connue sous la dénomination de busbar.
- [0012] Le circuit de puissance comprend des semi-conducteurs, en l'occurrence deux circuits comprenant chacun une diode DSM1, DSM2 et un commutateur SSM1, SSM2, montés en parallèle.
- [0013] Il existe principalement deux technologies de composants qui peuvent être choisis pour constituer les commutateurs SSM1, SSM2 d'un module MMC: des composants appartenant à la famille des transistors, des composants appartenant à la famille des thyristors.
- [0014] Les composants appartenant à la famille des transistors, dénommés IGBT, présentent l'avantage d'être simples de contrôle, et efficace. De tels composants sont les plus fréquemment employés.
- [0015] Les composants appartenant à la famille des thyristors dénommés par la suite IGCT, et offrent par rapport aux IGBT les avantages de présenter un niveau inférieur de pertes par conduction, et de pouvoir présenter des niveaux de courants supérieurs à tension égale (Boutry et al., *Figures-of-merit and current metric for the comparison of igcts and igbts in modular multilevel converters*).
- [0016] Cependant, les composants IGCT présentent des inconvénients lors de la commutation, qui limitent actuellement leur utilisation au sein d'un module MMC.
- [0017] En effet, lors de la commutation à la fermeture (également dénommée « turn-on »), il n'est pas possible de contrôler la vitesse de variation du courant di/dt circulant dans le circuit de puissance du demi-pont, ce qui crée une contrainte importante sur les diodes DSM1, DSM2. Or, de telles diodes DSM1, DSM2 sont très dépendantes des conditions de commutation (voir par exemple Tianyu Wei and al., *Experimental evaluation of IGCT converters with reduced di/dt limiting inductance*).
- [0018] Une telle variation de courant peut par exemple prendre une valeur supérieure à 1.2 kA/ μ s, ce qui peut avoir pour conséquence de détériorer voir détruire la diode, par phénomène d'avalanche dynamique ou effet d'avalanche.
- [0019] Pour éviter d'être confronté à un tel problème en cas d'utilisation d'IGCT pour les commutateurs SSM1, SSM2 qui, il est connu d'utiliser un circuit suppresseur, plus connu sous le nom de circuit snubber. Un tel circuit est représenté sur la [Fig.2] et est

constitué par exemple d'une résistance R_{snu} , diode D_{snu} , condensateur C_{snu} et inductance L_{snu} .

- [0020] Or, un tel circuit ajoute au convertisseur MMC du volume, du poids, des pertes et engendre des coûts supplémentaires.
- [0021] L'invention vise à répondre aux inconvénients précités.
- [0022] Un premier objet est de proposer un sous-module d'un bras d'un convertisseur MMC utilisant des IGCT en tant que commutateur.
- [0023] Un deuxième objet est de proposer un tel sous-module ayant un poids et un encombrement limité.
- [0024] Un troisième objet est de proposer un tel sous-module limitant les pertes par effet Joule.
- [0025] Un quatrième objet est de proposer un tel sous-module présentant un coût limité de fabrication.
- [0026] Un cinquième objet est de proposer convertisseur MMC intégrant un sous-module tel que présenté ci-dessus.
- [0027] Il est proposé selon un premier aspect, un sous-module d'un demi-bras d'un convertisseur alternatif-continu de type MMC pour usage HVDC, le sous-module comprenant un premier circuit électrique intégrant une première unité de commutation et une deuxième unité de commutation comprenant chacune une première diode, un premier IGCT, un premier connecteur électriquement connecté à un premier pôle de la première diode et un premier pôle du premier IGCT, et un deuxième connecteur électriquement connecté à un deuxième pôle de la première diode et un deuxième pôle du premier IGCT, une première borne électriquement connectée au premier connecteur de la première unité de commutation, une deuxième borne connectée électriquement au deuxième connecteur de la deuxième unité de commutation, et une troisième borne connectée électriquement à la fois au deuxième connecteur de la première unité de commutation et au premier connecteur de la deuxième unité de commutation, une capacité disposée entre la première borne et la deuxième borne, les premiers IGCT étant disposés dans un boîtier de type pressé, la capacité étant formée par un premier condensateur et un deuxième condensateur, tous deux placés entre la première borne et la deuxième borne, les premier et deuxième condensateurs étant disposés de part et d'autres des premières diodes et des premiers IGCT, symétriquement l'un par rapport à l'autre par rapport à un premier plan médian coupant les premières diodes et les premiers IGCT, le premier plan médian étant un plan de symétrie du sous-module.
- [0028] Diverses caractéristiques complémentaires peuvent être prévues seules ou en combinaison :
- [0029] - les premières diodes sont toutes disposées dans un boîtier de type module plastique, ou une des premières diodes de la première et/ou de la deuxième unité de commutation

est disposée dans un boîtier de type module plastique et l'autre diode est disposée dans un boîtier de type pressé ;

- [0030] – le sous-module comprend une unité de refroidissement comprenant une plaque équipée d'un premier emplacement destiné à recevoir une première diode, et un deuxième emplacement destiné à recevoir un premier IGCT, la plaque comprenant un conduit apte à recevoir un fluide réfrigérant ;
- [0031] - une première diode est une diode en matériau comprenant du carbure du silicium ;
- [0032] - le premier condensateur comprend un premier organe de connexion, le deuxième condensateur comprend un deuxième organe de connexion, la première borne comprend un premier moyen de connexion, le premier moyen de connexion et le premier organe de connexion sont reliés par le biais d'une première barre d'interconnexion et le premier moyen de connexion et le deuxième organe de connexion sont reliés par le biais d'une deuxième barre d'interconnexion, les barre d'interconnexions étant symétriques entre elles par rapport au premier plan médian ;
- [0033] - le premier condensateur comprend un autre premier organe de connexion, les premiers organes de connexion sont disposés alignés l'un par rapport à l'autre, définissant une ligne fictive parallèle au premier plan médian, le deuxième condensateur comprend un autre deuxième organe de connexion, les deuxièmes organes de connexion sont disposés alignés l'un par rapport à l'autre, définissant une ligne fictive parallèle au premier plan médian, la première barre d'interconnexion reliant électriquement les premiers organes de connexion à un premier moyen de connexion, la deuxième barre d'interconnexion reliant électriquement les deuxièmes organes de connexion au premier moyen de connexion ;
- [0034] - une première barre d'interconnexion comprend une première partie de liaison, et une première partie de connexion, la première partie de liaison s'étendant entre un premier moyen de connexion et la première partie de connexion, et la première partie de connexion reliant les premiers organes de connexion entre eux, et une deuxième barre d'interconnexion comprend une deuxième partie de liaison, et une deuxième partie de connexion, la deuxième partie de liaison s'étendant entre le premier moyen de connexion et la deuxième partie de liaison, la deuxième partie de connexion reliant les deuxièmes organes de connexion entre eux, les barres d'interconnexion présentant une forme de T ;
- [0035] - au moins une barre d'interconnexion est une barre d'interconnexion laminée ;
- [0036] – le sous-module comprend en outre un deuxième circuit électrique intégrant une troisième unité de commutation et une quatrième unité de commutation comprenant chacune une deuxième diode, un deuxième IGCT, un troisième connecteur électriquement connecté à un premier pôle de la deuxième diode et à un premier pôle du deuxième IGCT, et un quatrième connecteur électriquement connecté à un deuxième

pôle de la deuxième diode et à un deuxième pôle du deuxième IGCT, une quatrième borne connectée électriquement au troisième connecteur de la troisième unité de commutation, et à la première borne, une cinquième borne connectée électriquement au quatrième connecteur de la quatrième unité de commutation ainsi qu'à la deuxième borne, un sixième borne connectée électriquement à la fois au quatrième connecteur de la troisième unité de commutation et au troisième connecteur de la quatrième unité de commutation, un troisième condensateur disposé entre la quatrième borne et la cinquième borne, le troisième condensateur étant positionné symétriquement au premier condensateur par rapport à un deuxième plan médian passant par le milieu du deuxième condensateur, et parallèle au premier plan médian, les deuxièmes IGCT et les deuxièmes diodes étant positionnés entre le premier condensateur et le troisième condensateur.

- [0037] –les deuxièmes IGCT sont disposés dans un boîtier pressé, les deuxièmes diodes sont toutes les deux disposées dans un boîtier de type module plastique, ou une des diodes de la troisième et/ou de la quatrième unité de commutation est disposée dans un boîtier de type module plastique, l'autre deuxième diode étant disposée dans un boîtier pressé ;
- [0038] - une deuxième diode est une diode comprenant du carbure du silicium ;
- [0039] - les condensateurs présentent une même valeur égale au tiers de la capacité ;
- [0040] - la capacité présente une valeur évoluant dans une plage entre 1 et 10 mF ;
- [0041] – le sous-module comprend un thyristor en parallèle de la deuxième unité de commutation, le thyristor étant destiné à protéger le sous-module contre des courts-circuits.
- [0042] Selon un deuxième aspect, il est proposé un convertisseur alternatif-continu de type MMC pour usage HVDC comprenant le sous-module tel que présenté ci-dessus.
- [0043] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement et de manière concrète à la lecture de la description ci-après de modes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0044] [Fig.1] La [Fig.1] illustre une représentation schématique d'un exemple typique de convertisseur MMC ;
- [0045] [Fig.2] La [Fig.2] illustre un sous-module d'un convertisseur MMC selon l'art antérieur utilisant des IGCT ;
- [0046] [Fig.3] La [Fig.3] illustre une représentation schématique d'un exemple de convertisseur MMC selon l'invention ;
- [0047] [Fig.4] La [Fig.4] illustre un schéma électrique idéal modélisant un premier mode de réalisation du sous-module d'un convertisseur MMC ;
- [0048] [Fig.5] La [Fig.5] illustre un schéma électrique donnant une modélisation réelle du sous-module selon le premier mode de réalisation ;
- [0049] [Fig.6] La [Fig.6] illustre une vue schématique en perspective de l'architecture du

sous-module selon une première variante du premier mode de réalisation du sous-module ;

- [0050] [Fig.7] La [Fig.7] illustre une vue schématique en perspective en coupe selon le plan VII-VII de la [Fig.6] du premier mode du sous-module ;
- [0051] [Fig.8] La [Fig.8] illustre une vue schématique en perspective d'une deuxième variante du premier mode de réalisation du sous-module ;
- [0052] [Fig.9] La [Fig.9] illustre un schéma électrique donnant une modélisation réelle du sous-module selon le deuxième mode de réalisation ;
- [0053] [Fig.10] La [Fig.10] illustre une vue schématique en perspective de l'architecture du sous-module du deuxième mode de réalisation du sous-module ;
- [0054] [Fig.11] La [Fig.11] illustre un graphique représentant la valeur absolue de la tension, et le courant en fonction du temps aux bornes d'une diode selon l'état de la technique ;
- [0055] [Fig.12] La [Fig.12] illustre une vue schématique latérale d'une unité de refroidissement munie d'une première diode et d'un premier IGCT ;
- [0056] {[Fig.13]} La [Fig.13] illustre une vue schématique de dessus d'une unité de refroidissement ;
- [0057] [Fig.14] La [Fig.14] illustre une vue schématique en coupe de l'unité de refroidissement selon le plan de coupe XIV-XIV de la [Fig.12].
- [0058] L'on se réfère à la [Fig.3], laquelle représente un convertisseur MMC 100 destiné à permettre la conversion d'un courant alternatif présentant une première phase P1, une deuxième phase P2, et une troisième phase P3.
- [0059] Grâce à un tel convertisseur MMC 100, il est obtenu une tension continue entre les points DC1 et DC2, utilisable pour le transport d'électricité HVDC, le convertisseur MMC 100 fonctionnant en mode dit AC/DC.
- [0060] Un tel convertisseur MMC 100 est réversible, c'est-à-dire qu'il est également possible de présenter en entrée une tension continue, permettant d'avoir une tension alternative en sortie. L'on parle d'un convertisseur fonctionnant en mode DC/AC.
- [0061] Sans que cela soit limitatif, la suite de la description décrit un convertisseur MMC fonctionnant en mode AC/DC.
- [0062] Comme il peut être observé sur la [Fig.3], chacune des phases P1, P2, P3 est reliée à un bras 104, par exemple constitué de deux demi-bras 102, composés notamment de plusieurs sous-modules 101 connectés entre eux en série.
- [0063] Dans les modes de réalisation représentés, les sous-modules 101 comprennent des circuits électriques munis de composants d'électronique de puissance, à savoir des diodes, IGCT et condensateurs.
- [0064] Dans toute la suite de la description, l'on considère qu'un composant est formé par un matériau semi-conducteur assurant la fonctionnalité active ou principale du

composant. De tels composants sont disposés dans un boîtier destiné à recevoir le semi-conducteur, c'est-à-dire le composant.

- [0065] Le terme « boîtier », également connu sous le terme de « package » désigne l'emballage permettant d'assurer les connexions électriques du matériau semi-conducteur et sa dissipation de chaleur.
- [0066] Dans la [Fig.3], seuls deux sous-modules 101 par demi-bras 102 sont représentés, mais en général chacun des demi-bras 102 comporte entre une dizaine et une centaine de sous-modules 101. Aussi, un convertisseur MMC 100 comporte typiquement entre une centaine et un millier de sous-module 101.
- [0067] L'on décrit à présent un sous-module 101 selon un premier mode de réalisation en se référant aux figures 4 à 8. Un tel sous-module présente une topologie ou structure en demi-pont, dénommée également en structure « Half-Bridge ».
- [0068] Une telle structure en demi-pont est à l'heure actuelle la plus souvent employée, et présente l'avantage de limiter le nombre de composants par rapport à d'autres topologies.
- [0069] Comme il peut être observé sur les schémas électriques des figures 3 et 4, un tel sous-module 101 présente un premier circuit électrique 103 comprenant une première unité de commutation 1, et une deuxième unité de commutation 2. Les unités de commutation 1, 2 sont montées en série l'une par rapport à l'autre.
- [0070] Comme il peut être observé sur les figures 5 et 6, de telles unités de commutation 1, 2 comprennent chacune une première diode D1, D2, et un premier IGCT S1, S2. Comme il peut être constaté, chaque diode D1, D2 et chaque premier IGCT S1, S2 est doté d'un premier pôle 12 et d'un deuxième pôle 32.
- [0071] Comme il peut être observé sur les figures 5 et 6, au sein de chaque unité de commutation 1, 2, une première diode D1, D2 est montée en parallèle avec un premier IGCT S1, S2. Plus spécifiquement, chacune des unités de commutation 1, 2 comprend un premier connecteur 10 et un deuxième connecteur 13.
- [0072] Tel que représenté sur les figures 5 et 6, un premier pôle 11 de la première diode D1, D2 et un premier pôle 12 du premier IGCT S1, S2 sont connectés au premier connecteur 10, et un deuxième connecteur 13 électriquement connecté à un deuxième pôle 14 de la première diode D1, D2 et un deuxième pôle 32 du premier IGCT S1, S2.
- [0073] Comme il peut être constaté sur les figures 5 et 6, le sous-module 101 comprend par exemple une première borne 15 et une deuxième borne 16, entre lesquelles sont disposées les deux unités de commutation 1, 2. Aussi, la première borne 15 est électriquement connectée au premier connecteur de la première unité de commutation 1, et la deuxième borne est connectée au deuxième connecteur 13 de la deuxième unité de commutation 2.
- [0074] En outre, le sous-module 101 comprend par ailleurs une troisième borne 17 disposée

entre les deux unités de commutation 1, 2. Une telle troisième borne 17 est connectée à la électriquement au deuxième connecteur 13 de la première unité de commutation 1 et au premier connecteur 10 de la deuxième unité de commutation 2. Une telle disposition permet de réaliser la mise en série des deux unités de commutation 1, 2.

- [0075] De manière à permettre la conversion DC/AC, le sous-module 101 comprend une unité condensateur équivalente CSM, disposée entre la première borne 15 et la deuxième borne 16.
- [0076] L'on décrit à présent l'architecture d'un sous-module MMC 101 selon un premier mode de réalisation en référant aux figures 6, 7 et 8.
- [0077] Dans un tel premier mode de réalisation, il est prévu une unité condensateur équivalente CSM, et d'un deuxième condensateur C2, deux premiers IGCT S1, S2 et deux premières diodes D1, D2.
- [0078] De manière à limiter l'apparition de phénomènes destructeurs pour une ou les premières diodes D1, D2, l'unité condensateur équivalente CSM se présente sous la forme d'un premier condensateur C1, et d'un deuxième condensateur C2, chacun d'entre eux étant disposés entre la première borne 15 et la deuxième borne 16. Une telle caractéristique donne la possibilité de conférer au sous-module 101 une architecture, une configuration symétrique.
- [0079] Plus spécifiquement, le premier condensateur C1 et le deuxième condensateur C2 sont disposés de part et d'autres des premières diodes D1, D2 et des deuxièmes IGCT S1, S2, symétriquement l'un par rapport l'autre.
- [0080] Autrement dit, le sous-module 101 comprend premier plan médian P fictif coupant les premières diodes D1, D2 et les premiers IGCT S1, S2, ce plan médian P étant un plan de symétrie.
- [0081] Dans une telle configuration, le premier condensateur C1 et le deuxième condensateur C2 sont disposés en parallèle l'un par rapport à l'autre respectivement sur des branches 105, 106, la somme des valeurs des condensateurs C1, C2 définissant la valeur CSM de l'unité de condensateur équivalente.
- [0082] Comme évoqué ci-dessus, en l'absence d'une telle disposition en symétrie et en l'absence d'un circuit suppresseur, il a été constaté des phénomènes destructeurs pour les premières diodes D1, D2, lorsqu'au moins une première diode D1, D2 est disposée dans un boîtier différent du boîtier recevant les IGCT S1, S2.
- [0083] L'on décrit plus en détail de tels phénomènes en se référant à la [Fig.11].
- [0084] Un premier phénomène a lieu lors de la commutation de la diode première diode D1, D2, c'est-à-dire lorsque la première diode D1, D2 passe d'un état passant, correspondant à un état permettant le passage du courant, à un état non passant, correspondant à un état bloqué où le courant est nul.
- [0085] Au cours d'un tel changement d'état, il est noté l'apparition d'un phénomène de re-

couvrement inverse au cours duquel a lieu un pic de courant négatif. Au cours du temps de recouvrement, visible sur une première zone Z1 sur la [Fig.11], une surtension apparaît aux pôles d'une première diode D1, D2, une telle surtension pouvant dépasser la tension de claquage prédéterminée de la première diode D1, D2, et entraîner la destruction du composant.

- [0086] Un deuxième phénomène identifié pendant la période de recouvrement peut apparaître en l'absence de configuration symétrique du sous-module 101 et en l'absence d'un circuit supprimeur, est un effet d'avalanche dynamique, c'est-à-dire une multiplication incontrôlée des charges au sein de la jonction PN polarisée constitutive des premières diodes D1, D2, en cas de très fort dV/dt , causant une destruction à une tension inférieure à la tension de claquage des premières diodes D1, D2.
- [0087] Un troisième phénomène identifié en fin de période de recouvrement potentiellement susceptible d'apparaître en l'absence d'un circuit supprimeur, est un effet dit de « snap-off », c'est-à-dire une accélération de la vitesse d'établissement du courant di/dt qui produit une surtension supplémentaire aux bornes des premières diodes D1, D2. Un tel troisième phénomène peut entraîner le claquage des premières diodes D1, D2. Un tel phénomène a lieu pendant une troisième zone Z3, visible sur la [Fig.11].
- [0088] De tels phénomènes destructifs sont notamment liés à la présence d'inductances de boucles L1, L2, également dénommé inductances de commutation au sein des conducteurs dans le premier circuit 103, c'est-à-dire dans les conducteurs formant le sous-module 101. De telles inductances de boucle L1, L2 présentent des valeurs d'autant plus importantes que les conducteurs sont longs. De telles inductances de boucles L1, L2 peuvent être modélisées par une inductance de boucle équivalent LSM. L'inverse de l'inductance de boucle équivalent LSM est égale à la somme de l'inverse de chacune des inductances de boucle L1, L2.
- [0089] Comme représenté sur la [Fig.5], le premier condensateur C1 est disposé sur une première branche 105, laquelle comprend une première inductance de boucle L1, et le deuxième condensateur C2 est disposé sur une deuxième branche 106 comprenant une deuxième inductance de boucle L2.
- [0090] Aussi, comme il peut être observé sur les figures 6 à 8, le fait de positionner le premier condensateur C1 et le deuxième condensateur C2 de manière symétriques l'un par rapport à l'autre positionnant les branches 105, 106 en parallèle l'une par rapport à l'autre permet diminuer la valeur de l'inductance de boucle équivalente LSM, tout en ajoutant les valeurs respectives du premier condensateur C1 et du deuxième condensateur C2.
- [0091] Dans un tel premier mode de réalisation, les premiers IGCT S1, S2 sont disposés chacun dans un boîtier de type pressé, également connu sous la dénomination de « press-pack package ».

- [0092] Avantageusement, un tel boîtier de type pressé est obtenu en pressant sous un effort, ayant par exemple une valeur de 40kN, le semi-conducteur formant l'IGCT entre deux radiateurs par l'intermédiaire d'une mâchoire, permettant de réaliser des connexions électriques et les connexions thermiques.
- [0093] Dans un premier sous-mode de réalisation, les premières diodes D1, D2 sont toutes les deux disposées dans un boîtier de type module plastique. Un tel boîtier est préalablement obtenu par moulage, et présente par exemple des parois en thermoplastique. Dans un tel boîtier de type module plastique, le matériau semi-conducteur formant une première diode D1, D2 est connecté au circuit électrique puis en général maintenu vissé sur un radiateur (non visible sur les figures).
- [0094] Le choix de disposer les premières diodes D1, D2 au sein d'un même type de boîtier plastique permet d'augmenter le choix disponible pour les diodes, et en particulier permettre l'utilisation de diodes D1, D2 autorisant une vitesse de variation du courant au cours du temps (di/dt) importante à la commutation.
- [0095] Dans un deuxième sous-mode de réalisation, non représenté, une des premières diodes D1, D2 est disposée dans un boîtier de type pressé, et l'autre première diode D1, D2 est disposée dans un boîtier de type module plastique. Aussi, les premières diodes D1, D2 présentent une technologie de boîtier différente, ayant strictement les mêmes effets que ceux décrits ci-dessus. Un tel deuxième sous-mode de réalisation n'est pas représenté.
- [0096] Ainsi, dans le premier sous-mode de réalisation, et le deuxième sous-mode de réalisation, le sous-module 101, comprend des premiers IGCT S1, S2 disposés dans un boîtier de type pressé, et au moins un composant, par exemple une première diode D1, D2 disposée dans un boîtier de type module plastique. Le sous-module 101 comprend donc deux types de boîtiers pour les composants S1, S2, D1, D2.
- [0097] Le fait d'avoir un mélange de boîtiers au sein d'un même sous-module 101 présente l'inconvénient de complexifier l'architecture générale du sous-module 101, puisqu'avoir des composants présentant deux technologies différentes de boîtier engendre un encombrement plus important que si l'ensemble des composants étaient disposés chacun dans une même technologie de boîtier.
- [0098] Cependant, il a été observé que le mélange de technologie de boîtiers permet l'utilisation de diodes résistant davantage à des fortes vitesses de variation du courant au cours du temps (di/dt) circulant au sein du circuit.
- [0099] De cette manière, la combinaison d'un mélange de technologies de boîtier entre les premières diodes D1, D2, et les premiers IGCT S1, S2 contribue à bénéficier des avantages liés à l'utilisation d'IGCT sans qu'il soit pour autant nécessaire d'utiliser un circuit suppresseur. Les phénomènes destructeurs décrits ci-dessus sont également évités.

- [0100] Dans le mode de représentation représenté sur les figures 6 à 8, le refroidissement d'au moins une des premières diodes D1, D2 est assuré par l'intermédiaire d'un premier dispositif de refroidissement R1, en façade devant les premières diodes D1, D2. Afin de faciliter la lecture des figures, le premier dispositif de refroidissement R1 n'est représenté que sur la [Fig.6].
- [0101] Dans le mode de représentation représenté sur les figures 6 à 8, le refroidissement d'au moins un des premiers IGCT S1, S2 est assuré par l'intermédiaire d'un deuxième dispositif de refroidissement R2, en prolongement des premiers IGCT S1, S2.
- [0102] De manière alternative au premier dispositif de refroidissement R1 et au deuxième dispositif de refroidissement R2, et comme représenté sur la [Fig.12], le sous-module 101 comprend avantageusement une unité de refroidissement R3 commune à une première diode D1, D2 et à un premier IGCT S1, S2.
- [0103] Comme visible sur les figures 12 à 14, l'unité de refroidissement R3, comprend une plaque 50 dotée d'un premier emplacement 51 destiné à recevoir une première diode D1, D2 et d'un deuxième emplacement 52 destiné à recevoir un premier IGCT S1, S2.
- [0104] Comme il peut être observé sur les figures 14 et 15, la plaque 51 comprend un conduit 53 permettant la circulation d'un fluide réfrigérant au sein de la plaque 50.
- [0105] L'utilisation d'une unité de refroidissement R3 offre un encombrement moindre à l'utilisation, puisqu'il y a utilisation commune d'un même moyen de refroidissement par rapport à un premier dispositif de refroidissement R1 et un deuxième dispositif de refroidissement R2.
- [0106] Dans un troisième sous-mode mode de réalisation non représenté sur les figures, l'ensemble des premières diodes D1, D2 et des premiers IGCT S1, S2 sont disposés dans un même boîtier de type pressé. Dans un tel troisième sous-mode de réalisation, l'on bénéficie des avantages à positionner le premier condensateur C1 et le deuxième condensateur C2 de manière symétrique l'un par rapport à l'autre. En outre, le boîtier des premières diodes D1, D2, et des premiers IGCT S1, S2 étant de même type, ils peuvent être positionnés dans un même stack, ce qui permet de limiter l'encombrement.
- [0107] L'on présente l'architecture du sous-module 101 selon le premier sous-mode de réalisation, en se référant aux figures 6 et 7.
- [0108] Tel que représenté sur les figures 6 à 8 et 10, les premières diodes D1, D2, les premiers IGCT S1, S2 et les condensateurs C1, C2 sont avantageusement reliés entre eux par le biais de barres d'interconnexions 601, 602, 603.
- [0109] De telles barres d'interconnexion 601, 602, 603 se présentent sous la forme de barres s'étendant sensiblement selon leur longueur, et sont réalisées dans un matériau conducteur tel qu'un matériau métallique, par exemple le cuivre, le laiton ou l'aluminium.

- [0110] Comme il peut être observé sur les figures 6 à 8, le premier condensateur C1 comprend avantageusement deux premiers organes de connexion 26, formant chacun respectivement un pôle positif et un pôle négatif du premier condensateur C1. Dans la présente description, on parle d'un premier organe de connexion 26 positif, et d'un premier organe de connexion 26 négatif.
- [0111] De la même manière, le deuxième condensateur C2 comprend deux deuxième organes de connexion 27, formant chacun respectivement un pôle positif et un pôle négatif du deuxième condensateur C2. Dans la présente description, on parle d'un deuxième organe de connexion 27 positif, et d'un deuxième organe de connexion 27 négatif.
- [0112] Dans la première variante de réalisation représentée sur les figures 6 et 7, il est prévu des condensateurs C1, C2 munis respectivement d'uniquement deux organes de connexion 26, 27.
- [0113] Dans la deuxième variante de réalisation représentée sur la [Fig.8], il est prévu des condensateurs C1, C2, chacun munis respectivement de quatre organes de connexion 26, 27.
- [0114] Plus précisément, le premier condensateur C1 comprend quatre premiers organes de connexion 26, à savoir deux premiers organes de connexion 26 positifs et deux premiers organes de connexion 26 négatifs. Le deuxième condensateur C2 comprend quatre deuxième organes de connexion 27, à savoir deux deuxième organes de connexion 27 positifs et deux deuxième organes de connexion 27 négatifs.
- [0115] Dans d'autres variantes de réalisation non représentées, il est prévu des condensateurs C1, C2 munis respectivement de plus de quatre organes ou pôles de connexion c'est-à-dire plus de deux organes de connexion par pôle positifs et négatifs.
- [0116] Avantageusement, les IGCT S1, S2 sont empilés les uns sur les autres formant une première pile 35, également dénommée stack, ce qui permet de limiter l'encombrement de tels composants, tout en maîtrisant les coûts.
- [0117] L'on décrit à présent la manière dont sont connectés les condensateurs C1, C2 aux unités 1, 2 dans la première variante de réalisation.
- [0118] De manière à permettre la connexion entre les unités 1, 2 et les condensateurs C1, C2, il est avantageusement prévu un premier moyen de connexion 28, modélisé dans les figures 4 et 5 par la liaison entre la première borne 15 et le premier connecteur 10. Un tel premier moyen de connexion 28 est visible sur la [Fig.7].
- [0119] Avantageusement la connexion entre un premier organe de connexion 26, et le premier moyen de connexion 28 est réalisée à l'aide d'une première barre d'interconnexion 601.
- [0120] Avantageusement la connexion entre un deuxième organe de connexion 27, et le premier moyen de connexion 28 est réalisée à l'aide d'une deuxième barre

d'interconnexion 602.

- [0121] L'on décrit à présent la manière dont sont connectés les condensateurs C1, C2 aux unités de commutation 1, 2 dans la deuxième variante de réalisation, représentée [Fig.8].
- [0122] Dans une telle deuxième variante de réalisation, le premier condensateur C1 comprend quatre premiers organes de connexion 26, c'est-à-dire deux premiers organes de connexion 26 formant un pôle positif, et deux premiers organes de connexion 26 formant un pôle négatif.
- [0123] Dans une telle deuxième variante de réalisation, le deuxième condensateur C2 comprend quatre deuxièmes organes de connexion 27, c'est-à-dire deux deuxièmes organes de connexion 27 formant un pôle positif, et deux deuxièmes organes de connexion 27 formant un pôle négatif.
- [0124] Dans une telle variante, il est par exemple prévu une première barre d'interconnexion 601 réalisant la connexion électrique entre le premier moyen de connexion 28 et deux premiers organes de connexion 26.
- [0125] Avantagement, la première barre d'interconnexion 601 présente avantagement une première partie de liaison 6010 et une première partie de connexion 6011, reliées entre elles, de sorte à former un T. La première partie de connexion 6011 est par exemple reliée aux premiers organes de connexion 26, dans l'exemple de la [Fig.8] aux deux premiers organes de connexion 26 et à la première partie de liaison 6010.
- [0126] Dans une telle variante, il est par exemple prévu une deuxième barre d'interconnexion 602 réalisant la connexion électrique entre le premier moyen de connexion 28 et deux deuxièmes organes de connexion 28, la barre d'interconnexion présentant sensiblement une forme de T.
- [0127] Avantagement, la deuxième barre d'interconnexion 602 présente une deuxième partie de liaison 6020 et une deuxième partie de connexion 6021, reliées entre elles, de sorte à former un T. La deuxième partie de connexion 6021 est par exemple reliée aux deuxièmes organes de connexion 27, dans l'exemple de la [Fig.8] aux deux deuxièmes organes de connexion 27 et à la deuxième partie de liaison 6020.
- [0128] Les premières barres d'interconnexions 601 ainsi que les deuxièmes barres d'interconnexion 602 sont avantagement disposées en parallèles deux à deux, et présentent en conséquence toutes la même longueur. De cette façon, le sous-module 101 présente une configuration symétrique. En outre, une telle disposition est favorable quant au montage du sous-ensemble 101.
- [0129] Il est à noter que l'utilisation de condensateurs C1, C2 présentant une pluralité d'organes de connexion 26, 27 n'a pas d'impact négatif quant au fonctionnement global du sous-module. Aussi, le sous-module 101 est utilisable quel que soit le nombre d'organes de connexion 26, 27. Une telle caractéristique est avantagement, car

offre une grande variété de condensateurs possibles pour mettre en œuvre le sous-module 101.

- [0130] S'agissant des interconnexions, le principe exposé dessus est applicable pour un condensateur C1, C2 ayant chacun plus que deux organes de connexion 26, 27 positifs et plus de deux organes de connexion 26, 27 négatifs. Ainsi, de manière générale, un condensateur présentant un nombre n d'organes de connexion 26, 27 peut être connecté aux unités de commutation 1, 2 en utilisant un nombre n de barre d'interconnexion.
- [0131] L'on décrit à présent un sous-module 101 selon un deuxième mode de réalisation en se référant aux figures 9 et 10. Un tel sous-module 101 présente une structure en pont complet, désignée également par l'expression « Full-Bridge ».
- [0132] Malgré sa complexité et son coût supérieur à celui du premier mode de réalisation (demi-pont, ou « half-bridge »), la topologie sous la forme d'un pont complet est intéressante car permet d'éviter les risques de court-circuit côté courant continu de par la présence de condensateurs qui se situent sur le trajet d'un courant de défaut. En outre, une telle topologie en pont complet est avantageuse en raison de sa réversibilité.
- [0133] Comme il peut être constaté sur la [Fig.9], une telle topologie reprend la structure du premier circuit 3, à laquelle est ajoutée un deuxième circuit 104, connecté entre la première borne 15 et la deuxième borne 16. Aussi, un sous-module 101 selon le deuxième mode de réalisation reprend les caractéristiques et avantages décrits ci-dessus pour le premier mode de réalisation.
- [0134] Outre les caractéristiques relatives au premier circuit 103, le sous-module 101 comprend le deuxième circuit 104, qui intègre une troisième unité de commutation 3 et une quatrième unité de commutation 4 disposées en série l'une par rapport à l'autre, et connectées en parallèle à un troisième condensateur C3.
- [0135] Plus particulièrement, chacune des troisièmes et quatrièmes unités de commutation 3, 4 comprend une deuxième diode D3, D4, et un deuxième IGCT S3, S4, disposés en parallèle l'un par rapport à l'autre.
- [0136] Dans un tel deuxième mode de réalisation, le sous-module 101 comprend un troisième connecteur 18 électriquement connecté à un premier pôle 19 de la deuxième diode D3, D4 et un premier pôle 20 du deuxième IGCT S3, S4.
- [0137] Dans un tel deuxième mode de réalisation, le sous-module 101 englobe un quatrième connecteur 23 électriquement connecté à un deuxième pôle 21 de la deuxième diode D3, D4 et un deuxième pôle 22 du deuxième IGCT S3, S4.
- [0138] Comme il peut être observé sur la [Fig.9], le sous-module 101 comprend une quatrième borne 24 connectée électriquement au quatrième connecteur 18 de la troisième unité de commutation 3, et à la première borne 15.
- [0139] Le deuxième circuit 104 comprend avantageusement une cinquième borne 25

connectée électriquement au quatrième connecteur 23 de la quatrième unité de commutation 4 ainsi qu'à la deuxième borne 16.

- [0140] Avantageusement, le deuxième circuit 104 comprend une sixième borne 33 connectée électriquement à la fois au quatrième connecteur 23 de la troisième unité 3 de commutation, et au troisième connecteur 18 de la quatrième unité 4 de commutation. La sixième borne 33 permet avec la troisième borne 17 le branchement du sous-module 101 à un demi-bras 102 du dispositif 1.
- [0141] Selon le deuxième mode de réalisation, un troisième condensateur C3 est disposé entre la quatrième borne 24 et la cinquième borne 25, autrement dit en parallèle du premier condensateur C1 et du deuxième condensateur C2.
- [0142] Un tel troisième condensateur C3 permet la réalisation d'une capacité équivalente CSM, qui présente une valeur égale à la somme des valeurs du premier condensateur C1, du deuxième condensateur C2 et du troisième condensateur C3.
- [0143] L'on se reporte à la [Fig.10] représentant l'architecture du sous-module 101 selon le deuxième mode de réalisation.
- [0144] Comme il peut être remarqué sur la [Fig.10], le troisième condensateur C3 est positionné symétriquement au premier condensateur C1 par rapport au deuxième condensateur C2, par exemple par rapport à un deuxième plan médian P' passant par le milieu du deuxième condensateur C2, et parallèle au premier plan médian P. De cette façon, les deuxièmes IGCT D3, D4 et les deuxièmes diodes D3, D4 sont positionnés entre le premier condensateur C1 et le troisième condensateur C3.
- [0145] De cette façon, le sous-module 101 présente une architecture symétrique, ce qui permet d'éviter l'apparition des phénomènes de « snap-off » et du phénomène d'avalanche dynamique expliqué précédemment, similairement à ce qui peut être constaté avec le premier mode de réalisation.
- [0146] Dans le deuxième mode de réalisation, la valeur du premier condensateur C1, du deuxième condensateur C2, et du troisième condensateur C3 sont identiques, la somme des valeurs des condensateurs donnant la valeur de la capacité équivalente CSM.
- [0147] Comme il peut être observé sur la [Fig.10], le troisième condensateur C3 disposé symétriquement au deuxième condensateur par rapport à un troisième plan médian P'', les deuxièmes IGCT S3, S4 (non visibles [Fig.10]) et deuxièmes diodes D3, D4 étant positionnés entre le troisième condensateur C3 et le deuxième condensateur C2.
- [0148] Avantageusement, les deuxièmes IGCT S3, S4 sont empilés l'un sur l'autre, formant une deuxième pile 36 (ou stack), ce qui permet de limiter l'encombrement de tels composants, tout en maîtrisant les coûts.
- [0149] Avantageusement, les deuxièmes IGCT S3, S4 sont disposés dans un boîtier de type pressé, similairement aux premiers IGCT S1, S2.
- [0150] Avantageusement, et tel que représentés sur la [Fig.10], les deuxièmes diodes D3, D4

sont toutes les deux disposées dans un boîtier de type module plastique, similairement aux premières diodes D1, D2 du premier-sous mode de réalisation.

- [0151] Les avantages liés au fait d'utiliser au sein d'un même sous-module 101 à la fois des boîtiers de type pressé, et des boîtiers de type module plastique sont identiques à ceux du premier mode de réalisation, à savoir la possibilité de se passer d'un circuit supprimeur.
- [0152] Avoir des IGCT S3, S4 et diodes D3, D4 présentant deux technologies différentes de boîtier engendre un encombrement plus important que si l'ensemble des composants disposés chacun dans une même technologie de boîtier. Cependant, de tels inconvénients sont surpassés par le fait de pouvoir se passer de circuit supprimeur, et d'avoir une configuration symétrique.
- [0153] Dans d'autres mises en œuvre non représentées, une deuxième diode D3, D4 est disposée dans un boîtier de type module plastique, une deuxième diode D3, D4 est disposé dans un boîtier de type pressé, similairement aux premières diodes D1, D2 du deuxième-sous mode de réalisation. Les avantages sont similaires à ceux décrits ci-dessus lorsque l'ensemble des deuxième diodes D3, D4 sont toutes disposées dans un boîtier de type plastique.
- [0154] Dans d'autres mises en œuvre non représentées, l'ensemble des deuxième diodes D3, D4 sont dans un boîtier de type pressé. Dans une telle mise en œuvre, l'on bénéficie des avantages à positionner le premier condensateur C1 et le deuxième condensateur C2 de manière symétrique l'un par rapport à l'autre. En outre, le boîtier des premières diodes D1, D2, et des premiers IGCT S1, S2 étant de même type, ils peuvent être positionnés dans un même stack, ce qui permet de limiter l'encombrement.
- [0155] Avantageusement, le troisième condensateur C3 comprend avantageusement deux troisièmes organes de connexion 30, formant chacun respectivement un pôle positif et un pôle négatif du troisième condensateur C3. Dans la présente description, on parle d'un troisième organe de connexion 30 positif, et d'un troisième organe de connexion 30 négatif.
- [0156] Avantageusement, le sous-module 101 comprend un deuxième moyen de connexion 29 correspondant à la localisation du troisième connecteur 18 de la troisième unité de commutation 3.
- [0157] De manière à permettre la réalisation de la connexion électrique du troisième condensateur 3, il est prévu une troisième barre d'interconnexion 603 reliant le troisième organe de connexion 30 positif et le troisième moyen de connexion, ainsi qu'une quatrième barre d'interconnexion 604 reliant un deuxième organe de connexion 27 positif et le deuxième moyen de connexion 31.
- [0158] Avantageusement, il est prévu une autre troisième barre d'interconnexion 603 et une autre quatrième barre d'interconnexion 604 pour permettre de réaliser la connexion

électrique entre le deuxième moyen de connexion 31 et respectivement le troisième organe de connexion 30 et le deuxième organe de connexion 27 négatif.

- [0159] Comme décrit ci-dessus pour le premier mode de réalisation, dans des mises en œuvre, non représentées sur les figures, le troisième condensateur C3 comprend au moins quatre organes de connexion 30.
- [0160] Avantageusement et indépendamment du premier ou du deuxième mode de réalisation, une des diodes D1, D2, D3, D4 est une diode à carbure de silicium, également connu sous la dénomination de diode Sic. L'utilisation d'un tel matériau améliore le comportement en commutation pour les diodes D1, D2, D3, D4, c'est-à-dire de limiter les pertes et de diminuer le temps de recouvrement inverse.
- [0161] Communément aux modes de réalisation décrits, la capacité équivalente CSM présente une valeur située entre 1 et 10 mF. Une telle valeur est fixée en fonction de la tension à fournir du sous-module 101. La capacité équivalente délivre l'énergie nécessaire au module, et une telle énergie est fonction de la valeur de la capacité équivalente. Une telle plage de valeur est celle classiquement utilisée dans les sous-modules de l'état de la technique. Aussi, l'utilisation du sous-module tel que décrit ci-dessus ne nécessite pas de modifier la valeur totale de la capacité du sous-module 101.
- [0162] La capacité de chacun des condensateurs C1, C2 dans le premier mode de réalisation est égale à la capacité équivalente CSM divisée par deux. Dans le deuxième mode de réalisation, la capacité chacun des condensateurs C1, C2, C3 est égale à la capacité équivalente CSM divisée par trois. Aussi, les condensateurs C1, C2, C3 présentent tous une valeur de capacité égale, laquelle correspond à la capacité équivalente CSM divisée par le nombre de condensateurs employés.
- [0163] Avantageusement, au moins une barre d'interconnexion 601, 602, 603 présente plusieurs couches minces d'un métal conducteur isolés les unes des autres. Ainsi, une barre d'interconnexion laminée comprend par plusieurs couches de cuivre séparées les unes des autres d'un isolant réalisé en polymère.
- [0164] L'utilisation d'un tel matériau isolant permet de limiter au maximum la valeur des inductances parasites L1, L2, L3.
- [0165] Avantageusement, le sous-module 101 présente un circuit de protection 107, comprenant par exemple notamment en la mise en place d'un thyristor de protection T.
- [0166] Dans le premier mode de réalisation et tel que représenté [Fig.5], un tel thyristor de protection T est connecté entre la troisième borne 17 et le deuxième connecteur 13. Aussi, la présence d'un courant de défaut circulant au sein de la diode D2 de la deuxième unité 2. La première unité 1 est protégée par la présence du premier et deuxième condensateur C1, C2, lequel permet d'absorber les surtensions.
- [0167] Le sous-module 101 et le module MMC 100 tels que décrits ci-dessus présentent plusieurs avantages par rapport aux dispositifs connus de l'art antérieur, en particulier:

- un encombrement réduit par rapport aux dispositifs utilisant un circuit sup-
presseur ;
- un coût réduit, le fait de pouvoir se passer d'un circuit suppresseur limite le
nombre de composants à utiliser ;
- des pertes en lignes limités par rapport aux dispositifs utilisant des IGBT,
puisque le sous-module 101 permet l'utilisation d'IGCT.

Revendications

[Revendication 1]

Sous-module (101) d'un demi-bras (102) d'un convertisseur alternatif-continu de type MMC pour usage HVDC (100), le sous-module (101) comprenant un premier circuit électrique (103) intégrant

- une première unité de commutation (1) et une deuxième unité de commutation (2) comprenant chacune une première diode (D1, D2), un premier IGCT (S1, S2), un premier connecteur (10) électriquement connecté à un premier pôle (11) de la première diode (D1, D2) et un premier pôle (12) du premier IGCT (S1, S2), et un deuxième connecteur (13) électriquement connecté à un deuxième pôle (14) de la première diode (D1, D2) et un deuxième pôle (32) du premier IGCT (S1, S2),
- une première borne (15) électriquement connectée au premier connecteur (10) de la première unité de commutation (1),
- une deuxième borne (16) connectée électriquement au deuxième connecteur (13) de la deuxième unité de commutation (2), et
- une troisième borne (17) connectée électriquement à la fois au deuxième connecteur (13) de la première unité de commutation (1) et au premier connecteur (10) de la deuxième unité de commutation (2),
- une capacité (CSM) disposée entre la première borne (15) et la deuxième borne (16),

les premiers IGCT (S1, S2) étant disposés dans un boîtier de type pressé,

la capacité (CSM) étant formée par un premier condensateur (C1) et un deuxième condensateur (C2), tous deux placés entre la première borne (15) et la deuxième borne (16), les premier et deuxième condensateurs (C1, C2) étant disposés de part et d'autres des premières diodes (D1, D2) et des premiers IGCT (S1, S2), symétriquement l'un par rapport à l'autre par rapport à un premier plan médian (P) coupant les premières diodes (D1, D2) et les premiers IGCT (S1, S2), le premier plan médian (P) étant un plan de symétrie du sous-module (101).

[Revendication 2]

Sous module (101) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** les premières diodes (D1, D2) sont toutes disposées dans un boîtier

de type module plastique, ou une des premières diodes (D1, D2) de la première et/ou de la deuxième unité de commutation (1, 2) est disposée dans un boîtier de type module plastique et l'autre diode (D1, D2) est disposée dans un boîtier de type pressé.

[Revendication 3] Sous-module (101) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comprend une unité de refroidissement (R3) comprenant une plaque (50) équipée d'un premier emplacement (51) destiné à recevoir une première diode (D1, D2), et un deuxième emplacement (52) destiné à recevoir un premier IGCT (S1, S2), la plaque (50) comprenant un conduit (53) apte à recevoir un fluide réfrigérant.

[Revendication 4] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** première diode (D1, D2) est une diode en matériau comprenant du carbure du silicium.

[Revendication 5] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier condensateur (C1) comprend un premier organe de connexion (26), le deuxième condensateur (C2) comprend un deuxième organe de connexion (27), la première borne (15) comprend un premier moyen de connexion (28), le premier moyen de connexion (28) et le premier organe de connexion (26) sont reliés par le biais d'une première barre d'interconnexion (601) et le premier moyen de connexion (28) et le deuxième organe de connexion (27) sont reliés par le biais d'une deuxième barre d'interconnexion (602), les barre d'interconnexions (601, 602) étant symétriques entre elles par rapport au premier plan médian (P).

[Revendication 6] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier condensateur (C1) comprend un autre premier organe de connexion (26), les premiers organes de connexion (26) sont disposés alignés l'un par rapport à l'autre, définissant une ligne fictive parallèle au premier plan médian (P), le deuxième condensateur (C2) comprend un autre deuxième organe de connexion (27), les deuxièmes organes de connexion (27) sont disposés alignés l'un par rapport à l'autre, définissant une ligne fictive parallèle au premier plan médian (P), la première barre d'interconnexion (601) reliant électriquement les premiers organes de connexion (26) à un premier moyen de connexion

(28),

la deuxième barre d'interconnexion (602) reliant électriquement les deuxièmes organes de connexion (27) au premier moyen de connexion (28).

- [Revendication 7] Sous-module selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'** une première barre d'interconnexion (601) comprend une première partie de liaison (6010), et une première partie de connexion (6011), la première partie de liaison (6010) s'étendant entre un premier moyen de connexion (28) et la première partie de connexion (6011), et la première partie de connexion (6011) reliant les premiers organes de connexion (26) entre eux, et une deuxième barre d'interconnexion (602) comprend une deuxième partie de liaison (6020), et une deuxième partie de connexion (6021), la deuxième partie de liaison (6020) s'étendant entre le premier moyen de connexion (28) et la deuxième partie de liaison (6020), la deuxième partie de connexion reliant les deuxième organes de connexion (27) entre eux, les barres d'interconnexion (601, 602) présentant une forme de T.
- [Revendication 8] Sous-module (101) selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce qu'** au moins une barre d'interconnexion (601, 602) est une barre d'interconnexion laminée.
- [Revendication 9] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les condensateurs (C1, C2) présentent une même valeur égale à la moitié de la valeur de la capacité (CSM).
- [Revendication 10] Sous module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il comprend en outre un deuxième circuit électrique (104) intégrant :
- une troisième unité de commutation (3) et une quatrième unité de commutation (4) comprenant chacune une deuxième diode (D3, D4), un deuxième IGCT (S3, S4), un troisième connecteur (18) électriquement connecté à un premier pôle (19) de la deuxième diode (D3, D4) et à un premier pôle (20) du deuxième IGCT (S3, S4), et un quatrième connecteur (23) électriquement connecté à un deuxième pôle (21) de la deuxième diode (D3, D4) et à un deuxième pôle (22) du deuxième IGCT (S3, S4),
 - une quatrième borne (24) connectée électriquement au troisième connecteur (18) de la troisième unité de com-

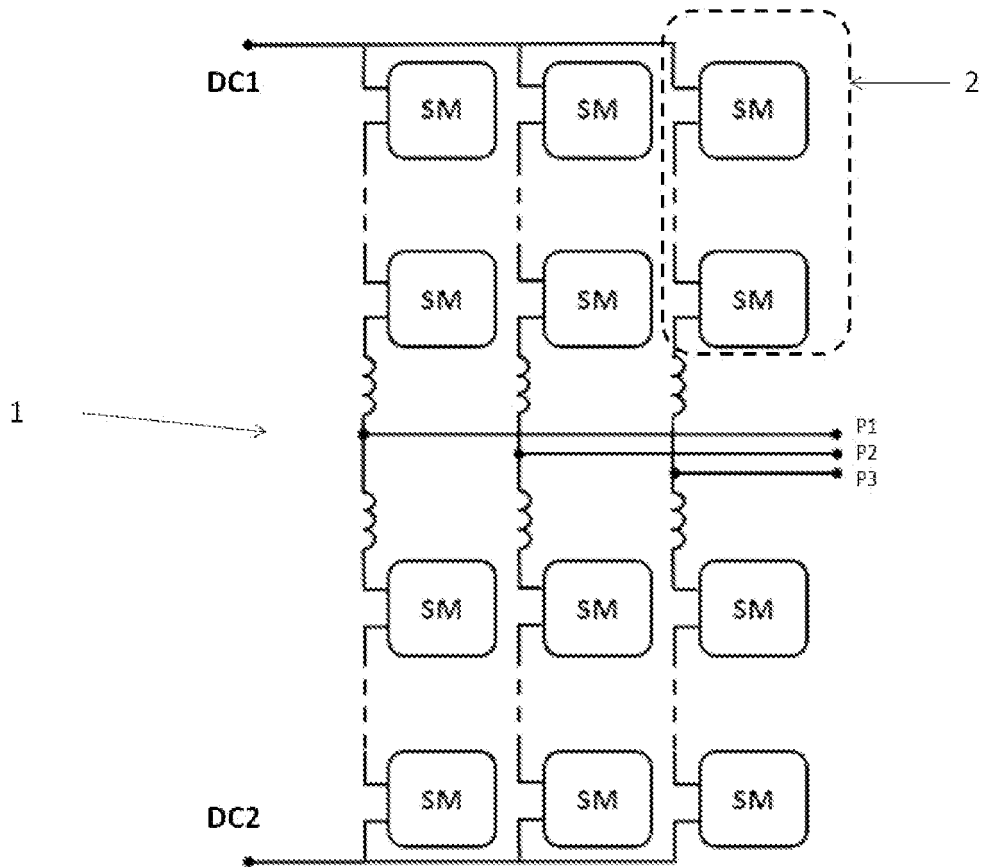
- mutation (3), et à la première borne (15),
- une cinquième borne (25) connectée électriquement au quatrième connecteur (23) de la quatrième unité de commutation (4) ainsi qu'à la deuxième borne (16),
- un sixième borne (33) connectée électriquement à la fois au quatrième connecteur (23) de la troisième unité (3) de commutation et au troisième connecteur (18) de la quatrième unité (4) de commutation,
- un troisième condensateur (C3) disposé entre la quatrième borne (24) et la cinquième borne (25),

le troisième condensateur (C3) étant positionné symétriquement au premier condensateur (C1) par rapport à un deuxième plan médian (P') passant par le milieu du deuxième condensateur (C2), et parallèle au premier plan médian (P), les deuxièmes IGCT (D3, D4) et les deuxièmes diodes (D3, D4) étant positionnés entre le premier condensateur (C1) et le troisième condensateur (C3).

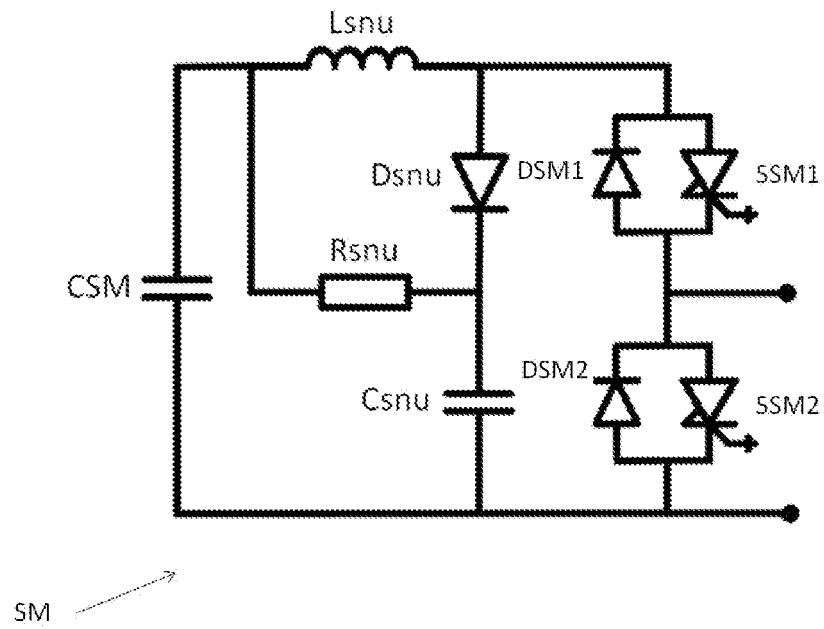
- [Revendication 11] Sous-module selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les deuxièmes IGCT (S3, S4) sont disposés dans un boîtier pressé, les deuxièmes diodes (D3, D4) sont toutes les deux disposées dans un boîtier de type module plastique, ou une des diodes (D3, D4) de la troisième et/ou de la quatrième unité de commutation (1, 2) est disposée dans un boîtier de type module plastique, l'autre deuxième diode (D1, D2) étant disposée dans un boîtier pressé.
- [Revendication 12] Sous-module (101) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'une** deuxième diode (D3, D4) est une diode comprenant du carbure du silicium.
- [Revendication 13] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les condensateurs (C1, C2, C3) présentent une même valeur égale au tiers de la capacité (CSM).
- [Revendication 14] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la capacité (CSM) présente une valeur évoluant dans une plage entre 1 et 10 mF.
- [Revendication 15] Sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend un thyristor (T) en parallèle de la deuxième unité de commutation (2), le thyristor (T) étant destiné à protéger le sous-module contre des courts-circuits.

[Revendication 16] Convertisseur alternatif-continu de type MMC pour usage HVDC (100) comprenant le sous-module (101) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

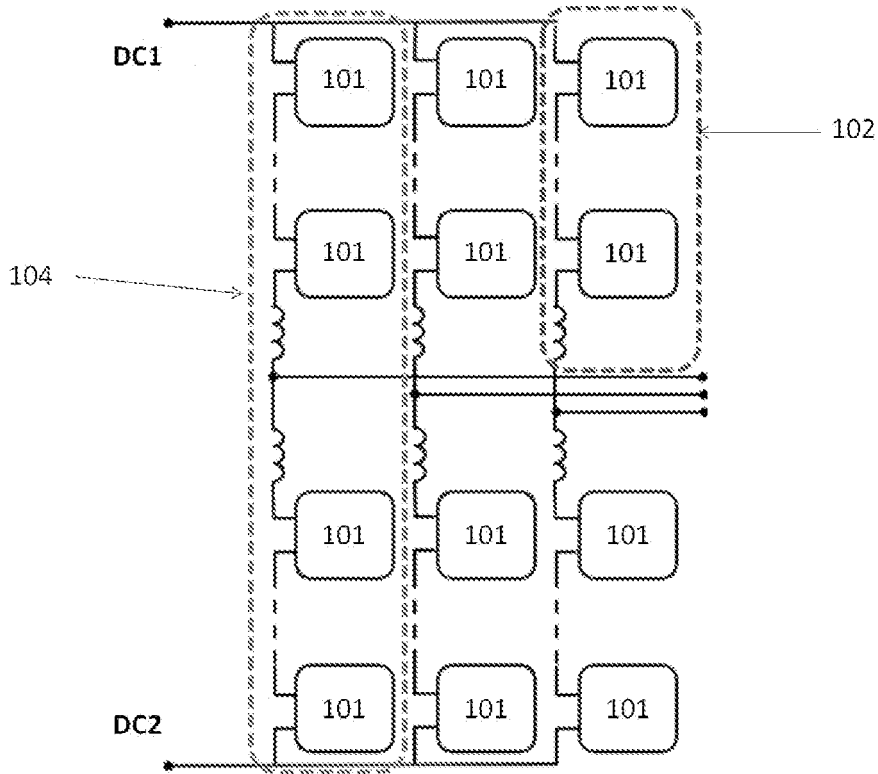
[Fig. 1]



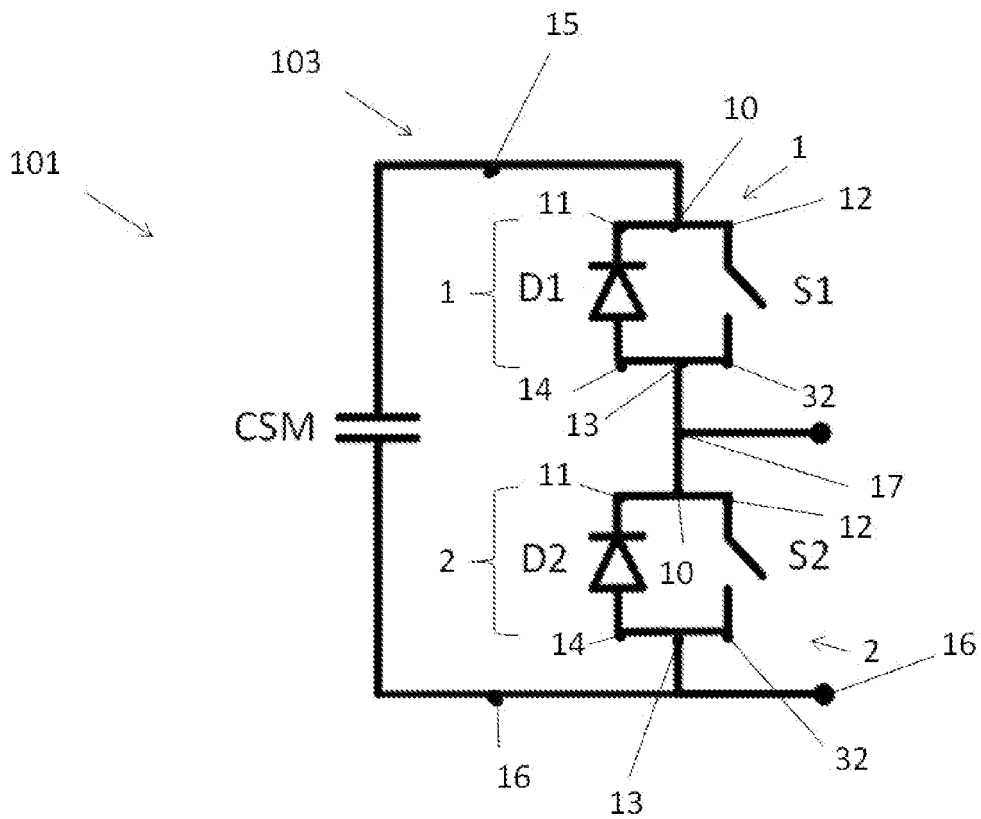
[Fig. 2]



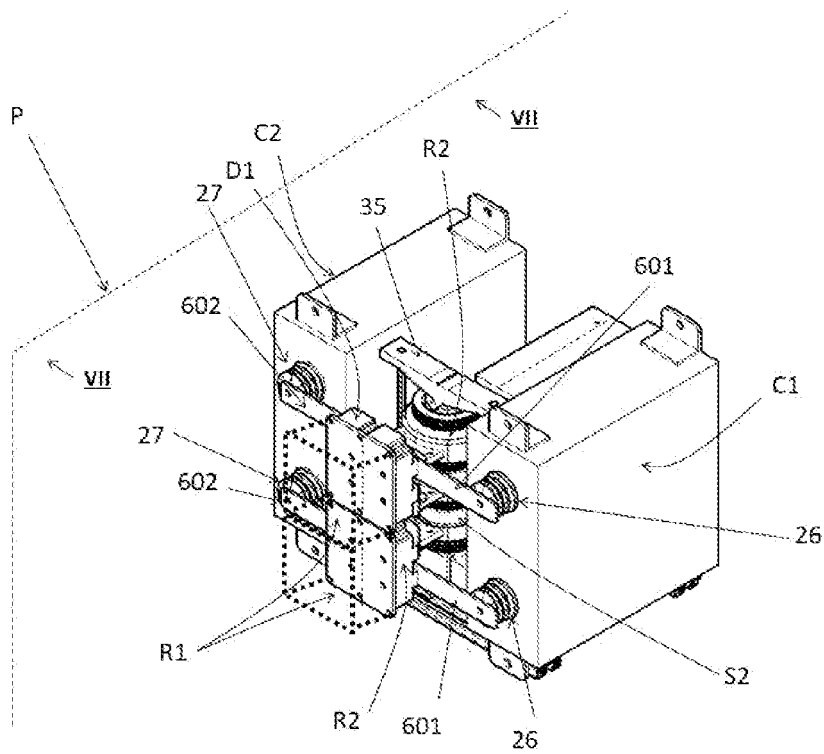
[Fig. 3]



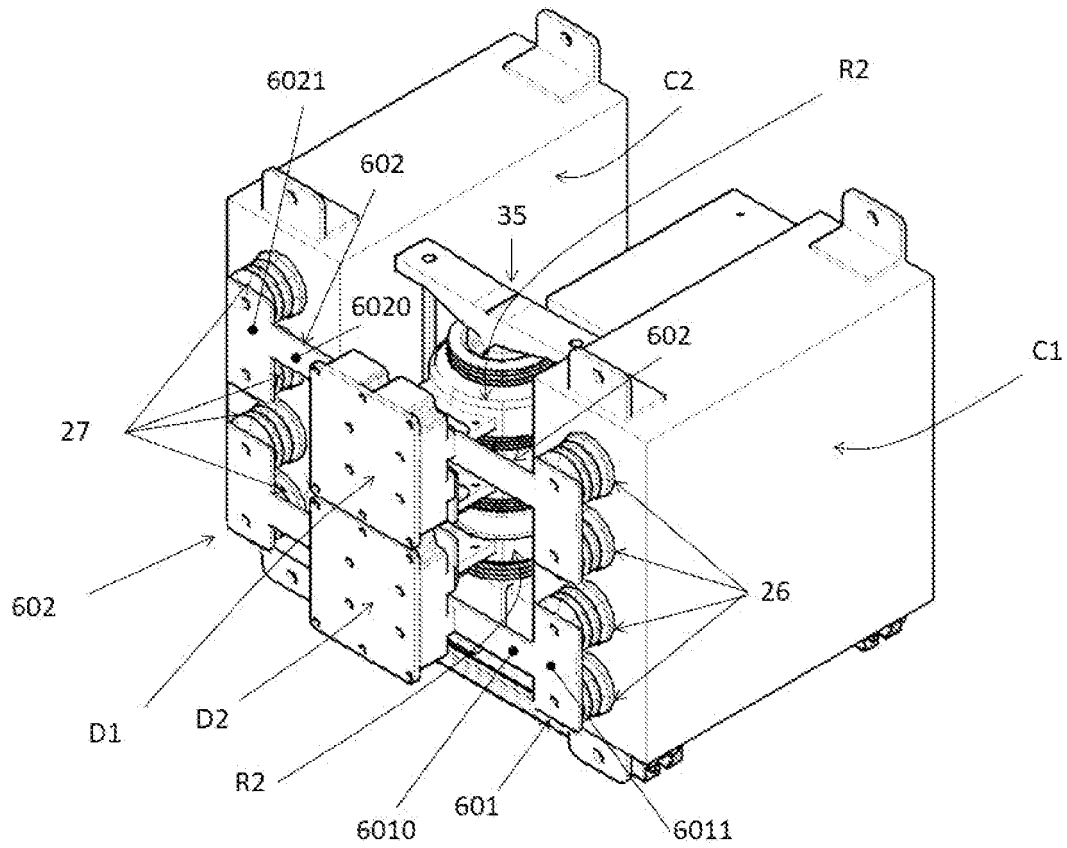
[Fig. 4]



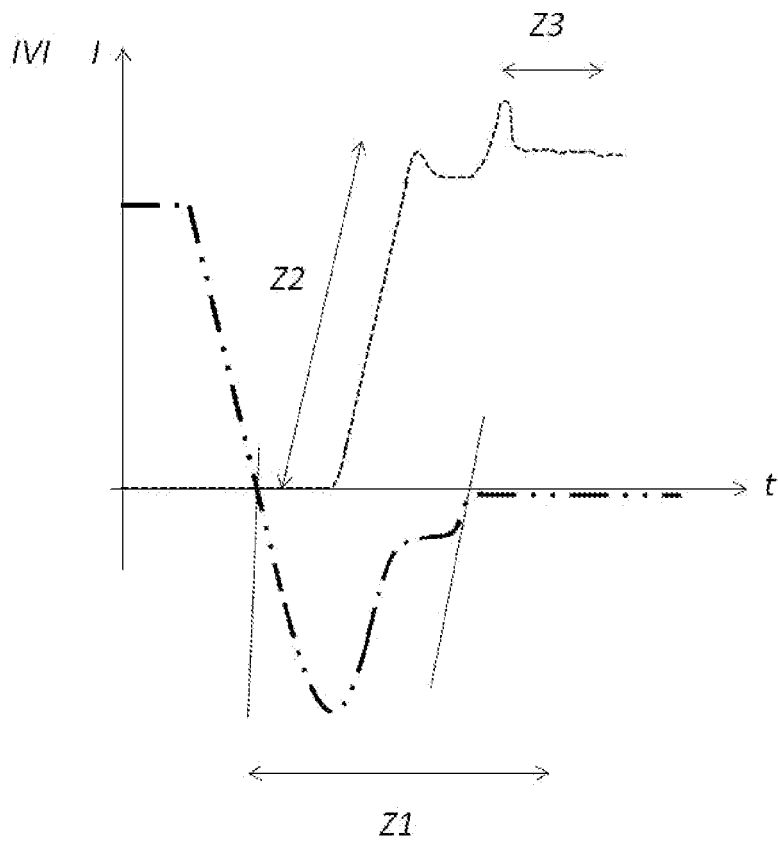
[Fig. 7]



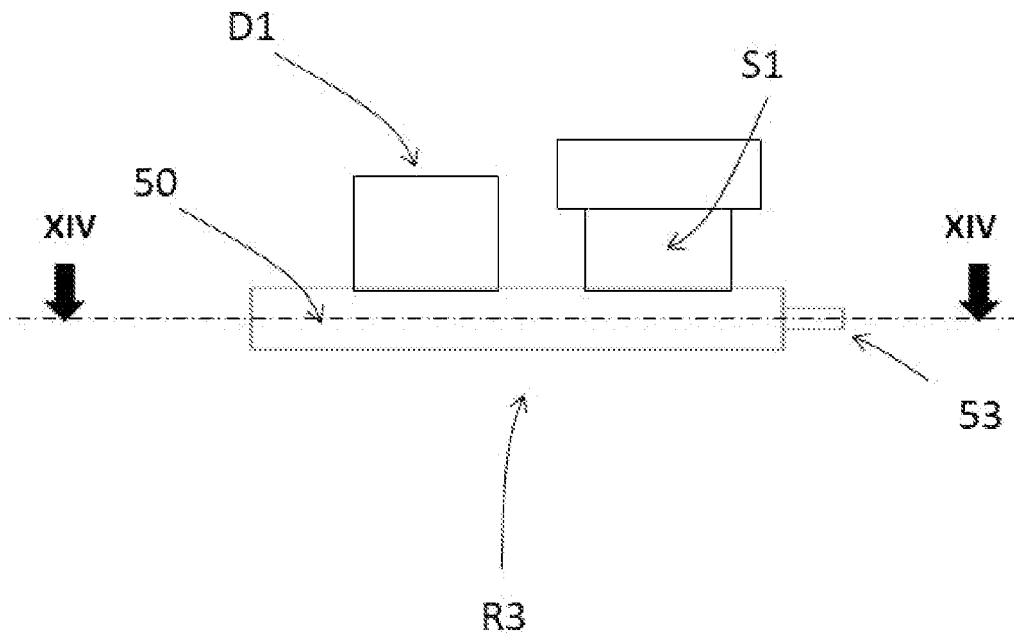
[Fig. 8]



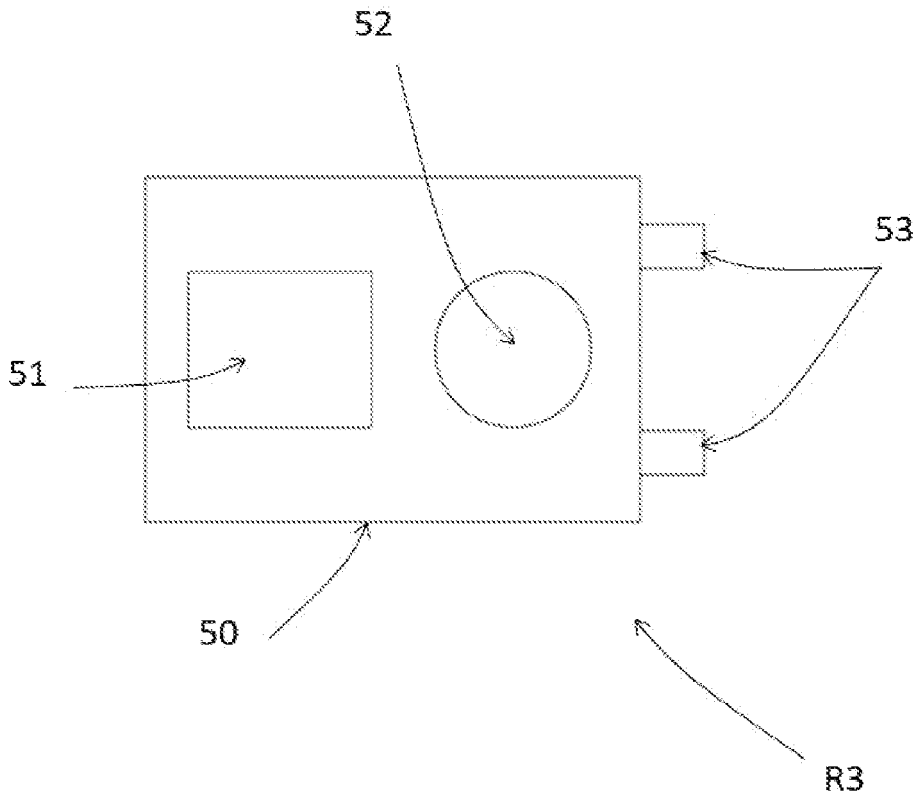
[Fig. 11]



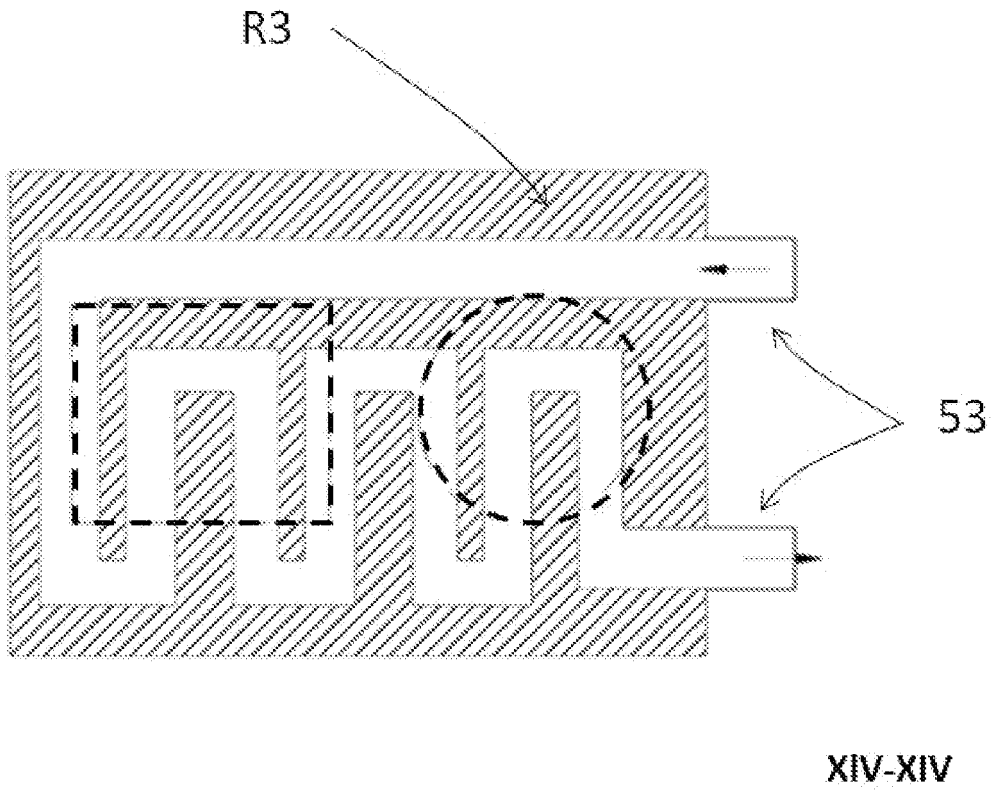
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 929208
FR 2315061

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	MODEER TOMAS ET AL: "Implementation and testing of high-power IGBT-based cascaded-converter cells", 2014 IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), IEEE, 14 septembre 2014 (2014-09-14), pages 5355-5359, XP032680689, DOI: 10.1109/ECCE.2014.6954135 [extrait le 2014-11-11]	1-9, 13-16	H02M 5/257
A	* page 5356 - page 5358; figures 1,2,4 * -----	10-12	
A	ZENG RONG ET AL: "Integrated Gate Commutated Thyristor-Based Modular Multilevel Converters: A Promising Solution for High-Voltage dc Applications", IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS MAGAZINE, IEEE, US, vol. 13, no. 2, 1 juin 2019 (2019-06-01), pages 4-16, XP011731626, ISSN: 1932-4529, DOI: 10.1109/MIE.2019.2906952 [extrait le 2019-06-21] * pages 10-11; figures 7-9 * -----	1-16	
A	CN 114 342 241 A (LIYUNHAISEN MACHINE MFG COMPANY) 12 avril 2022 (2022-04-12) * figures 3,5 * & US 12 003 185 B2 (REINHAUSEN MASCHF SCHEUBECK [DE]) 4 juin 2024 (2024-06-04) * colonne 8; figures 3,5 * -----	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 septembre 2024		Gusia, Sorin	
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	

3
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2315061 FA 929208**

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 **02 - 09 - 2024**
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
CN 114342241 A	12 - 04 - 2022	CN 114342241 A	12 - 04 - 2022
		EP 3796539 A1	24 - 03 - 2021
		JP 2022548601 A	21 - 11 - 2022
		KR 20220061989 A	13 - 05 - 2022
		US 2024048063 A1	08 - 02 - 2024
		WO 2021052730 A1	25 - 03 - 2021
