



Description

Titre de l'invention : Système de conversion électrique de type multi niveaux protégé contre une surintensité électrique

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] Le domaine technique de l'invention est celui de la protection contre les surintensités d'un système de conversion électrique comprenant un onduleur de type multi niveaux et plus particulièrement des onduleurs multi niveaux utilisant des interrupteurs électroniques à base de matériau à grand gap.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] Les onduleurs sont des convertisseurs de tension continue, en une tension alternative. Ils comportent autant de bras que de phases de la charge électrique à alimenter.

[0003] Avec l'électrification croissante des aéronefs, et en particulier l'électrification des organes propulsifs, le réseau électrique à bord doit inclure des sources d'alimentation DC haute et très haute tension, pour répondre au besoin de puissance. Dans un tel environnement, les topologies d'onduleur dites multi-niveaux, à n niveaux de tension avec n supérieur ou égal à 3 (un onduleur usuel est à deux niveaux de tension (les potentiels de tension de chacune des deux bornes reliées chacune à un bus de tension) permettent de réduire les niveaux de tension que doivent supporter les interrupteurs électroniques quand ils sont commandés à l'état fermé: chaque interrupteur à l'état fermé n'a à supporter qu'une fraction de la tension DC de la source d'alimentation. Ces topologies d'onduleur multi-niveaux sont également intéressantes pour leurs propriétés spectrales (moins d'harmoniques). Le nombre de composants nécessaires et les performances associées dépendent des topologies multi-niveaux choisies. Ainsi un onduleur multi-niveaux comprend au moins une ligne intermédiaire et deux bornes formant trois lignes de niveau (la ligne intermédiaire et les deux lignes de chaque borne)

[0004] Par « ligne de niveau » de l'onduleur on entend chaque ligne de tension intermédiaire et chacune des deux bornes reliées au bus de tension continu correspondant, ainsi par exemple un onduleur à trois niveaux comprend trois lignes de niveaux dont une seule ligne de tension intermédiaire et un onduleur à cinq niveaux comprend cinq lignes de niveaux dont trois lignes de tension intermédiaire.

[0005] Quelle que soit la topologie d'onduleur multi niveaux envisagée, elle doit répondre aux impératifs de sécurité et fiabilité en vigueur en aéronautique. C'est à dire, de tels onduleurs doivent pouvoir continuer à fonctionner en isolant un ou des bras ou bien être forcés dans un état dans lequel il ne permet pas de propager une panne sérieuse, en particulier touchant au réseau électrique de bord, en cas de défaillance d'un ou de ses composants, et plus particulièrement des interrupteurs électroniques. En pratique, il

existe deux types de défaut, à savoir le défaut de Circuit Ouvert (CO) et/ou de Court-Circuit (CC).

- [0006] Le risque de panne particulièrement critique est le défaut de court-circuit qui entraîne un courant anormalement élevé qui peut écrouler le réseau électrique de bord. Ce défaut peut être dû à un court-circuit dans une charge en sortie de l'onduleur, par exemple dans un bobinage de machine synchrone à aimant permanent, ou dans un bras de l'onduleur et plus particulièrement dans un interrupteur électronique. Un défaut de type circuit ouvert est moins critique en termes de sécurité, car il se traduit principalement par une dégradation des performances de l'onduleur, qui dégradera le fonctionnement /les performances des charges alimentées par cet onduleur.
- [0007] On s'intéresse dans la suite à la détection de défauts de type court-circuit et à la neutralisation de tels défauts dans l'onduleur.
- [0008] Lorsque les interrupteurs électroniques des bras de l'onduleur sont des transistors de puissance en technologie IGBT, une technique connue de détection de court-circuit est la mesure de désaturation de transistor IGBT au moyen d'une diode de désaturation. On exploite le fait qu'en régime linéaire (désaturation), le courant dans un transistor IGBT commandé à l'état passant est limité à une valeur imposée par la tension de grille. Et en régime sans défaut, la tension collecteur-émetteur est faible. Une technique correspondante est par exemple décrite dans le document EP2529476A1 pour un onduleur classique, simple niveau, à transistors IGBT.
- [0009] Une autre technique de détection d'un régime de court-circuit est la mesure directe de courant, mais la solution devient vite très coûteuse en fonction du nombre de niveaux de l'onduleur, car elle impose d'intégrer un capteur de courant ou une structure à miroir de courant par transistor de puissance.
- [0010] Mais surtout, on a expliqué que la tendance actuelle dans l'électronique de puissance est à l'utilisation de transistors de puissance de type MOSFET à grand gap, par exemple SiC ou GaN, qui offrent de meilleures performances que les transistors IGBT: haute tenue en tension, forte vitesse de commutation et haute température de fonctionnement. Dans ce contexte la protection par mesure à désaturation n'est plus opérationnelle. En effet, du fait des caractéristiques intrinsèques des transistors à grand gap, en particulier une résistance à l'état passant très faible, la tension de seuil de référence pour la détection de désaturation correspond alors à des niveaux de courant beaucoup trop élevés, qui seraient dommageables pour le réseau électrique de bord.
- [0011] Par ailleurs, en cas de détection d'un défaut de type court-circuit, la mesure de protection consiste à imposer une tension de blocage sur la grille de l'interrupteur électronique concerné. Mais quand il s'agit d'un interrupteur électronique de type grand gap, le blocage brutal de l'interrupteur peut entraîner un phénomène d'oscillation avec mise en avalanche et sur-courant, ce qui n'est pas souhaité.

[0012] Un objet de l'invention est de répondre à ces diverses problématiques, et en particulier de proposer une détection intégrée de défauts de type court-circuit dans une topologie d'onduleurs multiniveaux, qui soit rapide et fiable, et facile et peu coûteuse à mettre en œuvre et intégrer. Un autre objet de l'invention est de proposer une protection contre les courts-circuits, intégrée aux onduleurs et indépendante de la technologie de semi-conducteur et applicable notamment à des technologies de semi-conducteur à grand gap.

Résumé de l'invention

[0013] L'invention offre une solution technique à au moins un des problèmes évoqués précédemment, en permettant à un onduleur de type multiniveaux (au moins trois niveaux) d'avoir une détection de court-circuit rapide et simple.

[0014] L'invention concerne donc un système de conversion électrique comprenant :

- un onduleur agencé selon une topologie de type multi niveaux à k bras identiques montés en parallèle les uns par rapport aux autres comprenant chacun une sortie de phase, k étant entier supérieur ou égal à 3, chaque bras comprenant :
 - un demi bras haut comprenant des interrupteurs électroniques de commutation et des éléments de clamping reliés à une première borne d'un bus de tension continu pour fournir une tension d'alimentation positive à la sortie de phase et
 - un demi bras bas comprenant des interrupteurs électroniques de commutation et des éléments de clamping reliés à une deuxième borne d'un bus de tension continu pour fournir une tension d'alimentation négative à la sortie de phase,
 - une première ligne intermédiaire ayant une première tension intermédiaire continue entre un élément de clamping d'un demi bras haut et un élément de clamping du demi bras bas,
 - dans lequel les premières lignes intermédiaires de chaque bras sont reliées ensemble,
- un dispositif de commande de coupure contre une surintensité électrique, relié à l'ensemble des premières lignes pour mesurer la première tension intermédiaire continue, le dispositif de commande de coupure étant configuré pour déterminer un défaut en détectant si la première tension intermédiaire continue mesurée est en dehors d'une plage de variation de tension nominale de ladite première tension intermédiaire et de transmettre un signal de commande d'ouverture généralisée à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation lorsque le défaut est déterminé.

- [0015] Dans l'invention, on utilise la tension intermédiaire qui va sortir d'une plage de tension connue correspondant à un fonctionnement normal lorsqu'un composant des bras de l'onduleur, en particulier un interrupteur électronique, est en train de passer en court-circuit. Ainsi le système permet une détection d'un court-circuit très rapidement sans détecter une fausse détection de surtension. En effet, les onduleurs multi-niveaux produisent des tensions intermédiaires flottantes et régulées entre les deux potentiels positif et négatif de la source de tension continue (HVDC); une panne de type CC dans un bras ou une phase du moteur, entraîne un chemin de courant qui provoque un déséquilibre dans le bras et amène la tension intermédiaire hors de sa plage d'excursion habituelle et c'est ce qui est détecté dans l'invention, par simple comparaison à des seuils de tension délimitant la plage de tension habituelle du nœud intermédiaire. En cas de détection d'un tel défaut, le dispositif de commande de coupure transmet ainsi un signal de commande d'ouverture généralisée de l'ensemble des interrupteurs électroniques de l'onduleur pour supprimer ou empêcher le défaut provenant de l'interrupteur défaillant d'une façon très rapide et donc avant qu'un courant important du court-circuit se forme. L'invention permet d'obtenir une coupure très rapide de l'onduleur, ce qui permet d'éviter que le défaut de court-circuit entraîne d'autres défauts en cascade dans les autres composants et en particulier les autres interrupteurs électroniques de l'onduleur, ce qui pourrait entraîner sinon un court-circuit sur le réseau haute tension continu. Ainsi l'invention permet de protéger les autres composants de l'onduleur et d'éviter une propagation du défaut de court-circuit au réseau haute tension. En outre, pour chaque tension intermédiaire, une seule mesure et comparaison de cette mesure à une plage de tension nominale est nécessaire, , ce qui limite le nombre de composants à intégrer.
- [0016] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le système de conversion électrique, selon un aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0017] Selon un mode de réalisation, chaque élément de clamping est formé par un interrupteur électronique et le signal de commande d'ouverture généralisée transmis par le dispositif de commande de coupure commande en outre l'ouverture des interrupteurs électroniques formant chacun un élément de clamping lorsque le défaut est déterminé.
- [0018] Selon un mode de réalisation, le dispositif de commande de coupure transmet le signal de commande d'ouverture généralisée à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation et dans le cas du mode de réalisation précédent, transmet ce signal également aux interrupteurs électroniques formant un élément de clamping.
- [0019] Selon un mode de réalisation, le système comprend en outre un driver de l'onduleur apte à transmettre des signaux de commandes de fermeture et d'ouverture de

l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation à la fréquence de découpage de l'onduleur, le driver comprenant une entrée de commande de forçage à l'ouverture configurée pour forcer l'ouverture des interrupteurs électroniques pilotés par le driver.

[0020] Avantageusement, le dispositif de commande de coupure est relié à l'entrée de commande de forçage à l'ouverture et est configuré pour transmettre le signal de commande d'ouverture généralisée sur ladite entrée de commande de forçage à l'ouverture, permettant de commander l'ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques pilotés par le driver, l'ensemble des interrupteurs électronique comprenant les interrupteurs électroniques de commutation et le cas échéant, des interrupteurs électroniques formant les éléments de clampage.

[0021] Avantageusement, le driver est relié aux commandes des interrupteurs formant un élément de clampage et en ce que le driver est configuré pour en outre transmettre le signal de commande d'ouverture de l'ensemble des interrupteurs formant un élément de clampage lorsqu'il reçoit le signal de commande d'ouverture généralisée.

[0022] Selon un exemple ce mode de réalisation, chaque ensemble de lignes intermédiaires des bras de phase reliées ensemble et chaque borne reliée à un bus de tension continu forme une ligne de niveau de l'onduleur multiniveaux et le driver est configuré pour, après avoir transmis le signal de commande d'ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation :

- tester chaque bras de phase pour déterminer un bras de phase détérioré comprenant un interrupteur électronique de commutation et/ou un élément de clampage défectueux restant toujours passant, et déterminer pour chaque ligne de niveau si c'est une ligne de niveau défectueuse ou une ligne de niveau opérationnelle, la ligne de niveau étant déterminée défectueuse lorsque sa tension intermédiaire continue mesurée est en dehors de sa plage de variation de tension nominale et la ligne de niveau est déterminée comme opérationnelle lorsque sa tension est dans sa plage de variation de tension nominale et ensuite
- passer dans un mode dégradé de l'onduleur, le driver comprenant dans ce mode dégradé un signal permettant de commander une ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques du bras de phase déterminé comme détérioré, tout en commutant uniquement les interrupteurs électroniques des autres bras de phase permettant d'utiliser les lignes de niveau déterminées comme opérationnelles.

[0023] Selon un mode de réalisation, le dispositif de commande de coupure comprend une unité de de détection défaillance comprenant au moins un comparateur pour comparer la première tension intermédiaire continue mesurée à sa plage de variation de tension

nominale et en ce que le dispositif de commande de coupure transmet le signal de commande d'ouverture généralisée lorsque l'unité de de détection défaillance détecte la défaillance.

- [0024] Selon un exemple de ce mode de réalisation, le comparateur est un comparateur à fenêtre configuré pour comparer la tension intermédiaire mesurée à une valeur seuil minimale et une valeur seuil maximale définissant la plage de variation de tension nominale, le comparateur transmettant à sa sortie un signal de détection de tension hors plage si la première tension intermédiaire est inférieure à la valeur seuil minimale et ou supérieure à la valeur seuil maximale et en ce que le dispositif de commande de coupure comprend en outre un convertisseur analogique numérique relié à la sortie dudit comparateur, pour transformer le signal de détection de tension hors plage en signal de commande d'ouverture généralisée pour l'entrée de commande de forçage à l'ouverture du driver.
- [0025] Selon un exemple de ce mode de réalisation, le dispositif de coupure comprend en outre un dispositif de réglage de paramètre pour paramétrer les valeurs seuils minimale et maximale appliquées pour la comparaison à au moins la première tension intermédiaire.
- [0026] Selon un mode de réalisation, la première tension intermédiaire est une tension neutre et en ce que la plage de variation de tension nominale de ladite tension intermédiaire comprend la valeur 0.
- [0027] Selon un mode de réalisation, l'onduleur multiniveaux est de type Clampé par le Neutre NPC ou Clampé Activement par le Neutre ANPC
- [0028] Selon un mode de réalisation, le nombre n de lignes intermédiaires est strictement supérieur à 1, et en ce que le dispositif de commande de coupure est reliée à au moins une deuxième ligne intermédiaire ayant une deuxième tension intermédiaire pour y mesurer la tension et déterminer un défaut en détectant si la valeur de la deuxième tension intermédiaire mesurée est en dehors d'une deuxième plage de variation de tension nominale de ladite deuxième tension intermédiaire mesurée et de transmettre un signal de commande d'ouverture généralisée à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation et des éléments de clamping lorsque le défaut est déterminé.
- [0029] Selon un autre aspect de l'invention, l'invention concerne en outre un procédé de protection contre une surintensité électrique, comprenant un système de conversion électrique selon l'invention (avec ou sans les différentes caractéristiques des modes de réalisation décrits précédemment), comprenant les étapes de :
 - mesure d'une tension intermédiaire continue,
 - détermination d'un défaut en détectant si au moins une tension intermédiaire continue mesurée est en dehors d'une plage de variation de tension nominale de ladite tension intermédiaire,

- transmission d'un signal de commande d'ouverture généralisée à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation et des éléments de clampage lorsque le défaut est déterminé.

[0030] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0031] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.

[0032] [Fig.1a] représente schématiquement un système de conversion électrique selon un premier mode de réalisation de l'invention comprenant un onduleur à trois niveaux.

[0033] [Fig.1b] représente schématiquement plus en détails le premier bras de l'onduleur du système de conversion électrique selon le premier mode de réalisation de l'invention représenté en [Fig.1a].

[0034] [Fig.2] représente schématiquement un exemple d'un premier bras d'un onduleur à trois niveaux du système de conversion électrique selon le premier mode de réalisation de l'invention .

[0035] [Fig.3] représente schématiquement un premier exemple du système de conversion électrique de l'invention selon le premier mode de réalisation.

[0036] [Fig.4] représente schématiquement un exemple d'un dispositif de commande de coupure du système de conversion électrique de la [Fig.3].

[0037] [Fig.5] représente schématiquement partiellement un système de conversion électrique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0038] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.

[0039] L'invention est plus particulièrement décrite en référence à une topologie d'onduleur multi niveaux de type clampé par le neutre, qu'elles soient de type NPC à diodes de bouclage ou ANPC, activement clampées par le neutre, par des éléments de clampages. L'invention est plus particulièrement illustrée en référence à une topologie ANPC et dont les éléments de clampages sont des interrupteurs électroniques mais ils pourraient aussi être des diodes pour un onduleur NPC. L'homme du métier saura faire les adaptations nécessaires pour mettre en œuvre l'invention plus généralement aux topologies d'onduleur multi niveaux.

[0040] D'une manière générale l'invention s'applique à des onduleurs à n niveaux, n entier supérieur ou égal à 3. Dans la suite le terme "onduleur" employé seul se réfère à un tel onduleur multi niveaux, à n niveaux.

[0041] La [Fig.1a] représente un premier mode de réalisation d'un système de conversion électrique S1 comprenant un onduleur à 3 niveaux ($n = 3$) de type ANPC relié à une source d'alimentation E.

- [0042] Le système de conversion électrique S1 comprend donc l'onduleur 1a comprenant une première borne reliée à une première barre de puissance HVDC+, appelée aussi bar positive, de la source d'alimentation E de tension DC, par exemple 1000 volts DC et une deuxième borne reliée à une deuxième barre de puissance HVDC-, appelée aussi bar négative, de la source d'alimentation E, en l'occurrence la masse.
- [0043] Chaque source d'alimentation E de tension DC comprend une branche de condensateurs, connectée entre la première et deuxième barre de puissance HVDC+, HVDC-. Ici dans cet exemple le nombre de condensateurs est donc de deux (soit un nombre $n-1$ de condensateurs = 2) condensateurs C1, C2.
- [0044] L'onduleur 1a comprend k bras 10_k de phase, un par phase de la charge électrique en sortie, connectés chacun en parallèle entre la première barre HVDC+, et la deuxième barre de puissance HVDC-. Dans la suite on parle plus simplement de "bras". Sur la [Fig.1a], trois bras $10_1, 10_2, 10_3$ sont représentés en trait plein et un autre bras 10_k est représenté en pointillé pour généraliser les bras 10_k , dans la suite l'indice « k » étant le numéro du bras.
- [0045] Chaque bras 10_k comprend une sortie de phase PH_k . Chaque bras 10_k comprend un demi bras haut $10H_k$ et un demi bras bas $10L_k$.
- [0046] Ici dans cet exemple, le premier, deuxième et troisième bras $10_1, 10_2, 10_3$ comprend donc un demi bras haut respectivement référencé $10H_1, 10H_2, 10H_3$ et un demi bras bas respectivement référencé $10L_1, 10L_2, 10L_3$ et une sortie de phase respectivement référencée PH_1, PH_2, PH_3 .
- [0047] L'onduleur comprend des composants dans chaque bras, différenciés selon deux types selon leur fonction: des interrupteurs électroniques de commutation et des éléments de clampage. La [Fig.1b] représente schématiquement le système de conversion électrique S1 dont les interrupteurs électroniques de commutation et les éléments de clampage du premier bras 10_1 sont représentés par des blocks schématiquement. Chaque interrupteur électronique de commutation est désigné dans la suite par la lettre Q et chaque élément de clampage est désigné dans la suite par la lettre C, dont chacune des lettres Q et C est suivie d'un indice i , puis de la lettre H ou L suivant que le composant Q ou C fasse partie du demi bras Haut ou Bas respectivement, suivi de l'indice k représentant le numéro de la phase.
- [0048] Chaque demi bras haut $10H_k$ comprend donc des interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k , appelés aussi interrupteurs électroniques de commutation positive, montés en série entre la première barre HVDC+ la sortie de phase PH_k et chaque demi bras $10L_k$ comprend des interrupteurs électroniques de commutation Q_iL_k , appelés aussi interrupteurs électroniques de commutation négative, montés en série entre deuxième la barre HVDC- et la sortie de phase PH_k .
- [0049] Dans la suite, l'indice « i » représente le numéro du type de composant (interrupteur

électronique de commutation ou élément de clampage) d'un demi bras $10H_k$, $10L_k$ (ici les interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k , Q_iL_k). Comme expliquée ci-dessus, la lettre H représente les composants de chaque demi bras haut $10H_k$, la lettre L représente les composants de chaque demi bras bas $10L_k$.

- [0050] Dans la [Fig.1b], seul deux blocs schématiques des interrupteurs électroniques de commutation positive Q_iH_1 et négative Q_iL_1 du premier bras 10_1 des trois bras sont représentés,
- [0051] Dans un onduleur de type ANPC, ou NPC le nombre d'interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k , Q_iL_k , par demi bras $10L_k$, est égal à $n-1$, soit le nombre n de niveaux moins un.
- [0052] Chaque demi bras haut $10H_k$ et bas $10L_k$ comprend aussi des éléments de clampage respectivement haut et bas C_iH_k et C_iL_k .
- [0053] Chaque bras 10_k d'un onduleur comprend une ligne intermédiaire ayant une première tension intermédiaire $V1$ entre une paire d'éléments de clampage comprenant un élément de clampage haut C_iH_k et un élément de clampage bas C_iL_k . Le nombre de lignes intermédiaires ayant une tension intermédiaire est égal au nombre de niveaux moins deux. Ici, en l'occurrence l'onduleur 1a étant à trois niveaux, il comprend une seule ligne intermédiaire par bras 10_k . Chaque ligne intermédiaire a la même première tension intermédiaire $V1$. En effet, toutes les lignes intermédiaires sont reliées ensemble entre les deux condensateurs $C1$ et $C2$ montés en série de la source de tension E , ayant chacun une tension égale à la tension de la source divisée par deux. Dans ce mode de réalisation, la première tension intermédiaire $V1$ est donc le neutre. Dans le cas d'un nombre impair de niveaux supérieur à 3, par exemple 5 comme cela sera expliqué dans la suite en relation à la [Fig.5], la première tension intermédiaire a comme position le neutre, une deuxième tension intermédiaire d'une autre ligne intermédiaire est positive et une troisième tension intermédiaire d'une autre ligne intermédiaire est négative. Dans le cas d'un nombre pair de niveaux supérieur à 3, il n'existe pas de première tension intermédiaire $V1$ qui a la position de neutre mais seulement au moins une ligne intermédiaire ayant au moins une tension en position positive et au moins une autre ligne intermédiaire ayant une tension en position négative (par position d'une tension on entend sa polarité et sa valeur par rapport à d'autres tensions intermédiaires de même polarité).
- [0054] La branche de condensateurs définit ainsi $n-2$ tensions intermédiaires de l'onduleur, correspondant donc à $n-2$ lignes ayant une tension intermédiaire par bras 10_k .
- [0055] L'onduleur à trois niveaux comprend ainsi trois lignes de niveau, une première ligne de niveau au niveau de la première borne, une deuxième ligne de niveau au niveau de la deuxième borne et une troisième ligne de niveau au niveau de la ligne intermédiaire.
- [0056] Chaque élément de clampage haut et bas C_iH_k , C_iL_k de chaque demi bras respec-

tivement haut $10H_k$ et bas $10L_k$, est relié entre deux interrupteurs électroniques de commutation respectivement positive Q_iH_k et négative Q_iL_k , de chaque demi bras respectivement haut $10H_k$ et bas $10L_k$. Ici dans cet exemple, seul deux blocs schématiques des éléments de clamping haut et bas C_iH_1, C_iL_1 du premier bras 10_1 des trois bras sont représentés.

[0057] La [Fig.2] représente schématiquement et partiellement un exemple du système de conversion électrique S1, comprenant les détails des blocs schématiques des éléments de clamping haut et bas C_iH_1, C_iL_1 et des blocs schématiques des interrupteurs électroniques de commutation positive Q_iH_1 et négative Q_iL_1 du premier bras 10_1 de l'onduleur 1A à trois niveaux de la [Fig.1a]. Dans cet exemple, les éléments de clamping C_iH_k, C_iL_k sont aussi des interrupteurs électroniques, appelés dans la suite « interrupteurs électroniques d'élément de clamping » ou encore « interrupteurs électroniques formant les éléments de clamping C_iH_k, C_iL_k ». L'onduleur illustré sur cette figure est donc ici de type ANPC ; mais l'onduleur pourrait aussi bien être un onduleur NPC et les éléments de clamping C_iH_k, C_iL_k seraient des diodes.

[0058] Les interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k, Q_iL_k et les éléments de clamping C_iH_k, C_iL_k sont dans l'exemple des interrupteurs électroniques à grand gap, et en l'occurrence, le symbole utilisé correspond à des interrupteurs électroniques en carbure de silicium SiC. On pourrait aussi bien utiliser des interrupteurs électroniques en nitrure de gallium GaN. Chaque interrupteur électronique de commutation Q_iH_k, Q_iL_k et d'élément de clamping C_iH_k, C_iL_k comprend donc une diode intrinsèque montée en anti parallèle.

[0059] Ainsi on peut voir que le premier bras 10_1 de cet exemple d'onduleur ANPC à 3 niveaux, comprend dans le demi bras haut $10H_1$ deux interrupteurs électroniques de commutation positive Q_1H_1, Q_2H_1 , en série reliés entre la barre positive HVDC+ et la sortie de phase PH_1 . Le premier bras 10_1 comprend dans le demi bras bas $10L_1$ deux interrupteurs électroniques de commutation négative Q_1L_1, Q_2L_1 , en série reliés entre la barre négative HVDC et la sortie de phase PH_1 . Le premier bras 10_1 comprend en outre une paire d'éléments de clamping C_1H_1, C_1L_1 en série formant entre eux (point milieu) une première ligne ayant une tension intermédiaire V_1 reliée entre les deux condensateurs C1 et C2. L'élément de clamping haut C_1H_1 est en outre relié entre les deux interrupteurs électroniques de commutation positive Q_1H_1, Q_2H_1 , et l'élément de clamping bas C_1L_1 est en outre relié entre les deux interrupteurs électroniques de commutation négative Q_1L_1, Q_2L_1 .

[0060] L'onduleur 1a comprend en outre un driver 3 apte à transmettre des signaux de commande de fermeture et d'ouverture G_1, G_2, G_3, G_k (visibles sur la [Fig.1a]) de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k, Q_iL_k de chaque bras $10_1, 10_2, 10_3, 10_k$ à la fréquence de découpage de l'onduleur 1a.

- [0061] Dans la demande, le terme « driver » désigne, de manière usuelle, une unité de commande permettant de produire un signal à la commande d'un interrupteur électronique permettant de le commander en commutation, d'un état ouvert (transistor bloqué) à un état fermé (transistor saturé) ou inversement, ou encore le commander dans un régime linéaire.
- [0062] En l'occurrence ici, comme l'onduleur 1A de cet exemple est de type ANPC, le driver 3 contrôle aussi les éléments de clamping C_iH_k , C_iL_k . Dans la [Fig.2] la commande G1 du driver représente ainsi l'ensemble des commandes des interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_1 , Q_iL_1 et des éléments de clamping C_iH_1 , C_iL_1 , incluant une commande GQ_iH_1 pour l'interrupteur électronique de commutation Q_iH_1 , une commande GC_iH_1 pour l'interrupteur électronique de l'élément de clamping C_iH_1 etc...
- [0063] Dans cet exemple, les interrupteurs électroniques étant en carbure de silicium SiC, la commande est une tension de grille appliquée sur l'interrupteur électronique, par exemple entre -5V/20V.
- [0064] Le système de conversion électrique S1 comprend en outre un dispositif de commande de coupure 2 contre une surintensité électrique, représenté schématiquement sur les figures 1a, 1b et 2 et dont un exemple est représenté sur la [Fig.3].
- [0065] Le dispositif de commande de coupure 2 est relié à l'ensemble des premières lignes de chaque bras 10_k pour mesurer la première tension intermédiaire $V1$ continue. Le dispositif de commande de coupure 2 est configuré pour déterminer un défaut en détectant si la première tension intermédiaire $V1$ continue mesurée est en dehors d'une plage de variation de tension nominale $[V_{max_1}, V_{min_1}]$ de ladite première tension intermédiaire $V1$.
- [0066] Le dispositif de commande de coupure 2 comprend dans cet exemple une unité de détection de défaillance 21 pour détecter une défaillance si la première tension intermédiaire $V1$ continue mesurée est en dehors de la plage de variation de tension nominale $[V_{max_1}, V_{min_1}]$ pour un fonctionnement nominal sans panne de l'onduleur, autrement dit une plage de tension au niveau de la troisième ligne de niveau correspondant à chaque ligne intermédiaire de chaque bras 10_k correspondant à un fonctionnement normal, sans défaut de type CC. La plage de variation de tension nominale dépend en pratique de la position de la tension intermédiaire nominale mesurée, de la topologie de l'onduleur et de la technologie des différents composants électroniques, en particulier la technologie des interrupteurs électroniques. Ici dans cet exemple, la tension intermédiaire nominale mesurée étant un neutre, la plage de variation de tension nominale comprend le zéro volt, par exemple plus ou moins 20 volts. La plage de variation peut avoir ses seuils minimum et maximum réglables sur toute la plage de tension HVDC.

- [0067] L'unité de détection de défaillance 21 de cet exemple comprend un comparateur 210 comparant la valeur de la première tension intermédiaire V_1 mesurée à une valeur seuil minimale V_{min_1} , en l'occurrence ici de valeur négative par exemple $-20V$ et à une valeur seuil maximum V_{max_1} , en l'occurrence ici de valeur positive par exemple $+20V$, ici en l'occurrence de valeur positive. Lesdites valeurs seuil minimale V_{min_1} et maximale V_{max_1} définissent la plage de variation de tension nominale $[V_{max_1}, V_{min_1}]$.
- [0068] Bien entendu d'autres possibilités de typologies d'unité de détection de défaillance 21 peuvent être mises en œuvre tel que par exemple, une comparaison de la valeur mesurée en valeur absolue à une seule valeur seuil ou encore deux circuits de détection de seuil (un pour le seuil minimal et l'autre pour le seuil maximal).
- [0069] Le dispositif de commande de coupure 2 est configuré pour transmettre un signal de commande d'ouverture généralisée 221 pour l'ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation Q_{iH_k} , Q_{iL_k} et, en l'occurrence dans cet exemple aux interrupteurs électroniques formant les éléments de clamping C_{iH_k} , C_{iL_k} lorsque le défaut est déterminé. Dans ce premier mode de réalisation, le dispositif de commande coupure 2 est relié à une entrée de commande de forçage à l'ouverture du driver 3 pour lui transmettre en sortie le signal de commande d'ouverture généralisée 221 pour que le driver 3 transmette les commandes d'ouverture G_1 , G_2 , G_3 , G_k de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation Q_{iH_k} , Q_{iL_k} et en outre dans cet exemple aux interrupteurs électroniques formant les éléments de clamping C_{iH_k} , C_{iL_k} . Dans cet exemple représenté, le dispositif de commande de coupure 2 transmet donc le signal de commande d'ouverture généralisée 221 à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation Q_{iH_k} , Q_{iL_k} par le biais du driver 3 lorsque l'unité de détection de défaillance 21 détecte la défaillance. Selon un autre exemple non représenté, le dispositif de commande de coupure 2 transmet le signal de commande d'ouverture généralisée 221 directement à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation Q_{iH_k} , Q_{iL_k} et, en l'occurrence dans cet exemple aux interrupteurs électroniques formant les éléments de clamping C_{iH_k} , C_{iL_k} .
- [0070] Par exemple dans le cas où l'élément de clamping C_{iH_1} du premier demi bras haut $10H_1$ devient défectueux en restant passant (il reste fermé ou il a une faible résistance), et que l'interrupteur de commutation positive Q_{iH_1} de ce premier bras 10_1 est commandé à l'état fermé, le condensateur C_1 va être shunté par le circuit formé par ces deux composants, formant un court-circuit. Ce court-circuit risque par ailleurs de rendre défectueux l'interrupteur de commutation positive Q_{iH_1} . La tension intermédiaire V_1 va donc être à la même valeur (plus ou moins la faible résistance des deux composants défectueux) que la tension de la première barre de puissance $HVDC+$. Sans dispositif de commande de coupure 2, lors de la commutation de l'interrupteur de

commutation positif Q_2H_1 pour obtenir la tension intermédiaire V_1 , la tension sera celle de la tension de la première barre de puissance HVDC+, pouvant propager des défauts aux autres composants de l'onduleur et propager le court-circuit au réseau haute tension entre la première et la deuxième barre de puissance. De la même façon, dans ce cas de défaut, la commutation de l'interrupteur de commutation négatif Q_2L_1 pourrait propager des défauts aux autres composants de l'onduleur et propager le court-circuit au réseau haute tension entre la première et la deuxième barre de puissance.

- [0071] Le dispositif de commande de coupure 2 du système S1 va donc mesurer une hausse de tension de la tension intermédiaire V_1 très rapidement au-delà de sa plage de variation de tension nominale $[V_{max1}, V_{min1}]$ et ainsi émettre le signal de commande d'ouverture généralisée 221 au driver 3. Le driver 3 va ainsi commander l'ouverture de l'ensemble des composants des bras, en l'occurrence les interrupteurs électroniques de commutation Q_iH_k , Q_iL_k et les éléments de clamping C_iH_k et C_iL_k de chaque bras. Le court-circuit ne va donc pas engendrer d'autres défauts de composants et ne se propagera pas entre la première et la deuxième barre de puissance.
- [0072] La [Fig.4] représente schématiquement un exemple plus détaillé du dispositif de commande de coupure 2, en particulier l'unité de détection de défaillance 21 de cet exemple.
- [0073] L'unité de détection de défaillance 21 comprend optionnellement dans cet exemple un adaptateur de mesure 211 de la première tension intermédiaire V_1 mesurée pour l'adapter en une tension adaptée V_{10} au comparateur 210. La tension adaptée V_{10} est une image de la tension intermédiaire mesurée V_1 . Dans la suite, quand on parle de comparaison de la tension mesurée V_1 , cela peut être son image qui est dans cet exemple la tension adaptée par l'adaptateur de mesure 211. Cela permet d'adapter la première tension intermédiaire V_1 mesurée au comparateur 210 et ainsi avoir une unité de détection de défaillance 21 compatible avec différentes typologies d'onduleurs multiniveaux. L'adaptateur de mesure 211 peut donc permettre à un utilisateur de régler la valeur mesurée pour l'adapter au comparateur du dispositif de commande de coupure 2 de l'onduleur.
- [0074] Le comparateur 210 est dans cet exemple un comparateur à fenêtre configuré pour comparer la tension intermédiaire mesurée V_1 (en l'occurrence donc la tension adaptée V_{10} qui est l'image de la tension intermédiaire mesurée V_1) à la valeur seuil minimale V_{min1} et la valeur seuil maximale V_{max1} . Le comparateur 210 transmet à sa sortie un signal de détection de tension hors plage 212 si la première tension intermédiaire V_1 est inférieure à la valeur seuil minimale V_{min1} ou supérieure à la valeur seuil maximale V_{max1} .
- [0075] Le dispositif de commande de coupure 2 comprend en outre un convertisseur analogique numérique 22 relié à la sortie dudit comparateur 210, pour transformer le

signal de détection de tension hors plage 212 en un signal de commande d'ouverture généralisée 221 appliqué sur une entrée de commande de forçage à l'ouverture du driver 3. Autrement dit, le convertisseur analogique numérique 22 convertit le signal à la sortie dudit comparateur 210 en un signal adapté pour le driver 3.

- [0076] Lorsque le driver 3 a commandé l'ouverture de l'ensemble des composants de l'onduleur 1a, qui est ainsi à l'arrêt, le système de conversion S1 peut être configuré pour appliquer ensuite différentes stratégies.
- [0077] Une première stratégie peut être tout simplement de maintenir l'onduleur à l'arrêt.
- [0078] Une deuxième stratégie peut être d'appliquer un premier mode dégradé de l'onduleur en commutant les interrupteurs des bras de phase 10_k fonctionnels de manière à fournir les niveaux de tension en sortie de phase sans passer par les composants défectueux du bras de phase détérioré et sans ce bras de phase 10_k ayant les composants défectueux. Dans cette deuxième stratégie, le driver 3 peut tester chaque bras de phase 10_k pour déterminer un bras de phase détérioré par ses composants défectueux et déterminer pour chaque ligne de niveau si c'est une ligne de niveaux défectueuse ou une ligne de niveau opérationnelle, la ligne de niveau étant déterminée défectueuse lorsque sa tension intermédiaire continue mesurée est en dehors de sa plage de variation de tension nominale et déterminée comme opérationnelle lorsque sa tension intermédiaire continue mesurée est dans sa plage de variation de tension nominale. Ensuite, le driver 3 peut utiliser l'onduleur en commandant ou en gardant à l'état ouvert l'ensemble des interrupteurs du bras de phase 10_k déterminé comme détérioré, tout en commutant les interrupteurs des autres bras de phase 10_k dans le mode dégradé dans lequel chaque interrupteur des autres bras de phase 10_k est commandé sans commander l'utilisation de la ligne de niveau déterminée défectueuse. Par « sans commander l'utilisation de la ligne de niveau défectueuse », on entend que les interrupteurs qui sont commutés le sont en utilisant uniquement les ligne de niveau opérationnelles.
- [0079] Enfin une troisième stratégie peut être d'appliquer un mode de fonctionnement dégradé de chaque bras 10_k de l'onduleur sans commander la ligne de niveau défectueuse sur les demi-bras de phase $10H_k$, $10L_k$ de chaque phase. Ainsi dans cette troisième stratégie, chaque bras de phase 10_k est commandé par le driver avec uniquement les lignes de niveau opérationnelles, soit avec au moins une ligne de niveau en moins. La ligne de niveau en moins correspond au condensateur relié aux composants défectueux. Dans cette troisième stratégie, le driver 3 peut tester chaque bras de phase 10_k pour déterminer le ou les composants défectueux et déterminer pour chaque ligne de niveau si c'est une ligne de niveau défectueuse ou une ligne de niveau opérationnelle, la ligne de niveau étant déterminée défectueuse lorsque la ligne de niveau permet en passant par les composants déterminés comme défectueux d'alimenter la sortie de phase selon le niveau de tension de la ligne de niveau. Ensuite,

le driver 3 peut commander l'onduleur dans un mode de bras dégradés selon le ou les composants défectueux, en supprimant l'utilisation de la ligne de niveau défectueuse dans un des deux demi-bras du bras comprenant le ou les composants défectueux. Par exemple, dans le cas du premier mode de réalisation du système de conversion électrique S1 comprenant un onduleur 1A à trois niveaux ayant le bras 10k déterminé comme ayant des composants défectueux, le driver 3 peut commander les bras 10k selon le tableau ci-dessous :

[Tableaux1]

Composant	cas 1	cas 2	cas 3	cas 4	cas 5	cas 6
Q_1H_1	CC	fermé ou CC	commutation	commutation	commutation	fermé
C_1H_1	fermé ou CC	CC	commutation	commutation	commutation	fermé
Q_2H_1	ouvert	ouvert	CC	fermé	fermé	ouvert
C_1L_1	commutation	commutation	fermé	CC	fermé ou CC	commutation
Q_2L_1	commutation	commutation	fermé	fermé ou CC	CC	commutation
Q_1L_1	fermé	fermé	ouvert	ouvert	ouvert	CC

[0080] Par exemple, dans le cas 1, le premier interrupteur de commutation positive Q_1H_1 est déterminé comme le composant défectueux en court-circuit CC (toujours passant), l'interrupteur formant l'élément de clamping haut C_1H_1 est commandé toujours fermé et peut devenir défectueux en court-circuit CC ou est déjà défectueux en court-circuit CC, le deuxième interrupteur de commutation positive Q_2H_1 sera toujours commandé ouvert, le premier interrupteur de commutation négative Q_1L_1 sera toujours commandé fermé et enfin le deuxième interrupteur de commutation négative Q_2L_1 ainsi que l'interrupteur formant l'élément de clamping bas C_1L_1 sont commandés chacun en commutation.

[0081] Bien entendu, c'est six cas s'appliquent à chaque bras de phase. En outre en cas de cas non identifié, le driver 3 peut passer à la deuxième stratégie ou même à la première stratégie.

[0082] Les différentes stratégies du système de conversion électrique peuvent s'appliquer aussi à des onduleurs ayant plus que trois niveaux. Quand un bras comprend un nombre n de niveaux supérieur à 3 (soit plusieurs niveaux intermédiaires), le dispositif

de détection de défaillance 21 peut être relié à plusieurs lignes de niveau intermédiaires pour mesurer chaque niveau de tension intermédiaire.

- [0083] La [Fig.5] représente un système de conversion électrique S2 selon un deuxième mode de réalisation comprenant un onduleur 1B ANPC à cinq niveaux dont seulement le premier bras 10_{1b} est représenté de façon détaillée. L'onduleur 1B ANPC à cinq niveaux est identique à l'onduleur 1a sauf en ce qu'il comporte quatre condensateurs C1, C2, C3 et C4 formant entre eux trois tensions intermédiaires : une première V1, une deuxième V2 et une troisième V3. La première tension intermédiaire V1 est comme dans le premier mode de réalisation la tension neutre mais est obtenue entre le deuxième condensateur C2 et le troisième condensateur C3. En outre, le bras 10_{1b} comprend quatre interrupteurs électroniques de commutation positive Q_{1H1}, Q_{2H1}, Q_{3H1}, Q_{4H1} montés en séries entre la sortie de phase PH1 et la première barre de puissance HVDC+, et quatre interrupteurs électroniques de commutation négative Q_{1L1}, Q_{2L1}, Q_{3L1}, Q_{4L1} montés en séries entre la sortie de phase PH1 et la deuxième barre de puissance HVDC-. En outre, le bras 10_{1b} comprend trois paires d'éléments de clamping formant chacune une ligne de niveau intermédiaire entre les deux éléments de clamping de chaque paire, à la tension intermédiaire V1, V2, V3 correspondante.
- [0084] La première paire comprend deux interrupteurs électroniques formant élément de clamping C_{1H1}, C_{1L1} et qui sont reliés entre eux (point milieu) à une deuxième ligne de niveau intermédiaire ayant la deuxième tension intermédiaire V2 obtenue entre les deux condensateurs C1 et C2, tel que l'interrupteur formant l'élément de clamping du haut C_{1H1}, est aussi relié entre les premier et deuxième interrupteurs électroniques de commutation positive Q_{1H1} et Q_{2H1} et l'interrupteur formant l'élément de clamping du bas C_{1L1} est aussi relié entre les premier et deuxième interrupteurs électroniques de commutation négative Q_{1L1} et Q_{2L1}.
- [0085] Comme la première paire, la deuxième paire, respectivement la troisième paire, comprend deux interrupteurs formant les éléments de clamping C_{2H1} et C_{2L1}, respectivement C_{3H1} et C_{3L1} reliés entre eux (point milieu) à la première ligne ayant la première tension intermédiaire V1, respectivement une troisième ligne ayant la troisième tension intermédiaire V3, entre les condensateurs C2 et C3, respectivement entre les condensateurs C3 et C4. En outre, dans la première paire, respectivement deuxième paire, l'interrupteur formant l'élément de clamping du haut, C_{2H1}, respectivement C_{3H1}, est aussi relié entre le deuxième et le troisième interrupteur électronique de commutation positive Q_{2H1} et Q_{3H1}, respectivement entre le troisième et le quatrième interrupteur électronique de commutation positive Q_{3H1} et Q_{4H1}. Enfin les interrupteurs formant les éléments de clamping du bas C_{2L1}, respectivement C_{3L1} de chacune de ces deux paires, sont aussi chacun respectivement relié le premier entre le deuxième et le troisième interrupteur électronique de commutation négative Q_{2L1}, Q_{3L1}

et le deuxième, entre le troisième et le quatrième interrupteur électronique de commutation négative Q_3L_1 et Q_4L_1 .

- [0086] Le système de conversion électrique S2 comprend un dispositif de coupure 2b identique au dispositif de coupure 2 du premier mode de réalisation sauf en ce que le dispositif de détection de défaillance 21b est relié aux trois lignes ayant des tensions intermédiaires, V1, V2, V3 pour mesurer chacune leur tension continue et pour déterminer un défaut en détectant si une des tensions intermédiaires V1, V2 V3 continue mesurée est en dehors de sa plage de variation de tension nominale respective [Vmax1, Vmin1] [Vmax2, Vmin2] [Vmax3, Vmin3].
- [0087] Le dispositif de détection de défaillance 21b peut comprendre pour chaque tension mesurée un comparateur 210 comme décrit dans le premier mode de réalisation et potentiellement un adaptateur de mesure 211.
- [0088] Le dispositif de détection de défaillance 21b est aussi configuré pour produire un signal de commande d'ouverture généralisée 221 lorsqu'il détecte que l'une au moins des tensions intermédiaires V1, V2 V3 continue mesurée est en dehors de sa plage de variation de tension nominale [Vmax1, Vmin1] [Vmax2, Vmin2] [Vmax3, Vmin3].
- [0089] Le dispositif de coupure 2b comprend dans cet exemple comme dans celui du système du premier mode de réalisation un convertisseur analogique numérique 22 relié au dispositif de détection de défaillance 21b pour transformer le signal de détection de tension hors plage 212 en un signal de commande d'ouverture généralisée 221 transmis et appliqué au driver 3b de ce système de conversion électrique S2. Le driver 3b comprend, comme le driver 3 du premier mode de réalisation, des sorties pour transmettre des signaux de commandes de fermeture et d'ouverture (G1, G2, G3, Gk), étant entendu que le driver 3 comprend plus de sorties de commande par bras puisqu'il y a plus d'interrupteurs à commander.
- [0090] Enfin, dans cet exemple le dispositif de coupure 2b comprend en outre une unité de détermination 29b pour permettre de prérégler chacune des plages de variation de tension nominale. Une telle unité de détermination 29b peut être de type à détermination automatique, c'est-à-dire apte à identifier de façon autonome une plage de variation de tension nominale d'une tension intermédiaire ; ou bien être de type réglable ou programmable, en fonction de la plage de tension HVDC (soit entre HVDC+ ET HVDC-) considérée.
- [0091] Le système de conversion électrique dont plusieurs exemples de réalisation S1, S2 viennent d'être décrits et le procédé de protection selon l'invention sont particulièrement bien adaptés aux applications aéronautiques, en particulier pour alimenter des charges alternatives à partir des réseaux DC haute tension à bord, permettant de protéger de manière efficace ces réseaux électriques en cas de défaillance de type court-circuit. En effet, la détection est très rapide et simple à réaliser et à intégrer car il

s'agit d'une simple mesure de tension de tension et la commande de protection associée peut être avantageusement et aisément mise en œuvre en utilisant des composants de l'onduleur lui-même (interrupteurs électroniques et drivers de commande). Autrement dit, c'est un circuit peu encombrant facile à intégrer dans les topologies d'onduleur.

[0092] L'invention concerne aussi un procédé de protection contre une surintensité électrique, comprenant le système de conversion électrique S1 ou S2 selon les différents exemples des deux modes de réalisations décrits, comprenant une première étape de mesure d'au moins une tension intermédiaire V1, V2, V3 continue.

[0093] Le procédé comprend en outre après une deuxième étape de détermination d'un défaut en détectant si au moins une tension intermédiaire V1 continue mesurée est en dehors d'une plage de variation de tension nominale [Vmax1, Vmin1] déterminée pour ladite tension intermédiaire V1 et une troisième étape de transmission d'un signal de commande d'ouverture généralisée 221 à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation QiHk, QiLk et des éléments de clamping CiHk, CiLk lorsque le défaut est déterminé.

Revendications

[Revendication 1]

Système de conversion électrique (S1, S2) comprenant :

- un onduleur (1a, 1b) agencé selon une topologie de type multi niveaux à k bras (10_k) identiques montés en parallèle les uns par rapport aux autres comprenant chacun une sortie de phase (PH_k), k étant entier supérieur ou égal à 3, chaque bras (10_k) comprenant :
 - un demi bras haut ($10H_k$) comprenant des interrupteurs électroniques de commutation (Q_iH_k) et des éléments de clamping (C_iH_k) reliés à une première borne d'un bus de tension continu (HVDC+) pour fournir une tension d'alimentation positive à la sortie de phase (PH_k) et
 - un demi bras bas ($10L_k$) comprenant des interrupteurs électroniques de commutation (Q_iL_k) et des éléments de clamping (C_iL_k) reliés à une deuxième borne d'un bus de tension continu (HVDC-) pour fournir une tension d'alimentation négative à la sortie de phase (PH_k),
 - une première ligne intermédiaire ayant une première tension intermédiaire (V1) continue entre un élément de clamping (C_iH_k) d'un demi bras haut ($10H_k$) et un élément de clamping (C_iL_k) du demi bras bas ($10L_k$),
- dans lequel les premières lignes intermédiaires de chaque bras (10_k) sont reliées ensemble,
- un dispositif de commande de coupure (2, 2b) contre une surintensité électrique, relié à l'ensemble des premières lignes intermédiaires pour mesurer la première tension intermédiaire (V1) continue, le dispositif de commande de coupure (2, 2b) étant configuré pour déterminer un défaut en détectant si la première tension intermédiaire (V1) continue mesurée est en dehors d'une plage de variation de tension nominale [V_{max1} , V_{min1}] de ladite première tension intermédiaire (V1) et transmettre un signal de commande d'ouverture généralisée (221) pour l'ouverture des interrupteurs électroniques de commutation (Q_iH_k , Q_iL_k) lorsque le défaut est déterminé.

- [Revendication 2] Système de conversion électrique (S1, S2) selon la revendication 1, dans lequel chaque élément de clampage (CiHk, CiLk) est formé par un interrupteur électronique et en ce que le signal de commande d'ouverture généralisée (221) transmis par le dispositif de commande de coupure (2, 2b) commande en outre l'ouverture des interrupteurs formant chacun un élément de clampage (CiHk, CiLk) lorsque le défaut est déterminé.
- [Revendication 3] Système de conversion électrique (S1, S2) selon la revendication 1 ou 2 comprenant un driver (3, 3b) de l'onduleur (1a, 1b) apte à transmettre des signaux de commandes de fermeture et d'ouverture (G1, G2, G3, Gk) de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation (QiHk, QiLk) à la fréquence de découpage de l'onduleur (1a, 1b), le driver comprenant une entrée de commande de forçage à l'ouverture configurée pour forcer l'ouverture des interrupteurs électroniques pilotés par le driver le dispositif de commande de coupure (2, 2b), le dispositif de commande de coupure étant relié à l'entrée de commande de forçage à l'ouverture et est configuré pour transmettre le signal de commande d'ouverture généralisée (221) sur ladite entrée de commande de forçage à l'ouverture, permettant de commander l'ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques pilotés par le driver, l'ensemble des interrupteurs électroniques (QiHk, QiLk, CiHk, CiLk) comprenant les interrupteurs électroniques de commutation (QiHk, QiLk) et notamment des interrupteurs électroniques formant les éléments de clampage (CiHk, CiLk).
- [Revendication 4] Système de conversion électrique (S1, S2) selon les revendications 2 et 3 dans lequel le driver (3, 3b) est relié aux commandes des interrupteurs formant un élément de clampage (CiHk, CiLk) et en ce que le driver (3, 3b) est configuré pour en outre transmettre le signal de commande d'ouverture (G1, G2, G3, Gk) de l'ensemble des interrupteurs formant un élément de clampage (CiHk, CiLk) lorsqu'il reçoit le signal de commande d'ouverture généralisée (221).
- [Revendication 5] Système de conversion électrique (S1' S2) selon la revendication 3 ou 4, dans lequel chaque ensemble de lignes intermédiaires des bras de phase reliées ensemble forme une ligne de niveau de l'onduleur multiniveaux et chaque borne reliée à un bus de tension continu forme une ligne de niveau de l'onduleur multiniveaux et dans lequel le driver (3, 3a) est configuré pour, après avoir transmis le signal de commande d'ouverture (G1, G2, G3, Gk) de l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation (QiHk, QiLk),

- tester chaque bras de phase (10_k) pour déterminer un bras de phase détérioré comprenant un interrupteur électronique de commutation (Q_iH_k , Q_iL_k) et/ou un élément de clampage (C_iH_k , C_iL_k) défectueux restant toujours passant et déterminer pour chaque ligne de niveau si c'est une ligne de niveau défectueuse ou une ligne de niveau opérationnelle, la ligne de niveau étant déterminée défectueuse lorsque sa tension intermédiaire continue mesurée est en dehors de sa plage de variation de tension nominale et la ligne de niveau est déterminée comme opérationnelle lorsque sa tension intermédiaire continue mesurée est dans sa plage de variation de tension nominale et ensuite
- passer dans un mode dégradé de l'onduleur (1a, 1b), le driver comprenant dans ce mode dégradé un signal permettant de commander une ouverture de l'ensemble des interrupteurs électroniques du bras de phase (10_k) déterminé comme détérioré, tout en commutant les interrupteurs électroniques des autres bras de phase (10_k) permettant d'utiliser les lignes de niveau déterminées comme opérationnelles.

[Revendication 6] Système de conversion électrique (S1, S2) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de commande de coupure (2, 2a) comprend une unité de de détection défaillance (21, 21b) comprenant au moins un comparateur (210) pour comparer la première tension intermédiaire continue mesurée (V_1) à sa plage de variation de tension nominale [V_{max_1} , V_{min_1}] et en ce que le dispositif de commande de coupure (2) transmet le signal de commande d'ouverture généralisée (221) lorsque l'unité de de détection défaillance (21) détecte la défaillance.

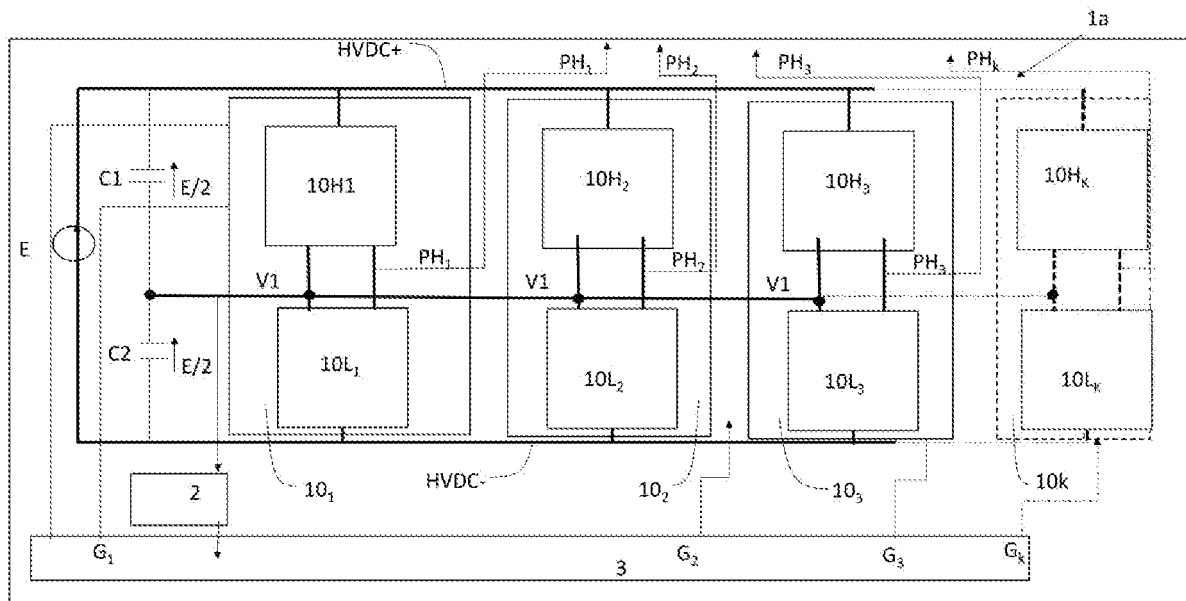
[Revendication 7] Système de conversion électrique (S1, S2) selon la revendication précédente, dans lequel le comparateur (210) est un comparateur à fenêtre configuré pour comparer la tension intermédiaire mesurée à une valeur seuil minimale (V_{min_1}) et une valeur seuil maximale (V_{max_1}) définissant la plage de variation de tension nominale [V_{max_1} , V_{min_1}], le comparateur (210) transmettant à sa sortie un signal de détection de tension hors plage (212) si la première tension intermédiaire (V_1) est inférieure à la valeur seuil minimale (V_{min_1}) et ou supérieure à la valeur

seuil maximale (V_{max1}) et en ce que le dispositif de commande de coupure (2, 2b) comprend en outre un convertisseur analogique numérique (22, 22b) relié à la sortie dudit comparateur (210), pour transformer le signal de détection de tension hors plage (212) en signal de commande d'ouverture généralisée (221) pour l'entrée de commande de forçage à l'ouverture du driver (3, 3b).

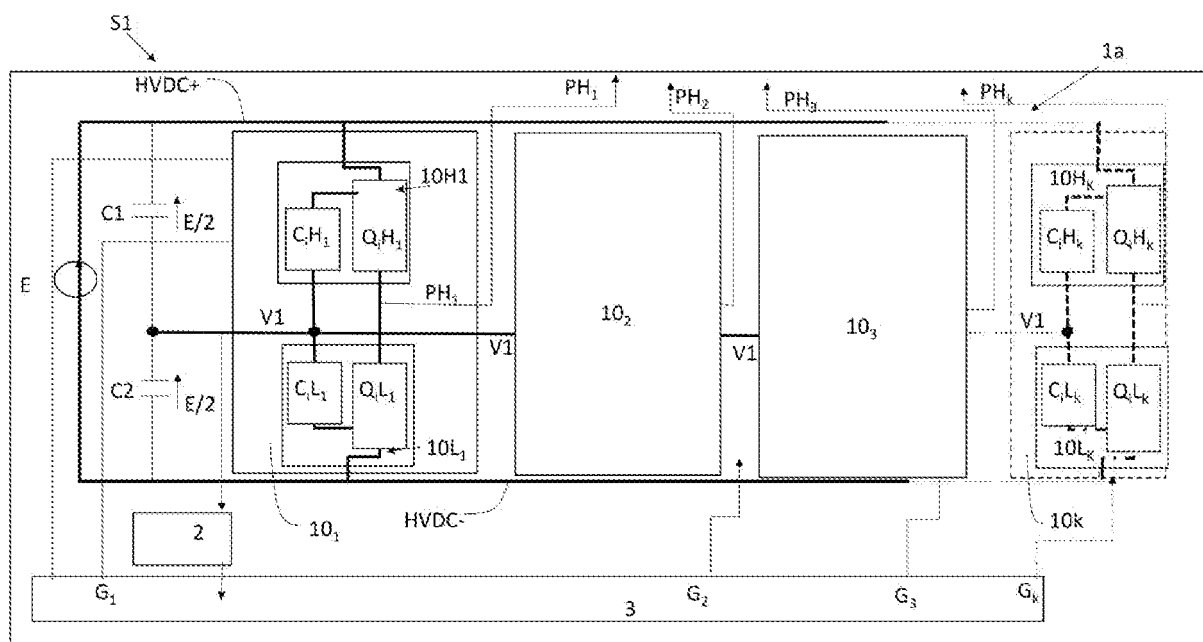
- [Revendication 8] Système de conversion électrique (S1, S2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la première tension intermédiaire ($V1$) est une tension neutre et en ce que la plage de variation de tension nominale [V_{max1} , V_{min1}] de ladite tension intermédiaire ($V1$) comprend la valeur 0.
- [Revendication 9] Système de conversion électrique (S1, S2) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'onduleur multiniveaux (1a, 1b) est de type Clampé par le Neutre NPC ou Clampé Activement par le Neutre ANPC.
- [Revendication 10] Système de conversion électrique (S2) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le nombre n de lignes intermédiaires est strictement supérieur à 1, et en ce que le dispositif de commande de coupure (2) est reliée à au moins une deuxième ligne de niveau ayant une deuxième tension intermédiaire ($V2$) pour y mesurer la tension et déterminer un défaut en détectant si la valeur de la deuxième tension intermédiaire mesurée ($V2$) est en dehors d'une deuxième plage de variation de tension nominale [V_{max2} , V_{min2}] de ladite deuxième tension intermédiaire ($V2$) mesurée et transmettre un signal de commande d'ouverture généralisée (221) à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation ($QiHk$, $QiLk$) et des éléments de clamping ($CiHk$, $CiLk$) lorsque le défaut est déterminé.
- [Revendication 11] Système de conversion électrique (S1, S1', S2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel les interrupteurs électroniques de commutation de l'onduleur sont des composants semi-conducteurs à grand gap (SiC ou GaN).
- [Revendication 12] Procédé de protection contre une surintensité électrique, comprenant un système de conversion électrique (S1, S1', S2) selon l'une des revendications précédentes, comprenant les étapes de :
- mesure d'une tension intermédiaire ($V1$) continue,
 - détermination d'un défaut en détectant si au moins une tension intermédiaire ($V1$) continue mesurée est en dehors d'une plage

- de variation de tension nominale [$V_{\max_i}$, $V_{\min_i}$] de ladite tension intermédiaire (V_1),
- transmission un signal de commande d'ouverture généralisée (221) à l'ensemble des interrupteurs électroniques de commutation (Q_iH_k , Q_iL_k) et des éléments de clamping (C_iH_k , C_iL_k) lorsque le défaut est déterminé.

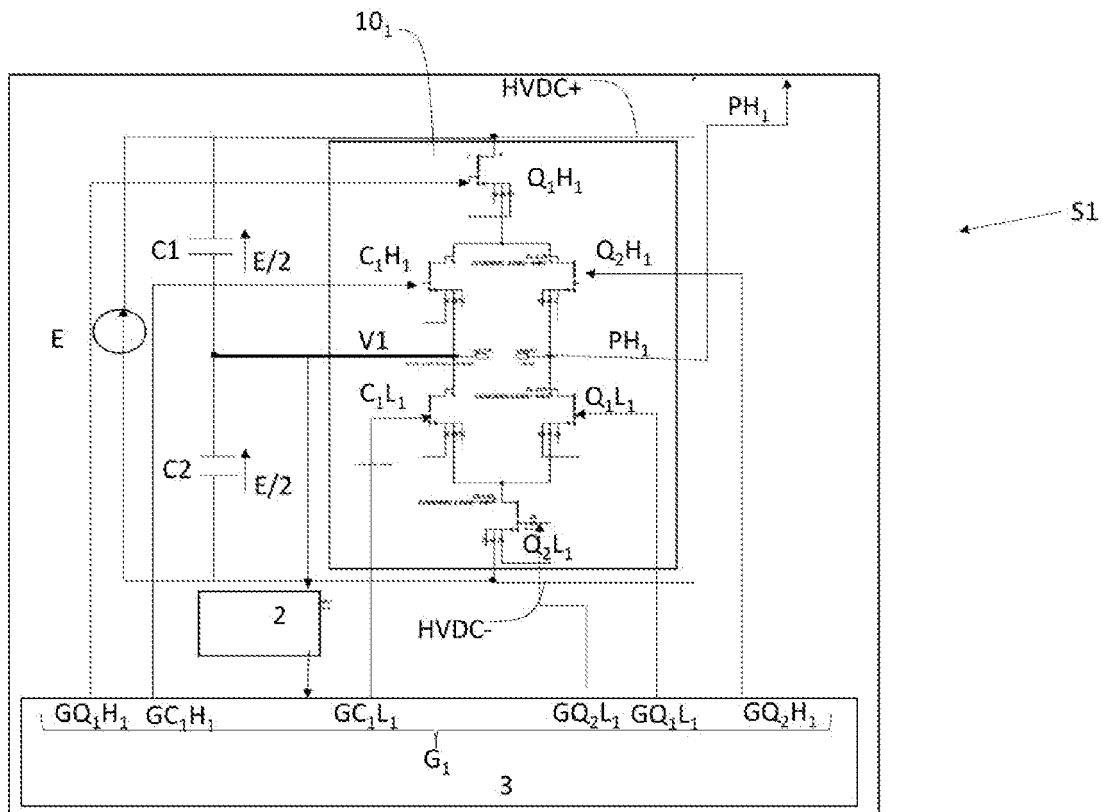
[Fig. 1a]



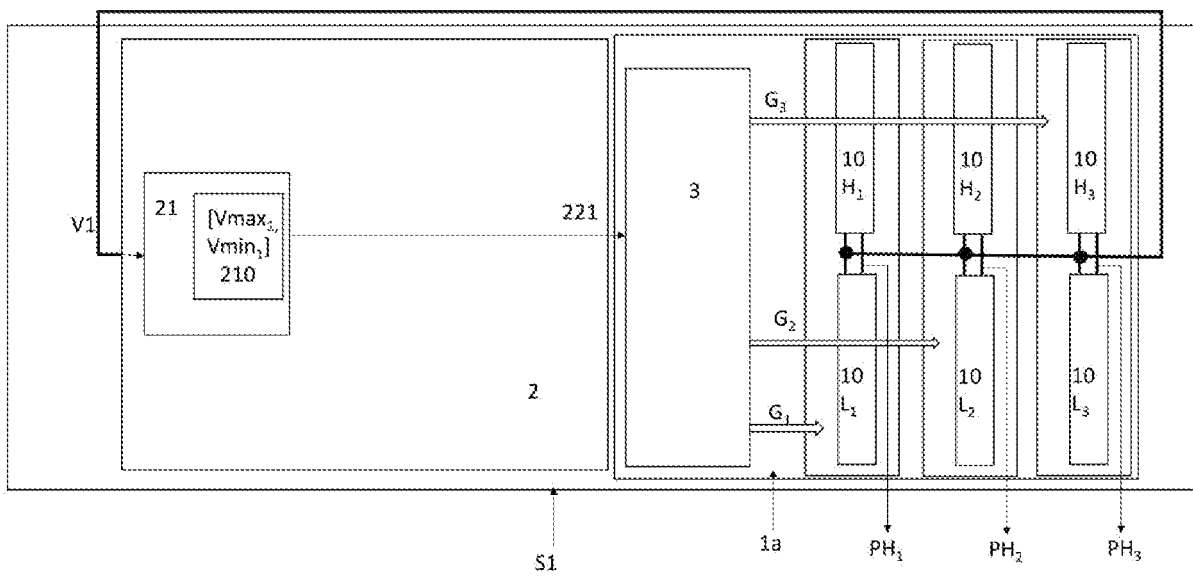
[Fig. 1b]



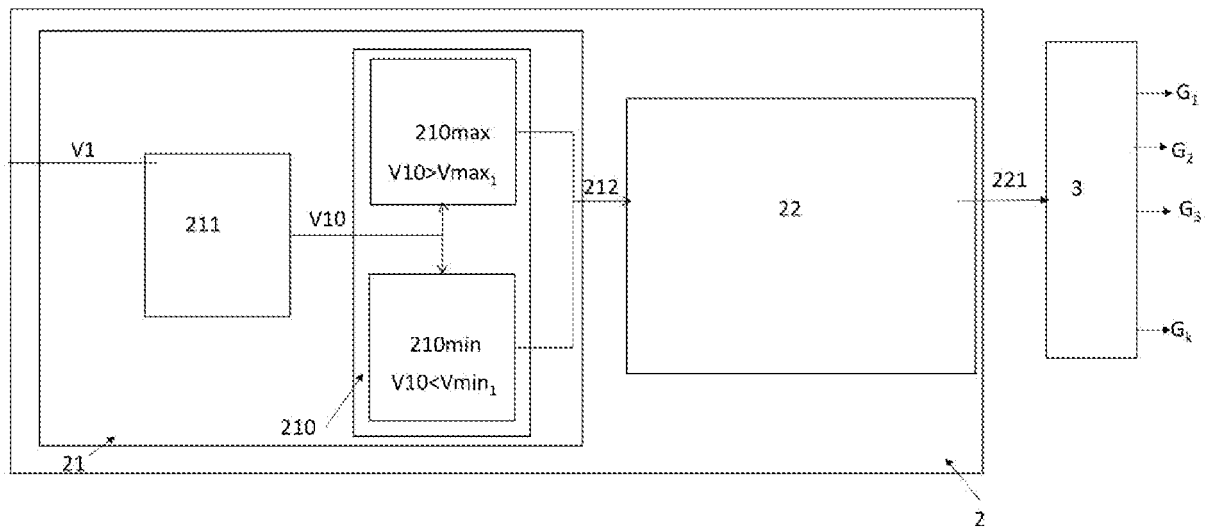
[Fig. 2]



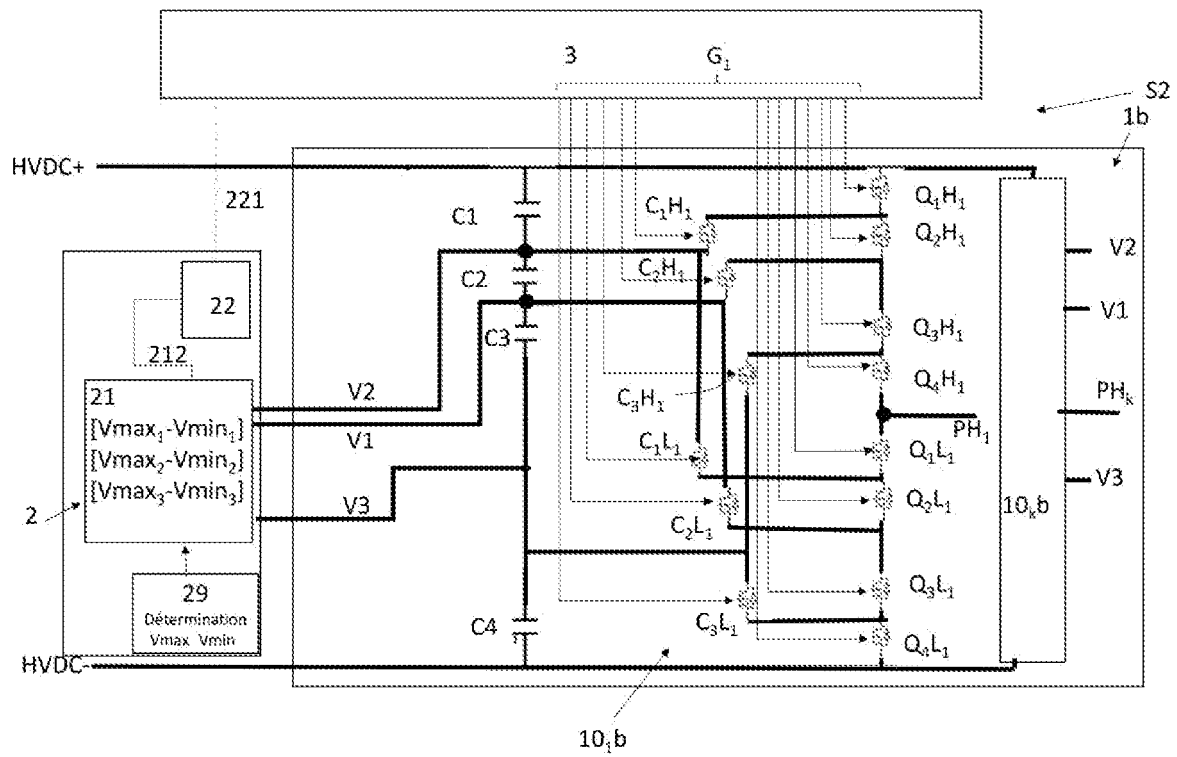
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 897809
FR 2108744

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		
Y	US 2015/003127 A1 (TAKIZAWA SATOKI [JP]) 1 janvier 2015 (2015-01-01) * abrégé * * alinéa [0020] - alinéa [0063]; figures 1-16C * -----	1-12	H02H7/22 H02M1/32
Y	US 2006/265160 A1 (KOMULAINEN RISTO [FI] ET AL) 23 novembre 2006 (2006-11-23) * abrégé * * alinéa [0001] - alinéa [0016]; figure 6 * -----	1-12	
Y	KRONE TOBIAS ET AL: "Fast and easily implementable detection circuits for short-circuits of power semiconductors", 2015 IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), IEEE, 20 septembre 2015 (2015-09-20), pages 2715-2722, XP032800977, DOI: 10.1109/ECCE.2015.7310041 [extrait le 2015-10-27] * abrégé * * section III; figures 10, 11, 14 * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02M
Y	LAUMEN MICHAEL ET AL: "Ultra-Fast Short-Circuit Detection for SiC-MOSFETs Using DC-Link Voltage Monitoring", 2020 IEEE 11TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER ELECTRONICS FOR DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS (PEDG), IEEE, 28 septembre 2020 (2020-09-28), pages 547-553, XP033854241, DOI: 10.1109/PEDG48541.2020.9244367 [extrait le 2020-10-28] * abrégé * * sections II-III; figures 1-2 * -----	1-12	
-----		-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 mai 2022		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			

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 897809
FR 2108744

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		
Y	LYU XINTONG ET AL: "A Reliable Ultra-Fast Three Step Short Circuit Protection Method for E-mode GaN HEMTs", 2019 IEEE APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION (APEC), IEEE, 17 mars 2019 (2019-03-17), pages 437-440, XP033555326, DOI: 10.1109/APEC.2019.8722299 [extrait le 2019-05-24] * abrégé * * section III; figures 3-6 * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	US 2018/278052 A1 (YOSHIDA TOMOKAZU [JP]) 27 septembre 2018 (2018-09-27) * abrégé * * alinéa [0005] - alinéa [0033]; figures 1-4 * -----	1-12	
A	FR 2 955 719 A1 (HISPANO SUIZA SA [FR]) 29 juillet 2011 (2011-07-29) * abrégé * * page 11, ligne 10 - ligne 21; figure 8 * -----	1-12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 mai 2022		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	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2108744 FA 897809**

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 **02-05-2022**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2015003127 A1		01-01-2015	CN 104253555 A	31-12-2014
			DE 102014211207 A1	31-12-2014
			JP 2015012621 A	19-01-2015
			US 2015003127 A1	01-01-2015

US 2006265160 A1		23-11-2006	EP 1720240 A2	08-11-2006
			FI 20050475 A	04-11-2006
			US 2006265160 A1	23-11-2006

US 2018278052 A1		27-09-2018	CN 108666966 A	16-10-2018
			DE 102018106421 A1	27-09-2018
			JP 6517862 B2	22-05-2019
			JP 2018164377 A	18-10-2018
			US 2018278052 A1	27-09-2018

FR 2955719 A1		29-07-2011	BR 112012017854 A2	19-04-2016
			CA 2786410 A1	04-08-2011
			CN 102771042 A	07-11-2012
			EP 2529476 A1	05-12-2012
			FR 2955719 A1	29-07-2011
			JP 5587432 B2	10-09-2014
			JP 2013518549 A	20-05-2013
			RU 2012136644 A	10-03-2014
			US 2013009580 A1	10-01-2013
			WO 2011092408 A1	04-08-2011
