

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication : 3 083 394
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) Nº d'enregistrement national : 18 56057
(51) Int Cl⁸ : H 02 M 1/32 (2018.01)

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) DISPOSITIF DE PROTECTION D'UN COMPOSANT DE PUISSANCE POUR UN PONT DE TRANSISTORS.

(22) Date de dépôt : 29.06.18.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.01.20 Bulletin 20/01.

(45) Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 19.03.21 Bulletin 21/11.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée — FR.

(72) Inventeur(s) : LECOCQ YANN, BERTRAND MATHIEU et DIA HUSSEIN.

(73) Titulaire(s) : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée.

(74) Mandataire(s) : VALEO SYSTEMES DE CONTROLE MOTEUR Société par actions simplifiée.



« Dispositif de protection d'un composant de puissance pour un pont de transistors»

Domaine technique

La présente invention s'inscrit dans le domaine des ponts de puissances comprenant au moins un bras de commutation et destinés à piloter ou être alimentés par une machine électrique tournante.

- 5 À cet effet, l'invention concerne un dispositif de protection d'un composant de puissance d'un pont de puissance, ainsi qu'un pont de puissance et une telle machine électrique tournante.

État de la technique antérieure

Dans un véhicule automobile, un réseau de bord sert à alimenter différents équipements électriques équipant ledit véhicule automobile. Une alimentation électrique du réseau de bord est 10 fournie par au moins une batterie qui peut être rechargée, lorsque le véhicule automobile est en mouvement, par une machine électrique tournante qui est reliée à un moteur thermique dudit véhicule automobile. La machine électrique tournante convertit alors une énergie mécanique de rotation du moteur thermique en une énergie électrique qui est fournie au réseau et/ou à l'au moins une batterie.

- 15 Par machine électrique tournante, on entend plus généralement toute machine électrique tournante, préférentiellement dont le stator est polyphasée, utilisée pour la production d'un courant continu alimentant le réseau de bord. À titre d'exemple non limitatif, il peut s'agir en particulier d'un alternateur ou d'un alterno-démarreur. Plus particulièrement encore, le contexte de la présente invention est celui des machines électriques tournantes à aimants permanents.

- 20 Selon un premier mode de fonctionnement, la machine électrique tournante est connectée à un pont de puissance comprenant des composants de puissance afin d'alimenter le réseau de bord en courant électrique continu. Selon un deuxième mode de fonctionnement, la machine électrique tournante est alimentée électriquement par le pont de puissance fonctionnant comme un onduleur.

- 25 En cas de défaillance du pont de puissance ou de l'un de ses composants de puissance, les courants électriques circulant dans ledit pont de puissance peuvent rapidement endommager ses composants de puissance. Afin d'éviter que les composants de puissance d'un bras donné du pont de puissance ne cassent et, conséutivement, de propager sur le réseau de bord des valeurs de courant électrique incompatibles avec les équipements électriques du véhicule automobile, il est 30 nécessaire de détecter le plus rapidement possible des défaillances du pont de puissance ou de l'un de ses composants de puissance.

La présente invention a pour objet de proposer un nouveau dispositif de protection d'un composant de puissance afin de répondre au moins en grande partie aux problèmes précédents et de conduire en outre à d'autres avantages.

Exposé de l'invention

Selon un premier aspect de l'invention, on atteint au moins l'un des objectifs précités avec un dispositif de protection d'un composant de puissance comportant une borne d'entrée de courant, une borne de sortie de courant et une borne de commande, le dispositif de protection étant placé 5 en dérivation, i.e. en parallèle entre la borne d'entrée de courant et la borne de sortie de courant du composant de puissance et le dispositif de protection est configuré pour détecter une durée durant laquelle un courant électrique variable traverse le composant de puissance entre la borne d'entrée de courant et la borne de sortie de courant.

Plus particulièrement, le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention est 10 configuré pour détecter une durée durant laquelle un courant électrique variable traverse ledit composant de puissance entre sa borne d'entrée de courant et sa borne de sortie de courant en particulier lorsque le composant de puissance est en train de commuter entre un état de commutation dit bloquant et un état de commutation dit passant. Dans son état de commutation passant, le composant de puissance est analogue à un interrupteur configuré dans un état fermé; et 15 dans son état de commutation bloquant, le composant de puissance est analogue à un interrupteur configuré dans un état ouvert. Ainsi, le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention est configuré pour détecter une durée durant laquelle un courant électrique variable traverse ledit composant de puissance entre sa borne d'entrée de courant et sa borne de sortie de courant par exemple lors du régime transitoire de basculement entre le mode de conduction 20 bloquant vers le mode de conduction passant.

En effet, durant ce régime transitoire de basculement, le courant électrique traversant le composant de puissance est variable, et il varie, en première approximation, de manière linéairement croissante. Astucieusement, l'exploitation de cette variabilité du courant électrique traversant le composant de puissance permet de détecter un éventuel dysfonctionnement dudit 25 composant de puissance. Si le composant de puissance fonctionne normalement, alors ce régime transitoire de basculement ne dure que pendant une première durée de transition relativement courte comme décrite ultérieurement, et le courant électrique traversant le composant de puissance ne croît que jusqu'à une première valeur d'intensité relativement faible, comme décrit ultérieurement. En revanche, si le composant de puissance présente un dysfonctionnement, alors 30 la durée de son régime transitoire de basculement se prolonge anormalement, et le courant électrique variable qui transite entre sa borne d'entrée de courant et sa borne de sortie de courant croît au-delà de la première valeur d'intensité précédente, jusqu'à atteindre une deuxième valeur d'intensité supérieure à la première valeur d'intensité. Cette deuxième valeur d'intensité est obtenue pour une deuxième durée de transition supérieure à la première durée de transition. 35 Ainsi, une mesure de la durée de transition durant laquelle le courant électrique variable traverse le composant de puissance entre ses bornes d'entrée de courant et de sortie de courant lorsque

ledit composant de puissance est en train de commuter depuis son état de conduction bloquant vers son état de conduction passant permet de détecter un disfonctionnement dudit composant de puissance. Cette mesure est réalisée par le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention.

5 Le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention peut comprendre avantageusement au moins un des perfectionnements ci-dessous, les caractéristiques techniques formant ces perfectionnements pouvant être prises seules ou en combinaison :

- le courant électrique variable est le courant traversant le composant de puissance lorsque le composant de puissance commute de son état bloquant dans son état passant.
- 10 - le dispositif de protection est configuré pour déterminer une différence de potentiel aux bornes d'inductances parasites du composant de puissance associé. En effet, la différence de potentiel générée par les inductances parasites étant proportionnelle à une variation instantanée d'un courant électrique traversant lesdites inductances parasites, cette configuration avantageuse permet de détecter directement ladite variation de courant électrique. Conséutivement, une mesure de la différence de potentiel ainsi mesurée permet de d'être sensible à la durée pendant laquelle le courant électrique variable traverse le composant de puissance entre ses bornes d'entrée de courant et de sortie de courant. En d'autres termes, le dispositif de protection est placé en dérivation des inductances parasites du composant de puissance associé afin de détecter le courant électrique variable qui les traverse et – *in fine* – de détecter la durée durant laquelle ledit courant électrique variable traverse le composant de puissance. Cette mesure est utilisée comme un détecteur de disfonctionnement du composant de puissance par le dispositif de protection ;
- 20 - le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention comprend un premier circuit configuré pour générer une tension de détection proportionnelle à la durée durant laquelle le courant électrique variable traverse le composant de puissance, plus particulièrement entre sa borne d'entrée de courant et sa borne de sortie de courant ;
- 25 - le premier circuit comprend une résistance de détection connectée en série en un premier point milieu avec une capacité de détection, lesdites résistance de détection et capacité de détection étant placées en parallèle entre la borne d'entrée de courant et la borne de sortie de courant du composant de puissance.. La tension de détection est ainsi générée au premier point milieu. La résistance de détection et la capacité de détection permettent de détecter les états de fonctionnement anormaux du composant de puissance auquel le dispositif de protection est associé. Plus particulièrement, l'établissement d'une différence de potentiel aux bornes des inductances parasites du composant de puissance – induit par la variation du courant électrique traversant ledit composant de puissance – permet de charger la capacité de détection jusqu'à une valeur qui dépend de la durée d'établissement de ladite différence de potentiel. Ainsi, si le composant de puissance est traversé par un

courant électrique pendant une première durée de transition, par exemple inférieure ou égale à 400ns, alors la capacité de détection est faiblement chargée, de sorte qu'elle ne présente pas à ses bornes une tension suffisante pour être représentative d'un disfonctionnement du composant de puissance, comme il sera décrit ultérieurement. A contrario, si le composant de puissance est traversé par un courant électrique pendant une deuxième durée de transition plus longue que la première durée de transition, par exemple supérieure ou égale à 1 µs, alors la capacité de détection est davantage chargée, de sorte qu'elle représente à ses bornes une tension suffisante pour être représentative du disfonctionnement dudit composant de puissance. La tension aux bornes de la capacité de détection correspond à la tension de détection générée par le premier circuit.

- la résistance de détection et la capacité de détection du premier circuit sont placées en parallèle des inductances parasites et du composant de puissance correspondant afin de mesurer une tension générée par un ensemble formé par le composant de puissance et sa ou ses inductances parasites. En d'autres termes, la résistance de détection et la capacité de détection du premier circuit sont placées en dérivation des bornes d'entrée de courant et de sortie de courant du composant de puissance correspondant ;
- le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention comprend un dispositif de seuillage permettant de déterminer un seuil de tension pour piloter le composant de puissance c'est-à-dire pour faire commuter le composant de puissance correspondant. afin de le mettre en sécurité et d'éviter qu'il ne soit endommagé. En particulier, le seuil de tension correspond à une valeur de tension au-delà de laquelle la tension aux bornes de la capacité de détection du premier circuit est chargée par le courant électrique variable traversant le composant de puissance et ses inductances parasites, c'est-à-dire la tension de détection telle que décrite précédemment, est suffisamment élevée pour être représentative du dysfonctionnement du composant de puissance ;
- le dispositif de seuillage comprend une première résistance de seuillage connectée en série en un deuxième point milieu avec une deuxième résistance de seuillage, lesdites première et deuxième résistance de seuillage étant disposées en parallèle entre une borne d'entrée de courant et une borne de sortie de courant du composant de puissance, la tension audit deuxième point permettant de déterminer le seuil de tension. Le choix de la valeur des résistances de seuillage permet d'ajuster et de fixer le seuil de tension décrit précédemment ;
- le seuil de tension est égal à la somme de la tension au deuxième point et de la tension aux bornes de la première diode ;
- le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention comprend un circuit de contrôle du composant de puissance entre les bornes duquel le dispositif de protection est disposé en dérivation, ledit circuit de protection contrôlant le composant de puissance en fonction de la tension de détection générée par le premier circuit et du seuil de tension

prédéterminé par le dispositif de seuillage. En d'autres termes, le circuit de contrôle permet de faire commuter ledit composant de puissance dans l'un ou l'autre de ses états de commutation décrits précédemment, lorsque la tension aux bornes de la capacité de détection du premier circuit, c'est-à-dire la tension de détection telle que décrite précédemment, est suffisamment élevée pour être représentative d'un dysfonctionnement dudit composant de puissance ;

- le circuit de contrôle comprend un commutateur de contrôle et un comparateur de tension configuré pour comparer la tension de détection générée par le premier circuit et le seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage, ledit commutateur de contrôle étant configuré pour faire commuter le composant de puissance correspondant dans un état de conduction bloquant lorsque ledit comparateur de tension détecte que ladite tension de détection est supérieure audit seuil de tension prédéterminé.
- le commutateur de contrôle comprend en outre un premier transistor dont la borne d'entrée de courant est connectée à la borne de commande du composant de puissance par l'intermédiaire d'une résistance et dont la borne de sortie de courant est connectée à la borne de sortie de courant du composant de puissance, ledit premier transistor étant dans un état de conduction passant lorsque ladite tension de détection est supérieure audit seuil de tension prédéterminé.
- Le premier transistor est un transistor de type MOSFET.
- Le premier transistor est un transistor de type MOSFET dopé N ;
- Le comparateur de tension comprend en outre :
 - un deuxième transistor dont la borne de commande est connectée au deuxième point milieu, dont la borne d'entrée de courant est connectée au premier point milieu par l'intermédiaire d'une première diode et dont la borne de sortie de courant est reliée à la borne de commande du premier transistor, et
 - une résistance de polarisation reliée par une de ses bornes à la borne de commande du premier transistor et par l'autre de ses bornes à la borne de sortie de courant du composant de puissance.
- le deuxième transistor est un transistor bipolaire ;
- le deuxième transistor est un transistor bipolaire du type dopé P.

La durée pendant laquelle un courant électrique variable traverse le composant de puissance et au-delà de laquelle il existe un risque d'endommagement du composant de puissance dépendent bien entendu des composants de puissance et/ou des applications considérées. Dès lors, la valeur seuil à partir de laquelle le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention détermine que le composant de puissance associé dysfonctionne dépend aussi des composants de puissance et/ou des applications considérées. Enfin, le dimensionnement des différents

composants électronique formant le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention dépend aussi des composants de puissance et/ou des applications considérées. Les valeurs données dans la description qui suit ne sont données qu'à titre d'exemples non limitatifs et l'homme du métier pourrait bien entendu leur attribuer d'autres valeurs, collectivement ou 5 sélectivement, afin d'adapter les exemples de réalisation donnés ci-après à d'autres situations.

Ainsi, à titre d'exemple non limitatif, pour une machine électrique tournante de type GMG (en anglais Gear Motor Generator) développant une puissance électrique de 15 kW, si, durant le régime transitoire de basculement du composant de puissance depuis son état bloquant vers son état passant, le courant électrique variable traversant ledit composant de puissance entre sa borne 10 drain et sa borne source varie entre 0 et 400 A durant une durée inférieure ou égale à 400 ns, alors ledit composant de puissance est considéré comme fonctionnant normalement. En revanche, si durant le régime transitoire de basculement du composant de puissance depuis son état bloquant vers son état passant, la durée pendant laquelle le courant électrique variable traversant le composant de puissance entre sa borne drain et sa borne source est supérieure à 800 ns, voire à 1 15 µs, alors ledit courant électrique variable peut atteindre une intensité de l'ordre de 1000 à 2000 A : ce type de régime transitoire de basculement correspond à un dysfonctionnement du composant de puissance. Dans ce cas, le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention ou selon l'un quelconque de ses perfectionnements génère une tension de détection proportionnelle à cette durée d'établissement anormalement longue du courant électrique variable traversant le 20 composant de puissance. Comme décrit précédemment, selon un mode de réalisation préféré de l'invention, la tension de détection correspond plus particulièrement au chargement électrique de la capacité de détection du premier circuit, et plus particulièrement à la différence de potentiel aux bornes de ladite capacité de détection.

Selon un deuxième aspect de l'invention, il est proposé un bras de commutation d'un pont de 25 puissance connecté électriquement à une machine électrique tournante par un réseau électrique, ladite bras de commutation du pont de puissance comprenant :

- une borne de masse destinée à être reliée à une masse du réseau électrique ;
- une borne d'alimentation destinée à être reliée à une borne positive du réseau électrique ;
- un premier et un deuxième composants de puissance fonctionnant comme des 30 interrupteurs commandés et disposés en série l'un par rapport à l'autre et entre la borne de masse et la borne d'alimentation, un point intermédiaire situé entre le premier composant de puissance et le deuxième composant de puissance étant destiné à être connecté électriquement à une phase électrique de la machine électrique tournante ;

dans lequel ledit bras de commutation comprend au moins un dispositif de protection selon 35 l'une quelconque des revendications précédentes, ledit au moins dispositif de protection étant disposé en dérivation des bornes d'entrée de courant et de sortie de courant d'un des composants de puissance dudit bras de commutation.

Le bras de commutation conforme au deuxième aspect de l'invention peut comprendre avantageusement au moins un des perfectionnements ci-dessous, les caractéristiques techniques formant ces perfectionnements pouvant être prises seules ou en combinaison :

- 5 – le premier et le deuxième composant de puissance sont du type MOSFET (acronyme anglais pour « *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* » et qui se traduit par transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur). Éventuellement, le premier et le deuxième composant de puissance sont du type IGBT (acronyme anglais pour « *Insulated Gate Bipolar Transistor* » et qui se traduit par transistor bipolaire à grille isolée. Bien évidemment, le premier et le deuxième composant de puissance peuvent être de tout autre type compatible avec la présente invention ;
- 10 – le MOSFET formant le premier et/ou le deuxième composant de puissance est du type dopé N.

Selon un troisième aspect de l'invention, il est proposé un pont de puissance comprenant au moins un bras de commutation conforme au deuxième aspect de l'invention ou 15 selon l'un quelconque de ses perfectionnements..

Selon un quatrième aspect de l'invention, il est proposé une machine électrique tournante comprenant un rotor et un stator plusieurs phases électriques, la machine électrique tournante étant connectée électriquement à un pont de puissance conforme au troisième aspect de l'invention. La machine électrique tournante peut être du type synchrone ou asynchrone.

20 Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, la machine électrique tournante est du type d'une machine à aimants permanents.

Des modes de réalisation variés de l'invention sont prévus, intégrant selon l'ensemble de leurs combinaisons possibles les différentes caractéristiques optionnelles exposées ici.

Description des figures

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore au travers de la description qui suit d'une part, et de plusieurs exemples de réalisation donnés à titre indicatif et non limitatif en référence aux dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

- 30 – la FIGURE 1 illustre une vue schématique d'un réseau électrique comprenant une machine électrique tournante connectée électriquement à un pont de puissance conforme à l'invention ;
- la FIGURE 2 illustre une vue schématique du principe de détection des défaillances d'un bras de commutation d'un pont de puissance;

- la FIGURE 3 illustre un schéma de principe d'un premier exemple de réalisation d'un dispositif de protection associé à un composant de puissance du premier étage d'un bras de commutation du pont de puissance ;

Bien entendu, les caractéristiques, les variantes et les différentes formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres, selon diverses combinaisons, dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite de manière isolées des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont combinables entre eux si rien ne s'oppose à cette combinaison sur le plan technique.

Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.

Description détaillée de l'invention

15 En référence à la FIGURE 1, une machine électrique tournante 2 est connectée électriquement à un pont de puissance 1 configuré pour alimenter un réseau de bord B+ en courant continu à partir de la machine électrique tournante 2 ou pour alimenter la machine électrique tournante 2 à partir du réseau de bord B+.

La machine électrique tournante est par exemple de type GMG (en anglais « Gear Motor Generator ») développant une puissance électrique de 15 kW. Toutes les valeurs numériques mentionnées ci-après se rapportent à cet exemple de machine électrique particulière qui ne limite en rien la portée de l'invention.

Le réseau de bord B+ est connecté électriquement à au moins une batterie 4.

De manière avantageuse, le stator 21 de la machine électrique tournante 2 est polyphasée : le stator 21 comprend une pluralité d'enroulements électriques 211 à l'intérieur desquels circulent des courants électriques, chaque courant électrique circulant dans l'une des phases électriques Φ_1 - Φ_3 . Dans l'exemple de réalisation illustré sur la FIGURE 1, le stator 21 de la machine électrique tournante 2 comprend trois phases électriques Φ_1 - Φ_3 , mais l'invention s'entend plus généralement pour une machine électrique dont le stator comprend au moins une phase électrique.

D'une manière générale, la machine électrique tournante 2 est avantageusement une machine électrique synchrone à aimants permanents 221, telle que représentée sur la FIGURE 1.

Dans le contexte d'intégration dans un véhicule automobile, la machine électrique tournante 2 est préférentiellement du type d'un alternateur ou d'un alerterno-démarreur. Un rotor 22 de la machine électrique tournante 2 est avantageusement couplé mécaniquement à un moteur thermique du véhicule automobile. Le rotor 22 comprend avantageusement les aimants permanents 221 dans le cadre d'une machine synchrone.

La machine électrique tournante 2 est interfacée électriquement par le pont de puissance 1 au réseau de bord B+.

Le pont de puissance 1 comprend au moins un bras de commutation 10, et préférentiellement une pluralité de bras de commutation 10. Chaque bras de commutation 10 comprend un premier E1 et 10 un deuxième E2 étage, chaque étage comprenant un interrupteur comportant une borne d'entrée de courant, une borne de sortie de courant ainsi qu'une borne de commande de l'interrupteur permettant de faire passer l'interrupteur d'un état fermé à un état ouvert, et vice-versa.

Le pont de puissance 1 est piloté par un module de commande – non représenté – qui configure sélectivement ou collectivement les bornes de commande des interrupteurs pour placer lesdits interrupteurs dans leur état ouvert ou fermé. Le module de commande permet ainsi de piloter le pont de puissance.

Les interrupteurs sont préférentiellement réalisés au moyen de composants de puissance Q1, Q11.

En d'autres termes chacun des composants de puissance (Q1, Q11) comporte :

- une première borne d'entrée de courant,
- 20 ○ une première borne de sortie de courant, et
- une première borne de commande permettant de faire passer le composant de puissance d'un état passant (interrupteur fermé) à un état bloquant (interrupteur ouvert) et vice-versa,

Pour chacun des bras de commutation 10 du pont de puissance, le premier composant de puissance Q1 et le deuxième composant de puissance Q11 sont disposés en série l'un par rapport à l'autre, entre la borne de masse GND et la borne d'alimentation du réseau de bord B+, chaque point milieu 11a-11c étant situé entre le premier composant de puissance Q1 et le deuxième composant de puissance Q11.

Le premier Q1 et le deuxième Q11 composant de puissance de chaque bras de commutation 10 sont reliés entre eux au niveau du pont milieu 11a-11c situé entre leurs bornes de sortie de courant et d'entrée de courant respectives. Une borne d'entrée de courant D du premier composant de puissance Q1 est destinée à être connectée au réseau de bord B+ ; et une borne de

sortie de courant du deuxième composant de puissance Q11 est destinée à être connectée à la masse du réseau électrique.

Le pont de puissance 1 est connecté électriquement à chacune des phases électriques Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 de la machine électrique tournante 2 afin d'alimenter en tension continue le réseau de bord B+

- 5 et/ou de charger l'au moins une batterie 4. D'une manière générale, le pont de puissance 1 est utilisé dans l'un ou l'autre des modes de fonctionnement de la machine électrique tournante 2 décrits précédemment.

Plus particulièrement, chaque bras de commutation 10 du pont de puissance 1 est connecté électriquement à l'une des phases électriques Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 de la machine électrique tournante 2.

- 10 Plus particulièrement encore, chaque bras de commutation 10 du pont de puissance est connecté électriquement à l'une des phases électriques Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 de la machine électrique tournante 2 au niveau de son point milieu 11a-11c situé entre le premier étage E1 et le deuxième étage E2 de chaque bras de commutation 10.

Par ailleurs, chaque premier composant de puissance Q1 est connecté électriquement à un

- 15 dispositif de protection 100 configuré pour mesurer une durée durant laquelle un courant électrique variable traverse ledit premier composant de puissance Q1 entre sa borne d'entrée de courant D et sa borne de sortie de courant S, et éventuellement pour le piloter en fonction de ladite mesure réalisée. Plus particulièrement, chaque dispositif de protection 100 est placé en dérivation de la borne d'entrée de courant D et de la borne de sortie de courant S du premier
20 composant de puissance Q1 correspondant.

De manière comparable, chaque deuxième composant de puissance Q11 est connecté

électriquement à un dispositif de protection 100 configuré pour mesurer une durée durant

laquelle un courant électrique variable traverse ledit deuxième composant de puissance Q11 entre

sa borne d'entrée de courant D et sa borne de sortie de courant S, et éventuellement pour le

- 25 piloter en fonction de ladite mesure réalisée.

Ainsi le(s) dispositif(s) de protection conforme(s) au premier aspect de l'invention ou selon l'un quelconque de ses perfectionnements prend(nent) la main sur le module de commande lorsqu'un dysfonctionnement est détecté sur au moins un desdits composants de puissance Q1, Q11.

Conformément à l'invention, chaque dispositif de protection 100 est configuré pour détecter une

- 30 différence de potentiel aux bornes des inductances parasites L1_D, L1_S, L2_D, L2_S visibles sur la FIGURE 2 et situées au niveau du drain et de la source au sein du composant de puissance Q1, Q11 associé.

Dans la suite de la description, chaque premier Q1 et deuxième Q11 composant de puissance sont du type MOSFET dopé N. En d'autres termes, le drain, la source et la grille des transistors de type

- 35 MOSFET dopé N correspondent respectivement à la borne d'entrée de courant, la borne de sortie

de courant et la borne de commande des interrupteurs. Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à ce seul type de composant de puissance, et chaque premier Q1 et deuxième Q11 composant de puissance peut être du type de n'importe quel transistor.

La FIGURE 2 illustre un bras de commutation 10 du pont de puissance, dans laquelle le premier MOSFET Q1 du premier étage E1 est associé à un dispositif de protection 100 conforme au premier aspect de l'invention ou selon l'un quelconque de ses perfectionnements, ledit dispositif de protection 100 étant placé en dérivation entre la borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1.

Le premier MOSFET Q1 et le deuxième MOSFET Q11 de chaque bras de commutation 10 sont reliés entre eux au niveau du point intermédiaire 11a-11c situé entre la borne source S du premier MOSFET Q1 et la borne drain D du deuxième MOSFET Q2. La borne drain D du MOSFET Q1 est destinée à être connectée au réseau de bord B+ ; et la borne source S du MOSFET Q11 est destinée à être connectée à une borne de masse GND du réseau électrique.

De manière connue, chaque MOSFET Q1, Q11 possède une inductance parasite de drain L1_D, L2_D au niveau de la borne drain D dudit MOSFET correspondant Q1, Q11 ; et chaque MOSFET Q1, Q11 possède une inductance parasite de source L1_S, L2_S au niveau de la borne source S dudit MOSFET correspondant Q1, Q11. Par ailleurs, le bras de commutation 10 comprend aussi des inductances parasites L3 représentant les effets inductifs des conducteurs électriques du pont de puissance 1.

Pour un bras de commutation 10 du pont de puissance 1, on déduit une inductance totale Ltot équivalente :

$$L_{tot} = L1 + L2 + 2 \times L3$$

Avec $\begin{cases} L1 = L1_D + L1_S \\ L2 = L2_D + L2_S \end{cases}$

Et : $V_{DS1} = V_{TOT} \times \frac{L1+L3}{L_{tot}}$; $V_{DS2} = V_{TOT} \times \frac{L2+L3}{L_{tot}}$

Comme décrit précédemment, l'invention conforme à son premier aspect vise à déterminer une durée durant laquelle un courant électrique variable transite entre la borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1, Q11 associé lorsque ce dernier est dans son régime transitoire de basculement depuis l'état de conduction bloquant vers l'état de conduction passant. De manière théorique, on définit une durée de conduction couplée Δt_{CC} comme étant la durée maximale admissible du régime transitoire de basculement du MOSFET Q1, Q11 fonctionnant normalement. La durée de conduction couplée Δt_{CC} peut être définie comme :

$$\Delta t_{CC} = \frac{i_{cc}}{di/dt}$$

Où i_{cc} est le courant de conduction couplée maximal circulant dans le premier MOSFET Q1 et dans le deuxième MOSFET Q11, représentant ainsi le courant maximal admissible dans le bras de commutation 10 pour dissocier un fonctionnement normal dudit MOSFET Q1, Q11 d'un dysfonctionnement dudit MOSFET Q1, Q11.

- 5 Par la suite, la connaissance de la variation du courant électrique variable circulant entre les bornes drain D et source S du MOSFET Q1, Q11 correspondant permet de déduire, pour une application donnée et/ou une puissance électrique donnée pour la machine électrique tournante 2, la durée de conduction couplée maximale admissible lors de la commutation dudit MOSFET Q1, Q11 correspondant entre son état de conduction bloquant et son état de conduction passant.
- 10 Par la suite, il est possible de déterminer les différents composants électroniques du dispositif de protection 100, et notamment la résistance de détection R8 et la capacité de détection C1 du premier circuit 110 tel qu'il sera décrit dans les paragraphes suivants.

Lorsque le MOSFET Q1, Q11 est configuré dans son état de conduction passant, la différence de potentiel à ses bornes est sensiblement égale à la différence de potentiel prise aux bornes de ses 15 inductances parasites (L1+L3 ou L2+L3). Comme $\frac{di}{dt} = \frac{V_{TOT}}{L_{tot}}$, alors on en déduit qu'un observateur de tension placé entre la borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1, Q11 permet de déterminer une durée durant laquelle le courant électrique variable circule entre la borne drain D et la borne source S dudit MOSFET Q1, Q11 correspondant lorsque ce dernier est dans son régime transitoire de basculement depuis son mode de conduction bloquant vers son mode de conduction 20 passant.

Selon son premier aspect, l'invention vise ainsi à disposer chaque dispositif de protection 100 en dérivation (i.e. en parallèle) des bornes drain D et source S de l'un des MOSFETs Q1, Q11 du pont de puissance 1 afin de mesurer la durée durant laquelle le courant électrique variable traverse ledit MOSFET Q1, Q11 correspondant entre ladite borne drain D et ladite borne source S.

25 La FIGURE 3 illustre un exemple de réalisation d'un dispositif de protection 100 conforme au premier aspect de l'invention et mis en œuvre pour détecter la durée d'établissement d'un tel courant électrique variable entre les bornes drain D et source S d'un MOSFET Q1 d'un premier étage E1 du pont de puissance 1. Bien entendu, les caractéristiques décrites ci-après s'appliquent *mutatis mutandis* à un dispositif de protection 100 associé à un MOSFET Q11 d'un deuxième 30 étage E2 du pont de puissance 1.

Le dispositif de protection 100 est connecté en dérivation, i.e. en parallèle, entre une borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1. De plus, le dispositif de protection 100 est aussi relié électriquement à une borne grille G du MOSFET Q1

Le dispositif de protection 100 comprend un premier circuit 110 configuré pour générer une 35 tension de détection proportionnelle à la durée durant laquelle le courant électrique variable

traverse le MOSFET Q1 entre sa borne drain D et sa borne source S. Le premier circuit 110 est placé en dérivation par rapport aux bornes drain D et source S du MOSFET Q1.

Le premier circuit 110 comprend une résistance de détection R8 montée en série avec une capacité de détection C1. La résistance de détection R8 et la capacité de détection C1 sont placées 5 en parallèle entre la borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1. La résistance de détection R8 et la capacité de détection C1 forment ensemble un circuit qui permet de détecter un dysfonctionnement du MOSFET Q1. Plus particulièrement, l'établissement d'une différence de potentiel aux bornes des inductances parasites du MOSFET Q1 – induit par la variation du courant électrique traversant ledit MOSFET Q1 lorsque celui-ci est dans son régime transitoire de 10 basculement depuis le mode de conduction bloquant vers le mode de conduction passant – permet de charger la capacité de détection C1 jusqu'à une valeur qui dépend de la durée pendant laquelle ladite différence de potentiel existe. Ainsi, dans le mode de réalisation de l'invention illustré sur la FIGURE 3, si le MOSFET Q1 est traversé par un courant électrique variable pendant une durée de transition inférieure ou égale à 400ns, alors le courant électrique atteint une valeur d'environ 15 400A et la capacité de détection C1 présente à ses bornes une première tension représentative d'un régime transitoire de basculement normal du MOSFET Q1. A contrario, si le MOSFET Q1 est traversé par un courant électrique variable pendant une durée de transition au moins égale à environ 1 μ s, alors le courant électrique dépasse le seuil de 1000 ou 2000A et la capacité de détection C1 est chargée à une deuxième tension (supérieure à la première tension) représentative 20 d'un régime transitoire anormal dudit MOSFET Q1.

Comme décrit précédemment, durant son régime transitoire de basculement, un courant électrique variable traverse le MOSFET Q1 entre sa borne drain D et sa borne source S et la tension que ce courant génère aux bornes des inductances parasites du MOSFET Q1 est utilisée pour charger la capacité de détection C1 du premier circuit 110.

En dehors des régimes transitoires de commutation du MOSFET Q1, la capacité de détection C1 25 est déchargée au travers d'une première diode de décharge D2 placée en dérivation de la résistance de détection R8 ou au travers d'une deuxième diode de décharge D7 et d'une résistance de décharge R4 placée en série de ladite diode de décharge D7, ledit ensemble en série de la deuxième diode D7 et de la résistance de décharge R4 étant connectée en parallèle de la capacité 30 de détection C1.

Des valeurs de la résistance de détection R8 et de la capacité de détection C1 sont notamment déterminées en fonction de la durée de conduction couplée Δt_{cc} telle que décrite en référence à la FIGURE 2.

Le premier point de mesure VC1_1 – VC1_3 situé entre la résistance de détection R8 et la capacité 35 de détection C1 est particulièrement intéressant dans le contexte de l'invention car il correspond à la tension de détection générée par le premier circuit 110 et correspondant à la durée

d'établissement du courant électrique variable entre les bornes drain D et source S du MOSFET Q1 dans son régime transitoire de basculement.

La tension de détection prise aux bornes de la capacité de détection C1 peut être utilisée comme un signal de détection utilisé par exemple par un système de supervision du pont de puissance 1

5 ou pour avertir un utilisateur d'un dysfonctionnement du pont de puissance.

Dans l'exemple illustré dans la FIGURE 3, le dispositif de protection 100 comprend aussi un dispositif de seuillage 120 et un circuit de contrôle 130.

Le dispositif de seuillage 120 est configuré pour déterminer un seuil de tension à partir duquel

10 ledit dispositif de protection 100 peut éventuellement piloter le MOSFET Q1 pour le mettre en

sécurité par exemple. Le seuil de tension correspond à la valeur seuil au-delà de laquelle la tension

de détection aux bornes de la capacité de détection C1 du premier circuit 110 et chargée par le

courant électrique variable traversant le MOSFET Q1 et ses inductances parasites durant le régime

transitoire de basculement est suffisamment élevée pour être représentative du

dysfonctionnement du MOSFET Q1.

15 Le dispositif de seuillage 120 comprend une première résistance de seuillage R2 montée en série

avec une deuxième résistance de seuillage R3. Les première et deuxième résistances de seuillage

R2, R3 sont disposées en parallèle entre la borne drain D et la borne source S du MOSFET Q1.

Des valeurs des première et deuxième résistances de seuillage R2, R3 sont déterminées

notamment en fonction de la durée de conduction couplée Δt_{CC} telle que décrite en référence à la

20 FIGURE 2.

Les valeurs des première et deuxième résistances de seuillage R2, R3 permettent de fixer une

valeur du seuil de tension accessible sur une borne de seuillage 121 située entre les deux

résistances de seuillage R2, R3.

Cette valeur de seuil permet notamment de fixer la valeur à partir de laquelle la charge accumulée

25 dans la capacité de détection C1 est représentative d'un dysfonctionnement du MOSFET Q1

durant son régime transitoire de basculement. En deçà de cette valeur seuil, la tension de

détection générée par le premier circuit 110 est représentative d'un fonctionnement normal du

MOSFET Q1 durant son régime transitoire de basculement.

De manière avantageuse, et tel que décrit dans la figure 3, le dispositif de protection 100 peut aussi

30 exploiter cette tension de détection pour piloter le MOSFET Q1 en fonction de la valeur de ladite

tension de détection.

A cet effet, le circuit de contrôle 130 comprend un commutateur de contrôle, ici un transistor

MOSFET dopé N Q3 et un comparateur de tension configuré pour comparer la tension de

détection générée par le premier circuit 110 et le seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage 120.

Le circuit de contrôle 130 est configuré pour contrôler le MOSFET Q1 en fonction de la tension de détection générée par le premier circuit 110 et du seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage 120.

En d'autres termes, le circuit de contrôle 130 permet de faire commuter le MOSFET Q1 dans son état bloquant, lorsque la tension de détection aux bornes de la capacité de détection C1 du premier circuit 110 est suffisamment élevée pour être représentative d'un dysfonctionnement dudit premier MOSFET Q1, du fait de la présence d'un courant électrique variable pendant une durée anormalement longue durant le régime transitoire de basculement dudit MOSFET Q1.

Le comparateur de tension est constitué d'un transistor Q2.

Dans l'exemple illustré sur la FIGURE 3, le transistor Q2 du comparateur est du type d'un transistor bipolaire dont une borne émettrice E est connectée électriquement entre la résistance de détection R8 et la capacité de détection C1 du premier circuit 110 par l'intermédiaire de la diode D4, et dont une borne de base B est connectée électriquement entre les résistances de seuillage R2, R3 du dispositif de seuillage 120.

Le transistor Q2 du comparateur du circuit de contrôle 130 est préférentiellement du type d'un transistor bipolaire de type PNP.

Ce comparateur de tension est configuré pour comparer la tension de détection générée par le premier circuit 110 et le seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage 120. Plus particulièrement, le dispositif de seuillage 120 impose au niveau de la borne de base du transistor Q2 une tension égale au seuil de tension tandis que le premier circuit impose sur la borne émettrice E une tension égale, à la chute de tension aux bornes de la diode D4 près, à la tension de détection générée par le premier circuit 110. Si la tension de détection aux bornes de la capacité de détection C1 du premier circuit 110 est supérieure au seuil de tension, alors le transistor Q2 devient passant ce qui fait que le premier circuit de contrôle 130 met en sécurité le MOSFET Q1, en le reconfigurant dans son état de commutation bloquant.

Pour ce faire, le circuit de contrôle 130 comprend aussi un commutateur de contrôle, ici dans l'exemple décrit un transistor MOSFET dopé N Q3, afin de commander la commutation du MOSFET Q1 en fonction de la comparaison réalisée par le comparateur de tension du circuit de contrôle 130. Plus particulièrement, le transistor Q3 du circuit de contrôle 130 est configuré pour abaisser la tension grille source du MOSFET Q1 lorsque le résultat de la comparaison entre la tension de détection et la valeur seuil est représentative d'un dysfonctionnement du MOSFET Q1 dans son régime transitoire de basculement.

Ainsi, une borne grille G du commutateur de contrôle Q3 est connectée électriquement à une borne collectrice C du transistor Q2, la borne grille G du commutateur de contrôle Q3 étant par ailleurs reliée à la borne source S dudit commutateur de contrôle Q3 par l'intermédiaire d'une résistance de polarisation R7. La borne source S du commutateur de contrôle est connectée 5 électriquement à la borne source S du MOSFET Q1 ; et une borne drain D du commutateur de contrôle Q3 est connectée électriquement à la borne grille G MOSFET Q1 par l'intermédiaire d'une diode D1 et d'une résistance d'amortissement R6 permettant d'amortir des oscillations électriques lorsque le commutateur de contrôle Q3 est dans son état de conduction passant. La diode D1 permet par ailleurs d'éviter une contre réaction de la source du MOSFET Q1 sur la grille 10 du MOSFET Q1 lors d'une commutation du MOSFET Q1.

Le commutateur de contrôle Q3 du premier circuit de contrôle 130 permet d'interpréter le résultat de la comparaison entre la tension de détection prise aux bornes de la capacité de détection C1 du premier circuit 110 et la valeur seuil déterminée par le dispositif de seuillage 120. Si la tension de détection aux bornes de la capacité de détection C1 est supérieure à la valeur seuil, 15 alors le transistor Q2 du premier circuit de contrôle 130 est configuré dans son état de conduction passant. Consécutivement, le commutateur de contrôle Q3 est à son tour configuré dans son état de conduction passant ce qui ramène la tension à la borne grille G du MOSFET Q1 à la tension de la source de ce MOSFET Q1 afin de le mettre en sécurité, en le configurant dans son état de commutation bloquant.

20 Le premier dispositif de protection 100 comprend une résistance R5 placée en série avec la borne grille G du MOSFET Q1.

Dans l'exemple illustré sur la FIGURE 3, une résistance de polarisation R9 est par ailleurs située entre la borne grille G et la borne source S du MOSFET Q1.

Dans un mode de fonctionnement normal du MOSFET Q1, la capacité de détection C1 du premier 25 circuit 110 est déchargée avant que le MOSFET Q1 bascule de son état de conduction bloquant vers son état de conduction passant. Dans le cas d'un basculement défaillant du MOSFET Q1 depuis son état de conduction bloquant vers son état de conduction passant, au cours duquel le courant électrique variable apparaissant entre sa borne drain D et sa borne source S croît durant une durée anormalement longue, alors la capacité de détection C1 du premier circuit 110, placé 30 en dérivation de ladite borne drain D et de ladite borne source S se charge du fait de la présence de ce courant électrique variable. La durée du régime transitoire anormalement longue permet de charger la capacité de détection C1 du premier circuit jusqu'à un niveau supérieur à la valeur seuil définie par le premier dispositif de seuillage 120 et permettant d'identifier le dysfonctionnement du MOSFET Q1. Dans ce cas, la capacité de détection C1 permet de configurer le transistor Q2 du 35 comparateur du circuit de contrôle 130 dans son état de conduction passant. Consécutivement, le commutateur de contrôle Q3 du premier circuit de contrôle 130 est à son tour polarisé dans son état de conduction passant afin de court-circuiter la borne grille G et la borne source S du

MOSFET Q1 afin de le configurer dans son état bloquant et de dissocier ainsi les deux étages E1, E2 du bras de commutation 10 du pont de puissance 1 en ouvrant le premier étage E1.

De façon générale, la durée pendant laquelle un courant électrique variable traverse un composant de puissance et au-delà de laquelle il existe un risque d'endommagement du 5 composant de puissance dépendent bien entendu des composants de puissance et/ou des applications considérées. Dès lors, la valeur seuil à partir de laquelle le dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention détermine que le composant de puissance associé dysfonctionne dépend aussi des composants de puissance et/ou des applications considérées. Consécutivement, le dimensionnement des différents composants électronique formant le 10 dispositif de protection conforme au premier aspect de l'invention, et tout particulièrement les valeurs de la résistance de détection R8, de la capacité de détection C1 de la première diode de décharge D2 des premières R2 et deuxièmes R3 résistances de seuillage ainsi que de la diode D4 dépendent des composants de puissance et/ou des applications considérées et/ou de la puissance électrique de la machine électrique tournante 2 à laquelle le pont de puissance 1 est associé. Les 15 valeurs citées dans la description présentée ci-dessus ne sont données qu'à titre d'exemples non limitatifs et l'homme du métier pourrait bien entendu leur attribuer d'autres valeurs, collectivement ou sélectivement, afin d'adapter les exemples de réalisation décrits à d'autres situations, par exemple pour adapter la durée de détection à partir de laquelle le composant de puissance Q1, Q11 est considéré comme ne fonctionnant plus normalement durant son régime 20 transitoire de basculement.

En synthèse, l'invention concerne notamment un dispositif de protection 100 d'un composant de puissance Q1, Q11 configuré pour détecter une durée d'établissement anormalement longue d'un courant électrique variable entre les bornes dudit composant de puissance Q1, Q11 durant son régime transitoire de basculement. Le dispositif de protection 100 tire avantageusement partie des 25 inductances parasites du composant de puissance Q1, Q11 afin de charger une capacité de détection C1, C11 à un niveau qui dépend de la durée durant laquelle ledit composant de puissance Q1, Q11 est traversé par le courant électrique variable. Cette détection est ensuite utilisée pour éventuellement piloter le composant de puissance Q1, Q11 afin de le mettre en sécurité. L'invention concerne aussi un pont de puissance 1 comprenant au moins un tel dispositif 30 de protection 100 pour scruter les transistors qui le composent, et une machine électrique tournante 2 pilotée par un tel pont de puissance 1.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. Notamment, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de 35 l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. En particulier toutes les variantes et modes de réalisation décrits précédemment sont combinables entre eux.

Revendications

1. Dispositif de protection (100) d'un composant de puissance (Q1) comportant une borne d'entrée de courant (D), une borne de sortie de courant (S) et une borne de commande (G), ledit dispositif de protection (100) étant placé en dérivation entre la borne d'entrée de courant (D) et la borne de sortie de courant (S) dudit composant de puissance (Q1), caractérisé en ce que ledit dispositif de protection (100) est configuré pour détecter une durée durant laquelle un courant électrique variable traverse ledit composant de puissance (Q1) entre la borne d'entrée de courant (D) et la borne de sortie de courant (S) et en ce que ledit dispositif de protection (100) comprend un premier circuit (110) configuré pour générer une tension de détection proportionnelle à la durée durant laquelle le courant électrique variable traverse le composant de puissance (Q1).

5 2. Dispositif de protection (100) selon la revendication précédente dans laquelle le courant électrique variable est le courant traversant le composant de puissance lorsque le composant de puissance commute de son état bloquant dans son état passant.

10 15 3. Dispositif de protection (100) selon la revendication précédente dans lequel le dispositif de protection (100) est configuré pour déterminer une différence de potentiel aux bornes d'inductances parasites du composant de puissance (Q1) associé.

20 4. Dispositif de protection (100) selon la revendication précédente, dans lequel le premier circuit (110) comprend une résistance de détection (R8) connectée en série en un premier point milieu avec une capacité de détection (C1), lesdites résistance de détection (R8) et capacité de détection (C1) étant placées en parallèle entre la borne d'entrée de courant (D) et la borne de sortie de courant (S) du composant de puissance (Q1).

25 5. Dispositif de protection (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de protection (100) comprend un dispositif de seuillage (120) permettant de déterminer un seuil de tension pour piloter le composant de puissance (Q1).

6. Dispositif de protection (100) selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif de seuillage (120) comprend une première résistance de seuillage (R2) connectée en série en un deuxième point milieu avec une deuxième résistance de seuillage (R3), lesdites première (R2) et deuxième (R3) résistance de seuillage étant disposées en parallèle entre une borne d'entrée

de courant (D) et une borne de sortie de courant (S) du composant de puissance (Q1), la tension audit deuxième point permettant de déterminer le seuil de tension.

7. Dispositif de protection (100) selon la revendication 6, dans lequel le dispositif de protection (100) comprend un circuit de contrôle (130) du composant de puissance (Q1) entre les bornes duquel le dispositif de protection (100) est disposé en dérivation, ledit circuit de protection (130) contrôlant le composant de puissance (Q1) en fonction de la tension de détection générée par le premier circuit (110) et du seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage (120).

8. Dispositif de protection (100) selon la revendication précédente dans lequel le circuit de contrôle (130) comprend un commutateur de contrôle (Q3) et un comparateur de tension configuré pour comparer la tension de détection générée par le premier circuit (110) et le seuil de tension prédéterminé par le dispositif de seuillage (120), ledit commutateur de contrôle (Q3) étant configuré pour faire commuter le composant de puissance (Q1) correspondant dans un état de conduction bloquant lorsque ledit comparateur de tension détecte que ladite tension de détection est supérieure audit seuil de tension prédéterminé.

9. Dispositif de protection selon la revendication précédente dans lequel ledit commutateur de contrôle comprend en outre un premier transistor (Q3) dont la borne d'entrée de courant est connectée à la borne de commande du composant de puissance (Q1) par l'intermédiaire d'une résistance (R6) et dont la borne de sortie de courant est connectée à la borne de sortie de courant du composant de puissance (Q1), ledit premier transistor étant dans un état de conduction passant lorsque ladite tension de détection est supérieure audit seuil de tension prédéterminé.

10. Dispositif de protection selon la revendication précédente dans lequel ledit comparateur de tension comprend en outre :

- 25 – un deuxième transistor (Q2) dont la borne de commande est connectée au deuxième point milieu, dont la borne d'entrée de courant est connectée au premier point milieu par l'intermédiaire d'une première diode (D4) et dont la borne de sortie de courant est reliée à la borne de commande du premier transistor, et
- une résistance de polarisation (R7) reliée par une de ses bornes à la borne de commande du premier transistor et par l'autre de ses bornes à borne de sortie de courant (S) du composant de puissance (Q1).

11. Bras de commutation (10) d'un pont de puissance (1) connecté électriquement à une machine électrique tournante (2) par un réseau électrique, ladite bras de commutation (10) du pont de puissance (1) comprenant :

- une borne de masse destinée à être reliée à une masse (GND) du réseau électrique ;
- une borne d'alimentation destinée à être reliée à une borne positive du réseau électrique (B+) ;
- un premier (Q1) et un deuxième (Q11) composants de puissance fonctionnant comme des interrupteurs commandés et disposés en série l'un par rapport à l'autre et entre la borne de masse et la borne d'alimentation, un point intermédiaire (11a-11c) situé entre le premier composant de puissance (Q1) et le deuxième composant de puissance (Q11) étant destiné à être connecté électriquement à une phase électrique ($\Phi_1-\Phi_3$) de la machine électrique tournante (2) ;

dans lequel ledit bras de commutation (10) comprend au moins un dispositif de protection (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit au moins dispositif de protection (100) étant disposé en dérivation des bornes d'entrée de courant (D) et de sortie de courant (S) d'un des composants de puissance (Q1, Q11) dudit bras de commutation.

12. Pont de puissance (1) comprenant au moins un bras de commutation selon la revendication précédente

13. Machine électrique tournante (2) comprenant un rotor (22) et un stator (21) à plusieurs phases électriques ($\Phi_1-\Phi_3$), ladite machine électrique tournante (2) étant connectée électriquement à un pont de puissance (1) selon la revendication précédente.

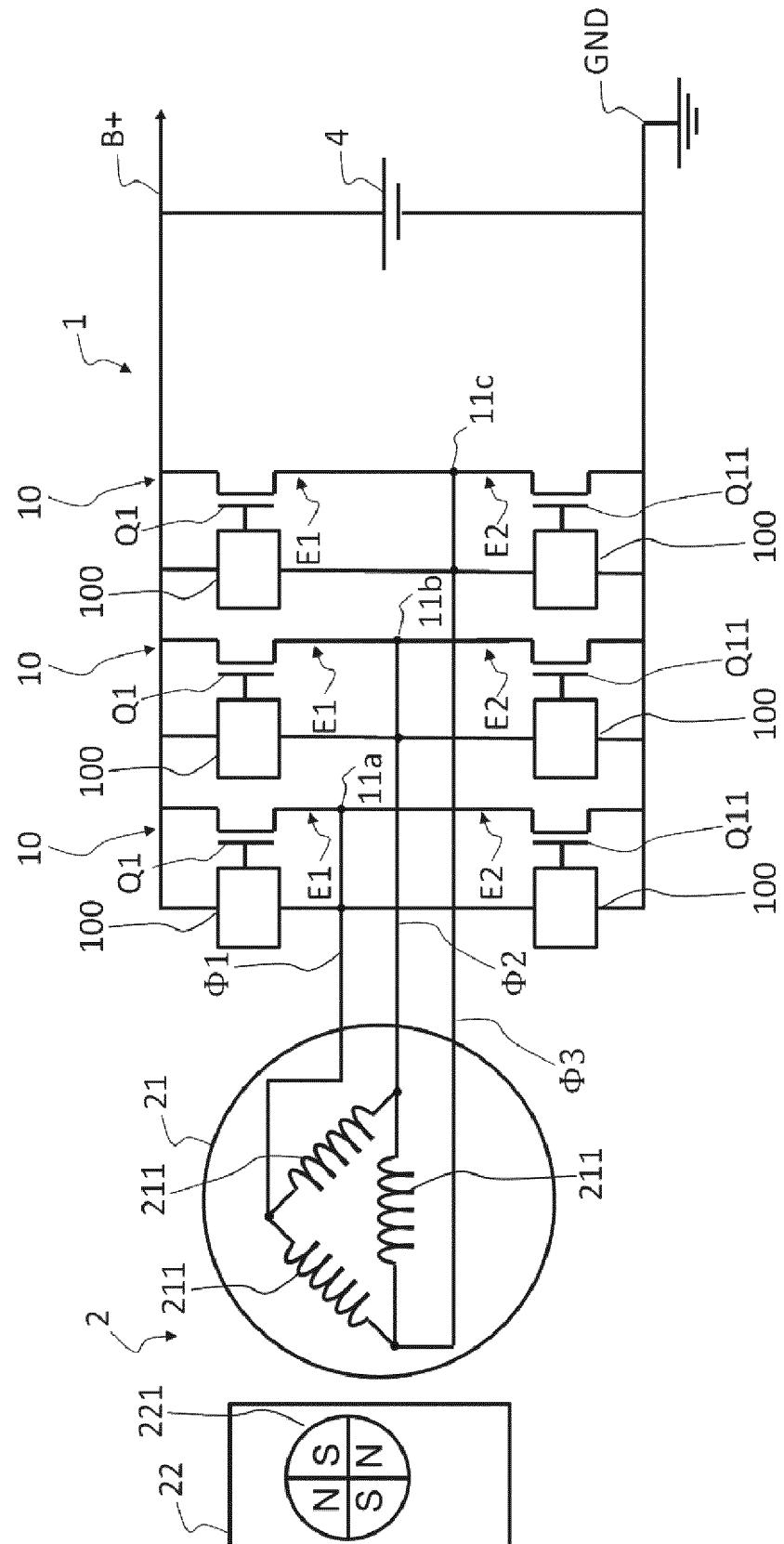


Fig. 1

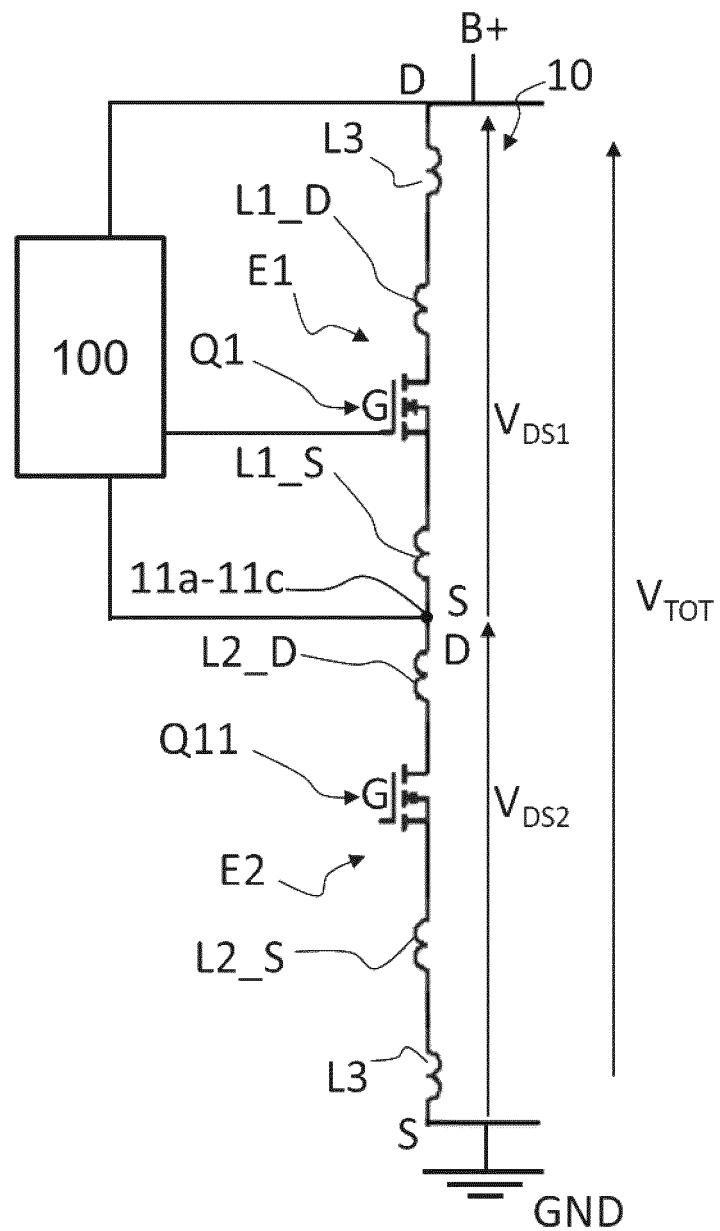


Fig. 2

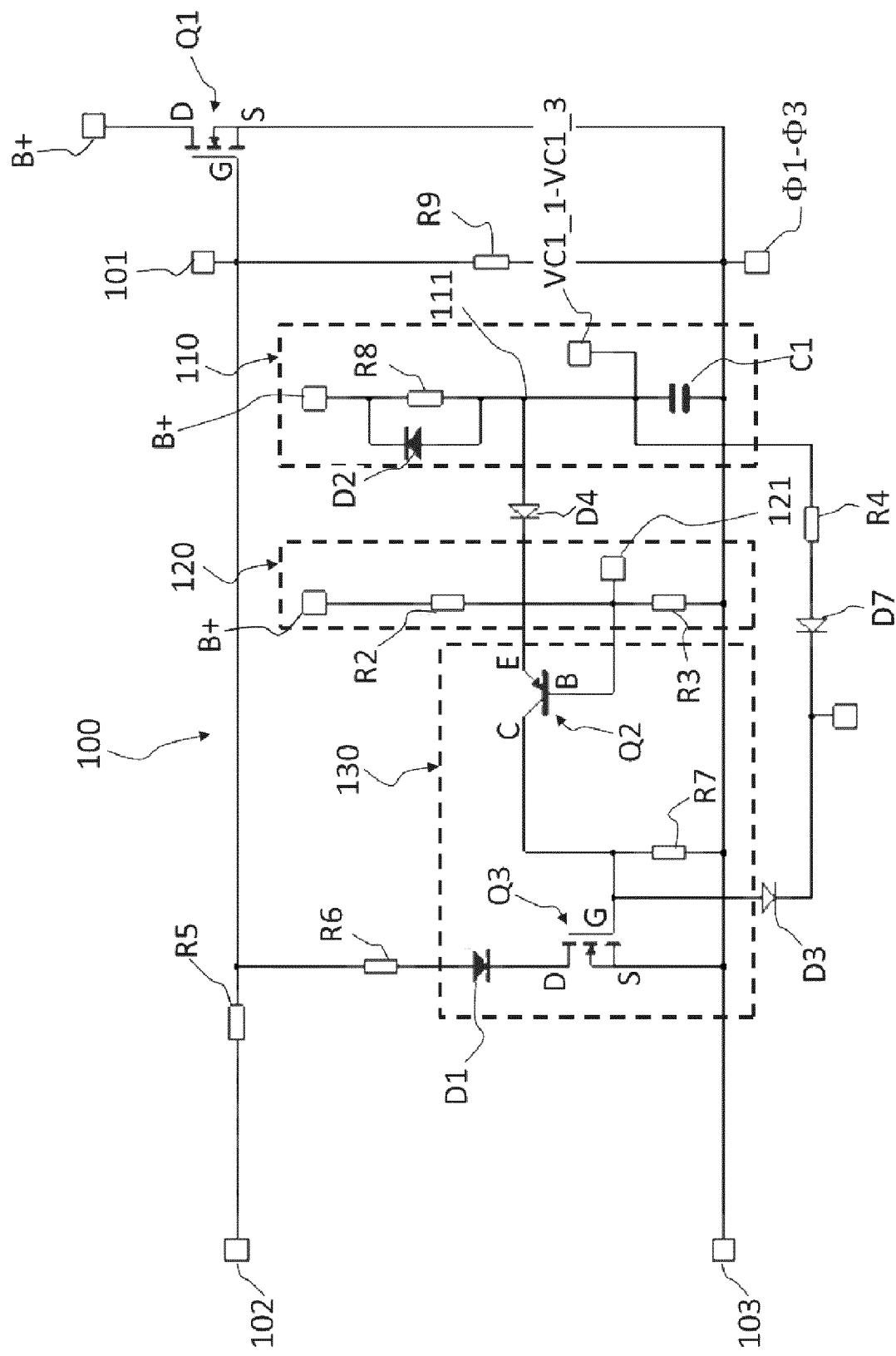


Fig. 3

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2016/142048 A1 (ZOELS THOMAS ALOIS [DE]
ET AL) 19 mai 2016 (2016-05-19)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIÈRE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2017/005570 A1 (NAKASHIMA YUKIO [JP] ET
AL) 5 janvier 2017 (2017-01-05)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT