

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 083 392**

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

②1 N° d'enregistrement national : **18 56063**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 02 M 1/32** (2018.01), H 03 K 17/08, H 02 H 9/04,
H 02 H 7/10, H 02 K 11/26

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 PROCÉDE DE DETECTION D'AVALANCHE DANS UN PONT DE PUISSANCE.

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 : 28.08.20 Bulletin 20/35.

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) : LECOCCQ YANN, BERTRAND
MATHIEU et YAZANE SAMIR.

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

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

FR 3 083 392 - B1



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. À cet effet, l'invention concerne notamment un procédé de détection d'un transistor en avalanche dans un pont de puissance pilotant une machine électrique tournante, ainsi qu'un pont de puissance mettant en œuvre ledit procédé 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 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.

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-démarrreur. Plus particulièrement encore, le contexte de la présente invention est celui des machines électriques tournantes à aimants permanents.

Selon un premier mode de fonctionnement, la machine électrique tournante est connectée à un pont de puissance comprenant des composants de puissance 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.

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. En particulier, en cas de désolidarisation d'une connexion électrique d'un des composants de puissance, un phénomène d'avalanche peut apparaître, entraînant une élévation exponentielle du courant électrique traversant le composant de puissance en avalanche. Un tel courant électrique d'avalanche peut atteindre plusieurs dizaines d'ampères, voire quelques centaines d'ampères, et il peut détruire le pont de puissance et/ou les équipements électriques du réseau de bord.

Par conséquent, il est nécessaire de détecter le plus rapidement possible un mode d'avalanche de l'un des composants de puissance du pont de puissance et de mettre en sécurité ledit pont de puissance le plus rapidement possible.

La présente invention a ainsi pour objet de proposer un nouveau procédé de détection d'avalanche d'un pont 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 bras de commutation comprenant :

- 10 – une borne de masse destinée à être reliée à une masse d'un réseau électrique ;
- une borne d'alimentation destinée à être reliée à une borne positive du réseau électrique ;
- un premier interrupteur comportant :
 - une première borne d'entrée de courant,
 - une première borne de sortie de courant, et
 - 15 ○ une première borne de commande permettant de faire passer le premier interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,la première borne d'entrée étant connectée électriquement à la borne d'alimentation ;
- un deuxième interrupteur comportant :
 - une deuxième borne d'entrée de courant,
 - 20 ○ une deuxième borne de sortie de courant, et
 - une deuxième borne de commande permettant de faire passer le deuxième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,la deuxième borne de sortie de courant étant connectée électriquement à la borne de masse, la première borne de sortie de courant étant connectée à la deuxième borne d'entrée de courant en un point milieu, ledit point milieu étant destinée à être connectée électriquement
- 25 à une phase électrique d'une machine électrique tournante ;
- ledit bras de commutation étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif de détection d'avalanche comprenant :
 - un premier circuit conçu pour générer une première tension de détection, ledit
 - 30 premier circuit comprenant une résistance de détection et une capacité de détection connectées en série en un point intermédiaire, l'association en série desdites

résistance de détection et capacité de détection étant placée en parallèle entre la première borne d'entrée et la première borne de sortie, ladite première tension de détection étant générée audit point intermédiaire ;

- 5 ○ un deuxième circuit conçu pour générer une deuxième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse lorsque la tension au point milieu est supérieure à une valeur seuil ; et
- 10 ○ un comparateur de tension configuré pour comparer la deuxième tension de détection à une tension représentative de la première tension de détection et pour générer une tension de détection d'avalanche en fonction du résultat de la comparaison.

Le bras de commutation 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 :

- 15 - la tension de détection d'avalanche est à une valeur positive lorsque une avalanche est détectée ;
- la valeur seuil est supérieure à la tension d'avalanche du deuxième interrupteur ;
- les interrupteurs sont des transistors MOSFETs ;
- 20 - la tension de détection d'avalanche est à un potentiel différent de la borne de masse, préférentiellement à un potentiel supérieur à celui de la borne de masse lorsque ladite tension représentative est supérieure à ladite deuxième tension ;
- le dispositif de détection d'avalanche comprend en outre un troisième circuit conçu pour générer la tension représentative à partir de la première tension de détection, la tension représentative étant de préférence linéairement corrélée à la première tension de détection ;
- 25 - le troisième circuit comprend un premier circuit diviseur de tension connecté entre le point intermédiaire et la borne de masse, ledit pont diviseur générant la tension représentative à partir de la première tension de détection ;
- le deuxième circuit de génération comprend en outre :
 - 30 ○ un deuxième circuit diviseur de tension disposé entre le point milieu et la borne de masse, ledit deuxième circuit diviseur de tension comprenant au moins une première résistance de seuillage montée en série avec une deuxième résistance de seuillage, une première borne de ladite deuxième résistance de seuillage étant connectée à la borne de masse, et
 - un troisième interrupteur comportant :
 - une troisième borne d'entrée de courant,

- une troisième borne de sortie de courant, et
- une troisième borne de commande permettant de faire passer le deuxième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

la troisième borne d'entrée de courant étant connectée à la deuxième borne de ladite deuxième résistance de seuillage, ledit troisième interrupteur étant configuré pour que la troisième borne d'entrée de courant soit reliée à la borne masse lorsque la tension au point milieu est supérieure à la valeur seuil, ladite deuxième tension de détection étant générée aux bornes de ladite borne d'entrée de courant ;

– le deuxième circuit de génération comprend en outre :

- une troisième résistance de seuillage connectée entre la première résistance de seuillage et le point milieu ;
- une diode zener connectée par son anode à la troisième borne de commande et par sa cathode à l'une des bornes de la troisième résistance de seuillage ; et
- une quatrième résistance de seuillage connectée entre la troisième borne de commande et la borne de masse ;

– la diode zener est connectée à la troisième borne de commande par l'intermédiaire d'une diode intermédiaire dont l'anode est connectée à la diode zener et la cathode est connectée à la troisième borne de commande.

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

Selon un troisième aspect de l'invention, il est proposé un procédé de détection d'avalanche mis en œuvre dans un pont de puissance conforme au deuxième aspect de l'invention, ledit pont de puissance étant connecté entre un réseau électrique et une machine électrique tournante, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- une première étape de génération d'une première tension de détection audit point intermédiaire;
- une deuxième étape de génération d'une deuxième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse lorsque la tension au point milieu est supérieure à une valeur seuil,
- une troisième étape de comparaison de la deuxième tension de détection à une tension représentative de la première tension de détection, et
- une quatrième étape de génération d'une tension de détection d'avalanche en fonction de la comparaison réalisée à la troisième étape.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, la valeur seuil est supérieure ou égale à 60 V, préférentiellement supérieure ou égale à 80V, encore plus préférentiellement supérieur ou égale à 100V.

5 Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre une cinquième étape de génération d'un signal de commande pour faire passer le deuxième interrupteur à l'état fermé lorsque la tension de détection d'avalanche générée lors de la quatrième étape indique que le deuxième transistor est en avalanche.

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

10

Description des figures

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 :

- 15 - la FIGURE 1 illustre une vue schématique d'un réseau électrique comprenant une machine électrique connectée électriquement à un pont de puissance conforme à l'invention ;
- la FIGURE 2 illustre un schéma de principe d'un exemple de réalisation d'un dispositif de détection d'avalanche associé à un premier étage d'un bras de commutation du pont de puissance ;
- 20 - la FIGURE 3 illustre un diagramme d'un procédé de détection d'avalanche conforme au troisième aspect de l'invention ;

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
25 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
30 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

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 alterno-démarrreur. 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 branches électriques 10. Chaque bras de commutation 10 comprend un premier E1 et 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.

Pour chacune des branches électriques 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 D1 du premier transistor Q1 est destinée à être connectée au réseau de bord B+ ; et une borne de sortie de courant du deuxième transistor 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 $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$ de la machine électrique tournante 2 afin d'alimenter en tension continue le réseau de bord B+ 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 connectée électriquement à l'une des phases électriques $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$ de la machine électrique tournante 2. Plus particulièrement encore, chaque bras de commutation 10 du pont de puissance est connecté électriquement à l'une des phases électriques $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$ 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, au moins une partie des premiers composants de puissance Q1 du premier étage E1 est connecté électriquement à un dispositif de détection d'avalanche 300 configuré pour mettre en œuvre le procédé de détection d'avalanche conforme au deuxième aspect de l'invention. Plus particulièrement, et comme il sera décrit plus bas en référence à la FIGURES 2, le dispositif de détection d'avalanche 300 permet de détecter la présence d'un dysfonctionnement du composant de

puissance QII du bras de commutation dans lequel est connecté le dispositif de détection d'avalanche 300 et éventuellement de permettre la génération d'un signal de commande permettant de piloter les deuxièmes composants de puissance QII afin de les mettre en sécurité.

5 Dans la suite de la description, chaque premier QI et deuxième QII composant de puissance sont du type MOSFET dopé N. En d'autres termes, le drain, la source et la grille des transistors de type 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 QI et deuxième QII composant de puissance peut être du type de n'importe quel transistor.

10 En référence à la FIGURE 2, un exemple de réalisation d'un dispositif de détection d'avalanche 300 associé à l'un des MOSFET QI des premiers étages E1 du premier bras de commutation 10 du pont de puissance 1 va maintenant être décrit.

15 Le dispositif de détection d'avalanche 300 est configuré pour détecter si le MOSFET QII du deuxième étage E2 du bras de commutation 10 du pont de puissance 1 dans lequel il est inséré est en avalanche.

On rappelle qu'un disfonctionnement de type avalanche se produit lorsque une surtension apparaît entre les bornes drain et source d'un transistor de puissance, par exemple de type MOSFET, et qu'un tel disfonctionnement du type avalanche se traduit par un fort courant électrique traversant le MOSFET QI, QII du pont de puissance, et plus particulièrement un courant électrique dont
20 l'intensité croît très rapidement, par exemple de manière exponentielle, et de manière prolongée. En particulier, un phénomène d'avalanche peut se produire lorsqu'un transistor de puissance est à l'état ouvert ou lorsque un transistor de puissance est en train de commuter de l'état fermé à l'état ouvert.

Le dispositif de détection d'avalanche 300 comprend :

- 25
- un premier circuit 110 conçu pour générer une première tension de détection. comprenant 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 en parallèle entre la borne drain D1 et la borne source S1 du MOSFET QI. En d'autres termes, la capacité de détection C1 est connectée par une de ses bornes au point milieu 11a et par l'autre de ces
30 bornes en un point intermédiaire 111 à la résistance de détection R8,
 - un deuxième circuit 330 conçu pour générer une deuxième tension de détection, cette deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse GND lorsque la tension au point milieu 11a est supérieure à une valeur seuil SE1. Cette valeur seuil SE1 peut

être choisie par exemple comme la tension drain-source à partir de laquelle le phénomène d'avalanche apparaît dans le MOSFET Q11,

- un troisième circuit 310 conçu pour générer une tension représentative de la première tension de détection, et
- 5
- un comparateur de tension X1 conçu pour comparer la deuxième tension de référence à la tension représentative et pour générer une tension de détection d'avalanche ASC_LS en fonction du résultat de la comparaison effectué par le comparateur de tension X1.

Dans l'exemple décrit ici, le comparateur de tension X1 est alimenté par une source de tension continue P5. Le potentiel électrique de la source de tension P5 est par exemple égal à 5 V.

- 10
- Le comparateur de tension X1 comporte en outre une borne positive d'entrée recevant la tension représentative et une borne négative d'entrée recevant la deuxième tension de détection. Le comparateur X1 comporte également une borne de sortie dont le potentiel est positif lorsque la tension présente sur la borne positive d'entrée est supérieure à la tension présente sur la borne négative d'entrée du comparateur X1 et dont le potentiel est nul dans le cas contraire
- 15
- Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, l'entrée négative du comparateur de tension X1 est reliée à la source de tension P5 au moyen d'une première résistance de rappel R25 et d'une diode D23.

La diode D23 empêche avantageusement qu'un courant ne s'écoule en direction de la source de tension continue P5, en particulier lorsque la tension au point milieu 11a dépasse une certaine valeur, par exemple dans l'exemple considéré une valeur de 60V.

20

Dans l'exemple décrit à la figure 2, le premier circuit 110 comprend :

- une première diode de décharge D2 connectée en parallèle de la résistance de détection R8, la cathode de la première diode de décharge étant connectée à la borne d'alimentation B+,
 - une deuxième diode de décharge D7 en série avec une résistance de décharge R4,
- 25
- l'association en série de la résistance de décharge R4 et de la deuxième diode de décharge D7 étant connectée entre le point intermédiaire 111 et le point milieu 11a.

Dans l'exemple décrit à la figure 2, le troisième circuit 310 comprend un premier circuit diviseur de tension connecté entre le point intermédiaire 111 et la borne de masse GND. Ce premier circuit diviseur de tension est formé par une première R21 et une deuxième R22 résistance connectée en

30

série par l'intermédiaire d'une diode D21.

Ainsi, la première borne de la première résistance R21 est connectée au point intermédiaire III du premier circuit 110 et la deuxième borne de la première résistance R21 est connectée à l'anode de la diode D21. La cathode de la diode D21 est connectée à la première borne de la deuxième résistance R22. La deuxième borne de la deuxième résistance R22 est connectée à la borne de masse GND.

- 5 Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, le troisième circuit 310 comporte une première capacité de filtrage C21 située entre la borne de masse GND et un point intermédiaire situé entre la première résistance R21 et la diode D21 du pont diviseur.

En variante, la résistance R21 et la résistance R22 peuvent être connectée en série directement sans l'intermédiaire de la diode optionnelle D21.

- 10 Lorsqu'elle est présente, la diode D21 permet d'assurer qu'aucune tension négative ne puisse être présente sur la borne positive d'entrée du comparateur de tension X1

Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, le troisième circuit 310 comporte une deuxième capacité de filtrage C22 connectée aux bornes de la deuxième résistance R22, c'est-à-dire entre la borne de masse GND et la première borne de la deuxième résistance R22.

- 15 La première borne de la résistance R22 est connectée à la borne d'entrée positive du comparateur de tension X1. En d'autres termes, le premier circuit diviseur de tension permet d'obtenir au niveau de la première borne de la deuxième résistance R22 une tension représentative linéairement corrélée à la première tension de détection mesurée au niveau du point intermédiaire III du premier circuit 110.

- 20 Dans l'exemple décrit à la figure 2, le deuxième circuit 330 comprend un deuxième circuit diviseur de tension disposé entre le point milieu 11a et la borne de masse GND, ledit deuxième circuit diviseur de tension étant formé par une première résistance de seuillage R23 montée en série avec une deuxième résistance de seuillage R26 et une troisième résistance de seuillage R24. La deuxième résistance de seuillage R26 est connectée par une première borne au point milieu 11a. La troisième résistance de seuillage R24 est connectée par une première borne à la borne de masse GND.

- 25 Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, une diode D22 est avantageusement disposées entre la deuxième résistance de seuillage R23 et la troisième résistance de seuillage R24. La diode D22 permet d'assurer que le comparateur de tension X1 ne se déclenche pas lorsque la tension au point milieu devient négative.

- 30 Ainsi, la valeur des résistances de seuillage R23, R24 et R26 ainsi qu'éventuellement les caractéristique de la diode D22 sont déterminés afin que le potentiel présent au point du deuxième

circuit où les résistances R26 et R23 sont connectées atteigne une valeur de référence S2 lorsque le potentiel au point milieu 11a dépasse la valeur de seuil SE1.

Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, une capacité de filtrage C23 est avantageusement placée en parallèle de la troisième résistance de seuillage R24.

- 5 Le deuxième circuit 330 comprend également un transistor Q4 – préférentiellement du type d'un transistor bipolaire dopé N - configuré pour qu'une borne collectrice C dudit transistor Q4 soit reliée à la borne masse GND lorsque la tension au point milieu 11a est supérieure à la valeur seuil SE1. En d'autres termes, la borne collectrice C du transistor Q4 du module de détection d'avalanche 330 est forcé au potentiel électrique de la borne de masse GND lorsque la tension au point milieu
- 10 11a est supérieure à la valeur seuil SE1.

Plus particulièrement, le transistor Q4 fonctionne comme un interrupteur dont :

- une borne émettrice E est reliée à la borne de masse GND ;
- une borne collectrice C est reliée à une deuxième borne de la troisième résistance de seuillage R24 ;
- 15 - une borne de base B permet de contrôler l'état du transistor de façon que celui-ci se comporte comme un interrupteur fermé lorsque la tension au point milieu 11a est supérieure à la valeur seuil SE1.

Dans l'exemple décrit ici, la borne de base B est piloté par l'intermédiaire d'une quatrième résistance R45 de seuillage et d'une diode zener D48.

- 20 La tension de polarisation de la diode zener D48 est choisie de sorte que la diode zener D48 se polarise uniquement lorsque le potentiel présent au point du deuxième circuit où les résistances R26 et R23 sont connectées ensemble dépasse la valeur de référence S2.

Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, une capacité de filtrage C41 est avantageusement placée en parallèle de la quatrième résistance de seuillage R45.

- 25 La résistance R45 est connectée par une première borne à la borne de masse et par une deuxième borne à la borne de base B. La cathode de la diode zener D48 est connectée à la borne qui n'est pas connectée au point milieu 11a de la première résistance de seuillage R26. L'anode de la diode zener D48 est connectée à la borne de base B, préférentiellement par l'intermédiaire d'une diode D49.

- En d'autres termes, l'anode de la diode zener D48 est connecté à l'anode de la diode D49 et la
- 30 cathode de la diode D49 est connectée à la borne de base B. Ainsi, la diode zener D48 et la diode D49 sont montées en opposition l'une par rapport à l'autre.

La diode D49 permet d'empêcher la conduction de la diode zener D48 lorsque la tension au point milieu devient négative.

En fonctionnement normal de la machine électrique tournante 2, la tension au point intermédiaire III est sensiblement nulle lorsque le MOSFET Q1 est ouvert ou fermé puisque dans ce cas la capacité de
5 détection C1 se charge très peu lors des commutations du MOSFET Q1 et se décharge presque immédiatement par l'intermédiaire d'une des diodes de décharge D2 et D7. Ainsi, la tension représentative présente sur la borne d'entrée positive du comparateur X1 est quasi nulle.

Par ailleurs, en fonctionnement normal, la diode zener D48 est non polarisée de sorte que le transistor Q4 est à l'état ouvert.

10 La valeur de la phase électrique $\Phi 1$ connectée au point milieu IIa est dans l'exemple décrit comprises par exemple entre 0 et 48 V.

Ainsi, le deuxième circuit diviseur de tension délivre une tension non nulle et positive à la borne de sortie négative du comparateur de tension X1.

De fait, comme la tension présente sur la borne positive d'entrée du comparateur X1 est quasi nulle
15 tandis qu'une tension positive est appliquée sur la borne d'entrée négative du comparateur X1, il en résulte que la borne de sortie du comparateur X1 est à un potentiel nul et qu'aucune avalanche n'est détectée sur le MOSFET Q11.

En revanche, si le MOSFET Q1 du premier étage E1 est par exemple cassé dans l'état ouvert alors que le MOSFET Q11 du deuxième étage E2 reçoit une commande d'ouverture, le MOSFET Q11 passe en
20 avalanche à cause de la présence de la charge inductive que représente la phase $\Phi 1$. En d'autres termes, la tension entre le drain et la source du MOSFET Q11 s'élève jusqu'à dépasser la valeur de 48V, pour atteindre par exemple une valeur de 100V.

Dans le même temps, l'élévation anormale du potentiel observée au niveau du point milieu IIa provoque la charge de la capacité C1, cette charge de la capacité C1 assure que la tension
25 représentative de la première tension de détection est non nulle et positive.

Par ailleurs, le potentiel du point du deuxième circuit où les résistances R26 et R23 sont connectées ensemble dépasse la valeur seuil SE2, par exemple fixée à la valeur de 80V par le choix des résistances de seuillage R26, R24 et R23.

Lorsque le potentiel du point du deuxième circuit où les résistances R26 et R23 sont connectées
30 ensemble dépasse la valeur seuil SE2, la diode Zener D48 devient passante et polarise le transistor

Q4 de sorte que ce transistor se comporte comme un interrupteur fermé. Consécutivement, le potentiel électrique au niveau de la borne collectrice C du transistor Q4 est porté à celui de la borne de masse GND, c'est-à-dire sensiblement égal à 0 V.

5 Le comparateur de tension X1 compare alors la valeur représentative de la première tension de détection qui est positive et non nulle à la valeur de la deuxième tension de détection qui est sensiblement égale à 0V de par la mise à la masse de la borne collectrice du transistor Q4 et génère sur sa sortie une tension de détection d'avalanche ASC_LS positive et non nulle.

La sortie du comparateur de tension X1 délivre ainsi sous forme de tension un signal de détection de la mise en avalanche du MOSFET Q11.

10 Enfin, dans l'exemple décrit à la figure 2, une résistance de polarisation R9 est par ailleurs située entre la borne grille G et la borne source S du MOSFET Q1.

En référence à la figure 3, un procédé de détection d'un transistor en avalanche dans un bras de commutation 10 mis en œuvre par un pont de puissance selon l'invention va à présent être décrit.

15 Au cours d'une étape E1, une première tension de détection VIII est générée au niveau du point intermédiaire III d'un premier bras de commutation 10 du pont de puissance.

Au cours d'une étape E2, une deuxième tension de détection Vc est générée au niveau de la borne C du transistor Q4, cette deuxième tension de détection est au potentiel de la borne de masse lorsque la tension au point milieu est supérieure à la valeur seuil SE1 puisque dans ce cas, la diode D48 est polarisée.

20 Au cours d'une étape E3, le comparateur de tension X1 compare la tension représentative Vrep de la première tension de détection délivrée sur sa borne positive par le premier circuit diviseur de tension à la deuxième tension de détection disponible sur sa borne négative.

25 Au cours d'une étape E4, le comparateur de tension X1 génère une tension de détection d'avalanche ASC_LS en fonction de la comparaison réalisée à l'étape E4. Ainsi, le comparateur de tension X1 génère une tension positive et non nulle lorsque le transistor Q11 du premier bras de commutation est en avalanche et une tension nulle sinon.

Au cours d'une étape E5, le module de commande du pont de puissance détecte que la tension d'avalanche ASC_LS est positive et non nulle et génère un signal de commande SC pour faire passer le deuxième interrupteur Q12 du premier bras de commutation à l'état fermé.

En variante, lors de l'étape E5, le module de commande du pont de puissance détecte que la tension d'avalanche ASC_LS est positive et non nulle et génère un signal de commande pour faire passer tous les deuxièmes interrupteurs Q11 de tous les bras de commutation à l'état fermé.

5 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 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. Bras de commutation (10) comprenant :

- une borne de masse (GND) destinée à être reliée à une masse d'un réseau électrique ;
- une borne d'alimentation (B+) destinée à être reliée à une borne positive du réseau électrique ;
- 5 — un premier interrupteur (Q1) comportant :
 - une première borne d'entrée de courant (D₁),
 - une première borne de sortie de courant (S₁), et
 - une première borne de commande (G₁) permettant de faire passer le premier interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

10 la première borne d'entrée (D₁) étant connectée électriquement à la borne d'alimentation (B+) ;

- un deuxième interrupteur (QII) comportant :
 - une deuxième borne d'entrée de courant (D₂),
 - une deuxième borne de sortie de courant (S₂), et
 - 15 ○ une deuxième borne de commande (G₂) permettant de faire passer le deuxième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

la deuxième borne de sortie de courant (S₂) étant connectée électriquement à la borne de masse, la première borne de sortie de courant (S₁) étant connecté à la deuxième borne d'entrée de courant (D₂) en un point milieu (11a, 11b, 11c), ledit point milieu étant destinée à être connectée électriquement à une phase électrique d'une machine électrique tournante (2) ;

20 ledit bras de commutation (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif de détection d'avalanche (110, 310, 330, X1) comprenant :

- un premier circuit (110) conçu pour générer une première tension de détection, ledit premier circuit comprenant une résistance de détection (R8) et une capacité de détection (C1) connectées en série en un point intermédiaire (III), l'association en série desdites résistance de détection (R8) et capacité de détection (C1) étant placée en parallèle entre la première borne d'entrée (D₁) et la première borne de sortie (S₁), ladite première tension de détection étant générée audit point intermédiaire (III) ;
 - un deuxième circuit (330) conçu pour générer une deuxième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse (GND) lorsque la tension au point milieu (11a) est supérieure à une valeur seuil ; et
- 25
- 30

- un comparateur de tension (Xi) configuré pour comparer la deuxième tension de détection à une tension représentative de la première tension de détection et pour générer une tension de détection d'avalanche (ASC_LS) en fonction du résultat de la comparaison.
- 5 2. Bras de commutation selon la revendication 1 dans lequel la tension de détection d'avalanche (ASC_LS) est à un potentiel différent de la borne de masse, préférentiellement à un potentiel supérieur à celui de la borne de masse (GND) lorsque ladite tension représentative est supérieure à ladite deuxième tension.
- 10 3. Bras de commutation selon la revendication 1 ou 2 dans lequel le dispositif de détection d'avalanche comprend en outre un troisième circuit (310) conçu pour générer la tension représentative à partir de la première tension de détection, la tension représentative étant de préférence linéairement corrélée à la première tension de détection.
- 15 4. Bras de commutation selon la revendication 3 dans lequel le troisième circuit (310) comprend un premier circuit diviseur de tension (R21, R22) connecté entre le point intermédiaire (III) et la borne de masse (GND), ledit pont diviseur générant la tension représentative à partir de la première tension de détection.
5. Bras de commutation (10) selon l'une des revendications 1 à 4 dans lequel le deuxième circuit (330) de génération comprend en outre :
- 20 – un deuxième circuit diviseur de tension disposé entre le point milieu et la borne de masse (GND), ledit deuxième circuit diviseur de tension (R23, R24, R26) comprenant au moins une première résistance de seuillage (R23) montée en série avec une deuxième résistance de seuillage (R24), une première borne de ladite deuxième résistance de seuillage (R24) étant connectée à la borne de masse (GND), et
- 25 – un troisième interrupteur (Q4) comportant :
- une troisième borne d'entrée de courant (C),
 - une troisième borne de sortie de courant (E), et
 - une troisième borne de commande (B) permettant de faire passer le deuxième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

la troisième borne d'entrée de courant (C) étant connectée à la deuxième borne de ladite deuxième résistance de seuillage (R24), ledit troisième interrupteur (Q4) étant configuré pour que la troisième borne d'entrée de courant (C) soit reliée à la borne masse (GND) lorsque la tension au point milieu est supérieure à la valeur seuil, ladite deuxième tension de détection étant générée aux bornes de ladite borne d'entrée de courant (C).

5

6. Bras de commutation selon la revendication 5 dans lequel le deuxième circuit (330) de génération comprend en outre :

— une troisième résistance de seuillage (R26) connectée entre la première résistance de seuillage (R23) et le point milieu ;

10

— une diode zener (D48) connectée par son anode à la troisième borne de commande (B) et par sa cathode à l'une des bornes de la troisième résistance de seuillage (R26) ; et

— une quatrième résistance de seuillage (R45) connectée entre la troisième borne de commande (B) et la borne de masse (GND).

7. Pont de puissance (1) comprenant au moins un bras de commutation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6

15

8. Procédé de détection d'avalanche mis en œuvre dans un pont de puissance (1) selon la revendication précédente, ledit pont de puissance étant connecté entre un réseau électrique et une machine électrique tournante (2), ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

20

— une première étape (E1) de génération d'une première tension de détection audit point intermédiaire (III);

— une deuxième étape (E2) de génération d'une deuxième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse lorsque la tension au point milieu est supérieure à une valeur seuil (SE1),

25

— une troisième étape (E3) de comparaison de la deuxième tension de détection à une tension représentative de la première tension de détection, et

— une quatrième étape (E4) de génération d'une tension de détection d'avalanche en fonction de la comparaison réalisée à la troisième étape.

9. Procédé de détection d'avalanche selon la revendication précédente, dans lequel la valeur seuil (SEI) est supérieure ou égale à 60 V, préférentiellement supérieure ou égale à 80V, encore plus préférentiellement supérieur ou égale à 100V.

10. Procédé de détection d'avalanche selon l'une quelconque des revendications 8 à 9 comprenant en outre une cinquième étape (E5) de génération d'un signal de commande pour faire passer le deuxième interrupteur (QII) à l'état fermé lorsque la tension de détection d'avalanche générée lors de la quatrième étape indique que le deuxième interrupteur est en avalanche.

Figure 1

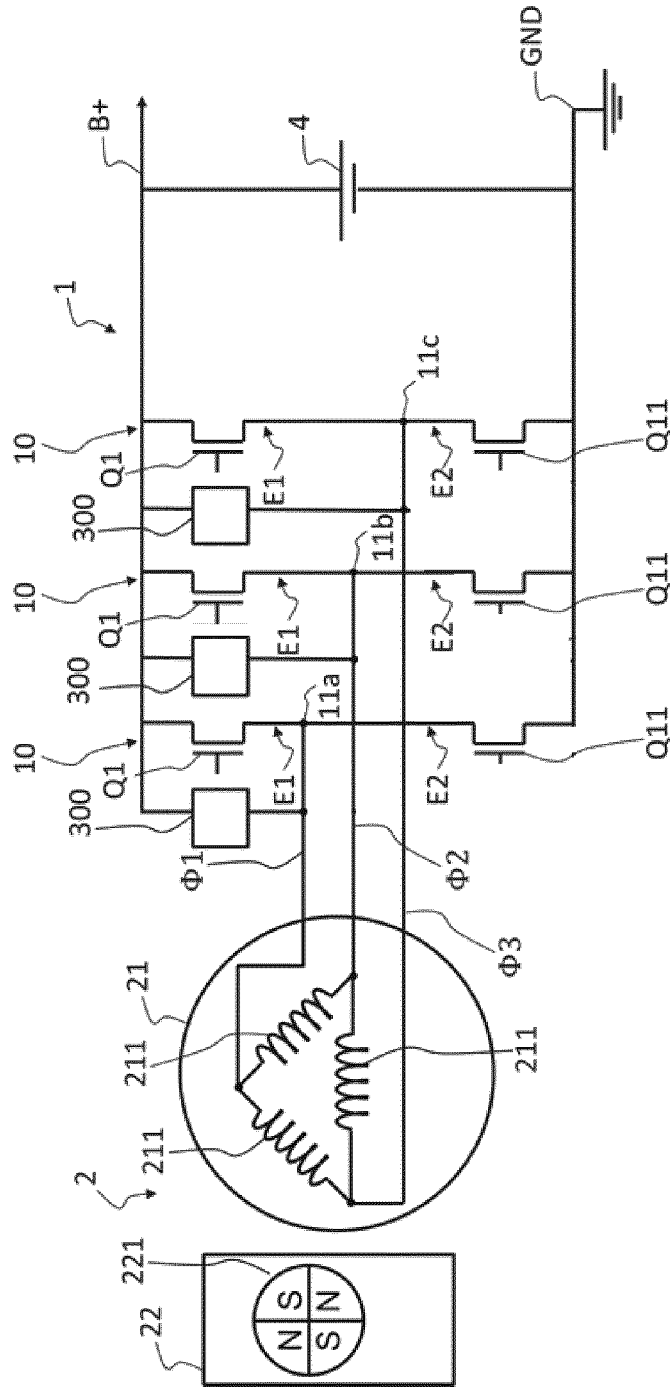
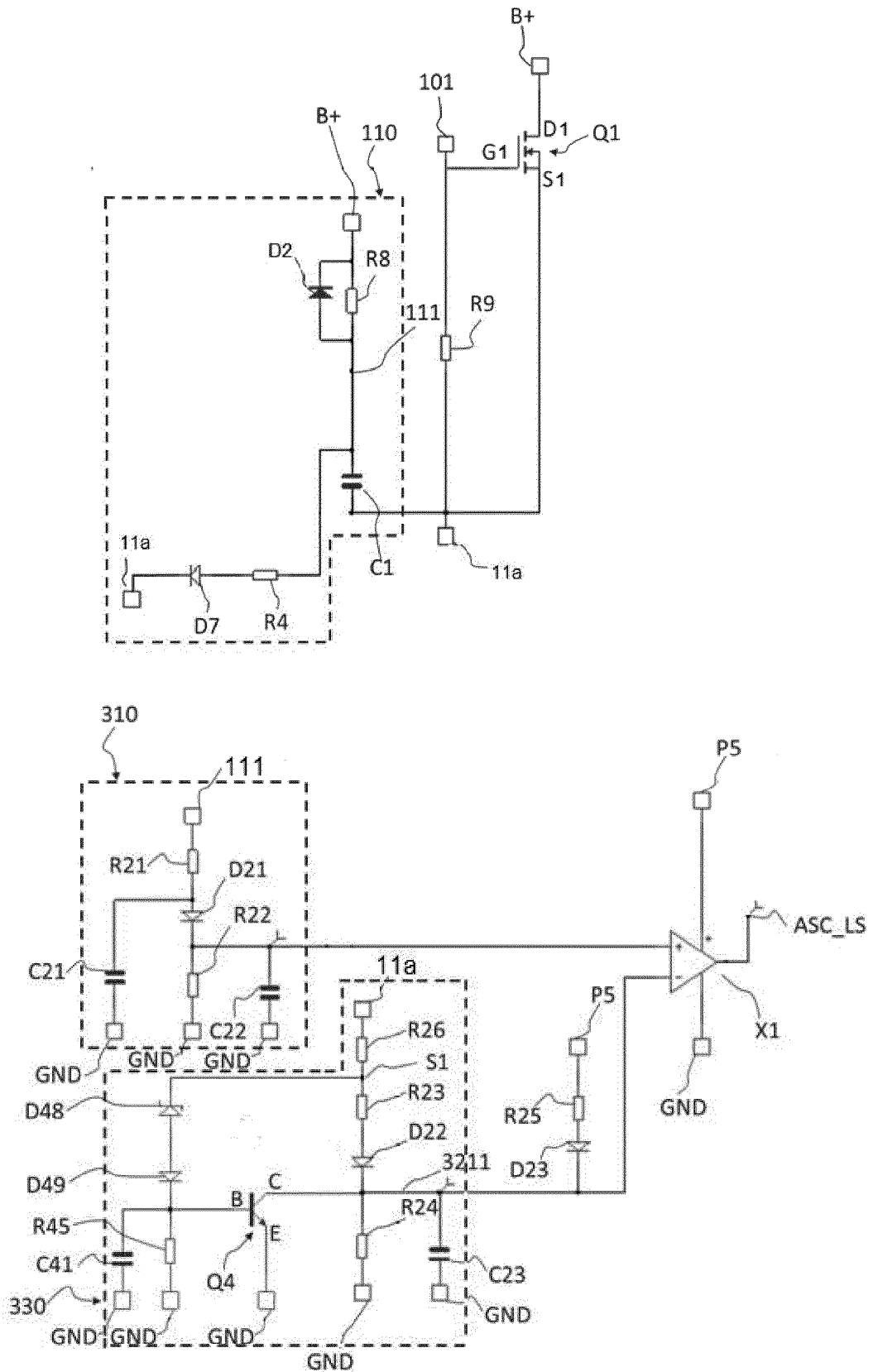
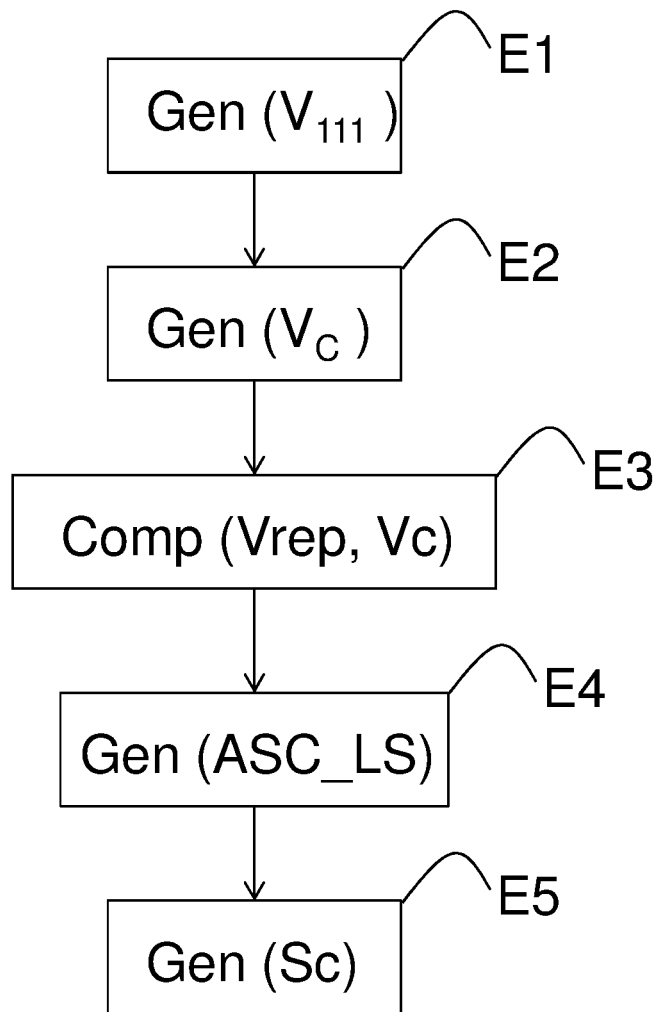


Figure 2



3/3

Figure 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 (nouveau) 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 2014/098581 A1 (TAKIZAWA SATOKI [JP])
10 avril 2014 (2014-04-10)

US 2017/117798 A1 (BASLER THOMAS [DE] ET
AL) 27 avril 2017 (2017-04-27)

CN 104 702 252 A (GEN ELECTRIC)
10 juin 2015 (2015-06-10)

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

NEANT

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

NEANT