

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

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.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : LECOCQ YANN, BERTRAND MATHIEU et YAZANE SAMIR.

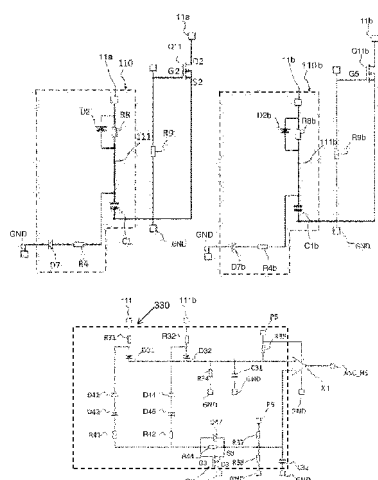
73 Titulaire(s) : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée.

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

54 PROCEDE DE DETECTION D'AVALANCHE D'UN PONT DE PUISSANCE.

57 L'invention concerne notamment un bras de commutation (10) comprenant un premier interrupteur (Q1) et un deuxième interrupteur (Q11) caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de détection d'avalanche (110, 330, X1) comprenant :

- un premier circuit (110) conçu pour générer une première tension de détection représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant ;
- un deuxième circuit (330) conçu pour générer une deuxième et une troisième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse (GND) et ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positif lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil ; et
- un comparateur de tension (X1) configuré pour comparer la deuxième tension de détection à la troisième tension de détection et pour générer une tension de détection d'avalanche (ASC HS) en fonction du résultat de la comparaison.



« Procédé de détection d'avalanche d'un pont de puissance »

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 alerno-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 connecté 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
 - 30 représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant ;

- un deuxième circuit conçu pour générer une deuxième et une troisième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse et ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positif lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil ; et
- 5
- un comparateur de tension configuré pour comparer la deuxième tension de détection à la troisième 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

10 formant ces perfectionnements pouvant être prises seules ou en combinaison :

- la valeur seuil est négative ;
 - les interrupteurs sont des transistors MOSFETs ;
 - la tension de détection d'avalanche est à une valeur positive lorsque une avalanche est détectée ;
- 15
- le premier circuit comprend une première résistance de détection et une première capacité de détection connectées en série en un premier point intermédiaire, l'association en série desdites première résistance de détection et première capacité de détection étant placée en parallèle entre la deuxième borne d'entrée et la deuxième borne de sortie, ladite première tension de détection étant générée audit premier point intermédiaire ;
- 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 troisième tension est supérieure à ladite deuxième tension ;
 - le deuxième circuit comprend :
 - une première résistance de seuillage, une première diode et une deuxième résistance de seuillage connectées en série, la cathode de la première diode étant connectée à une borne de la deuxième résistance de seuillage et l'anode de la première diode étant connectée à une borne de la première résistance de seuillage, l'association en série étant connectée en parallèle entre le premier point intermédiaire et la borne de masse, ladite troisième tension de détection étant générée à la cathode de la
- 25
- une résistance de rappel destinée à être connectée entre une source de tension auxiliaire et la cathode de la première diode ;
- 30
- le deuxième circuit de génération comprend en outre :
 - un troisième interrupteur comportant :
 - une troisième borne d'entrée de courant,
- 35

- une troisième borne de sortie de courant, et
 - une troisième borne de commande permettant de faire passer le troisième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,
- 5 ○ la troisième borne d'entrée de courant étant connectée à la borne de masse, ladite deuxième tension de détection étant générée à la troisième borne de sortie de courant ;
- une troisième résistance de seuillage et une première diode zener connectée en série, l'association en série de la troisième résistance de seuillage et de la première diode zener étant connectée entre l'anode de la première diode et la troisième borne de
- 10 commande ; et
- une quatrième résistance de seuillage connectée entre la troisième borne de sortie de courant et la borne de masse ;
- le bras de commutation comprend en outre une cinquième résistance de seuillage destinée à être connecté à la source de tension auxiliaire et la troisième borne de sortie de courant.

15 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.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention le pont de puissance comprend en outre un deuxième bras de commutation comprenant :

- 20 — un quatrième interrupteur comportant :
- une quatrième borne d'entrée de courant,
 - une quatrième borne de sortie de courant, et
 - une quatrième borne de commande permettant de faire passer le quatrième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,
- 25 la quatrième borne d'entrée étant connectée électriquement à la borne d'alimentation;
- un cinquième interrupteur comportant :
- une cinquième borne d'entrée de courant,
 - une cinquième borne de sortie de courant, et
 - une cinquième borne de commande permettant de faire passer le cinquième
- 30 interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

la cinquième borne de sortie de courant étant connectée électriquement à la borne de masse, la quatrième borne de sortie de courant étant connecté à la cinquième borne d'entrée

de courant en un point milieu, ledit point milieu étant destinée à être connectée électriquement à une phase électrique de la machine électrique tournante ;

le dispositif de détection d'avalanche comprenant en outre :

- 5 ○ un troisième circuit conçu pour générer une quatrième tension de détection représentative de la tension entre la cinquième borne d'entrée de courant et la cinquième borne de sortie de courant ; et
- 10 ○ le deuxième circuit étant conçu pour que ladite deuxième tension de détection soit également au potentiel de la borne de masse et ladite troisième tension de détection soit également à un potentiel positif lorsque la quatrième tension de détection est inférieure à la valeur seuil.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, le troisième circuit comprend une deuxième résistance de détection et une deuxième capacité de détection connectées en série en un deuxième point intermédiaire, l'association en série desdites deuxième résistance de détection et deuxième capacité de détection étant placée en parallèle entre la cinquième borne d'entrée et la cinquième borne de sortie, ladite quatrième tension de détection étant générée audit deuxième point intermédiaire.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, le deuxième circuit comprend en outre une sixième résistance de seuillage, une deuxième diode connectées en série, la cathode de la deuxième diode étant connectée à la cathode de la première diode et l'anode de la deuxième diode étant connectée à une borne de la sixième résistance de seuillage, l'association en série étant connectée en parallèle entre le deuxième point intermédiaire et la cathode de la première diode.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, le deuxième circuit comprend en outre une septième résistance de seuillage et une deuxième diode zener connectée en série, l'association en série de la septième résistance de seuillage et de la deuxième diode zener étant connectée entre l'anode de la deuxième diode et la troisième borne de commande.

Selon un troisième aspect de l'invention, il est proposé un procédé de détection d'un transistor en avalanche dans un pont de puissance conforme au deuxième aspect de l'invention, ledit pont étant connecté entre un réseau électrique et une machine électrique tournante,

ledit procédé de détection comprenant les étapes suivantes :

- 30 – une première étape de mesure d'une première tension de détection représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant ;

- 5

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, la valeur seuil est inférieure ou égale à - 20 V, de préférence inférieure ou égale à -30V.

15

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

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 :

- 25

30

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.

10 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.

20 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 altermo-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 deuxième composants de puissance Q11 du deuxième étage E2 est connecté électriquement à un dispositif de détection d'avalanche 3100 configuré pour mettre en œuvre le procédé de détection d'avalanche conforme au troisième 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 3100 permet de détecter la présence d'un dysfonctionnement du composant de puissance Q1 du bras de commutation dans lequel est connecté le dispositif de détection d'avalanche 3100 et éventuellement de permettre la génération d'un signal de commande permettant de piloter les premiers composants de puissance Q1 afin de les mettre en sécurité.

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 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.

En référence à la FIGURE 2, un exemple de réalisation d'un dispositif de détection d'avalanche 3100 associé à l'un des MOSFET Q11 des deuxième étages E2 du premier bras de commutation 10 du pont de puissance 1 va maintenant être décrit.

Le dispositif de détection d'avalanche 3100 est configuré pour détecter si le MOSFET Q1 du premier étage E1 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 Q1, Q11 du pont de puissance, et plus particulièrement un courant électrique dont 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 lorsqu'un transistor de puissance est en train de commuter de l'état fermé à l'état ouvert.

Le dispositif de détection d'avalanche 3100 comprend :

- un premier circuit 110 conçu pour générer une première tension de détection représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant du MOSFET Q11 ;
- 5 – un deuxième circuit 330 conçu pour générer une deuxième et une troisième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse GND et ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positif lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil PSI ; et
- 10 – un comparateur de tension X1 configuré pour comparer la deuxième tension de détection à la troisième tension de détection et pour générer une tension de détection d'avalanche ASC_HS en fonction du résultat de la comparaison.
- 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_HS 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.

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

Dans l'exemple décrit à la figure 2, le premier circuit 110 comprend une première résistance de détection R8 et une première capacité de détection C1 connectées en série en un premier point intermédiaire III, l'association en série desdites première résistance de détection R8 et première capacité de détection C1 étant placée en parallèle entre la deuxième borne d'entrée D2 et la deuxième borne de sortie S2, ladite première tension de détection étant générée audit premier point intermédiaire III. En d'autres termes, la capacité de détection C1 est connectée par une de ses bornes à la borne de masse GND et par l'autre de ces bornes en un point intermédiaire III à la résistance de détection R8,

Le premier circuit 110 comprend en outre :

- 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 au point milieu IIa,

- une deuxième diode de décharge D7 en série avec une résistance de décharge R4, l'association en série de la résistance de décharge R4 et de la deuxième diode de décharge D7 étant connectée entre le point intermédiaire III et la borne de masse GND.

Dans l'exemple décrit à la figure 2, le deuxième circuit 330 comprend également une première
5 résistance de seuillage R31, une première diode D31 et une deuxième résistance de seuillage R34
connectées en série. La cathode de la première diode D31 est connectée à une borne de la deuxième
résistance de seuillage R34 et l'anode de la première diode est connectée à une borne de la première
résistance de seuillage R31. L'association en série de la première résistance de seuillage R31, de la
10 première diode D31 et de la deuxième résistance de seuillage R34 est connectée en parallèle entre le
premier point intermédiaire III et la borne de masse GND. De par la conception du deuxième circuit
330, la troisième tension de détection est générée à la cathode de la première diode D31. En d'autres
termes, la cathode de la première diode D31 est connectée à la borne d'entrée négative du
comparateur de tension X1.

Dans l'exemple décrit ici et de façon optionnelle, le deuxième circuit 330 comporte une première
15 capacité de filtrage C31 située entre la borne de masse GND et la cathode de la diode D31.

En outre, le deuxième circuit 330 comprend également dans l'exemple décrit une résistance de
rappel R35 est connectée à la source de tension continue P5 et à la cathode de la première diode
D31.

Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre un troisième interrupteur Q3
20 comportant :

- une troisième borne d'entrée de courant D3,
- une troisième borne de sortie de courant S3, et
- une troisième borne de commande G3 permettant de faire passer le troisième interrupteur
d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

25 la troisième borne d'entrée de courant D3 étant connectée à la borne de masse GND, ladite
deuxième tension de détection étant générée à la troisième borne de sortie de courant S3.

Dans l'exemple décrit ici, le transistor Q3 est un transistor MOSFET dopé p.

Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une troisième résistance de
seuillage R41, une première diode zener D42 et une diode D41 connectée en série. L'association en
30 série de ces trois composants étant connectée entre l'anode de la première diode D31 et la troisième
borne de commande. La cathode de la diode D41 est connectée à l'anode de la première diode D31.

L'anode de la diode D41 est connectée à l'anode de la première diode zener D42. La troisième résistance de seuillage R41 est connectée par une de ces bornes à la cathode de la première diode zener D42 et par sa deuxième borne à la troisième borne de commande du troisième transistor Q3.

5 La tension de polarisation de la diode zener D42 est choisie de sorte que la diode zener D42 se polarise uniquement lorsque le potentiel présent au point intermédiaire III devient très fortement négative et inférieure à la valeur seuil PSI qui est par exemple inférieure ou égale à - 20 V, de préférence inférieure ou égale à -30V.

Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une quatrième résistance de seuillage R38 connectée entre la troisième borne de sortie de courant S3 et la borne de masse GND.

10 Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une cinquième résistance de seuillage R37 connecté à la source de tension continue P5 et à la troisième borne de sortie de courant S3 du troisième transistor Q3.

15 Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une troisième diode zener D47 placée en dérivation entre la troisième borne de commande du troisième transistor Q3 et la troisième borne de sortie du troisième transistor Q3. La cathode de la troisième diode zener D47 est connectée à la troisième borne de sortie du troisième transistor Q3. En outre, une résistance R44 est également placée en dérivation entre la troisième borne de commande du troisième transistor Q3 et la troisième borne de sortie du troisième transistor Q3.

20 L'association de la troisième diode zener D47 et de la résistance R44 protège le troisième transistor Q3 d'une éventuelle surtension entre sa troisième borne de commande et sa troisième borne de sortie de courant.

25 En fonctionnement normal de la machine électrique tournante 2, la tension au point intermédiaire III est sensiblement nulle lorsque le MOSFET Q11 est ouvert ou fermé puisque dans ce cas la capacité de détection C1 se charge très peu lors des commutations du MOSFET Q11 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 D42 est non polarisée de sorte que le troisième transistor Q3 est à l'état ouvert.

30 Ainsi, le deuxième circuit 330 délivre une tension non nulle et positive à la borne de sortie négative du comparateur de tension X1. Cette tension non nulle et positive est délivrée par le pont diviseur formée par la cinquième résistance de seuillage R37 et par la quatrième résistance de seuillage R38.

De fait, comme la tension présente sur la borne positive d'entrée du comparateur X1 est quasi nulle 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 Q1.

- 5 En revanche, si le MOSFET Q11 du deuxième étage E2 est par exemple cassé dans l'état ouvert alors que le MOSFET Q1 du premier étage E1 reçoit une commande d'ouverture, le MOSFET Q1 passe en avalanche à cause de la présence de la charge inductive que représente la phase $\Phi 1$. En d'autres termes, la tension au niveau de la borne de sortie du MOSFET Q1 décroît jusqu'à dépasser la valeur de -30V, pour atteindre par exemple une valeur de -70V.
- 10 Dans le même temps, cette variation de tension au niveau de la borne de sortie du MOSFET Q1 provoque la charge de la capacité C1 et la tension au point intermédiaire III devient très fortement négative, par exemple de l'ordre de -70V..

Lorsque le potentiel du point intermédiaire devient inférieur au seuil PS1, la diode Zener D42 devient passante et polarise le troisième transistor Q3 de sorte que ce transistor Q3 se comporte
15 comme un interrupteur fermé. Consécutivement, le potentiel électrique au niveau de la borne de sortie S3 du transistor Q3 est porté à celui de la borne de masse GND, c'est-à-dire sensiblement égal à 0 V.

En outre, lorsque le potentiel au point intermédiaire est fortement négatif, la première diode D31 empêche que ce potentiel soit propagé sur la borne d'entrée positive du comparateur de tension X1
20 et de fait, la tension vue par cette borne d'entrée positive est la tension délivrée par le pont diviseur formé par la résistance de rappel R35 et par la deuxième résistance de seuillage R34.

Le comparateur de tension X1 compare alors la valeur de tension délivrée par le pont diviseur formé par la résistance de rappel R35 et par la deuxième résistance de seuillage R34 à une tension nulle présente sur la borne d'entrée négative de part la fermeture du troisième transistor Q3. Par
25 conséquent, le générateur de tension X1 génère sur sa sortie une tension de détection d'avalanche ASC_HS 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 Q1.

Enfin, dans l'exemple décrit à la figure 2, une résistance de polarisation R9 est par ailleurs située
30 entre la borne de commande et la borne de sortie de courant du MOSFET Q11.

Par ailleurs, dans l'exemple décrit à la figure 2, un MOSFET Q11b d'un deuxième bras de commutation est également connecté à un quatrième circuit 110b en tout point identique au premier circuit 110. En d'autres termes, le quatrième circuit 110b est conçu pour générer une quatrième tension de détection en un deuxième point intermédiaire 111b, cette quatrième tension de détection étant représentative de la tension entre la borne d'entrée de courant D5 et la borne de sortie de courant S5 du MOSFET Q11b du deuxième bras.

Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une sixième résistance de seuillage R32, une deuxième diode D32 connectées en série. La cathode de la deuxième diode D32 est connectée à la cathode de la première diode D31 et l'anode de la deuxième diode D32 est connectée à une borne de la sixième résistance de seuillage R32. L'association en série de la sixième résistance de seuillage R32 et de la deuxième diode D32 est connectée en parallèle entre le deuxième point intermédiaire 111b et la cathode de la première diode D32.

Dans l'exemple décrit ici la valeur de la sixième résistance de seuillage R32 est égale à la valeur de la première résistance de seuillage R31.

Dans l'exemple décrit ici, le deuxième circuit 330 comporte en outre une septième résistance de seuillage R42, une deuxième diode zener D45 et une diode D44 connectée en série. L'association en série de ces trois composants étant connectée entre l'anode de la deuxième diode D32 et la troisième borne de commande. La cathode de la diode D44 est connectée à l'anode de la deuxième diode D32. L'anode de la diode D44 est connectée à l'anode de la deuxième diode zener D45. La septième résistance de seuillage R42 est connectée par une de ces bornes à la cathode de la deuxième diode zener D45 et par sa deuxième borne à la troisième borne de commande du troisième transistor Q3.

Dans l'exemple décrit ici la valeur de la septième résistance de seuillage R32 est égale à la valeur de la troisième résistance de seuillage R41.

Ainsi, pour les mêmes raisons qu'explicitée auparavant si un potentiel fortement négatif apparaît au niveau du deuxième point intermédiaire 111b, le comparateur de tension X1 génère sur sa sortie une tension de détection d'avalanche ASC_HS 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 Q1b de la deuxième branche du pont.

Enfin, dans l'exemple décrit à la figure 2, une résistance de polarisation R9b est par ailleurs située entre la borne de commande et la borne de sortie de courant du MOSFET Q11b.

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.

Au cours d'une étape E1, une première tension de détection V_{III} est générée dans l'exemple décrit ici au niveau du point intermédiaire III d'un premier bras de commutation 10 du pont de puissance.

- 5 Au cours d'une étape E2, une deuxième tension de détection V₂ est générée, cette deuxième tension de détection est au potentiel de la borne de masse lorsque la première tension de détection est inférieure à la valeur seuil P_{SI}. Cette deuxième tension de détection est générée dans l'exemple décrit ici par le deuxième circuit 330.

- 10 Au cours d'une étape E3, une troisième tension de détection V₃ est générée, ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positif lorsque la première tension de détection V_{III} est inférieure à une valeur seuil. Cette troisième tension de détection est générée dans l'exemple décrit ici par le deuxième circuit 330.

Au cours d'une étape E4, le comparateur de tension X₁ compare la deuxième tension de détection V₂ à la troisième tension de détection V₃.

- 15 Au cours d'une étape E5, le comparateur de tension X₁ génère une tension de détection d'avalanche ASC_{HS} 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 Q₁ du bras de commutation est en avalanche et une tension nulle sinon.

- 20 Au cours d'une étape E6, le module de commande du pont de puissance détecte que la tension d'avalanche ASC_{HS} est positive et non nulle et génère un signal de commande SC pour faire passer le premier interrupteur Q₁ du bras de commutation sur lequel l'avalanche a été détectée à l'état fermé.

- 25 En variante, lors de l'étape E6, le module de commande du pont de puissance détecte que la tension d'avalanche ASC_{HS} est positive et non nulle et génère un signal de commande pour faire passer tous les premier interrupteurs Q₁ de tous les bras de commutation à l'état fermé.

- 30 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,
- une première borne de sortie de courant, et
- une première borne de commande permettant de faire passer le premier interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

10 la première borne d'entrée 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
- une deuxième borne de commande (G₂) permettant de faire passer le deuxième

15 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 étant connecté à la deuxième borne d'entrée de courant (D₂) en un point milieu (11a), ledit point milieu étant destinée à être connectée électriquement à une phase électrique (Φ₁) 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 (3100) comprenant :

- un premier circuit (110) conçu pour générer une première tension de détection représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant ;

25 ○ un deuxième circuit (330) conçu pour générer une deuxième et une troisième tension de détection, ladite deuxième tension de détection étant au potentiel de la borne de masse (GND) et ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positive lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil ; et

- un comparateur de tension (Xi) configuré pour comparer la deuxième tension de détection à la troisième tension de détection et pour générer une tension de détection d'avalanche (ASC_HS) en fonction du résultat de la comparaison.
2. Bras de commutation selon la revendication 1 dans lequel ledit premier circuit comprend une
- 5 première résistance de détection (R8) et une première capacité de détection (C1) connectées en série en un premier point intermédiaire (III), l'association en série desdites première résistance de détection (R8) et première capacité de détection (C1) étant placée en parallèle entre la deuxième borne d'entrée (D2) et la deuxième borne de sortie (S2), ladite première tension de détection étant générée audit premier point intermédiaire (III).
- 10 3. Bras de commutation selon la revendication 1 ou 2 dans lequel la tension de détection d'avalanche (ASC_HS) 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 troisième tension est supérieure à ladite deuxième tension.
4. Bras de commutation selon l'une quelconque des revendications 2 à 3 dans lequel le deuxième
- 15 circuit (330) comprend :
- une première résistance de seuillage (R31), une première diode (D31) et une deuxième résistance de seuillage (R34) connectées en série, la cathode de la première diode (D31) étant connectée à une borne de la deuxième résistance de seuillage (R34) et l'anode de la première diode étant connectée à une borne de la première résistance de seuillage (R31), l'association
- 20 en série étant connectée en parallèle entre le premier point intermédiaire (III) et la borne de masse (GND), ladite troisième tension de détection étant générée à la cathode de la première diode (D31), et
- une résistance de rappel (R35) destinée à être connectée entre une source de tension auxiliaire (P5) et la cathode de la première diode (D31).
- 25 5. Bras de commutation (10) selon la revendication 4 dans lequel le deuxième circuit (330) de génération comprend en outre :
- un troisième interrupteur (Q3) comportant :
 - une troisième borne d'entrée de courant (D3),
 - une troisième borne de sortie de courant (S3), et

- une troisième borne de commande (G3) permettant de faire passer le troisième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,
 - la troisième borne d'entrée de courant (D3) étant connectée à la borne de masse (GND), ladite deuxième tension de détection étant générée à la troisième borne de sortie de courant (S3) ;
 - 5 — une troisième résistance de seuillage (R41) et une première diode zener (D42) connectée en série, l'association en série de la troisième résistance de seuillage (R41) et de la première diode zener (D42) étant connectée entre l'anode de la première diode (D31) et la troisième borne de commande ; et
 - une quatrième résistance de seuillage (R38) connectée entre la troisième borne de sortie de
10 courant (S3) et la borne de masse (GND).
- 6. Bras de commutation (10) selon la revendication 4 et la revendication 5 comprenant en outre une cinquième résistance de seuillage (R37) destinée à être connectée à la source de tension auxiliaire (P5) et la troisième borne de sortie de courant (S3).
- 7. Pont de puissance (1) comprenant au moins un premier bras de commutation selon l'une
15 quelconque des revendications 1 à 6.
- 8. Pont de puissance (1) selon la revendication précédent comprenant en outre un deuxième bras de commutation comprenant :
 - un quatrième interrupteur comportant :
 - une quatrième borne d'entrée de courant,
 - 20 ○ une quatrième borne de sortie de courant, et
 - une quatrième borne de commande permettant de faire passer le quatrième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,
 - la quatrième borne d'entrée étant connectée électriquement à la borne d'alimentation (B+) ;
 - un cinquième interrupteur (Q11bis) comportant :
 - 25 ○ une cinquième borne d'entrée de courant (D5),
 - une cinquième borne de sortie de courant (S5), et
 - une cinquième borne de commande (G5) permettant de faire passer le cinquième interrupteur d'un état fermé à un état ouvert et vice-versa,

la cinquième borne de sortie de courant (S5) étant connectée électriquement à la borne de masse, la quatrième borne de sortie de courant (S4) étant connecté à la cinquième borne d'entrée de courant (D5) en un point milieu (11b), ledit point milieu étant destinée à être connectée électriquement à une phase électrique ($\Phi 2$) de la machine électrique tournante (2) ;
5 le dispositif de détection d'avalanche (110, 110b, 330, XI) comprenant en outre :

- un troisième circuit (110b) conçu pour générer une quatrième tension de détection représentative de la tension entre la cinquième borne d'entrée de courant et la cinquième borne de sortie de courant ; et
- le deuxième circuit étant conçu pour que ladite deuxième tension de détection soit également au potentiel de la borne de masse (GND) et ladite troisième tension de détection soit également à un potentiel positif lorsque la quatrième tension de détection est inférieure à la valeur seuil.

9. Pont de puissance selon la revendication précédente dans lequel ledit troisième circuit (110b) comprend une deuxième résistance de détection (R8b) et une deuxième capacité de détection (C1b) connectées en série en un deuxième point intermédiaire (111b), l'association en série desdites deuxième résistance de détection (R8b) et deuxième capacité de détection (C1b) étant placée en parallèle entre la cinquième borne d'entrée (D5) et la cinquième borne de sortie (S5), ladite quatrième tension de détection étant générée audit deuxième point intermédiaire (111b).

10. Pont de puissance selon la revendication 9 dans lequel le deuxième circuit (330) comprend en outre une sixième résistance de seuillage (R32), une deuxième diode (D32) connectées en série, la cathode de la deuxième diode (D32) étant connectée à la cathode de la première diode (D31) et l'anode de la deuxième diode étant connectée à une borne de la sixième résistance de seuillage (R32), l'association en série étant connectée en parallèle entre le deuxième point intermédiaire (111b) et la cathode de la première diode (D31).

11. Pont de puissance selon la revendication précédente dans lequel le deuxième circuit comprend en outre une septième résistance de seuillage (R42) et une deuxième diode zener (D45) connectée en série, l'association en série de la septième résistance de seuillage (R42) et de la deuxième diode zener (D45) étant connectée entre l'anode de la deuxième diode (D32) et la troisième borne de commande.

12. Procédé de détection d'un interrupteur (QII) en avalanche dans un pont de puissance (I) selon l'une des revendications 7 à 11, ledit pont étant connecté entre un réseau électrique et une machine électrique tournante (2),

ledit procédé de détection comprenant les étapes suivantes :

- 5 — une première étape (E1) de mesure d'une première tension de détection représentative de la tension entre la deuxième borne d'entrée de courant et la deuxième borne de sortie de courant ;
- 10 — 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 (GND) lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil,
- 15 — une troisième étape (E3) de génération d'une troisième tension de détection, ladite troisième tension de détection étant à un potentiel positif lorsque la première tension de détection est inférieure à une valeur seuil,
- une quatrième étape (E4) de comparaison de la deuxième tension de détection à la troisième tension de détection, et
- une cinquième étape (E5) de génération d'une tension de détection d'avalanche en fonction de la comparaison réalisée à la quatrième étape.
13. Procédé de détection d'avalanche selon la revendication précédente, dans lequel la valeur seuil (SI) est inférieure ou égale à - 20 V, de préférence inférieure ou égale à -30V.
- 20 14. Procédé de détection d'avalanche selon l'une quelconque des revendications 12 à 13 comprenant en outre une sixième étape (E6) de génération d'un signal de commande pour faire passer le premier interrupteur (QI) à l'état fermé lorsque la tension de détection d'avalanche générée lors de la cinquième étape indique que le premier interrupteur est en avalanche.

Figure 1

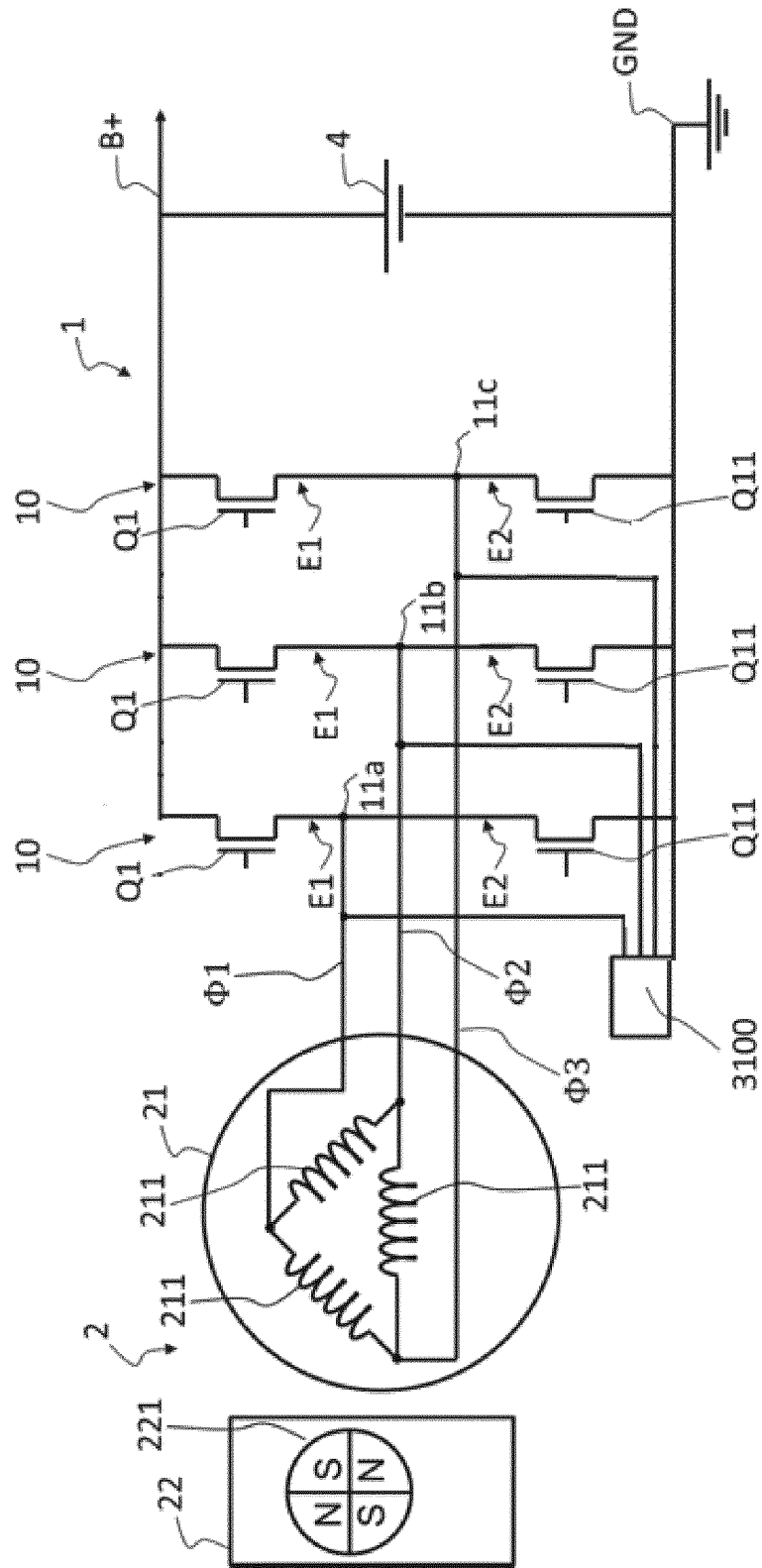
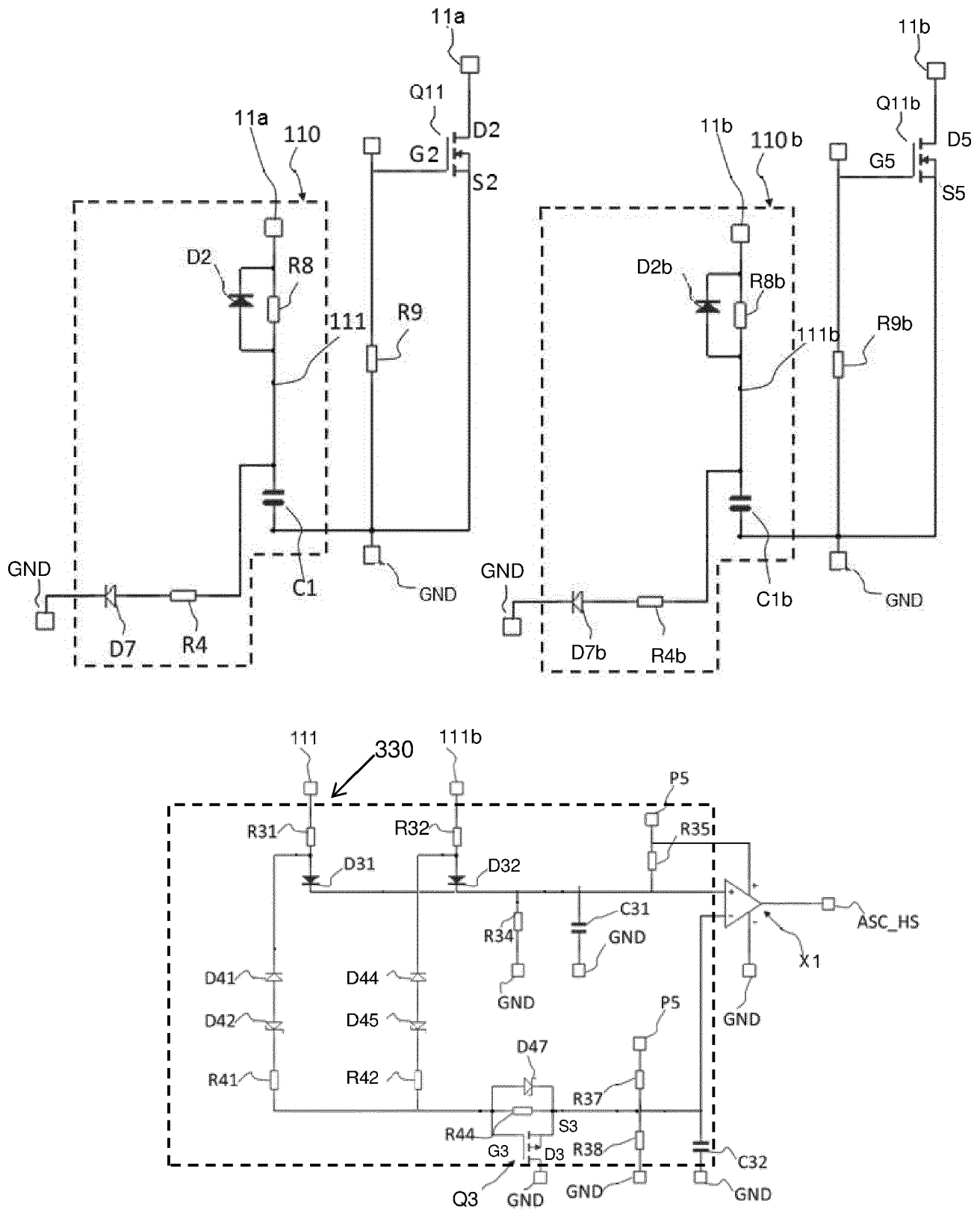
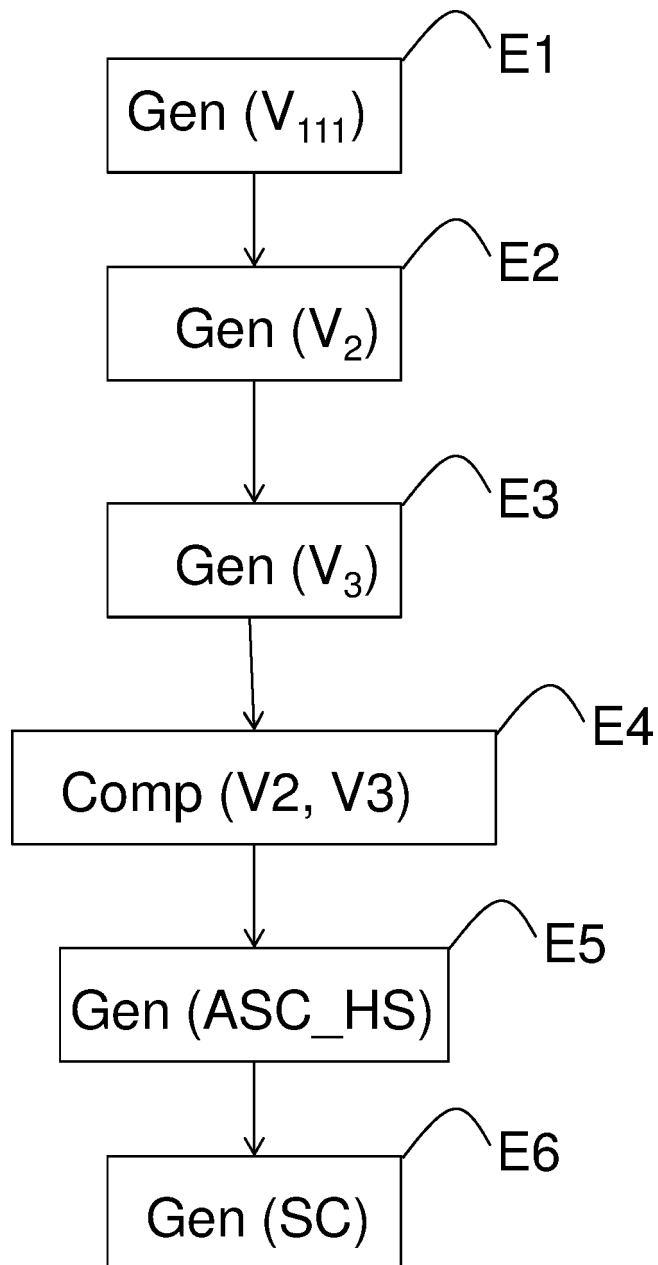


Figure 2

3/3

Figure 3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 857487
FR 1856064

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2014/098581 A1 (TAKIZAWA SATOKI [JP]) 10 avril 2014 (2014-04-10) * figures 1-5, 9 * * alinéa [0011] * * alinéa [0016] * * alinéa [0018] * * alinéa [0043] - alinéa [0048] * -----	1-14	H02M1/32 H03K17/08 H02H9/04 H02H7/10 H02K11/26
A	US 2017/117798 A1 (BASLER THOMAS [DE] ET AL) 27 avril 2017 (2017-04-27) * figure 1 * * alinéa [0047] - alinéa [0051] * -----	1-14	
A	CN 104 702 252 A (GEN ELECTRIC) 10 juin 2015 (2015-06-10) * figures 3-5 * -----	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02M H03K H02H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 mai 2019		Madouroglou, E	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1856064 FA 857487**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-05-2019**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014098581	A1	10-04-2014	CN 103715874 A	09-04-2014
			DE 102013219975 A1	10-04-2014
			JP 5983274 B2	31-08-2016
			JP 2014079037 A	01-05-2014
			US 2014098581 A1	10-04-2014

US 2017117798	A1	27-04-2017	DE 102015118165 A1	27-04-2017
			JP 2017153064 A	31-08-2017
			US 2017117798 A1	27-04-2017

CN 104702252	A	10-06-2015	AUCUN	
