

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Système d'alimentation d'un circuit de commande d'un composant de puissance et onduleur associé.

②② Date de dépôt : 21.11.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN Société anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.05.24 Bulletin 24/21.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.12.24 Bulletin 24/51.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : *LE Thanh Long*.

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : *CASALONGA*.



Description

Titre de l'invention : Système d'alimentation d'un circuit de commande d'un composant de puissance et onduleur associé

Domaine technique

- [0001] L'invention concerne, de manière générale, les systèmes électriques pour l'électronique de puissance, et se rapporte plus particulièrement à un système d'alimentation isolé d'un circuit de commande d'un composant de puissance.
- [0002] L'invention s'applique notamment au domaine des systèmes électriques embarqués dans un contexte de développement de véhicules ou avions plus électriques, avec une nécessité de disposer de systèmes de conversion d'énergie fiables, modulaires et performants, et concerne notamment un système d'alimentation d'un circuit de commande dans un module de conversion de puissance, tel qu'un bras d'onduleur.

Techniques antérieures

- [0003] Les structures de puissance à commutation utilisent de manière connue un circuit de commande rapprochée, également appelé sous le terme anglosaxon « gate driver », afin de piloter des composants de puissance tels que des transistors ou des thyristors.
- [0004] Par exemple un onduleur, qui génère des tensions et des courants alternatifs à partir de tensions ou courants continus, comprend des composants de puissance tels que des transistors de puissance qui sont pilotés par des circuits de commande rapprochée pour leur appliquer une consigne de fonctionnement élaborée par un module de commande global de l'onduleur.
- [0005] Pour des raisons de sécurité, ces circuits de commande rapprochée nécessitent généralement l'instauration d'une isolation galvanique entre un côté primaire qui est relié à un circuit électrique à basse tension, ce circuit comprenant le module de commande globale, dont l'une des fonctions est de calculer et générer des ordres de commutation destinés aux composants de puissance, et un côté secondaire qui est relié à un circuit électrique haute tension, ce circuit comprenant les composants de puissance à piloter.
- [0006] L'isolation galvanique peut-être réalisée de différentes manières et notamment, de manière connue, par l'intermédiaire d'un transformateur disposé dans le système d'alimentation du circuit de commande rapprochée.
- [0007] L'insertion d'un tel transformateur dans le système d'alimentation du circuit de commande rapprochée a pour effet d'induire des capacités parasites entre les côtés primaire et secondaire contribuant au chemin de mode commun du courant. Or, dans le côté secondaire, la commande des composants de puissance induit des variations dV/dt brutales des potentiels, alors que le côté primaire est sensible aux perturbations électromagnétiques. Les variations brutales de potentiels au secondaire engendrent un dé-

placement du courant de mode commun depuis le côté secondaire vers le côté primaire du circuit de commande rapprochée via ces capacités parasites.

- [0008] Plus les capacités parasites sont élevées, plus le courant de mode commun est important, ce qui provoque des problèmes de compatibilité électromagnétiques dites CEM côté primaire pouvant perturber et provoquer des défauts dans le contrôle du circuit de commande. Ces perturbations sont plus problématiques lorsque les composants de puissance sont à base de transistors à semi-conducteur à grand gap, car les valeurs dV/dt sont plus critiques.
- [0009] On cherche ainsi à réduire autant que possible les capacités parasites induites par le transformateur.
- [0010] Par ailleurs, les transistors à semi-conducteurs grands gaps sont aussi très sensibles aux effets des éléments parasites (capacité parasite entre les côtés primaire et secondaire du circuit de commande, inductance parasite entre le circuit de commande et le transistor de puissance, etc.), avec des effets sur le nombre de commutations qu'ils sont capables de supporter (vieillessement), ainsi que des perturbations du signal de commande du transistor de puissance. Or, les transistors à semi-conducteur à grand gap sont particulièrement adaptés pour l'électronique de puissance, en raison notamment, de leur capacité à réduire les pertes de puissance et supporter des tensions d'alimentation DC plus élevées, de leur rendement plus élevé participant d'une contrainte moins forte en termes de besoin de dissipation thermique et donc d'un encombrement et d'une masse réduits.
- [0011] Pour ces raisons, on a été amené à des considérations additionnelles de protection des transistors à grand gap vis-à-vis des effets de ces éléments parasites, et de surveillance de leur état de santé dans le but d'anticiper la survenue d'une panne.
- [0012] Ainsi, alors que les circuits de commande rapprochée conventionnels avaient pour fonction principale de transmettre les ordres de commutation à travers l'isolation galvanique pour les appliquer aux composants de puissance, la tendance actuelle est à des circuits de commande rapprochée dits intelligents, assurant des fonctions additionnelles, et notamment intégrant un système d'échanges de données entre le côté primaire et secondaire, dans le but de permettre une maintenance prédictive des transistors de puissance, comme par exemple décrit dans la publication "A bidirectional communicating power supply circuit for smart Gate Driver boards" de J. Weckbrodt et al., *IEEE Power Electronics Regular Paper/Letter/Correspondence*. Comme données échangées par ce canal bidirectionnel on peut citer notamment l'ordre de commande d'un circuit de mesure du courant de fuite de grille, les données de mesures de tension du transistor de puissance, notamment la tension de grille source. Tout ceci impose d'assurer également une isolation galvanique associée à cette fonction d'échanges de données entre les parties primaire et secondaire.

- [0013] Des solutions proposent d'intégrer des étages d'isolation galvanique supplémentaires afin de protéger ces communications de données, ce qui a pour conséquence d'ajouter des capacités parasites non souhaitées.
- [0014] D'autres solutions utilisent des communications de données par fibre optique coûteuses et volumineuses.
- [0015] Enfin, d'autres solutions comme celle décrite dans la publication précitée "A bi-directional communicating power supply circuit for smart Gate Driver boards" de J. Weckbrodt et al., *IEEE Power Electronics Regular Paper/Letter/Correspondence*, consistent à modifier les signaux de contrôle des commutateurs alimentant les bobinages du transformateur.
- [0016] Aucune de ces solutions n'apparaît totalement satisfaisante et, en particulier, aucune ne permet à la fois de supporter de fortes variations dV/dt de potentiel entre coté primaire et secondaire du circuit de commande rapprochée, de fournir la puissance nécessaire pour piloter les composants (transistors) de puissance, et d'assurer un débit de transmission de données satisfaisant entre les côtés primaire et secondaire.
- [0017] Au vu de ce qui précède, la présente invention a pour but de proposer un système d'alimentation d'un circuit de commande de composants semi-conducteurs de puissance évitant les problèmes CEM tout en permettant une communication de données entre les côtés primaire et secondaire du circuit de commande rapprochée avec un débit satisfaisant sans ajouter d'étage d'isolation galvanique supplémentaire.
- [0018] L'invention a donc pour objet un système d'alimentation d'un circuit de commande rapprochée de composants électroniques de puissance, comprenant un transformateur équipé d'au moins une paire d'écrans électrostatiques.
- [0019] Le système d'alimentation est configuré de telle sorte que, dans un premier mode de fonctionnement, ladite au moins une paire d'écrans électrostatiques est configurée en moyen d'échange de données par couplage capacitif, et que, dans un deuxième mode de fonctionnement, ladite au moins une paire d'écrans électrostatiques est configurée en moyen de redirection du courant de mode commun apte à rediriger un courant circulant dans chaque écran électrostatique vers une masse électrique respective.
- [0020] Avantageusement, le transformateur forme une isolation galvanique pour le transfert d'énergie d'alimentation du circuit de commande rapprochée.
- [0021] De manière préférentielle, le transformateur comprend une bobine primaire et une bobine secondaire, chaque paire d'écrans électrostatiques étant disposée entre les bobines primaire et secondaire et comprenant un écran primaire disposé au voisinage de la bobine primaire et un écran secondaire disposé au voisinage de la bobine secondaire et en regard dudit écran primaire, l'écran primaire étant relié à un premier module d'émission et de réception de données et l'écran secondaire étant relié à un deuxième module d'émission et de réception de données.

- [0022] Avantageusement, chaque écran électrostatique primaire est relié à une masse du côté primaire et chaque écran électrostatique secondaire est relié à une masse du côté secondaire par un commutateur respectif commandé par un système de contrôle des commutateurs.
- [0023] De manière préférentielle, dans le deuxième mode de fonctionnement, chacun des commutateurs associés à chaque écran primaire est commandé à l'état fermé par le système de contrôle des commutateurs.
- [0024] De manière préférentielle, dans le premier mode de fonctionnement, pour chaque paire d'écrans électrostatiques, l'écran électrostatique primaire est couplé capacitivement à l'écran électrostatique secondaire correspondant, chaque commutateur étant commandé dans l'état ouvert par le système de contrôle de commutateurs.
- [0025] Ainsi, dans le premier mode de fonctionnement du système d'alimentation proposé, chaque paire d'écrans électrostatiques forme une capacité qui permet un transfert de données, par couplage capacitif, entre les côtés primaire et secondaire du circuit de commande et, dans le deuxième mode de fonctionnement, les écrans de chaque paire, étant chacun reliés l'un à une masse du côté primaire du circuit de commande, l'autre à une masse du côté secondaire du circuit de commande, permettent d'éviter de propager un courant de mode commun vers le côté primaire du circuit de commande.
- [0026] Avantageusement, les données échangées dans le premier mode de fonctionnement sont modulées à haute fréquence par rapport à une fréquence de fonctionnement du transformateur.
- [0027] Dans un mode de réalisation, les données comprennent des informations concernant l'état de santé d'un transistor de puissance ou des informations de mesure (tension drain source, courant drain source du transistor de puissance).
- [0028] L'invention a également pour objet un convertisseur de puissance comprenant un système d'alimentation d'un circuit de commande rapprochée tel que défini précédemment.
- [0029] Avantageusement, le convertisseur de puissance comprend une branche de conversion de puissance comportant au moins un premier et un deuxième composant de puissance reliés en série, les composants de puissance étant chacun pilotés respectivement par un premier et un deuxième circuit de commande rapprochée à partir de consignes élaborées par un module de commande globale, et le premier et le deuxième circuit de commande rapprochée étant respectivement alimentés par un premier et un deuxième système d'alimentation tels que définis ci-dessus.
- [0030] De manière préférentielle, les premier et deuxième composants de puissance comprennent des transistors de puissance à grand gap.

Brève description des dessins

[0031] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

[0032] [Fig.1] illustre un schéma électrique d'un bras d'onduleur;

[0033] [Fig.2] illustre un schéma d'un système d'alimentation d'un circuit de commande selon l'invention dans le premier mode de fonctionnement ;

[0034] [Fig.3] illustre le système d'alimentation de la [Fig.2] dans le deuxième mode de fonctionnement ;

[0035] [Fig.4] illustre l'évolution de signaux en des points caractéristiques du système d'alimentation de la [Fig.2].

Exposé détaillé d'au moins un mode de réalisation

[0036] On a représenté schématiquement sur la [Fig.1] une structure électronique à commutation de puissance conventionnelle, telle qu'un convertisseur de puissance 1.

[0037] Cette structure de puissance 1 comprend de manière conventionnelle des composants de puissance tels que des transistors de puissance 2_H et 2_L pilotés respectivement par des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L .

[0038] La structure de puissance 1 comprend aussi des systèmes d'alimentation 4_H et 4_L respectifs des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L .

[0039] La structure de puissance 1 est pilotée de manière conventionnelle par un module de commande globale 5 tel que, sur consignes de ce module de commande globale :

[0040] - le système d'alimentation 4_H délivre une tension d'alimentation V_{3H} au circuit de commande 3_H , et le système d'alimentation 4_L délivre une tension d'alimentation V_{3L} au circuit de commande 3_L ; et

[0041] - les circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L alimentés, pilotent les transistors de puissance 2_H et 2_L en leur appliquant des signaux de commande de commutation respectifs, notés V_{gH} pour le circuit 3_H et V_{gL} pour le circuit 3_L .

[0042] Plus précisément, dans la structure de puissance 1 illustrée sur la [Fig.1], les transistors de puissance 2_H et 2_L correspondent aux transistors de puissance communément dénommés « High side » (en haut) et « Low side » (en bas) d'un module de commutation de la structure de puissance 1, par exemple un bras d'onduleur.

[0043] Une telle structure de puissance 1 comprend un côté primaire sous basse tension d'alimentation VCC, correspondant aux commandes logiques, comprenant le module de commande globale 5 qui pilote les circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L , et un côté primaire des circuits d'alimentation 4_H et 4_L au moyen de signaux de commande respectifs.

[0044] La structure de puissance 1 comprend également un côté secondaire sous haute tension VDC, correspondant à l'électronique de puissance proprement dit, comprenant un côté secondaire des circuits d'alimentation 4_H et 4_L , les transistors de puissance 2_H et

2_L , et les circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L des transistors de puissance.

[0045] Chacun des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L est alimenté par une tension positive respective V_{3H} et V_{3L} délivrée par le système d'alimentation respectif 4_H et 4_L ; et est piloté par la commande en basse tension (commande logique), typiquement moins de 20V, délivrée par le module de commande global 5, pour appliquer les signaux de commande V_{gH} et V_{gL} aux transistors de puissance 2_H et 2_L .

[0046] On note VSW un point milieu entre les transistors de puissance 2_H et 2_L du côté haute tension. Le point milieu VSW établit une tension, notée également VSW ici, qui correspond à la masse des circuits de commande rapprochée 3_H .

[0047] En pratique et de manière connue, l'alimentation des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L est flottante, de sorte que les tensions de commande V_{gH} et V_{gL} des transistors de puissance 2_H et 2_L qui sont connectés en série entre la haute tension VDC et une masse du côté secondaire, s'établissent à un niveau requis, par rapport à la tension VSW au point milieu de connexion VSW entre les deux transistors 2_H et 2_L .

[0048] Ainsi, comme illustré schématiquement sur la [Fig.1], il faut prévoir une première isolation galvanique 7_1 pour le transfert du signal de commande entre le circuit de commande global 5 et l'entrée de commande des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L , généralement réalisée par un optocoupleur ou un transformateur ; et une deuxième isolation galvanique 7_2 , du système d'alimentation, pour le transfert d'énergie d'alimentation des circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L , réalisée par un transformateur dans chacun des systèmes d'alimentation 4_H et 4_L .

[0049] Dans la suite, pour faciliter l'exposé, et en référence aux figures 2 et 3, on considère un système d'alimentation 4 tel que les systèmes d'alimentation 4_H et 4_L , d'un circuit de commande rapprochée tel que les circuits de commande 3_H et 3_L , pilotant un composant de puissance tel que les transistors de puissance 2_H et 2_L .

[0050] Comme expliqué supra en lien avec la [Fig.1], le système d'alimentation 4 comprend un transformateur 6 réalisant l'isolation galvanique 7_2 ,

[0051] Plus précisément, le transformateur 6 du système d'alimentation 4 est configuré pour réaliser d'une part l'alimentation du circuit de commande rapprochée tel que les circuits 3_H et 3_L ([Fig.1]), et d'autre part pour réaliser l'isolation galvanique 7_2 pour le transfert d'énergie d'alimentation pour ce circuit de commande rapprochée.

[0052] Dans la suite de la description et dans les dessins, on utilise comme convention suivante : les éléments disposés côté primaire sont marqués avec un indice « a », et ceux disposés côté secondaire avec un indice « b ».

[0053] En référence aux figures 2 et 3, le transformateur 6 comprend une partie primaire incluant une bobine primaire 8a. La partie primaire est alimentée par la tension d'alimentation VCC (tension d'alimentation du côté primaire de la structure de puissance), et reçoit un signal de commande $V_{cmd_trans_H/L}$ ([Fig.1]) délivré par le circuit

de commande globale 5 pour commander des commutateurs alimentant la bobine primaire 8a. Plus précisément, dans l'exemple illustré sur la [Fig.1], un signal de commande $V_{\text{comd_transf_H}}$ est ainsi délivré par le module de commande globale 5 à une bobine primaire d'un transformateur du système d'alimentation 4_H, et un signal de commande $V_{\text{comd_transf_L}}$ est de même délivré par le module de commande globale 5 à une bobine primaire d'un transformateur du système d'alimentation 4_L.

[0054] Le transformateur 6 comprend en outre une partie secondaire incluant une bobine secondaire 8b ; cette partie secondaire fournit une tension d'alimentation $V_{3_{H/L}}$ du circuit de commande rapprochée associé (circuits de commande rapprochée 3_H et 3_L sur la [Fig.1]) et assure le transfert d'énergie pour la commande des transistors de puissance 2_H et 2_L, par la bobine secondaire 8b. L'isolation galvanique 7₂ est ainsi réalisée par les deux bobines primaire 8a et secondaire 8b du transformateur 6.

[0055] Le transformateur 6 comprend au moins une paire d'écrans électrostatiques, comprenant un écran primaire disposé du côté primaire et un écran secondaire disposé du côté secondaire, la paire d'écrans étant disposée entre les bobines primaire 8a et secondaire 8b, chaque écran de la paire 9 étant en regard l'un de l'autre.

[0056] Dans l'exemple illustré sur les figures 2 et 3, le transformateur 6 comprend plus particulièrement deux telles paires d'écrans 9 et 10 électrostatiques disposées entre les bobines 8a et 8b. La première paire 9 d'écrans comprend ainsi un écran primaire 9a et un écran secondaire 9b, et la deuxième paire 10 d'écrans comprend un écran primaire 10a et un écran secondaire 10b.

[0057] Les écrans primaires et secondaires de chaque paire 9 et 10 sont disposés en regard l'un de l'autre, l'écran primaire 9a et 10a étant disposé au voisinage de la bobine primaire 8a et l'écran secondaire, 9b et 10b étant disposé au voisinage de la bobine secondaire 8b.

[0058] Le système d'alimentation 4 comprend en outre un dispositif de commutation 11 comprenant un commutateur par écran électrostatique primaire 9a et 10a et secondaire 9b et 10b, le dispositif de commutation 11 permettant de commander un premier ou un deuxième mode de fonctionnement du système d'alimentation 4. Dans un exemple, les commutateurs du dispositif de commutation 11 sont des transistors en silicium.

[0059] Dans le premier mode de fonctionnement du système d'alimentation 4, illustré sur la [Fig.2], les paires d'écrans électrostatiques sont configurées en moyen d'échange de données par couplage capacitif, et dans le deuxième mode de fonctionnement illustré sur la [Fig.3], les paires d'écran électrostatiques sont configurées en moyen de redirection du courant de mode commun.

[0060] De manière plus détaillée, dans le premier mode de fonctionnement du système d'alimentation 4 illustré sur la [Fig.2], les commutateurs du dispositif de commutation 11 sont simultanément commutés à l'état ouvert, et chaque paire d'écrans électro-

statique est alors apte à permettre un transfert de données entre deux modules d'émission et de réception de données 13a et 13b (côté) primaire et (côté) secondaire (détaillés plus loin dans la description), par couplage capacitif.

- [0061] Plus particulièrement, dans ce premier mode de fonctionnement du système d'alimentation 4, les deux paires d'écrans 9 et 10 permettent un échange bidirectionnel de données, du primaire vers le secondaire et inversement.
- [0062] Dans le deuxième mode de fonctionnement du système d'alimentation 4 illustré sur la [Fig.3], les commutateurs du dispositif de commutation 11 sont simultanément commutés à l'état fermé, ce qui a pour effet de relier les écrans primaires 9a et 10a à une première masse 12a disposée du côté primaire, et les écrans secondaires 9b et 10b à une deuxième masse 12b disposée du côté secondaire.
- [0063] Plus précisément, les écrans primaires 9a et 10a de chaque paire 9 et 10 sont chacun reliés par un commutateur respectif S1a et S2a à la première masse 12a disposée du côté primaire, et les écrans secondaires 9b et 10b de chaque paire 9 et 10 sont chacun reliés par un commutateur respectif S1b et S2b à la deuxième masse 12b disposée du côté secondaire.
- [0064] On a vu que les deux écrans de chaque paire 9 et 10, respectivement l'écran primaire et l'écran secondaire, sont couplés capacitivement dans le premier mode de fonctionnement. On note C1 la capacité associée à la paire 9 et C2 celle associée à la paire 10 dans l'exemple de la [Fig.2].
- [0065] Par ailleurs, avec l'intégration de ces paires d'écrans 9 et 10 entre et à proximité des bobines 8a et 8b, on induit une capacité parasite entre chaque écran et la bobine à proximité, aussi bien côté primaire que côté secondaire.
- [0066] On note ainsi, C1a et C1b les capacités parasites induites respectivement entre l'écran primaire 9a et la bobine 8a et entre l'écran secondaire 9b et la bobine 8b.
- [0067] De même on note C2a et C2b les capacités parasites induites respectivement entre l'écran primaire 10a et la bobine 8a et entre l'écran secondaire 10b et la bobine 8b.
- [0068] En d'autres termes, l'isolation galvanique 7₂ réalisée par les bobines 8a et 8b du transformateur 6 induit des capacités parasites C1a, C2a, C1b et C2b contribuant au courant de mode commun traversant les paires d'écrans électrostatiques 9 et 10 et pouvant occasionner des problèmes CEM, comme décrit précédemment.
- [0069] Chacun des commutateurs S1a et S2a du dispositif de commutation 11 disposés du côté primaire est individuellement commandé par un système de contrôle des commutateurs primaires 14a du dispositif de commutation 11 et chacun des commutateurs S1b et S2b du dispositif de commutation 11 disposés du côté secondaire est individuellement commandé par un système de contrôle des commutateurs secondaires 14b du dispositif de commutation 11.
- [0070] Les commutateurs S1a, S1b, S2a et S2b associés aux écrans primaires 9a et 10a et se-

condaires 9b et 10b des paires d'écrans électrostatiques 9 et 10 permettent ainsi de configurer le système d'alimentation 4 du circuit de puissance dans un premier mode de fonctionnement correspondant à un mode de communication de données par couplage capacitif entre des circuits d'émission/réception primaire et secondaire, ou dans un deuxième mode de fonctionnement, dans lequel les écrans électrostatiques primaires et secondaires sont activement reliés à leur masse respective primaire 12a et secondaire 12b, permettant de réorienter le courant de mode commun non souhaité vers la masse 12b du secondaire.

- [0071] Plus précisément, lorsque les commutateurs S1a, S1b, S2a et S2b sont tous commandés à l'état ouvert par leur système de contrôle correspondant 14a et 14b tel qu'illustré sur la [Fig.2], le système d'alimentation 4 est configuré pour fonctionner selon le premier mode de fonctionnement. En effet, les écrans électrostatiques 9a, 9b, 10a et 10b ne sont pas reliés aux masses 12a ou 12b respectives et peuvent échanger des données.
- [0072] A l'inverse, lorsque les commutateurs sont tous commandés à l'état fermé par leur système de contrôle correspondants 14a et 14b tel qu'illustré sur la [Fig.3], le système d'alimentation 4 est configuré pour fonctionner selon le deuxième mode de fonctionnement.
- [0073] Le système d'alimentation 4 pour le circuit de commande rapprochée 3 comprend en outre, comme précisé plus haut dans la description, un premier module d'émission et de réception de données 13a disposé côté primaire et un deuxième module d'émission et de réception de données 13b identique au premier et disposé côté secondaire.
- [0074] Les modules 13a et 13b sont reliés de manière filaire respectivement à chacun des écrans primaires 9a et 10a et des écrans secondaires 9b et 10b. Plus précisément, la liaison filaire entre le premier module 13a et l'écran primaire 9a est une voie d'émission des données pour le premier module 13a et celle entre le premier module 13a et l'écran primaire 10a est une voie de réception des données pour le premier module 13a. De même, la liaison filaire entre le deuxième module 13b et l'écran secondaire 9b est une voie de réception des données pour le deuxième module 13b et celle entre le deuxième module 13b et l'écran secondaire 10b est une voie d'émission des données pour le deuxième module 13b.
- [0075] Chacun des modules 13a et 13b est apte à moduler et démoduler des données à émettre ou reçues via le transformateur 6. Ainsi, comme précédemment expliqué, lorsque les écrans de deux paires 9 et 10 sont tous isolés de leur masse respective 12a et 12b, les commutateurs S1a, S1b, S2a et S2b étant tous commandés à l'état ouvert, les modules 13a et 13b permettent une communication bidirectionnelle des données d'information entre les côtés primaire et secondaire du système d'alimentation 4 du circuit de commande rapprochée. Il s'agit du premier mode de fonctionnement. Cette

communication de données est utilisée pour échanger des données représentatives de l'état de santé, telles que des mesures de température, des mesures de tension drain source ou de tension grille source des transistors de puissance 2_H et 2_L et des ordres de commande des circuits permettant ces mesures rapprochées.

- [0076] En pratique, les données envoyées par les modules 13a et 13b sont modulées à haute fréquence par rapport à la fréquence de fonctionnement du transformateur 6, afin de limiter l'impact des capacités parasites C_{1b} , C_{1a} , C_{2b} , C_{2a} entre les écrans et les bobines du transformateur 6. Par exemple, les données envoyées sont modulées à une fréquence de 10MHz.
- [0077] Ainsi, le système d'alimentation 4 proposé avec ses paires d'écrans électrostatiques 9 et 10 et ses commutateurs S_{1a} , S_{2a} , S_{1b} et S_{2b} permettant d'isoler ou au contraire de relier les écrans primaire et secondaire de chaque paire 9 et 10 à une masse correspondante $12a$ et $12b$, permet ainsi de configurer le système d'alimentation 4 dans un premier mode de fonctionnement en moyen de transfert de données par couplage capacitif, dans lequel lesdits commutateurs S_{1a} , S_{2a} , S_{1b} et S_{2b} sont commandés à l'état ouvert, et dans un deuxième mode de fonctionnement en moyen de réjection du courant induit dans les écrans primaires $9a$ et $10a$ et secondaires $9b$ et $10b$ par les capacités parasites associées C_{1b} , C_{1a} , C_{2b} , C_{2a} vers la masse du primaire $12a$ et du secondaire $12b$ respectivement, lesdits commutateurs S_{1a} , S_{2a} , S_{1b} et S_{2b} étant commandés à l'état fermé.
- [0078] Les deux modes de fonctionnement sont illustrés sur la [Fig.4], représentant un graphique illustrant l'évolution en fonction du temps des trames 15 d'émission de données (courbe A) par les modules 13a et 13b, de signaux de commande d'alimentation $V_{cmd_transf_H/L}$ du bobinage primaire du transformateur 6 (courbe B), des signaux de commande $V_{g_{H/L}}$ des transistors de puissance 2_H et 2_L fournis par les circuits de commande rapprochée 3_H , 3_L (courbe C), et l'évolution de la variation du potentiel du point milieu VSW entre les transistors de puissance 2_H et 2_L de l'exemple illustré d'un bras onduleur (courbe D).
- [0079] Plus précisément, entre les instants t_0 et t_1 , il n'y a pas de brusque variation de potentiel dV/dt , et le premier mode de fonctionnement est activé. Cela signifie que les commutateurs S_{1a} , S_{2a} , S_{1b} et S_{2b} du dispositif de commutation 11 sont ouverts et que des trames de données 15 sont échangées.
- [0080] A l'inverse, entre les instants t_1 et t_2 , la commutation à l'état OFF des transistors de puissance 2_H et 2_L intervient, provoquant une brusque variation de potentiel dV/dt de la tension drain source aux bornes des transistors de puissance 2_H et 2_L . C'est dans ces phases de commutation des transistors de puissance correspondant à de brusques variations de tension (fort dV/dt) que le deuxième mode de fonctionnement est activé. Durant ces phases, les commutateurs S_{1a} , S_{2a} , S_{1b} et S_{2b} sont tous commandés simul-

tanément à l'état fermé de sorte que le courant de mode commun induit sur les écrans primaires 9a et 10a et secondaires 9b et 10b par les capacités parasites est réorienté vers la masse correspondante du primaire 12a ou du secondaire 12b de ces écrans. De cette manière, le courant de mode commun non désiré dû aux fortes variations de potentiel côté secondaire ne circule plus vers le primaire, mais est dirigé vers la masse 12b du secondaire, ce qui permet d'éviter les dysfonctionnements CEM. Pendant ce temps, aucune trame de données 15 n'est échangée entre le côté primaire et le côté secondaire.

- [0081] La durée d'un cycle de fonctionnement correspondant au deuxième mode de fonctionnement est en pratique très courte, de l'ordre de la durée de la brusque variation de potentiel dV/dt . En dehors de ces cycles courts, de l'ordre de quelques centaines de nanosecondes, correspondants aux occurrences de brusques variations de potentiel dV/dt , le système d'alimentation 4 est dans le premier mode de fonctionnement. Autrement dit cette commutation permettant de gérer le courant de mode commun de manière particulièrement efficace est quasiment sans incidence sur le débit d'échange de données entre les modules d'émission/réception primaire et secondaire 13a et 13b.
- [0082] Ainsi, dès lors que le transformateur 6 comprend au moins deux paires d'écrans électrostatiques 9 et 10, le système d'alimentation 4 permet dans le premier mode de fonctionnement d'effectuer des échanges bidirectionnels de données entre les côtés primaire et secondaire du système d'alimentation 4 du circuit de commande rapprochée 3H et 3L, et dans le deuxième mode de fonctionnement de réduire les effets d'une forte variation de potentiel dV/dt dans le côté secondaire, éliminant ainsi les éventuels problèmes CEM.
- [0083] Le système d'alimentation 4 permettant un échange bidirectionnel de données par couplage capacitif via des paires d'écrans électrostatiques 9 et 10 est performant en termes de CEM. Il ne nécessite pas de composants d'isolation supplémentaires qui ont l'inconvénient comme expliqué en introduction, d'amener de nouvelles capacités parasites.
- [0084] Le système d'alimentation 4 séquencé comme proposé, permet aussi une meilleure immunité aux fortes variations de potentiel dans le temps par l'utilisation de telles paires d'écrans électrostatiques 9 et 10.
- [0085] Enfin, le système d'alimentation 4 selon l'invention permet un haut débit de transfert de données entre le primaire et le secondaire du circuit de commande 3, la durée du deuxième mode de fonctionnement étant très courte, de l'ordre de quelques centaines de nanosecondes et équivalente à la durée de variation brutale de potentiel.
- [0086] L'invention a plus particulièrement été décrite pour des composants de puissance de type transistors de puissance et plus particulièrement de transistors dits à grand gap, pour lesquels le suivi de santé s'avère particulièrement important ; mais l'invention

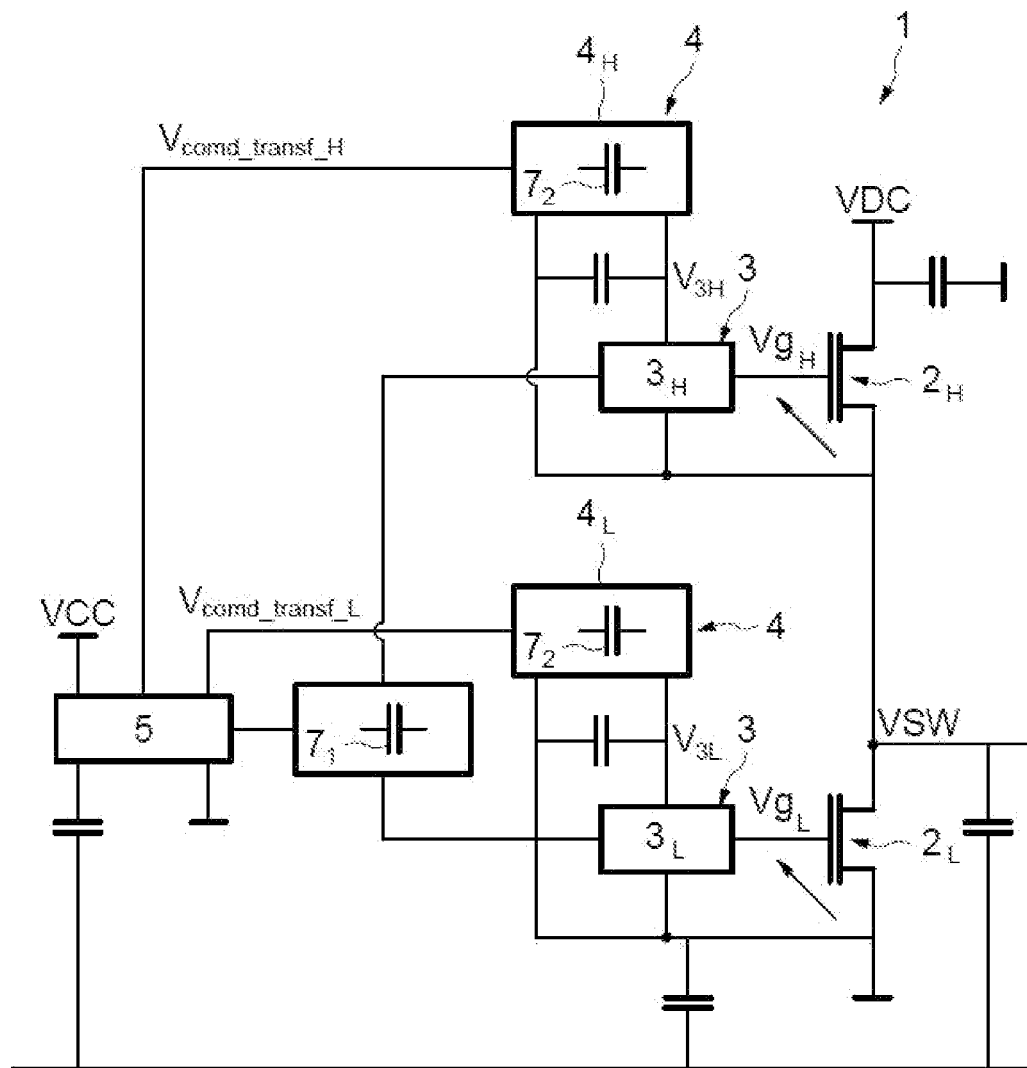
s'applique plus généralement à toute technologie de transistors de puissance ou commutateurs électroniques de puissance, et permet à la fois de satisfaire à des fonctions d'échange de données entre les côtés primaire et secondaire d'un système d'alimentation dans un convertisseur de puissance et résoudre de manière efficace, à moindre coût d'intégration, les problèmes associés à la circulation des courants de mode commun.

Revendications

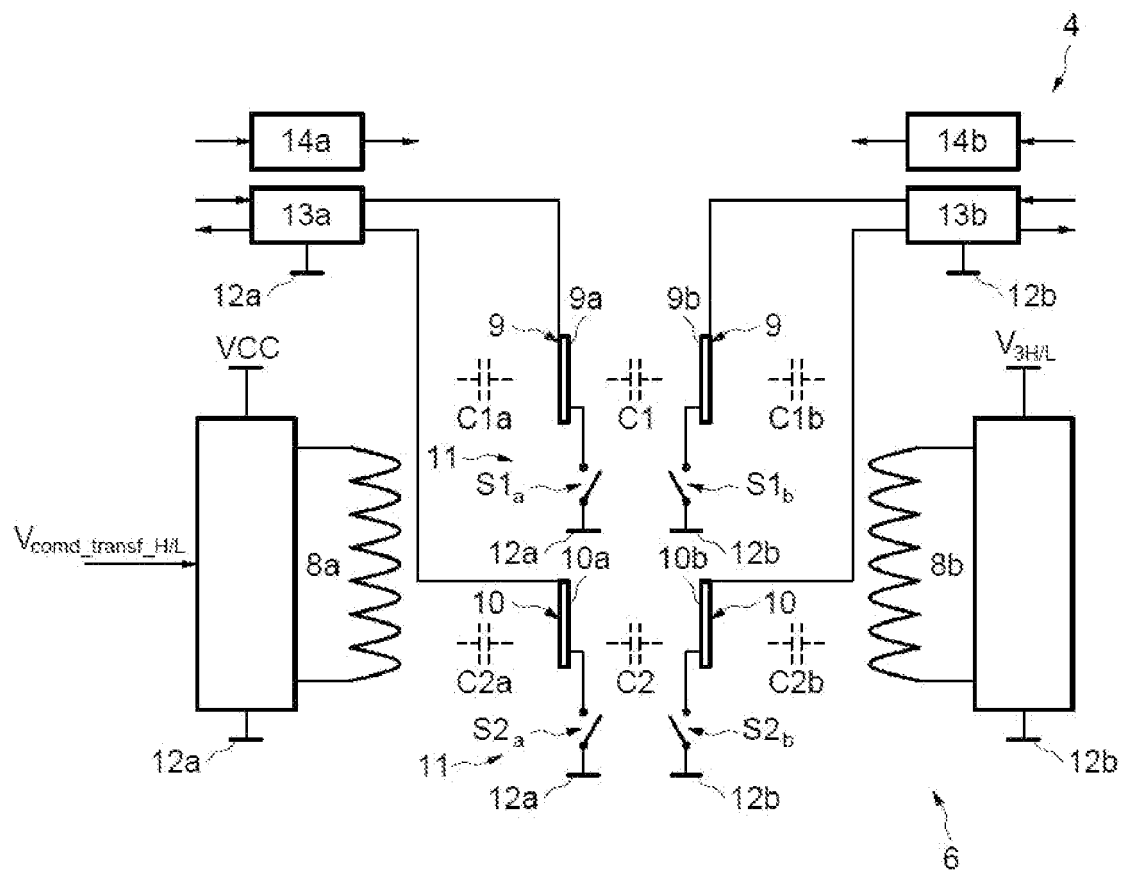
- [Revendication 1] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) d'un circuit de commande rapprochée (3_H, 3_L) de composants électroniques de puissance (2_H, 2_L), comprenant un transformateur (6) équipé d'au moins une paire d'écrans électrostatiques (9, 10), caractérisé en ce que le système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) est configuré de telle sorte que, dans un premier mode de fonctionnement, ladite au moins une paire d'écrans électrostatiques (9, 10) est configurée en moyen d'échange de données par couplage capacitif et que, dans un deuxième mode de fonctionnement, ladite au moins une paire d'écrans (9, 10) électrostatiques est configurée en moyen de redirection du courant de mode commun apte à rediriger un courant circulant dans chaque écran électrostatique (9,10) vers une masse électrique respective (12a, 12b).
- [Revendication 2] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon la revendication 1, dans lequel le transformateur (6) forme une isolation galvanique (7₂) pour le transfert d'énergie d'alimentation du circuit de commande rapprochée (3_H, 3_L).
- [Revendication 3] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le transformateur (6) comprend une bobine primaire (8a) et une bobine secondaire (8b), chaque paire d'écrans électrostatiques (9, 10) étant disposée entre les bobines primaire (8a) et secondaire (8b) et comprenant un écran primaire (9a, 10a) disposé au voisinage de la bobine primaire (8a) et un écran secondaire (9b, 10b) disposé au voisinage de la bobine secondaire (8b) et en regard dudit écran primaire (9a, 10a), l'écran primaire (9a, 10a) étant relié à un premier module d'émission et de réception de données (13a) et l'écran secondaire (9b, 10b) étant relié à un deuxième module d'émission et de réception de données (13b).
- [Revendication 4] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon la revendication 3, dans lequel chaque écran électrostatique primaire (9a, 10a) est relié à une masse du côté primaire (12a) et chaque écran électrostatique secondaire (9b, 10b) est relié à une masse du côté secondaire (12b) par un commutateur respectif (S1a, S1b, S2a, S2b) commandé par un système de contrôle des commutateurs (14a, 14b).
- [Revendication 5] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon la revendication 4, dans lequel dans le deuxième mode de fonctionnement, chacun des commutateurs (S1a, S1b, S2a, S2b) associé à chaque écran primaire est commandé à

- l'état fermé par le système de contrôle des commutateurs (14a, 14b).
- [Revendication 6] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel dans le premier mode de fonctionnement, pour chaque paire d'écrans électrostatiques (9,10), l'écran électrostatique primaire (9a, 10a) est couplé capacitivement à l'écran électrostatique secondaire (9b, 10b) correspondant, chaque commutateur (S1a, S1b, S2a, S2b) étant commandé dans l'état ouvert par le système de contrôle de commutateurs (14a, 14b).
- [Revendication 7] Système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les données échangées dans le premier mode de fonctionnement sont modulées à haute fréquence par rapport à une fréquence de fonctionnement du transformateur (6).
- [Revendication 8] Convertisseur de puissance comprenant un système d'alimentation (4, 4_H, 4_L) d'un circuit de commande rapprochée (3) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.
- [Revendication 9] Convertisseur de puissance selon la revendication 8, comprenant une branche de conversion de puissance comportant au moins un premier et un deuxième composant de puissance (2_H, 2_L) reliés en série, les composants de puissance (2_H, 2_L) étant chacun pilotés respectivement par un premier et un deuxième circuit de commande rapprochée (3_H, 3_L) à partir de consignes élaborées par un module de commande globale (5), le premier et le deuxième circuit de commande rapprochée (3_H, 3_L) étant respectivement alimentés par un premier et un deuxième système d'alimentation (4_H, 4_L) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.
- [Revendication 10] Convertisseur de puissance selon la revendication 9, dans lequel les premier et deuxième composants de puissance (2_H, 2_L) comprennent des transistors de puissance à grand gap.

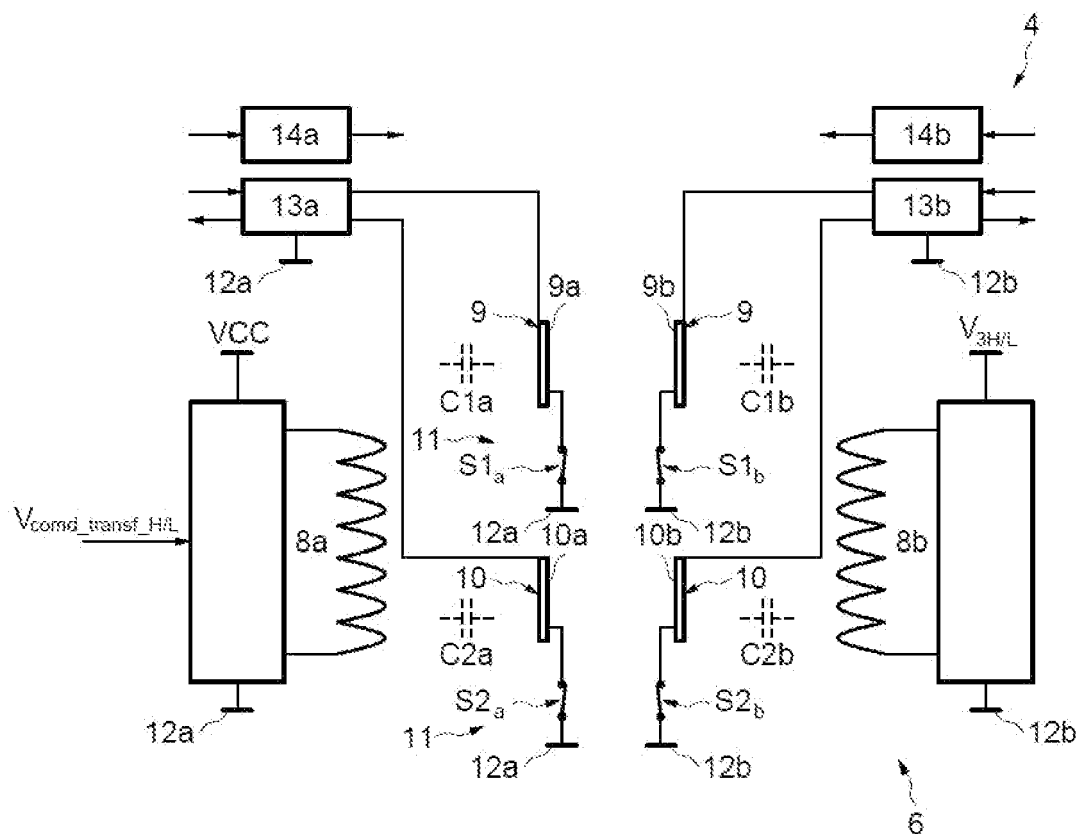
[Fig. 1]



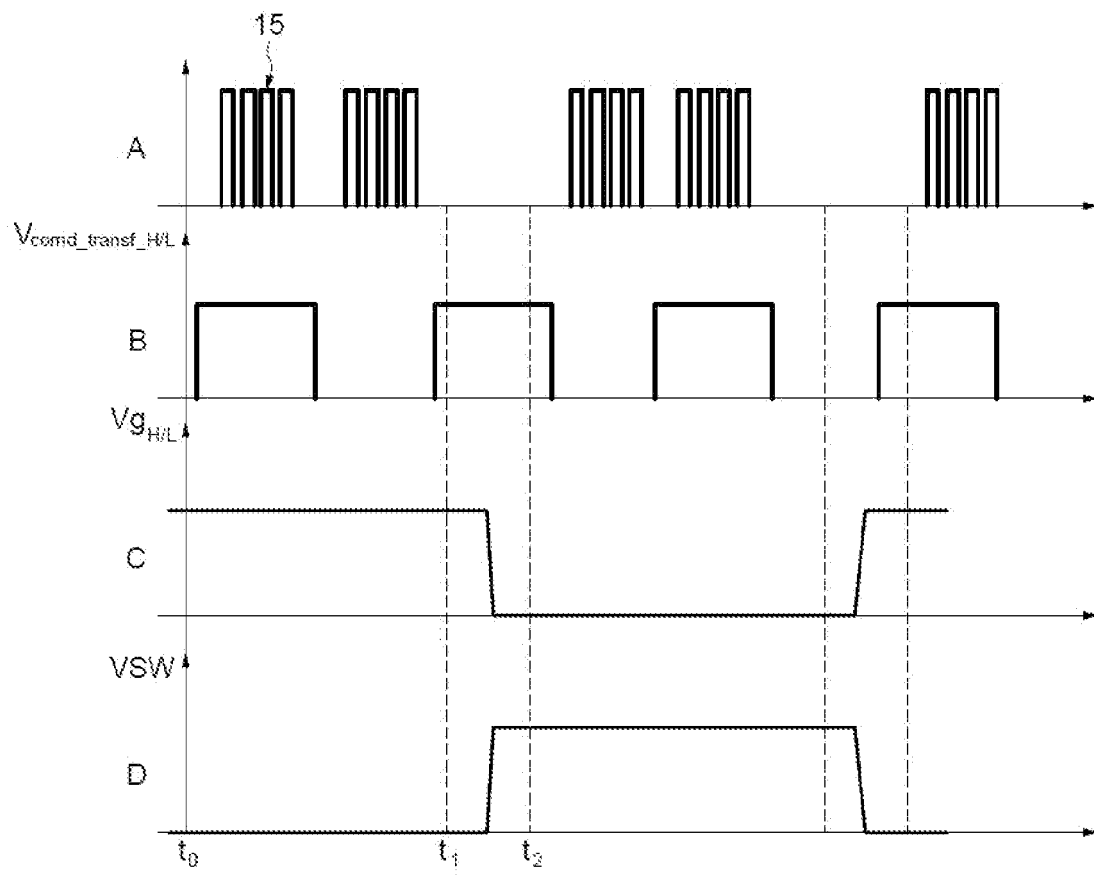
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



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**

NEANT

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

US 5 563 536 A (HOESL WERNER [DE] ET AL)
8 octobre 1996 (1996-10-08)

JP 2008 312333 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP)
25 décembre 2008 (2008-12-25)

US 2002/135236 A1 (HAIGH GEOFFREY T [US]
ET AL) 26 septembre 2002 (2002-09-26)

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

NEANT