

②② Date de dépôt : 07.07.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 11.01.19 Bulletin 19/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 22.11.19 Bulletin 19/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE Société par actions simplifiée —FR et
CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH — DE.

⑦② Inventeur(s) : PARETTE MICHEL.

⑦③ Titulaire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE Société par actions simplifiée,
CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH.

⑦④ Mandataire(s) : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE Société par actions simplifiée.



La présente invention concerne de manière générale le domaine de la commande des moteurs électriques. Elle vise en particulier un procédé d'estimation du courant circulant dans un bobinage d'un moteur. Cette estimation du courant peut ensuite être utilisée pour diagnostiquer une défaillance d'un capteur de courant. Cette estimation
 5 du courant peut encore être utilisée pour commander le moteur en cas de défaillance d'un capteur de courant.

Il est connu de commander un moteur électrique, comprenant au moins un bobinage, au moyen d'un dispositif à commutation.

Les **figures 1 et 2** illustrent un mode de réalisation d'une telle commande au
 10 moyen d'un dispositif de commutation 2 illustratif. Un moteur M comprend au moins un bobinage 1. Afin de faire tourner le moteur M, il convient de faire circuler un courant alternatif I dans ledit bobinage 1. Pour cela, un dispositif à commutation 2 est connecté à l'entrée d'un tel bobinage 1. Le dispositif à commutation 2 reçoit en entrée une commande sous forme d'une tension de commande U_{cmd} et la transforme en une tension appliquée
 15 à l'entrée du bobinage 1.

Selon le mode de réalisation illustratif des **figures 1 et 2**, la tension de commande U_{cmd} est alternative. L'unité PWM 4 transforme la tension de commande U_{cmd} en une tension modulée en largeur d'impulsion U_{pwm} (en anglais Pulse Width Modulated, PWM) dont le rapport cyclique est égal à la valeur de la tension de commande
 20 U_{cmd} . Cette tension U_{pwm} est appliquée à commuter un premier commutateur MOS1 connecté entre le bobinage 1 et un potentiel sensiblement constant U_{bat} , tandis que la tension opposée $-U_{pwm}$ est appliquée à commuter un deuxième commutateur MOS2 connecté entre le bobinage 1 et la masse. Ainsi, les deux commandes sont sensiblement en opposition de phase et les états d'ouverture des deux commutateurs MOS1, MOS2
 25 sont tels qu'au plus un des deux commutateurs MOS1, MOS2 est commuté/passant à un instant donné, l'autre étant non commuté/ouvert, au même instant.

Lorsque, tel qu'illustré à la figure 1, le premier commutateur MOS1 est commuté, le bobinage 1 est connecté au potentiel U_{bat} . Dans le même temps, le deuxième commutateur MOS2 est ouvert. Il circule alors un courant dans un premier
 30 sens. Au contraire, tel qu'illustré à la **figure 2**, le deuxième commutateur MOS2 est commuté, le bobinage 1 est connecté à la masse. Dans le même temps, le premier commutateur MOS1 est ouvert. Il circule alors un courant dans un deuxième sens, opposé au premier sens. L'alternance des commandes du premier commutateur MOS1 et du deuxième commutateur MOS2 permet ainsi de créer un courant alternatif dans le
 35 bobinage 1.

Afin de sécuriser la commande et faire en sorte que les deux commutateurs MOS1, MOS2 ne puissent pas être passants simultanément, ce qui créerait un court-circuit entre le potentiel Ubat et la masse, même en cas de retard à l'ouverture, un module GDU 5 modifie un ou les deux signaux parmi Upwm et -Upwm. Tel qu'illustré à la **figure 4**, ce module 5 applique un temps mort 14 entre les deux signaux pour produire un signal 15, issu de Upwm, commandant le premier commutateur POS1, et un signal 16, issu de -Upwm, commandant le deuxième commutateur POS2. Ce temps mort 14, avantageusement appliqué de manière centrée, retarde la commutation/fermeture d'un commutateur après l'ouverture de l'autre commutateur et réduit ainsi le risque d'avoir les deux commutateurs MOS1, MOS2 commutés passants en même temps. Le temps mort 14 est typiquement de l'ordre de 500ns à 2µs.

Tel qu'illustré au bloc 17 de la figure 3, un moteur M comprend plusieurs, par exemple 3, bobinages 1. Chaque bobinage 1 est commandé par une tension de commande Ucmd1, Ucmd2, Ucmd3 et comprend un dispositif à commutation 2 propre. Un calculateur 3 détermine les tensions de commandes Ucmd1-3. Ces commandes sont transformées par les dispositifs à commutation 2 afin de produire des courants I1, I2, I3 dans chacun des bobinages 1 de manière à faire tourner le moteur électrique M. Un moyen de mesure 11 du courant dans chaque bobinage 1 est utilisé pour déterminer respectivement une mesure Imes1, Imes2, Imes3 du courant circulant dans chaque bobinage. Cette mesure du courant est utilisée par le calculateur 3 pour adapter sa commande et les tensions de commande Ucmd1-3.

Selon un mode de réalisation, le moyen 11 comprend un capteur de courant 11 pour chaque bobinage 1. Selon un mode de réalisation, il existe une relation algébrique entre les courants, par exemple leur somme est nulle (loi des nœuds). Aussi le moyen 11 peut faire l'économie d'un capteur de courant 11 qui peut alors être remplacé par un calcul en fonction des autres courants mesurés.

La mesure des courants Imes circulant dans chacun des bobinages 1 est nécessaire à la commande du moteur électrique M. Aussi est-il important de pouvoir diagnostiquer une défaillance d'un capteur de courant 11.

Il est connu pour diagnostiquer une défaillance d'un capteur de courant d'utiliser un capteur de courant par bobinage 1. La relation entre les courants (loi des nœuds) fournit alors une information redondante qui permet de vérifier la cohérence des mesures. Ce principe de diagnostic présente l'inconvénient de nécessiter un capteur de courant supplémentaire et, de plus, la détection d'une incohérence indique une défaillance d'au moins un capteur mais ne permet pas de déterminer quel (s) capteur (s) est/sont en défaut.

L'objectif de l'invention est de proposer un procédé d'estimation du courant circulant dans chaque bobinage. Cette estimation est réalisée en estimant le courant circulant dans le dispositif à commutation en calculant le rapport de la chute de tension à ses bornes par sa résistance. Cette estimation peut avantageusement être obtenue sans
 5 ajouter de composants, en utilisant uniquement ceux existants. Cette estimation du courant, obtenue individuellement pour chaque bobinage, peut être comparée avec un courant mesuré dans ledit bobinage afin de réaliser un diagnostic, lui aussi individualisé, du capteur de courant associé audit bobinage. L'individualisation du diagnostic permet d'améliorer le procédé de commande en offrant au moins deux modes dégradés en cas
 10 de défaillance d'un capteur.

Cet objectif est atteint grâce à un procédé d'estimation d'un courant estimé circulant dans un bobinage d'un moteur électrique du type comprenant au moins un bobinage pilotable par un dispositif à commutation, comprenant les étapes suivantes : mesure d'une tension mesurée à l'entrée du bobinage, correction de la tension mesurée
 15 pour produire une tension corrigée, détermination d'une résistance du dispositif à commutation, estimation du courant estimé circulant dans le bobinage en divisant par la résistance la différence entre une tension de commande utilisée pour commander le dispositif à commutation et la tension corrigée.

Ainsi, cette solution permet d'atteindre l'objectif précité en fournissant, sans
 20 ajout de composant, une estimation individualisée du courant circulant dans chaque bobinage.

Selon une autre caractéristique, le dispositif à commutation comprend : un premier commutateur connecté entre l'entrée du bobinage et un potentiel sensiblement constant, un deuxième commutateur connecté entre l'entrée du bobinage et la masse, et
 25 un module de transformation apte à recevoir la tension de commande et à commander de manière disjoints en ouverture les deux commutateurs en fonction de la tension de commande.

Selon une autre caractéristique, l'étape de correction comprend les étapes de : filtrage de la tension mesurée par un filtre pour produire une tension sinusoïdale, compensation de la tension sinusoïdale par un compensateur apte à compenser les effets atténuateurs du filtre pour produire une première tension corrigée.
 30

Selon une autre caractéristique, le filtre est un passe-bas, préférentiellement d'ordre au moins 2.

Selon une autre caractéristique, la compensation utilise une table
 35 d'interpolation en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

Selon une autre caractéristique, le dispositif à commutation introduit un temps mort produisant une variation de tension et l'étape de correction comprend encore une

étape d'ajout à la première tension corrigée de la variation de tension signée par un signe du courant estimé pour produire une deuxième tension corrigée.

Selon une autre caractéristique, le signe du courant estimé est déterminé à partir d'une mesure d'un courant mesuré circulant dans le bobinage.

5 Selon une autre caractéristique, l'étape de détermination de la résistance comprend une étape de compensation thermique selon la formule : $R_{dsOn} = R_{dsOnTyp} * (1 + 0,004 * (T_{mos} - 20^{\circ}C))$, avec R_{dsOn} la résistance compensée du dispositif à commutation, $R_{dsOnTyp}$ la résistance typique à 20°C du dispositif à commutation et T_{mos} la température du dispositif à commutation.

10 Selon une autre caractéristique, l'étape d'estimation du courant estimé comprend encore une étape d'annulation du courant estimé lorsque la différence entre la tension de commande et la première tension corrigée est inférieure, en valeur absolue, à la variation de tension.

 L'invention concerne encore un procédé de diagnostic d'un capteur apte à
15 mesurer un courant mesuré circulant dans un bobinage d'un moteur électrique du type comprenant au moins un bobinage pilotable par un dispositif à commutation, comprenant les étapes suivantes : mesure du courant mesuré circulant dans le bobinage au moyen du capteur, détermination d'un courant estimé circulant dans le bobinage au moyen d'un tel procédé d'estimation, comparaison du courant estimé et du courant mesuré, une
20 comparaison négative étant indicative d'une défaillance du capteur.

 Selon une autre caractéristique, l'étape de comparaison comprend les étapes suivantes : calcul d'une moyenne quadratique de la différence entre le courant mesuré et le courant estimé sur un horizon glissant, la comparaison est positive si la moyenne quadratique est inférieure à un seuil, et négative sinon.

25 L'invention concerne encore un procédé de commande d'un moteur électrique du type comprenant plusieurs bobinages pilotables chacun par un dispositif à commutation, chaque bobinage comprenant un capteur apte à mesurer un courant mesuré circulant dans le bobinage, le procédé de commande recevant en entrée les courants mesurés et les utilisant pour déterminer les tensions de commandes du moteur,
30 comprenant les étapes suivantes : diagnostic de chacun des capteurs au moyen d'un tel procédé de diagnostic.

 Selon une autre caractéristique, lorsqu'un capteur est diagnostiqué défaillant pour un bobinage, la détermination des commandes du moteur se poursuit en remplaçant, pour ledit bobinage, le courant mesuré par le courant estimé.

35 Selon une autre caractéristique, lorsqu'un capteur est diagnostiqué défaillant pour un bobinage, la détermination des commandes du moteur se poursuit sur les bobinages en excluant le bobinage dont le capteur est défaillant.

D'autres caractéristiques et avantages innovants de l'invention ressortiront à la lecture de la description ci-après, fournie à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- les **figures 1 et 2**, déjà décrites, illustrent les deux états de commutation et le sens du courant résultant dans un bobinage,
- la **figure 3** montre l'ensemble du procédé selon l'invention appliqué à un moteur triphasé,
- la **figure 4**, déjà décrite, illustre les deux signaux centrés-alignés, comprenant un temps mort, et utilisés pour piloter les commutateurs,
- la **figure 5** illustre un exemple de filtre appliqué dans l'étape de correction,
- la **figure 6** illustre une compensation appliquée suite au filtrage de la **figure 5**, dans l'étape de correction,
- la **figure 7** illustre la conséquence du temps mort sur un signal.
- Pour plus de clarté, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des signes de référence identiques sur l'ensemble des figures.

Un premier objet de l'invention est un procédé d'estimation du courant I_{est} circulant dans un bobinage 1 d'un moteur électrique M du type comprenant au moins un bobinage 1 pilotable par un dispositif à commutation 2. Le principe de cette estimation consiste à estimer le courant circulant dans le dispositif à commutation 2 en divisant la chute de tension entre la sortie et l'entrée du dispositif à commutation 2 par sa résistance. Pour cela, il est procédé selon les étapes suivantes : mesure d'une tension mesurée U_{mes} à l'entrée du bobinage 1, correction de cette tension mesurée U_{mes} pour produire une tension corrigée U_{corA} , U_{corB} , détermination d'une résistance R_{dsOn} du dispositif à commutation 2. Une dernière étape d'estimation du courant I_{est} circulant dans le bobinage 1 calcule la différence entre une tension de commande U_{cmd} utilisée pour commander le dispositif à commutation 2 et la tension corrigée U_{corA} , U_{corB} , et divise cette différence par la résistance R_{dsOn} . Il peut être noté que la tension de commande U_{cmd} est la tension appliquée en entrée du dispositif à commutation 2, et que la tension corrigée U_{corA} , U_{corB} reproduit la tension en sortie du dispositif à commutation 2.

La tension de commande U_{cmd} est déterminée par un calculateur 3 assurant la commande du moteur M. Elle est typiquement transmise au procédé d'estimation directement par le calculateur 3 la produisant.

Le dispositif à commutation 2 comprend : un premier commutateur MOS1 connecté entre l'entrée du bobinage 1 et un potentiel U_{bat} sensiblement constant, un deuxième commutateur MOS2 connecté entre l'entrée du bobinage 1 et la masse, et un module de transformation 4, 5 apte à recevoir la tension de commande U_{cmd} et à commander de manière disjointe en ouverture les deux commutateurs MOS1, MOS2 en

fonction de la tension de commande U_{cmd} . Telle que décrite précédemment, la tension de commande U_{cmd} est alternative. Le module PWM 4 transforme la tension de commande U_{cmd} en deux tensions à modulation de largeur d'impulsion U_{pwm} et $-U_{pwm}$, de rapport cyclique égal à l'amplitude de U_{cmd} , apte à commuter les commutateurs MOS1, MOS2. Le module optionnel GDU 5 introduit un temps mort t_d et modifie les tensions U_{pwm} et $-U_{pwm}$ en tensions 15 et 16 centrées-alignées.

L'objectif de l'étape de correction est d'obtenir une tension corrigée U_{corA} , U_{corB} , apte à être comparée à une tension de commande U_{cmd} . L'étape de correction vise ainsi à appliquer à la tension mesurée U_{mes} une transformation inverse de celle appliquée à la tension de commande U_{cmd} par le dispositif à commutation 2, plus particulièrement par les unités PWM 4 et, le cas échéant, GDU 5. Ainsi, la tension corrigée U_{corA} ou U_{corB} est comparable à la tension de commande U_{cmd} .

Pour cela, l'étape de correction réalise une opération de démodulation visant à supprimer la fréquence de modulation de largeur d'amplitude. Selon un mode possible de réalisation de cette opération, l'étape de correction comprend une première étape de filtrage de la tension mesurée U_{mes} par un filtre 6, produisant une tension sinusoïdale U_{sin} .

Selon une caractéristique avantageuse, le filtre 6 est un passe-bas, préférentiellement d'ordre au moins 2. Ceci permet d'extraire de la tension mesurée U_{mes} , une tension sinusoïdale se rapprochant de la tension de commande U_{cmd} alternative initiale.

Afin de supprimer la fréquence de modulation, la fréquence de coupure est choisie de manière adéquate à une valeur nettement inférieure à la fréquence de modulation, tout en restant nettement supérieure à la fréquence maximale de rotation du moteur M. Ainsi, de manière indicative, pour une fréquence de modulation de 20 kHz et un moteur pouvant tourner à 4000 tr/mn, soit une fréquence mécanique de 67 Hz et une fréquence électrique de 267 Hz pour un moteur M à quatre paires de pôles, une fréquence de coupure de 800 Hz est adéquate.

Le filtrage passe-bas est un moyen simple à mettre en oeuvre pour extraire une tension sinusoïdale. Cependant, comme on peut le voir sur la **figure 5**, il réalise aussi de manière préjudiciable une atténuation en amplitude d'autant plus importante que la fréquence, et donc la vitesse de rotation ω du moteur M, augmente.

Aussi est-il avantageusement ajouté une étape de compensation de la tension sinusoïdale U_{sin} . Cette étape est typiquement appliquée par un compensateur 7. Ce compensateur 7 est construit pour compenser en amplitude les effets atténuateurs du filtre 6. Il produit à partir de la tension U_{sin} une première tension corrigée U_{corA} .

La **figure 6** illustre un compensateur 7 construit pour compenser le filtre 6 de la **figure 5**. En ordonnées est indiqué le gain, supérieur à 1, appliqué à la tension U_{sin} issue du filtre 6, en abscisse est indiquée la vitesse ω de rotation du moteur M.

Le compensateur 7 peut être déterminé théoriquement en fonction du filtre 6 ou empiriquement. Une fois déterminé, il est typiquement implémenté par une fonction d'interpolation ou encore par une table d'interpolation 8. Cette table d'interpolation 8 présente en entrée la vitesse de rotation ω du moteur M et fournit en sortie le gain correctif à appliquer.

La vitesse de rotation ω du moteur M est, par exemple, mesurée par un capteur 8 afin d'être fournie au procédé d'estimation.

Dans le cas où le dispositif à commutation 6 comprend un module GDU 5 optionnel introduisant un temps mort 14, l'introduction de ce temps mort 14 produit une variation de tension ΔU . Le temps mort 14 étant de durée constante, la variation de tension ΔU produite est elle aussi constante et peut ainsi être déterminée théoriquement ou empiriquement. L'effet du temps mort 14 est « d'étirer » la forme du signal de tension, tel qu'illustré à la **figure 7**, montrant l'effet d'un temps mort 14 sur une tension sinusoïdale, « étirée » d'une quantité ΔU .

Afin de corriger cet effet, l'étape de correction comprend encore une étape d'ajout de la variation de tension ΔU , affectée du signe S du courant circulant dans le bobinage 1, soit le signe S du courant estimé I_{mes} , ou ce qui est équivalent au signe S du courant mesuré I_{mes} . Aussi, la première tension corrigée U_{corA} issue du filtrage/compensation est corrigée de la variation de tension ΔU signée par le signe S du courant. Ceci produit la deuxième tension corrigée U_{corB} .

Le signe S du courant circulant dans le bobinage 1, utilisé à l'étape précédente, est par exemple mesuré (ou calculé) à partir de la mesure réalisée par le capteur de courant 11 disposé sur le bobinage 1. Un moyen 10 d'extraction du signe S à partir du courant mesuré I_{mes} peut être employé.

Selon que l'étape de correction comprend une opération : filtrage/compensation, ou deux opérations : filtrage/compensation et correction de l'effet du temps mort, l'étape d'estimation compare la tension de commande U_{cmd} , respectivement avec la première tension corrigée U_{corA} , ou avec la deuxième tension corrigée U_{corB} .

Après la tension de commande U_{cmd} , issue du calculateur 3, et la tension corrigée U_{corA} , U_{corB} , le troisième paramètre nécessaire est la résistance R_{dsOn} du dispositif à commutation 2, et particulièrement la résistance du commutateur MOS1 ou MOS2. Il est possible en première approximation de considérer directement la résistance

typique d'un commutateur, soit $R_{dsOn} = R_{dsOnTyp}$, avec R_{dsOn} la résistance utilisée pour l'estimation et $R_{dsOnTyp}$ la résistance typique à 20°C du dispositif à commutation 2.

Cependant, la résistance effective du dispositif à commutation 2 varie beaucoup en fonction de la température et cette variation peut conduire à une erreur importante sur l'estimation I_{est} du courant, principalement lorsque ladite température varie selon de grandes amplitudes.

Aussi, selon un mode de réalisation préféré, l'étape de détermination de la résistance R_{dsOn} comprend une étape de compensation thermique selon la formule : $R_{dsOn} = R_{dsOnTyp} * (1 + 0,004 * (T_{mos} - 20^{\circ}C))$, avec R_{dsOn} la résistance compensée du dispositif à commutation 2, $R_{dsOnTyp}$ la résistance typique à 20°C du dispositif à commutation 2 et T_{mos} la température du dispositif à commutation 2.

La température T_{mos} peut être déterminée par toute méthode, par exemple au moyen d'un capteur de température 9.

Selon une autre caractéristique avantageuse, l'étape d'estimation du courant I_{est} comprend encore l'opération suivante. La tension de commande U_{cmd} est comparée avec la première tension corrigée U_{corA} . Si la différence entre ces deux tensions est inférieure, en valeur absolue, à la variation de tension ΔU produite par le temps mort 14, le courant estimé I_{est} est pris égal à zéro.

Jusqu'ici le procédé d'estimation a été décrit pour un seul bobinage 1. Le fait que le procédé d'estimation soit applicable à un bobinage 1 permet avantageusement de l'individualiser. Dans le cas, tel qu'illustré à la **figure 3**, où le moteur électrique M comprend plusieurs bobinages 1, par exemple 3 bobinages, une estimation du courant I_{est1} , I_{est2} , I_{est3} peut être réalisée pour chaque bobinage, et ce, avantageusement de manière indépendante.

L'implémentation du ou des procédés d'estimation peut se faire au moyen d'une unité de traitement 12.

Il va maintenant être décrit comment le courant estimé I_{est} peut avantageusement être utilisé pour réaliser un diagnostic d'un capteur 11 de courant.

Toujours dans le cadre d'un moteur électrique M du type comprenant au moins un bobinage 1 pilotable par un dispositif à commutation 2, le dispositif de commande 17 du moteur nécessite une mesure du courant mesuré I_{mes} circulant dans le bobinage 1.

Ce courant I_{mes} est mesuré au moyen d'un moyen de mesure 11. Ce moyen de mesure 11 peut être un capteur de courant effectif 11. Il a été vu que ce moyen de mesure 11 peut être un capteur de courant virtuel 11 réalisé par calcul, du fait d'une relation entre les courants des différents bobinages (loi des nœuds). Aussi, le terme

capteur 11 désigne indifféremment dans la présente un capteur de courant 11 de l'un quelconque des types effectif ou virtuel.

L'un quelconque des modes de réalisation du procédé d'estimation précédemment décrit permet de disposer d'un courant estimé I_{est} dans un bobinage 1.

5 Il est avantageusement possible de réaliser une comparaison du courant estimé I_{est} et du courant mesuré I_{mes} , pour un même bobinage 1. Une comparaison négative est alors un indicateur d'une défaillance du capteur de courant 11 associé à ce bobinage 1. Cette comparaison est par exemple implémentée dans une unité de traitement 13.

10 Afin d'éviter les fausses alertes, il est avantageux pour cette étape de comparaison de procéder à un filtrage temporel. Pour cela, selon un mode de réalisation préféré, l'étape de comparaison comprend avantageusement un calcul d'une moyenne quadratique I_{mq} de la différence entre le courant mesuré I_{mes} et le courant estimé I_{est} , sur un horizon glissant.

15 Une telle moyenne quadratique est typiquement donnée par la formule

$$I_{mq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (I_{mes} - I_{est})^2}{N}}, \text{ avec } I_{mq} \text{ la moyenne quadratique, } I_{mes} \text{ le courant mesuré, } I_{est} \text{ le courant estimé et } N \text{ un nombre d'échantillons, définissant, en relation avec la fréquence d'échantillonnage, l'étendue de l'horizon. La comparaison est positive si la moyenne quadratique } I_{mq} \text{ est inférieure à un seuil } I_{mqSeuil} \text{ donné, et négative sinon.}$$

20 La valeur du seuil $I_{mqSeuil}$ prend en compte les erreurs de mesure dans le pire des cas en prenant en compte la totalité de la chaîne de mesure et toutes les dérives possibles (thermique, échantillonneur, alimentation, calibrage, etc.).

Le paramètre nombre d'échantillons N est typiquement choisi tel qu'il détermine un horizon d'une durée supérieure à une valeur minimale suffisamment

25 importante pour réaliser un certain filtrage et éviter de fausses alertes, et inférieure à une valeur maximale laissant apparaître un risque à poursuivre la commande du moteur M en présence d'une défaillance d'un capteur 11. Ainsi, selon un mode de réalisation, l'horizon est compris entre 10 et 15 ms. Avec une période d'échantillonnage indicative de 500µs, ceci conduit à un nombre d'échantillons N compris entre 20 et 30.

30 Un tel outil de diagnostic de capteur de courant 11 peut avantageusement être appliqué individuellement à tous les bobinages 1 d'un moteur M , ou au moins à tous les bobinages 1 comprenant un capteur 11 effectif. En effet, un capteur 11 virtuel présente moins de risque de défaillance et son diagnostic est de moindre intérêt. Muni de cet outil de diagnostic, il est possible de modifier la stratégie de commande du moteur M en cas

35 de défaillance d'un capteur 11.

Le procédé de commande du moteur M selon l'invention est en tous points, sauf spécifiquement mentionné, identique à un procédé de commande selon l'art antérieur. Les différences n'apparaissent qu'après une détection d'une défaillance d'un capteur 11 de courant. Ainsi, de manière connue, le procédé de commande reçoit en
5 entrée les courants mesurés I_{mes} et les utilise pour déterminer les tensions de commandes U_{cmd} , selon un asservissement.

Aussi, l'invention concerne encore un procédé de commande d'un moteur électrique M du type comprenant plusieurs bobinages 1 pilotables chacun par un dispositif à commutation 2, chaque bobinage 1 comprenant un capteur 11 apte à mesurer un
10 courant mesuré I_{mes} circulant dans le bobinage 1, le procédé de commande recevant en entrée les courants mesurés I_{mes} et les utilisant pour déterminer les tensions de commandes U_{cmd} du moteur M. Ce procédé de commande est modifié, selon l'invention, en ce qu'il comprend une étape additionnelle de diagnostic de chacun des capteurs 11, ou au moins des capteurs effectifs, au moyen du procédé de diagnostic selon l'un des
15 modes de réalisation précédents.

La stratégie évolue, relativement à l'art antérieur, en cas de détection d'une défaillance d'un capteur 11. Il peut être envisagé au moins deux modes dégradés possibles.

Selon un premier mode dégradé, lorsqu'un capteur 11 est diagnostiqué
20 défaillant pour un bobinage 1, la commande du moteur M se poursuit en commandant tous les bobinages 1 du moteur M. Aussi le procédé de commande détermine une tension de commande U_{cmd} pour chacun des bobinages/phases du moteur M. Cependant, selon une caractéristique importante, la détermination de la tension de commande U_{cmd} , pour le bobinage 1 dont le capteur 11 est en défaut, s'effectue en remplaçant le courant
25 mesuré I_{mes} normalement issu dudit capteur 11 en entrée, et présentant donc vraisemblablement une valeur incorrecte, par le courant estimé I_{est} issu du procédé d'estimation. Un tel mode de réalisation bénéficie de la possibilité avantageusement offerte par l'invention de permettre de déterminer quel capteur est en défaut, afin de déterminer quel courant est remplacé.

30 Selon un deuxième mode dégradé, lorsqu'un capteur 11 est diagnostiqué défaillant pour un bobinage 1, la commande du moteur M se poursuit en commandant uniquement les bobinages 1 du moteur M pour lesquels une mesure de courant I_{mes} valide est effectivement disponible, soit les bobinages à l'exclusion du bobinage 1 dont le capteur 11 est défaillant. Le bobinage 1 dont le capteur 11 est défaillant est mis à l'état
35 ouvert et ignoré par le procédé de commande. Il est connu de commander un moteur électrique comprenant n bobinages/phases en ne faisant circuler un courant que dans n-1 bobinages/phases. Ainsi, il est possible de faire tourner un moteur triphasé en ne

commandant que deux phases. Un tel mode de réalisation bénéficie de la possibilité avantageusement offerte par l'invention de permettre de déterminer quel bobinage est en défaut, afin de déterminer quel bobinage est ignoré.

5 Il convient de noter que les procédés d'estimation et de diagnostic selon l'invention restent applicables, y compris en mode dégradé. Ainsi, après détection d'une défaillance d'un capteur 11 et passage dans l'un ou l'autre des deux modes dégradés, il reste possible d'estimer le courant I_{est} correspondant à un autre bobinage comprenant un capteur 11 encore fonctionnel et il est possible de diagnostiquer une défaillance de ce capteur 11.

10 Avantageusement encore, les procédés d'estimation et de diagnostic selon l'invention peuvent être appliqués à un moteur M tournant, mais aussi à un moteur M à l'arrêt.

L'invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que la personne de l'art est à même de réaliser différentes variantes de réalisation de
15 l'invention, en associant par exemple les différentes caractéristiques ci-dessus prises seules ou en combinaison, sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation d'un courant estimé (I_{est}) circulant dans un bobinage (1) d'un moteur électrique (M) du type comprenant au moins un bobinage (1) pilotable par un dispositif à commutation (2), **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :
 - 5
 - mesure d'une tension mesurée (U_{mes}) à l'entrée du bobinage (1),
 - correction de la tension mesurée (U_{mes}) pour produire une tension corrigée (U_{corA} , U_{corB}),
 - détermination d'une résistance (R_{dsOn}) du dispositif à commutation (2),
 - estimation du courant estimé (I_{est}) circulant dans le bobinage (1) en divisant par
 - 10 la résistance (R_{dsOn}) la différence entre une tension de commande (U_{cmd}) utilisée pour commander le dispositif à commutation (2) et la tension corrigée (U_{corA} , U_{corB}), et
 - dans lequel le dispositif à commutation (2) introduit un temps mort (14) produisant une variation de tension (ΔU) et où l'étape de correction comprend
 - 15 encore une étape d'ajout à la première tension corrigée (U_{corA}) de la variation de tension (ΔU) signée par un signe (S) du courant estimé (I_{est}), pour produire une deuxième tension corrigée (U_{corB}).
2. Procédé d'estimation selon la revendication 1, où le dispositif à commutation (2) comprend :
 - 20
 - un premier commutateur (MOS1) connecté entre l'entrée du bobinage (1) et un potentiel (U_{bat}) sensiblement constant,
 - un deuxième commutateur (MOS2) connecté entre l'entrée du bobinage (1) et la masse, et
 - un module de transformation (4, 5) apte à recevoir la tension de
 - 25 commande (U_{cmd}) et à commander de manière disjointe en ouverture les deux commutateurs (MOS1, MOS2) en fonction de la tension de commande (U_{cmd}).
3. Procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, où, l'étape de correction comprend les étapes de :
 - 30
 - filtrage de la tension mesurée (U_{mes}) par un filtre (6) pour produire une tension sinusoïdale (U_{sin}),
 - compensation de la tension sinusoïdale (U_{sin}) par un compensateur (7) apte à compenser les effets atténuateurs du filtre (6) pour produire une première tension corrigée (U_{corA}).
4. Procédé d'estimation selon la revendication 3, où le filtre (6) est un passe-bas,
- 35 préférentiellement d'ordre au moins 2.

5. Procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, où la compensation utilise une table d'interpolation (8) en fonction de la vitesse de rotation (ω) du moteur (M).
6. Procédé d'estimation selon la revendication 1, où le signe (S) du courant estimé (I_{est}) est déterminé à partir d'une mesure d'un courant mesuré (I_{mes}) circulant dans le bobinage (1).
7. Procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, où l'étape de détermination de la résistance (R_{dsOn}) comprend une étape de compensation thermique selon la formule : $R_{dsOn} = R_{dsOnTyp} * (1 + 0,004 * (T_{mos} - 20^{\circ}C))$, avec R_{dsOn} la résistance compensée du dispositif à commutation (2), R_{dsOnTyp} la résistance typique à 20°C du dispositif à commutation (2) et T_{mos} la température du dispositif à commutation (2).
8. Procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications 7 ou 5, où l'étape d'estimation du courant estimé (I_{est}) comprend encore une étape d'annulation du courant estimé (I_{est}) lorsque la différence entre la tension de commande (U_{cmd}) et la première tension corrigée (U_{corA}) est inférieure, en valeur absolue, à la variation de tension (ΔU).
9. Procédé de diagnostic d'un capteur (11) apte à mesurer un courant mesuré (I_{mes}) circulant dans un bobinage (1) d'un moteur électrique (M) du type comprenant au moins un bobinage (1) pilotable par un dispositif à commutation (2), **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :
 - mesure du courant mesuré (I_{mes}) circulant dans le bobinage (1) au moyen du capteur (11),
 - détermination d'un courant estimé (I_{est}) circulant dans le bobinage (1) au moyen du procédé d'estimation selon l'une quelconque des revendications précédentes,
 - comparaison du courant estimé (I_{est}) et du courant mesuré (I_{mes}),
 - une comparaison négative étant indicative d'une défaillance du capteur (11).
10. Procédé de diagnostic selon la revendication 9, où l'étape de comparaison comprend les étapes suivantes :
 - calcul d'une moyenne quadratique (I_{mq}) de la différence entre le courant mesuré (I_{mes}) et le courant estimé (I_{est}) sur un horizon glissant,
 - la comparaison est positive si la moyenne quadratique (I_{mq}) est inférieure à un seuil (I_{mqSeuil}), et négative sinon.
11. Procédé de commande d'un moteur électrique (M) du type comprenant plusieurs bobinages (1) pilotables chacun par un dispositif à commutation (2), chaque

bobinage (1) comprenant un capteur (11) apte à mesurer un courant mesuré (Imes) circulant dans le bobinage (1), le procédé de commande recevant en entrée les courants mesurés (Imes) et les utilisant pour déterminer les tensions de commandes (Ucmd) du moteur (M), **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :

- 5 • diagnostic de chacun des capteurs (11) au moyen du procédé de diagnostic selon l'une quelconque des deux revendications précédentes.

12. Procédé de commande selon la revendication 11, comprenant encore l'étape suivante :

- 10 • lorsqu'un capteur (11) est diagnostiqué défaillant pour un bobinage (1), la détermination des commandes du moteur (M) se poursuit en remplaçant, pour ledit bobinage (1), le courant mesuré (Imes) par le courant estimé (Iest).

13. Procédé de commande selon la revendication 12, comprenant encore l'étape suivante :

- 15 • lorsqu'un capteur (11) est diagnostiqué défaillant pour un bobinage (1), la détermination des commandes du moteur (M) se poursuit sur les bobinages en excluant le bobinage (1) dont le capteur (11) est défaillant.

Fig. 1

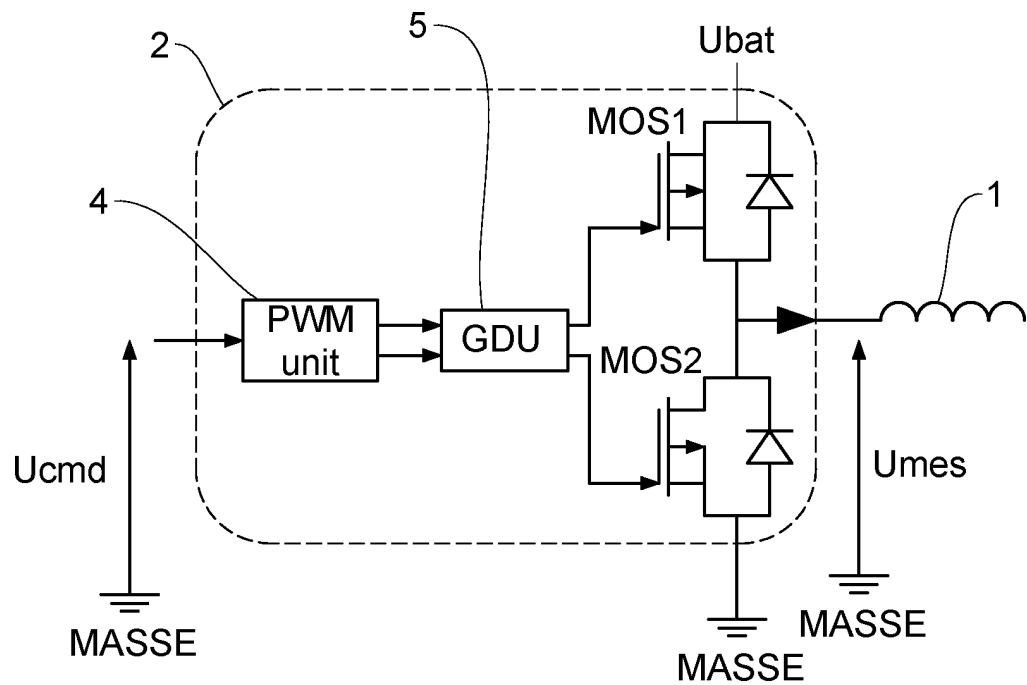


Fig. 2

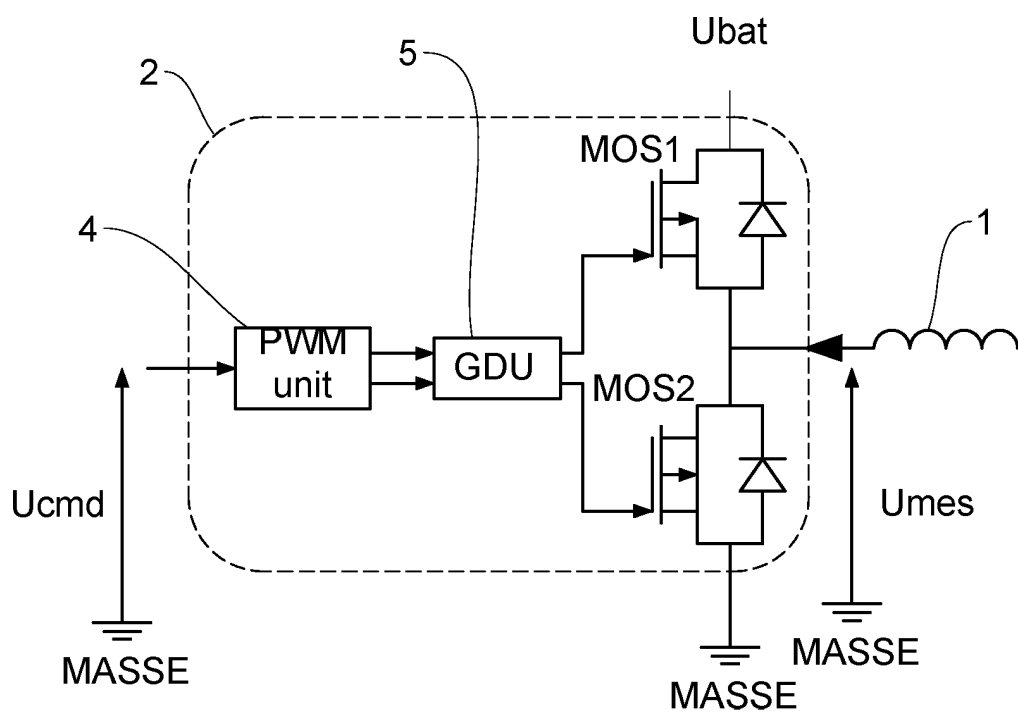


Fig. 3

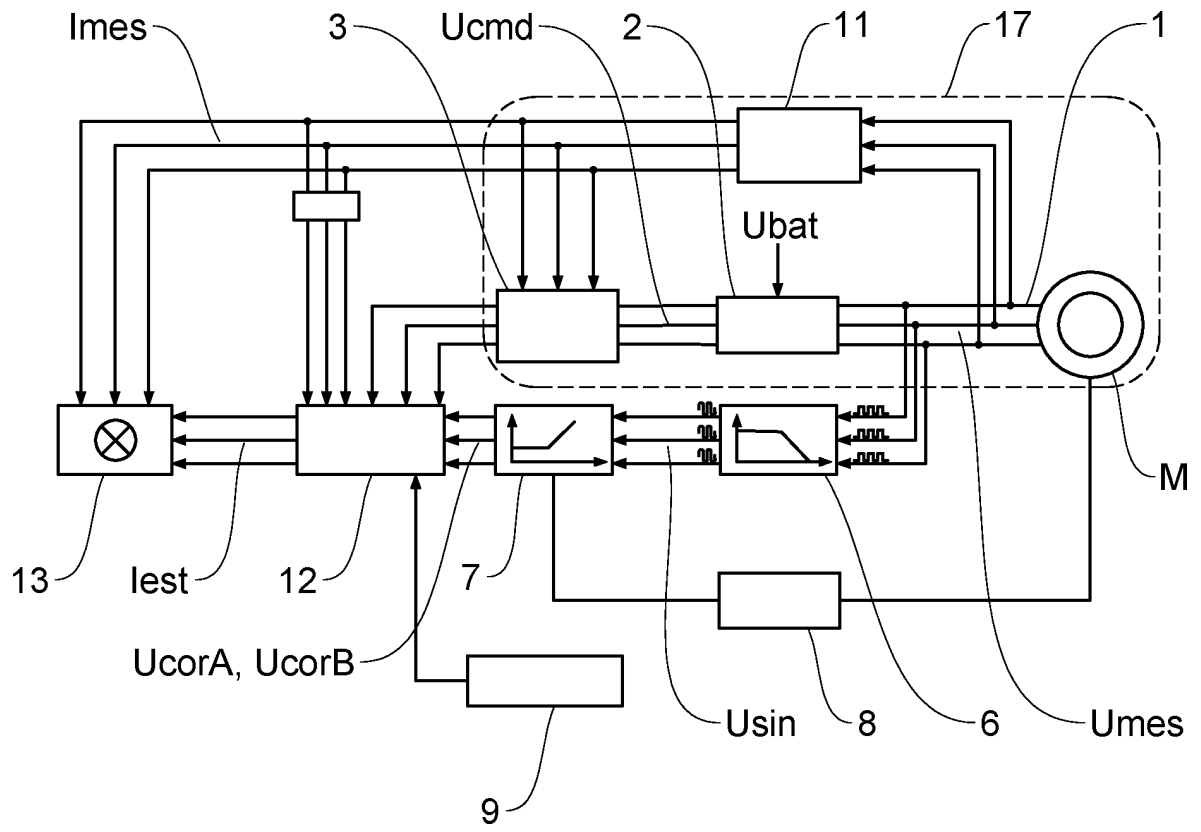
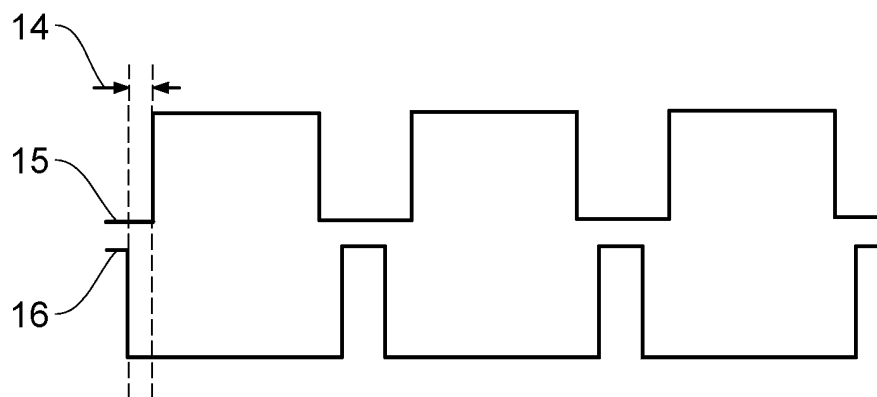


Fig. 4



3/3

Fig. 5

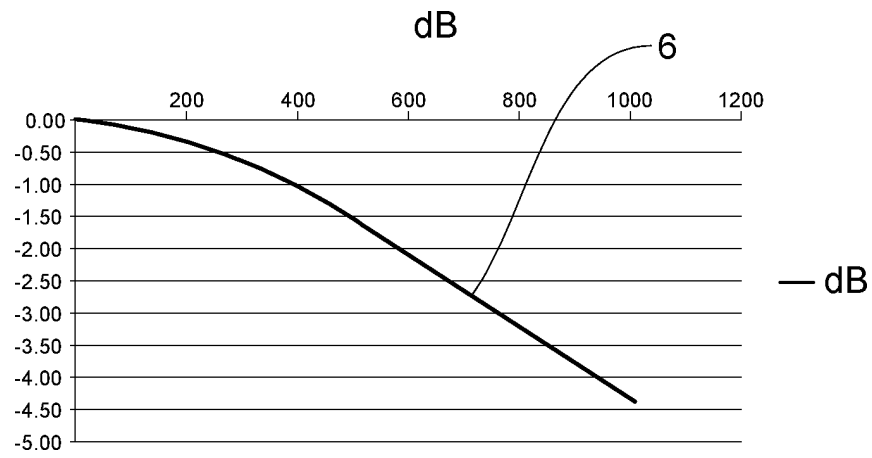


Fig. 6

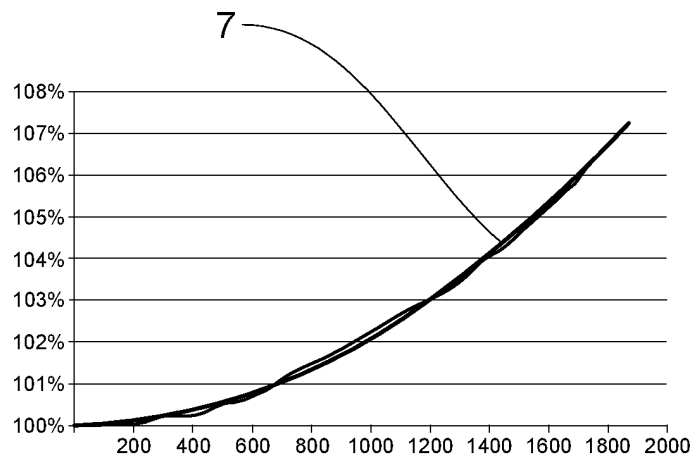
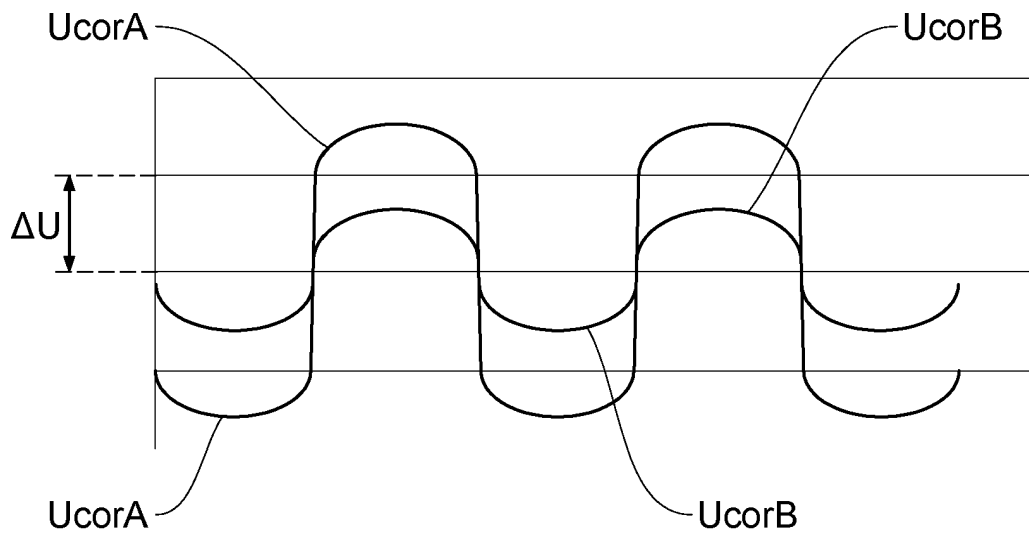


Fig. 7



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

EP 2 176 886 A1 (ADVANCED ANALOGIC TECH INC [US]) 21 avril 2010 (2010-04-21)

WO 2016/038362 A1 (TRW LTD [GB]) 17 mars 2016 (2016-03-17)

DE 195 03 180 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 10 août 1995 (1995-08-10)

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

NEANT

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

NEANT