

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/020125 A1

(43) Date de la publication internationale
01 février 2018 (01.02.2018)

(51) Classification internationale des brevets :
H02P 27/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2017/052042

(22) Date de dépôt international :
24 juillet 2017 (24.07.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1657114 25 juillet 2016 (25.07.2016) FR

(71) Déposant : **VALEO SYSTEMES THERMIQUES**
[FR/FR] ; 8 rue Louis Lormand, La Verrière, 78320 Le Mesnil Saint Denis (FR).

(72) Inventeurs : **MAKNI, Zaatat** ; C/o Valeo Systèmes Thermiques, ZA l'Agiot, 8 rue Louis Lormand, CS 80517 La Verrière, 78322 Le Mesnil Saint Denis Cedex (FR).
KHANCHOU, Mohamed ; C/o Valeo Systèmes Thermiques, ZA l'Agiot, 8 rue Louis Lormand, CS 80517 La Verrière, 78322 Le Mesnil Saint Denis Cedex (FR).

(74) Mandataire : **VALEO SYSTEMES THERMIQUES-THS** ; ZA l'Agiot, 8 rue Louis Lormand, CS 80517 La Verrière, 78322 Le Mesnil Saint Denis Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A ROTATING ELECTRICAL MACHINE USING A RANDOM-FREQUENCY PWM SIGNAL

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CONTRÔLE D'UNE MACHINE ÉLECTRIQUE TOURNANTE À L'AIDE D'UN SIGNAL PWM À FRÉQUENCE ALÉATOIRE

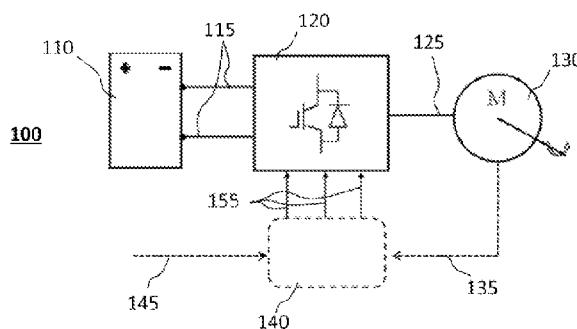


FIGURE 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a rotating electrical machine controlled by at least one pulse width modulated control signal, characterized in that the control signal is frequency-modulated, the frequency of the modulated control signal lying within a given control range. The invention also relates to a control unit configured to control a rotating electrical machine using a pulse width modulated control signal that has a random frequency in order to distribute the spectral energy contained in the control signal.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de contrôle d'une machine électrique tournante pilotée par au moins un signal de commande du type à modulation de largeur d'impulsion, caractérisé en ce que le signal de commande est modulé en fréquence, la fréquence du signal de commande modulé étant comprise dans une plage de contrôle donnée. L'invention concerne aussi une unité de contrôle configurée pour commander une machine électrique tournante à l'aide d'un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion et à fréquence aléatoire afin de distribuer l'énergie spectrale contenue dans ledit signal de commande.



WO 2018/020125 A1

« PROCÉDÉ DE CONTRÔLE D'UNE MACHINE ÉLECTRIQUE TOURNANTE À L'AIDE D'UN SIGNAL PWM À
FRÉQUENCE ALÉATOIRE »

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de contrôle d'une machine électrique tournante, et plus
5 particulièrement un compresseur électrique. L'invention concerne aussi une unité de contrôle d'une telle machine électrique tournante.

Une telle machine électrique tournante, tel qu'un compresseur électrique, peut par exemple être mis en œuvre au sein d'un circuit de climatisation d'un véhicule automobile.

État de la technique antérieure

10 De manière connue, les machines électriques tournantes peuvent être pilotées à l'aide d'un signal de commande modulé en largeur d'impulsion qui permet de contrôler facilement leur vitesse de rotation. Le signal de commande est généralement mis en forme par une électronique de puissance permettant de transformer une tension continue ou alternative en un signal modulé en largeur d'impulsion. Le signal de commande prend ainsi la forme d'un créneau périodique oscillant entre une valeur haute et une valeur basse à
15 fréquence constante. De manière schématique, le rapport cyclique d'un tel signal de commande, c'est-à-dire le rapport entre la durée durant laquelle le signal de commande prend sa valeur haute et la période dudit signal périodique, permet de contrôler la vitesse de rotation de la machine électrique tournante.

Un inconvénient de tels signaux de commande réside dans le fait que, le signal de commande possédant une fréquence invariante, alors l'énergie spectrale contenue dans le signal de commande est transmise en partie à
20 la machine électrique tournante qui, en fonction de sa forme par exemple, est sollicitée selon un ou plusieurs de ses modes de résonance. En d'autres termes, le pilotage de machines électriques tournantes pilotées par un signal de commande possédant une fréquence prédéterminée et invariante conduit à exciter plus particulièrement un ou plusieurs modes de résonance de la machine électrique tournante et correspondant à la fréquence du signal de commande.

25 Par suite, l'excitation de ce(s) mode(s) de résonance conduit à une augmentation des vibrations de la machine électrique tournante qui peut nuire au confort d'utilisation. De plus, l'augmentation des vibrations durant son fonctionnement peut aussi conduire à une détérioration prématurée de certains des composants de la machine électrique tournante. En outre, l'excitation du mode de résonance génère aussi une élévation du niveau de bruit durant le fonctionnement de la machine électrique tournante.

30 La présente invention a pour objet de répondre au moins en grande partie aux problèmes précédents et de conduire en outre à d'autres avantages.

Un autre but de l'invention est de proposer un nouveau procédé de contrôle d'une machine électrique tournante pour résoudre au moins un de ces problèmes.

Un autre but de la présente invention est de réduire les vibrations d'une machine électrique tournante durant son fonctionnement.

Un autre but de l'invention est d'améliorer la compatibilité électromagnétique d'une machine électrique tournante durant son fonctionnement.

5

Exposé de l'invention

Selon un premier aspect de l'invention, on atteint au moins l'un des objectifs précités avec un procédé de contrôle d'une machine électrique tournante pilotée par au moins un signal de commande du type à modulation de largeur d'impulsion, caractérisé en ce que le signal de commande est modulé en fréquence, la fréquence du signal de commande modulé étant comprise dans une plage de contrôle donnée.

10 Ainsi la machine électrique tournante est désormais pilotée par un signal de commande à fréquence variable, permettant d'étaler l'énergie spectrale contenue dans le signal de commande sur une plage de fréquence plus large et, *in fine*, de réduire l'énergie transmise à la machine électrique tournante et correspondant à ses modes de résonance. Par conséquent, les modes de résonances de ladite machine électrique tournante sont moins sollicités et les phénomènes vibratoires de la machine électrique tournante sont réduits. Par suite, le niveau de
15 bruit de la machine électrique tournante est réduit durant son fonctionnement.

De ce fait, par exemple pour l'utilisation d'une telle machine électrique tournante en tant que compresseur électrique mis en œuvre au sein d'un circuit de climatisation de véhicule automobile, l'invention permet de diminuer le niveau sonore du compresseur et donc le confort des utilisateurs à l'intérieur de l'habitacle.

De manière avantageuse, la valeur moyenne des fréquences du signal de commande est supérieure ou égale à
20 10 kHz, et préférentiellement encore égale à 10 kHz. De cette manière, le signal de commande est configuré pour piloter la machine électrique tournante à une valeur moyenne prédéfinie ou au moins égale à une valeur prédéfinie tout en réduisant les niveaux d'excitation des modes de résonance de la machine électrique tournante. En outre, il est important d'assurer une valeur moyenne du signal de commande égale ou supérieure à une valeur de référence donnée afin de garantir un fonctionnement optimal de la machine
25 électrique tournante, notamment en termes de réactivité au regard d'une variation du rapport cyclique par exemple.

De manière avantageuse, la plage de contrôle est comprise entre 8 kHz et 12 kHz afin de distribuer les fréquences du signal de commande autour de la valeur de référence. Éventuellement, la plage de contrôle est centrée autour de la valeur de référence.

30 De manière préférentielle, la fréquence du signal de commande modulé est déterminée à l'aide d'une fonction aléatoire afin de générer une pluralité de fréquences, statistiquement toutes différentes afin de répartir l'énergie spectrale du signal de commande sur une plus large bande spectrale, continue ou discontinue.

Plus particulièrement, et selon une première variante de l'invention conforme à son premier aspect, le signal de commande obtenu par la fonction aléatoire a une densité spectrale de puissance du type d'un bruit blanc dans la plage de contrôle. Éventuellement, la densité spectrale de puissance de la fonction aléatoire prend la forme d'un bruit blanc centré sur la valeur moyenne recherchée du signal de commande, par exemple 10 kHz.

- 5 Selon une deuxième variante de l'invention, le signal de commande obtenu par la fonction aléatoire a une densité spectrale de puissance du type d'une gaussienne dans la plage de contrôle. Éventuellement, la densité spectrale de puissance de la fonction aléatoire prend la forme d'une gaussienne centrée sur la valeur moyenne recherchée du signal de commande, par exemple 10 kHz.

10 Selon un mode de réalisation du procédé conforme au premier aspect de l'invention ou à l'un quelconque de ses perfectionnements, un tel procédé de contrôle d'une machine électrique tournante comprend les étapes suivantes :

- 15 — détermination d'une fréquence de rotation de la machine électrique tournante, par exemple à l'aide d'une tension alternative provenant de la machine électrique tournante. La fréquence de rotation de la machine électrique traduit le rapport cyclique du signal de commande qui a permis d'obtenir une telle fréquence de rotation. D'une manière générale, la première étape du procédé comprend une étape de détermination d'un signal provenant de la machine électrique tournante et permettant de déterminer ensuite le rapport cyclique du signal de commande qui a permis de configurer la machine électrique tournante dans un tel état. À titre d'exemple non limitatif, cette étape de détermination peut être une étape de mesure d'au moins un signal provenant de la machine électrique, par exemple
20 du type d'une vitesse de rotation, d'une tension de sortie, d'une fréquence ;
- enregistrement de la fréquence de rotation dans une mémoire. D'une manière générale, l'au moins un signal provenant de la machine électrique est enregistré dans une mémoire ;
- comparaison de la fréquence de rotation avec une valeur de référence :
 - 25 ○ si la fréquence de rotation est supérieure ou égale à la valeur de référence, alors génération d'un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion à la fréquence de rotation de la machine électrique tournante ;
 - si la fréquence de rotation est inférieure à la valeur de référence, alors génération d'un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion à une fréquence de rotation enregistrée dans la mémoire.

- 30 Le signal de commande à modulation de largeur d'impulsion est obtenu via un signal de référence périodique, par exemple triangulaire, et de fréquence aléatoire : le signal à modulation de largeur d'impulsion a la même fréquence que le signal triangulaire de référence utilisé pour « moduler » le signal à modulation de largeur d'impulsion.

35 Selon un deuxième aspect de l'invention, il est proposé une unité de contrôle d'une machine électrique tournante comprenant des moyens agencés pour mettre en œuvre les étapes du procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention ou à l'un quelconque de ses perfectionnements.

Préférentiellement, l'unité de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention comprend :

- une mémoire interne pour enregistrer au moins un paramètre de fonctionnement de la machine électrique tournante ;
- un générateur de tension pour générer au moins un signal de commutation pour pouvoir configurer alternativement dans un mode bloqué ou passant un module électrique de puissance comprenant au moins un transistor de puissance ; et
- une unité de traitement configurée pour mettre en œuvre le procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention ou selon l'un quelconque de ses perfectionnements.

Ainsi l'unité de contrôle configurée pour générer au moins un signal de commande permettant de commander une machine électrique tournante, le signal de commande étant du type d'un signal alternatif à modulation de largeur d'impulsion et à fréquence aléatoire afin de distribuer l'énergie spectrale contenue dans ledit signal de commande.

Selon un troisième aspect de l'invention, il est proposé un système électrique comprenant :

- une machine électrique tournante ;
- au moins une source de tension continue configurée pour générer au moins un signal électrique de polarisation ;
- un module de puissance connecté électriquement à la source de tension continue, le module de puissance étant agencé pour mettre en forme au moins un signal de commande d'une machine électrique tournante ;
- une unité de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention, l'unité de contrôle étant connectée électriquement au module de puissance et configurée pour mettre en forme un signal de commutation du module de puissance.

La machine électrique tournante est préférentiellement du type d'un compresseur électrique, tel que par exemple utilisé dans des véhicules automobiles électriques et/ou hybrides.

Le module de puissance est agencé pour transformer une tension continue fournie par la source de tension continue en un signal de commande alternatif pour piloter la machine électrique tournante. Préférentiellement, le signal de commande est du type d'un signal à modulation de largeur d'impulsion. Le module de puissance est composé d'une pluralité de transistors de puissances tels que par exemple des transistors à grille isolée (IGBT pour « *Insulated Gate Bipolar Transistor* ») et/ou des transistors à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur (MOSFET pour « *Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor* ». Les transistors de puissance sont agencés pour être alternativement configurés dans leurs modes de conduction puis dans leur mode bloqué via un signal de commutation. Les commutations successives des transistors de puissances permettent ainsi de générer un signal alternatif contrôlé et selon une fréquence prédéfinie et ajustable.

L'unité de contrôle est configurée pour générer les signaux de commutation à au moins une fréquence prédéfinie. Comme expliqué précédemment, l'invention vise à générer un signal de commutation à fréquence variable, et préférentiellement de manière aléatoire.

5 De manière avantageuse, dans un système électrique conforme au troisième aspect de l'invention et dans lequel la machine électrique tournante comprend une pluralité de phases électriques, le module de puissance est du type d'un convertisseur DC-AC et comprend au moins un transistor de puissance par phase électrique de la machine électrique tournante, le module de puissance étant configuré pour mettre en forme un signal de commande par phase électrique de la machine électrique tournante, l'unité de contrôle étant configurée pour générer un signal de contrôle par phase électrique.

10 De manière préférentielle, dans un système électrique conforme au troisième aspect de l'invention, la machine électrique tournante est du type d'un moteur électrique synchrone ou d'un moteur à reluctance variable.

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

15 L'invention concerne également une machine électrique tournante mettant en œuvre un procédé selon l'un des modes de réalisation précités.

Selon un aspect particulier de l'invention, la machine électrique tournante est mise en œuvre au sein d'un compresseur électrique de climatisation pour véhicule automobile.

L'invention concerne encore une machine électrique tournante selon l'une des aspects précités, mise en œuvre au sein d'un circuit de climatisation de véhicule automobile.

20

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
25 dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

- la FIGURE 1 illustre de manière schématique un système électrique conforme au troisième aspect de l'invention ;
- la FIGURE 2 illustre un diagramme fonctionnel du procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention ;

- les FIGURE 3a et 3b d'une part et 4a et 4b d'autre part illustrent respectivement une densité spectrale de puissance d'un compresseur électrique piloté à l'aide d'un signal de commande usuel, c'est-à-dire à fréquence fixe, et à l'aide d'un signal de commande généré par le procédé conforme au premier aspect de l'invention, c'est-à-dire à fréquence aléatoire.

5 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
10 technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

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

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

Description détaillée de l'invention

15 La FIGURE 1 illustre de manière schématique un système électrique 100 conforme au troisième aspect de l'invention comprenant :

- une machine électrique tournante 130 du type d'une machine électrique synchrone à aimants permanents ou à reluctance variable, telle que par exemple un compresseur électrique ;
- au moins une source de tension continue 110 configurée pour générer au moins un signal électrique de polarisation 115. Chaque signal de polarisation 115 est transporté par un conducteur électrique.
20 Dans l'exemple schématisé sur la FIGURE 1, la source de tension continue 110 est connectée électriquement à un module de puissance 120 par l'intermédiaire d'un premier conducteur électrique reliant la borne positive de la source de tension continue 110 au module de puissance 120 et d'un deuxième conducteur électrique reliant la borne négative de la source de tension continue 110 au module de puissance 120 ;
25
- le module de puissance 120 connecté électriquement à la source de tension continue 110 par l'intermédiaire du premier et deuxième conducteur électrique, le module de puissance 120 étant agencé pour mettre en forme au moins un signal de commande 125 d'une machine électrique tournante 130. Le module de puissance 120 est connecté électriquement à la machine électrique
30 tournante 130 par l'intermédiaire d'au moins un connecteur électrique. De manière préférentielle, le module de puissance 120 comprend une pluralité de transistors de puissance non représentés sur la FIGURE 1. Les transistors de puissance sont configurés pour commuter entre un mode bloquant et un mode de conduction de manière à générer au moins un signal de commande 125 du type à modulation de largeur d'impulsion. Avantagusement, les transistors de puissance sont regroupés en
35 étages de puissance, le module de puissance 120 comprenant autant d'étage de puissance que le

nombre de phases électriques de la machine électrique tournante 130. À titre d'exemple non limitatif, dans le cas d'une machine électrique tournante triphasée, le module de puissance 120 comprend trois étages de puissances ;

- une unité de contrôle 140 connectée électriquement au module de puissance 120 via au moins un connecteur électrique et configurée pour mettre en forme au moins un signal de commutation 155 du module de puissance 120. Selon un premier mode de réalisation, l'unité de contrôle 140 est configurée pour générer un seul signal de commutation 155 permettant de déclencher au moins un étage de puissance du module de puissance 120. Éventuellement, un déphasage est introduit entre chaque étage de puissance, c'est-à-dire entre chaque phase électrique de la machine électrique tournante 130. Selon un deuxième mode de réalisation, l'unité de contrôle 140 est configurée pour générer une pluralité de signaux de commutation 155, préférentiellement en nombre égal au nombre de phases électriques de la machine électrique tournante 130. D'une manière générale, et selon n'importe quel mode de réalisation, l'unité de contrôle 140 est configurée pour générer au moins un signal de commutation 155 du ou des étages de puissance du module de puissance 120, le signal de commutation 155 ayant une fréquence variable en fonction de l'état de la machine électrique tournante 130.

Un tel système électrique 100 permet ainsi de piloter une machine électrique tournante 130 à l'aide d'un module de puissance 120 configuré pour générer au moins un signal de commande 125 de fréquence variable afin de distribuer l'énergie spectrale liée aux signaux de commande 125 et de limiter l'excitation d'un ou plusieurs modes résonnants de la machine électrique tournante 130.

La FIGURE 2 illustre un diagramme fonctionnel du procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention, dans lequel trois signaux de commutation 155 à fréquence aléatoire sont générés par une unité de contrôle afin de faire commuter un module de puissance 120 permettant de piloter une machine électrique tournante 130 triphasée du type d'un compresseur électrique. La FIGURE 2 illustre un contrôle vectoriel des signaux de commande 125 à modulation de largeur d'impulsion.

Pour ce faire, un observateur 214 de la force électromotrice induite de la machine électrique tournante 130 est utilisé pour reconstruire les grandeurs θ_β et Ω_r représentant respectivement la vitesse et la position, à partir des tensions de commande V_a et V_b et des courants I_a et I_b pris dans un repère dit de Concordia. Les tensions de commande V_a et V_b sont mesurées directement sur le système électrique et/ou au niveau de la machine électrique tournante 130.

Les grandeurs θ_β et Ω_r sont ensuite comparées à une grandeur de référence Ω_{ref} représentant la vitesse de consigne. Le résultat de la comparaison permet de mettre en œuvre un régulateur de vitesse 211 permettant de calculer le couple de consigne.

Complémentairement, des signaux 235 représentatifs de l'état de la machine tournante 130 sont utilisées soit dans une mémoire tampon 230, soit dans un amplificateur à gain proportionnel 213 permettant de déterminer les grandeurs I_q et I_d qui représentent respectivement le courant en quadrature et direct.

Le signal sortant du régulateur de vitesse 211 ainsi que les grandeurs I_q et I_d sont ensuite utilisés dans un régulateur de courant 212 pour générer des tensions de commande.

Ainsi, le régulateur de courant permet de déterminer les variables d et q représentant les tensions de commande. Un premier 215 puis un deuxième 216 changement de base successif permet d'adresser une machine à vecteurs de support pour déterminer les tensions triphasée en fonction d'un signal triangulaire à fréquence aléatoire 115 de référence.

Comme décrit précédemment, la fréquence du signal triangulaire peut avantageusement être prédéterminée à l'aide d'une fonction aléatoire, par exemple du type d'un bruit blanc ou d'une gaussienne borné à l'intérieur d'un intervalle de fréquence compris préférentiellement entre 8 kHz et 12 kHz. La fonction aléatoire est avantagée centrée autour de 10 kHz, de sorte que la valeur moyenne du signal triangulaire 115, et/ou du signal de commande 125 in fine, soient supérieures ou égales – et préférentiellement égales – à 10 kHz.

D'une manière schématique, si la période du signal triangulaire 115 de référence est inférieure à la période du microcontrôleur exécutant la boucle 210, alors les signaux de commutation 155 contrôlant le module de puissance 120 sont inchangés ; en revanche, si la période du signal triangulaire 115 de référence est supérieure à la période du microcontrôleur exécutant la boucle 210, alors les signaux de commutation 155 sont modifiés de manière à ce que leur fréquence soit égale à celle qui a été dernièrement enregistrée dans la mémoire tampon 230.

À titre d'exemple, la fréquence du microcontrôleur exécutant la boucle 210 est égale à 10 kHz ou sensiblement égale à 10 kHz.

Les signaux de commutation 155 sont éventuellement moyennés 240 avant d'attaquer le module de puissance 120.

Les FIGURES 3a et 3b d'une part et 4a et 4b d'autre part illustrent respectivement une densité spectrale de puissance d'un compresseur électrique piloté à l'aide d'un signal de commande usuel, c'est-à-dire à fréquence fixe, et à l'aide d'un signal de commande généré par le procédé conforme au premier aspect de l'invention, c'est-à-dire à fréquence aléatoire.

Plus particulièrement, les FIGURES 3 et 4 illustrent les niveaux vibratoires d'un compresseur électrique mesurés en différents points caractéristiques : le capot extérieur (histogramme en traits foncés) et le boîtier du côté du moteur (histogrammes en traits clairs).

Les FIGURES 3a et 3b illustrent la densité de spectrale d'un compresseur électrique piloté par un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion et à fréquence constante, tel que réalisé dans l'art antérieur. La FIGURE 3a illustre la densité spectrale de puissance pour des fréquences comprises entre 0 et 10 kHz, et la FIGURE 3b illustre la densité spectrale de puissance pour des fréquences comprises entre 10 kHz et 16 kHz.

De manière comparable, les FIGURES 4a et 4b illustrent la densité de spectrale d'un compresseur électrique piloté par un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion et à fréquence variable, conformément

à l'invention. La FIGURE 4a illustre la densité spectrale de puissance pour des fréquences comprises entre 0 et 10 kHz, et la FIGURE 4b illustre la densité spectrale de puissance pour des fréquences comprises entre 10 kHz et 16 kHz.

Le procédé conforme au premier aspect de l'invention permet ainsi de réduire le niveau vibratoire du compresseur électrique piloté par un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion et à fréquence variable. Plus particulièrement, la réduction de l'amplitude des vibrations du compresseur électrique est particulièrement importante entre 7 kHz et 13 kHz. Cette atténuation du comportement dynamique vibratoire du compresseur électrique est uniquement dû à l'étalement fréquentiel des signaux de commande : l'énergie spectrale associée aux signaux de commande est distribué sur un plus grand nombre de modes résonants du compresseur électrique, réduisant ainsi les vibrations associées dudit compresseur électrique.

De manière astucieuse, la présente invention permet aussi de réduire le rayonnement électromagnétique d'un tel compresseur et facilite son intégration dans un système électrique plus complexe. Il est en effet possible de réduire voire supprimer certains blindages électromagnétiques, réduisant ainsi la masse embarquée sur le véhicule.

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. Procédé de contrôle d'une machine électrique tournante pilotée par au moins un signal de commande du type à modulation de largeur d'impulsion, caractérisé en ce que le signal de commande est modulé en fréquence, la fréquence du signal de commande modulé étant comprise dans une plage de contrôle donnée.
- 5 2. Procédé de contrôle selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la plage de contrôle est comprise entre 8 kHz et 12 kHz.
3. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fréquence du signal de commande modulé est déterminée à l'aide d'une fonction aléatoire.
4. Procédé de contrôle selon la revendication 3, caractérisé en ce que le signal de commande obtenu par la
10 fonction aléatoire a une densité spectrale de puissance du type d'un bruit blanc dans la plage de contrôle.
5. Procédé de contrôle selon la revendication 3, caractérisé en ce que le signal de commande obtenu par la fonction aléatoire a une densité spectrale de puissance du type d'une gaussienne dans la plage de contrôle.
6. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la valeur moyenne des fréquences du signal de commande est supérieure ou égale à 10 kHz.
- 15 7. Procédé de contrôle d'une machine électrique tournante selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - détermination d'une fréquence de rotation de la machine électrique tournante ;
 - enregistrement de la fréquence de rotation dans une mémoire ;
 - comparaison de la fréquence de rotation avec une valeur de référence :
20 ○ si la fréquence de rotation est supérieure ou égale à la valeur de référence, alors génération d'un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion à la fréquence de rotation de la machine électrique tournante ;
 ○ si la fréquence de rotation est inférieure à la valeur de référence, alors génération d'un signal de commande à modulation de largeur d'impulsion à une fréquence de rotation enregistrée
25 dans la mémoire.
8. Unité de contrôle d'une machine électrique tournante, l'unité de contrôle comprenant :
 - une mémoire interne pour enregistrer au moins un paramètre de fonctionnement de la machine électrique tournante ;

- un générateur de tension pour générer au moins un signal de commutation pour pouvoir configurer alternativement dans un mode bloqué ou passant un module électrique de puissance comprenant au moins un transistor de puissance ; et
- une unité de traitement configurée pour mettre en œuvre le procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

9. Système électrique comprenant :

- une machine électrique tournante ;
- au moins une source de tension continue configurée pour générer au moins un signal électrique de polarisation ;
- un module de puissance connecté électriquement à la source de tension continue, le module de puissance étant agencé pour mettre en forme au moins un signal de commande d'une machine électrique tournante ;
- une unité de contrôle selon la revendication précédente, l'unité de contrôle étant connectée électriquement au module de puissance et configurée pour mettre en forme un signal de commutation du module de puissance.

10. Système électrique selon la revendication précédente et dans lequel la machine électrique tournante comprend une pluralité de phases électriques, le système électrique étant caractérisé en ce que le module de puissance est du type d'un convertisseur DC-AC et comprend au moins un transistor de puissance par phase électrique de la machine électrique tournante, le module de puissance étant configuré pour mettre en forme un signal de commande par phase électrique de la machine électrique tournante, l'unité de contrôle étant configurée pour générer un signal de contrôle par phase électrique.

11. Système électrique selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que la machine électrique tournante est du type d'un moteur électrique synchrone ou d'un moteur à reluctance variable.

12. Machine électrique tournante mettant en œuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 7.

13. Machine électrique tournante selon la revendication précédente, la machine électrique tournante étant mise en œuvre au sein d'un compresseur électrique de climatisation pour véhicule automobile.

14. Utilisation d'une machine électrique tournante selon l'une des revendications 12 ou 13 au sein d'un circuit de climatisation de véhicule automobile.

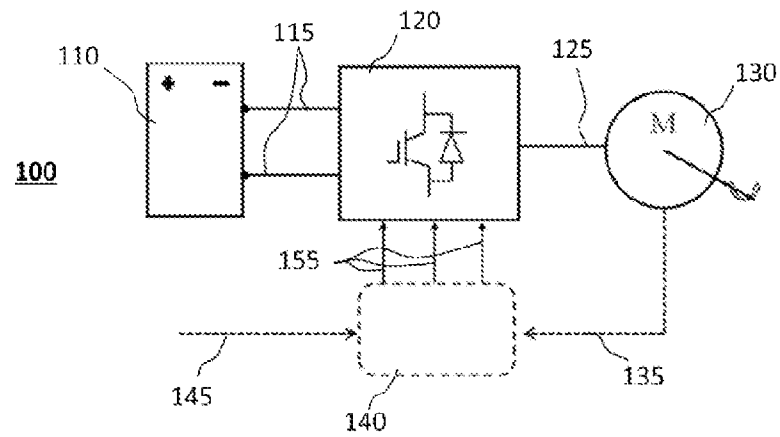


FIGURE 1

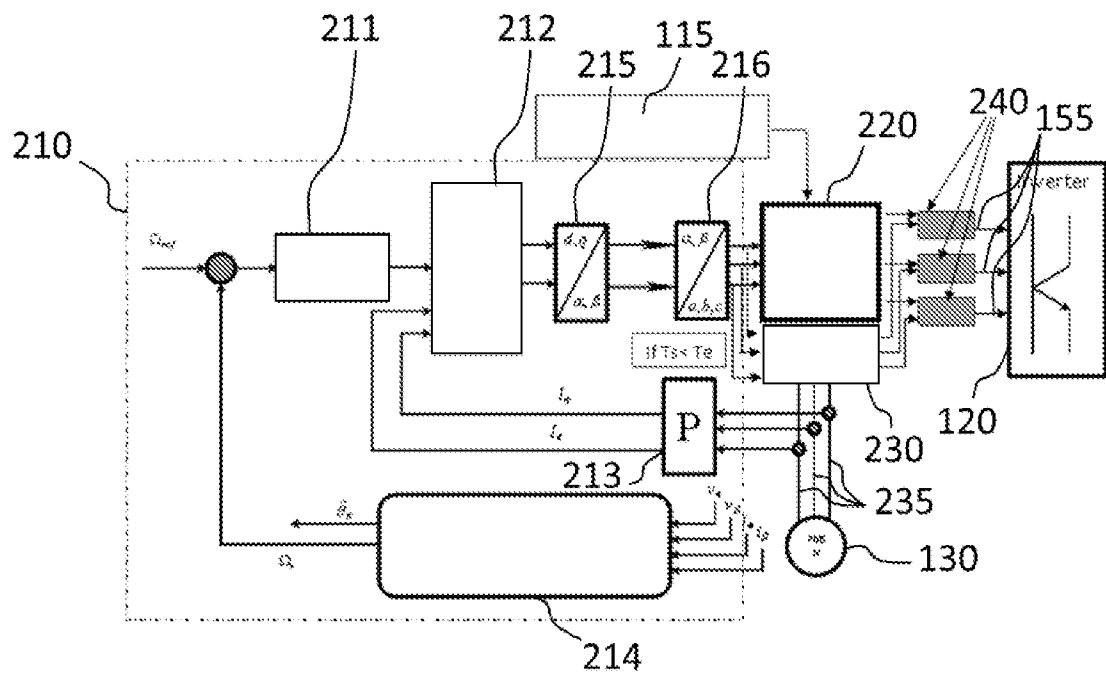


FIGURE 2

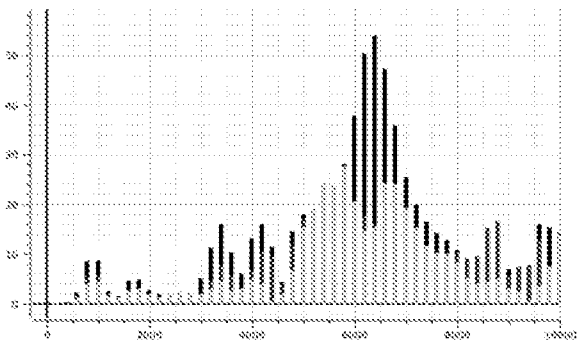


FIGURE 3a

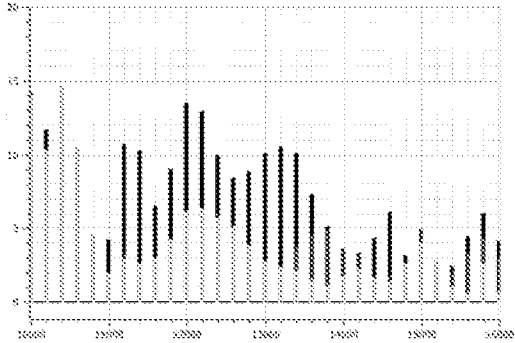


FIGURE 3b

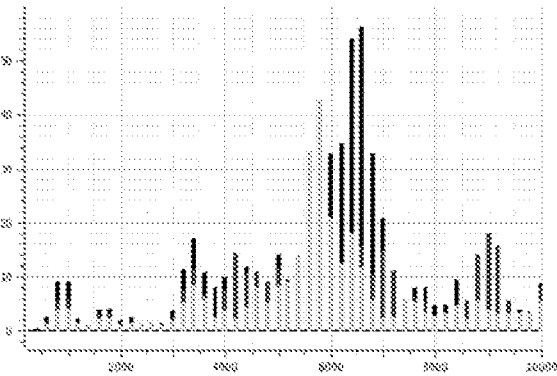


FIGURE 4a

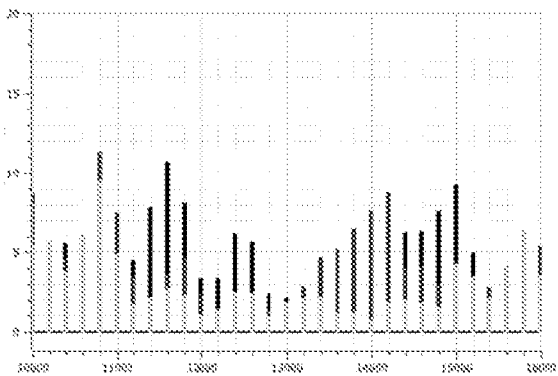


Figure 4b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/052042

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02P27/08
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/069301 A1 (GALLAGHER THOMAS JAMES [US] ET AL) 31 March 2005 (2005-03-31)	1-3,6,
Y	claims 1-17	12-14
	-----	4,5,7
Y	JP 2015 106978 A (NISSAN MOTOR) 8 June 2015 (2015-06-08) abstract	4

Y	JP H10 268015 A (KENWOOD CORP) 9 October 1998 (1998-10-09) abstract	5

Y	FR 3 007 906 A1 (VALEO SYSTEMES THERMIQUES [FR]) 2 January 2015 (2015-01-02) abstract	7

	-/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 November 2017

Date of mailing of the international search report

08/12/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hascher, Thierry

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/052042

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 850 466 A2 (NISSAN MOTOR [JP]) 31 October 2007 (2007-10-31) paragraph [0043] - paragraph [0049]; figure 1 -----	8-11
X	US 2011/172859 A1 (SANKARAN VENKATESWA [US] ET AL) 14 July 2011 (2011-07-14) paragraph [0037] paragraph [0050] -----	1,3
X	JP 2007 043818 A (HITACHI LTD) 15 February 2007 (2007-02-15) abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2017/052042

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005069301 A1	31-03-2005	NONE	
JP 2015106978 A	08-06-2015	JP 6217351 B2 JP 2015106978 A	25-10-2017 08-06-2015
JP H10268015 A	09-10-1998	NONE	
FR 3007906 A1	02-01-2015	FR 3007906 A1 WO 2014207169 A1	02-01-2015 31-12-2014
EP 1850466 A2	31-10-2007	CN 101064491 A EP 1850466 A2 JP 4811102 B2 JP 2007295744 A US 2007252625 A1	31-10-2007 31-10-2007 09-11-2011 08-11-2007 01-11-2007
US 2011172859 A1	14-07-2011	CN 102145661 A DE 102011008201 A1 US 2011172859 A1 US 2014111126 A1	10-08-2011 14-07-2011 14-07-2011 24-04-2014
JP 2007043818 A	15-02-2007	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2017/052042

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H02P27/08
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H02P

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2005/069301 A1 (GALLAGHER THOMAS JAMES [US] ET AL) 31 mars 2005 (2005-03-31)	1-3,6,12-14
Y	revendications 1-17	4,5,7
Y	JP 2015 106978 A (NISSAN MOTOR) 8 juin 2015 (2015-06-08) abrégé	4
Y	JP H10 268015 A (KENWOOD CORP) 9 octobre 1998 (1998-10-09) abrégé	5
Y	FR 3 007 906 A1 (VALEO SYSTEMES THERMIQUES [FR]) 2 janvier 2015 (2015-01-02) abrégé	7
	- / - -	



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

28 novembre 2017

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

08/12/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hascher, Thierry

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 850 466 A2 (NISSAN MOTOR [JP]) 31 octobre 2007 (2007-10-31) alinéa [0043] - alinéa [0049]; figure 1 -----	8-11
X	US 2011/172859 A1 (SANKARAN VENKATESWA [US] ET AL) 14 juillet 2011 (2011-07-14) alinéa [0037] alinéa [0050] -----	1,3
X	JP 2007 043818 A (HITACHI LTD) 15 février 2007 (2007-02-15) abrégé -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2017/052042

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005069301 A1	31-03-2005	AUCUN	
JP 2015106978 A	08-06-2015	JP 6217351 B2 JP 2015106978 A	25-10-2017 08-06-2015
JP H10268015 A	09-10-1998	AUCUN	
FR 3007906 A1	02-01-2015	FR 3007906 A1 WO 2014207169 A1	02-01-2015 31-12-2014
EP 1850466 A2	31-10-2007	CN 101064491 A EP 1850466 A2 JP 4811102 B2 JP 2007295744 A US 2007252625 A1	31-10-2007 31-10-2007 09-11-2011 08-11-2007 01-11-2007
US 2011172859 A1	14-07-2011	CN 102145661 A DE 102011008201 A1 US 2011172859 A1 US 2014111126 A1	10-08-2011 14-07-2011 14-07-2011 24-04-2014
JP 2007043818 A	15-02-2007	AUCUN	