

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 093 254

21 N° d'enregistrement national : 19 01751

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 02 P 6/10 (2019.01), H 02 P 21/20

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.02.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.08.20 Bulletin 20/35.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : RENAULT SAS SAS — FR et NISSAN MOTOR Co.Ltd. Ltd — JP.

72 Inventeur(s) : BALAFAS Electre.

73 Titulaire(s) : RENAULT SAS SAS, NISSAN MOTOR Co.Ltd. Ltd.

74 Mandataire(s) : ROUGEMONT Bernard.

54 Procédé d'estimation du couple d'une machine électrique synchrone.

57 L'invention concerne l'estimation du couple ( $T_q$ ) d'une machine électrique par :

- la détermination (E2) d'une composante directe ( $I_d$ ) et d'une composante en quadrature ( $I_q$ ) des courants statoriques, et d'une valeur de flux rotorique  $\psi_f(T_{rot})$  correspondant à une valeur mesurée de température ( $T_{rot}$ ) de la machine, comprise entre une première température ( $T_1$ ) prédéfinie et une deuxième température ( $T_2$ ) prédéfinie,

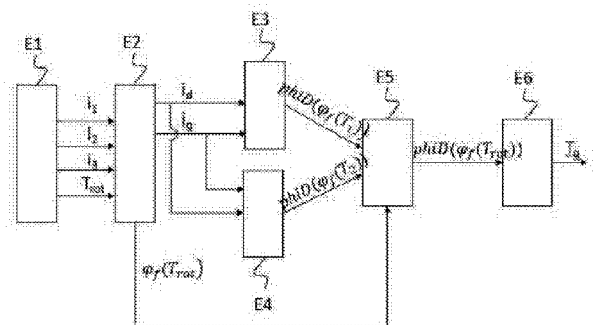
- l'obtention (E3) d'une première valeur de flux global équivalent ( $\phi_{iD}(\psi_f(T_1))$ ) à ladite première température ( $T_1$ ),

- l'obtention (E4) d'une deuxième valeur de flux global équivalent ( $\phi_{iD}(\psi_f(T_2))$ ) à ladite deuxième température ( $T_2$ ),

- l'interpolation (E5) d'un flux global équivalent ( $\phi_{iD}(\psi_f(T_{rot}))$ ) à la valeur mesurée de température ( $T_{rot}$ ) utilisant les valeurs de flux global équivalent obtenues,

- l'estimation (E6) du couple ( $T_q$ ) de la machine en utilisant le flux global équivalent interpolé, la composante en quadrature des courants statoriques et le nombre de paires de pôles de la machine.

Figure pour l'abrégé : Figure 1



FR 3 093 254 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé d'estimation du couple d'une machine électrique synchrone**

- [0001] La présente invention se rapporte de manière générale au domaine de l'électrotechnique et plus précisément au pilotage d'un moteur électrique, trouvant notamment une application avantageuse dans le domaine automobile.
- [0002] La commande d'un moteur électrique utilise classiquement une boucle de régulation, dans laquelle étant donné un couple de consigne, on en déduit des courants de consigne et des tensions de commande pour l'onduleur alimentant le moteur électrique. Dans certains procédés de régulation, on corrige l'erreur entre le couple réalisé par le moteur électrique et le couple de consigne.
- [0003] De plus la connaissance du couple réalisé est également nécessaire pour surveiller le bon fonctionnement du moteur électrique, notamment pour interdire par exemple l'utilisation de celui-ci lorsque le couple réalisé ne suit pas le couple de consigne du fait d'un défaut logiciel et risque d'engendrer des accélérations ou freinages intempestifs dangereux en conduite, et de mettre en cause les lois de gestion énergétique pour les véhicules hybrides.
- [0004] Dans de tels procédés de régulation du couple ou de surveillance du couple, le couple réalisé est soit mesuré soit estimé. La mesure du couple réalisé nécessite un capteur coûteux, une estimation du couple réalisé est donc préférable. Une telle estimation utilise généralement des mesures des courants de phase du moteur électrique, ainsi que des valeurs représentatives du flux magnétique généré par les bobinages du moteur électrique.
- [0005] Or le flux magnétique généré par le moteur électrique, qui peut être déduit des mesures de courants de phase, ne varie linéairement avec ceux-ci que pour de faibles valeurs d'intensité, et est donc difficile à estimer, notamment dans un moteur électrique qui produit un fort couplage magnétique. Par exemple la construction de cartographies embarquées de composantes du flux magnétique calculées à partir d'un modèle quasi statique non linéaire permet une estimation du couple, mais celle-ci présente une erreur d'estimation importante avec le couple réellement mesuré sur banc. D'autres méthodes permettent d'estimer les composantes du flux magnétique en utilisant les mesures des tensions statoriques, mais l'erreur d'estimation reste importante du fait des non-linéarités de l'onduleur alimentant la machine, qui rendent ces mesures de tension très imparfaites.
- [0006] Il est également possible, afin de rester dans un domaine linéaire de variation du flux en fonction des mesures des courants de phase, de surdimensionner le moteur

électrique par rapport au besoin de couple. Néanmoins cette solution n'est pas souhaitable dans le domaine automobile où on cherche le moins d'encombrement possible du groupe motopropulseur électrique.

- [0007] Le brevet FR3054391 propose une estimation du couple d'un moteur électrique utilisant un unique réseau de neurones en entrée duquel on applique un vecteur d'intensité comportant les mesures des courants statoriques et rotorique. Du fait de la relation non linéaire qui existe entre le couple d'une part et les courants d'alimentation ainsi que les composantes du flux magnétique d'autre part, l'apprentissage des paramètres du réseau de neurones ne donne pas de bons résultats, et l'erreur d'estimation du couple en sortie est conséquente.
- [0008] Un des buts de l'invention est de remédier à au moins une partie des inconvénients de la technique antérieure en fournissant un procédé et un estimateur du couple d'une machine électrique synchrone, qui soit précis tout en ne nécessitant pas d'embarquer beaucoup de ressources en mémoire et en calcul, ni d'effectuer en amont un réglage complexe et long tel que celui d'un réseau de neurones.
- [0009] A cette fin, l'invention propose un procédé d'estimation du couple d'une machine électrique synchrone comportant :
- [0010] - une étape de réception de mesures des courants statoriques alimentant ladite machine, et d'une valeur mesurée de la température de ladite machine électrique,
- [0011] - une étape de détermination d'une composante directe desdits courants statoriques, d'une composante en quadrature desdits courants statoriques alimentant ladite machine, et d'une valeur de flux rotorique correspondant à ladite valeur mesurée de température, ladite valeur mesurée de température étant comprise entre une première température prédéfinie et une deuxième température prédéfinie,
- [0012] - une étape d'obtention d'une première valeur de flux global équivalent correspondant à une valeur de flux rotorique à ladite première température de ladite machine électrique, dans une première cartographie donnant ladite première valeur de flux global équivalent en fonction de ladite composante directe desdits courants statoriques et de ladite composante en quadrature desdits courants statoriques,
- [0013] - une étape d'obtention d'une deuxième valeur de flux global équivalent correspondant à une valeur de flux rotorique à ladite deuxième température de ladite machine électrique, dans une deuxième cartographie donnant ladite deuxième valeur de flux global équivalent en fonction de ladite composante directe desdites courants statoriques et de ladite composante en quadrature desdits courants statoriques,
- [0014] - une étape d'interpolation utilisant ladite première valeur de flux global équivalent et ladite deuxième valeur de flux global équivalent, et fournissant une estimation du flux global équivalent correspondant à ladite valeur de flux rotorique à ladite valeur mesurée de température,

[0015] - une étape d'estimation du couple de ladite machine en utilisant la formule suivante :

[0016] [Math.1]

$$Tq = \frac{3p}{2} * \text{phiD}(\phi_f(T_{rot})) * Iq$$

[0017] où :

[0018] - Tq est le couple de ladite machine électrique,

[0019] - p est le nombre de paires de pôles de ladite machine électrique,

[0020] - Iq est ladite composante en quadrature desdits courants statoriques,

[0021] -  $\phi_f(T_{rot})$  est ladite valeur de flux rotorique à ladite valeur mesurée de température Trot de ladite machine électrique,

[0022] - et  $\text{phiD}(\phi_f(T_{rot}))$  est ladite estimation du flux global équivalent issue de ladite étape d'interpolation.

[0023] Grâce à l'invention, l'estimation du couple nécessite des cartographies pour seulement un flux global équivalent et non pas pour chaque composante directe et en quadrature du flux magnétique. De plus ces cartographies sont obtenues par la formule [Math 1] ce qui permet d'utiliser des mesures de couple effectuées sur un banc de test. Les résultats sont donc plus précis que dans l'art antérieur.

[0024] Avantagement, le procédé d'estimation du couple selon l'invention comporte une étape préalable d'établissement d'au moins ladite première cartographie et ladite deuxième cartographie, ladite étape préalable comportant les sous-étapes suivantes :

[0025] - mesures de couple Tq de la machine électrique réalisées pour différents triplets (Id, Iq, Ti) correspondant à différents points de fonctionnement de ladite machine électrique, Id étant ladite composante directe desdits courants statoriques et Ti la température du rotor,

[0026] - calcul pour chacun desdits triplets d'une composante de flux  $\Phi_1$  indépendante de la température du rotor et définie par  $\Phi_1 = (Ld - Lq) * Id$ , où Ld est la composante directe de l'inductance statorique et Lq est la composante en quadrature de l'inductance statorique, en utilisant l'expression

[0027] [Math.2]

$$\frac{Tq}{\frac{3p}{2} * Iq} = \phi_{f(Ti)}$$

[0028]  $\phi_{f(Ti)}$  étant la valeur de flux rotorique correspondant à la température Ti du rotor,

[0029] - construction de ladite première cartographie en additionnant, pour différentes valeurs Id de composantes directes de courants statoriques et Iq de composantes en quadrature de courants statoriques d'un desdits triplets, ladite composante de flux  $\Phi_1$  précédemment calculée, et la valeur de flux rotorique à ladite première température,

[0030] - construction de ladite deuxième cartographie en additionnant, pour différentes

valeurs  $I_d$  de composantes directes de courants statoriques et  $I_q$  de composantes en quadrature de courants statoriques d'un desdits triplets, ladite composante de flux  $\Phi_1$  précédemment calculée, et la valeur de flux rotorique à ladite première température.

[0031] Cette façon de construire les cartographies permet de s'affranchir d'une construction à partir de points de fonctionnement de la machine pour lesquels on a une température fixe égale à la première ou la deuxième température prédéterminée, ce qui est difficile à garantir. De plus il est difficile de faire des mesures à des températures extrêmes de machine, à cause de l'endommagement possible de la machine. Il est plus facile de calculer le flux rotorique pour une température prédéterminée.

[0032] Selon une autre caractéristique avantageuse de l'invention, ladite première température et ladite deuxième température correspondent à des températures limites de ladite machine électrique. Cela permet de n'embarquer dans un véhicule dont le groupe motopropulseur utilise le procédé selon l'invention, que deux cartographies du flux global équivalent, économisant ainsi des ressources mémoire.

[0033] L'invention concerne aussi un estimateur de couple d'une machine électrique synchrone à aimants permanents, mettant en œuvre le procédé d'estimation du couple d'une machine électrique selon l'invention.

[0034] L'estimateur de couple selon l'invention présente des avantages analogues à ceux du procédé d'estimation du couple selon l'invention, et est par exemple utilisé dans un véhicule électrique ou hybride.

[0035] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préféré décrit en référence aux figures dans lesquelles :

[0036] [fig.1]

représente des étapes du procédé d'estimation du couple d'une machine électrique selon l'invention, dans ce mode de réalisation préféré,

[0037] [fig.2]

représente une étape préalable à l'utilisation du procédé selon l'invention, dans ce mode de réalisation préféré, et

[0038] [fig.3]

représente un estimateur de couple selon l'invention utilisant le procédé d'estimation de couple selon l'invention.

[0039] Selon un mode préféré de réalisation de l'invention représenté à la **figure 1**, le procédé d'estimation du couple selon l'invention comporte des étapes E1 à E6. Il est mis en œuvre au moins en partie dans un calculateur muni de ressources mémoire, par exemple un calculateur embarqué dans un véhicule électrique ou hybride comportant une machine électrique ME, représentée sur la **figure 3**.

[0040] La machine électrique ME est, dans ce mode de réalisation préféré de l'invention, une machine synchrone à aimants permanents. Cependant le procédé selon l'invention

est utilisable sur d'autres types de machines électriques, par exemple la machine synchrone à rotor bobiné où  $\phi_f(T_i)$  est remplacé par  $M \cdot I_f$  avec  $M$  l'inductance mutuelle et  $I_f$  le courant d'excitation.

[0041] L'étape E1 est la réception de mesures des courants statoriques  $i_1, i_2, i_3$  alimentant la machine électrique ME, et de la mesure de la température  $T_{rot}$  de la machine électrique ME. La température  $T_{rot}$  est prise, dans ce mode de réalisation de l'invention, par un capteur de température au niveau du rotor de la machine électrique ME. En variante la température de la machine est mesurée au niveau du stator et la température du rotor utilisée par le procédé est estimée à partir d'un modèle thermique. Les mesures de courant sont prises par des capteurs de courant au niveau des phases de la machine électrique ME.

[0042] L'étape E2 est la détermination d'une composante directe  $I_d$  et d'une composante en quadrature  $I_q$  des courants statoriques de la machine électrique ME, par une transformation des courants des phases  $i_1, i_2$  et  $i_3$  mesurés depuis un repère fixe lié au stator, vers le repère de Park, en utilisant la transformée de Park bien connue de l'Homme du métier. En variante la transformée dq0 est également utilisable.

[0043] Dans cette étape E2, la valeur  $\phi_f(T_{rot})$  de la valeur de flux rotorique correspondant à la température  $T_{rot}$  précédemment mesurée est également déterminée, en utilisant par exemple une cartographie donnant le flux rotorique en fonction de la température du rotor. En variante, la relation qui lie la température des aimants au rotor au flux rotor est définie par une droite affine  $\phi_f(T_i) = \phi_f(20^\circ\text{C}) + A \cdot (T_i - 20)$ . On détermine la valeur de flux rotorique  $\phi_f(20^\circ\text{C})$  à  $20^\circ\text{C}$  (degré Celsius) et la constante  $A$  par différents essais à vide, en imposant différentes températures rotor connues. De préférence on utilise plusieurs droites affines pour plus de précision, par exemple une sur la plage  $[-20^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}]$  et une sur la plage  $[40^\circ\text{C}, 150^\circ\text{C}]$ . Ces plages peuvent bien sûr être modifiées, par exemple la première peut être étendue à  $[-20^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}]$ .

[0044] L'étape E3 est l'obtention dans une première cartographie, d'une première valeur de flux global équivalent  $\phi_D(\phi_f(T_1))$  en fonction des composantes directe et en quadrature des courants statoriques déterminées à l'étape E2, cette première valeur de flux global  $\phi_D(\phi_f(T_1))$  étant valable pour une valeur de flux rotorique à une première température prédéfinie  $T_1$ . Plus précisément, sachant que le couple  $T_q$  de la machine électrique est donné par la formule :

[0045] [Math.3]

$$T_q = \frac{3p}{2} \cdot (L_d \times I_d \times I_q + \phi_f \times I_q - L_q \times I_q \times I_d)$$

[0046] où :

[0047]  $L_d$  est la composante directe de l'inductance statorique de la machine électrique ME,

[0048]  $p$  est le nombre de paires de pôles de la machine.

[0049] Phif est le flux des aimants du rotor vu par le stator

[0050] et Lq est la composante en quadrature de l'inductance statorique de la machine électrique ME,

[0051] On peut donc formuler le couple Tq de la machine comme :

[0052] [Math.4]

$$Tq = \frac{3p}{2} \cdot ((Ld - Lq) \times Id + Phif) \cdot Iq = \frac{3p}{2} \cdot (PhiD(\varphi(T_{rot}))) \cdot Iq$$

[0053] où phiD( $\varphi(T_{rot})$ ) est le flux global équivalent pour une valeur du flux rotorique correspondant à la température de la machine mesurée T<sub>rot</sub>.

[0054] Dans cette troisième étape E3, le flux global équivalent phiD( $\varphi(T_1)$ ) déterminé ne correspond pas au flux global équivalent phiD( $\varphi(T_{rot})$ ) correspondant à la température machine mesurée T<sub>rot</sub>, mais à celui qu'aurait la machine électrique ME si sa température était égale à la première température prédéfinie T<sub>1</sub>, pour les mêmes valeurs de courants statoriques.

[0055] L'étape E4 est de façon similaire, l'obtention dans une deuxième cartographie, d'une deuxième valeur de flux global équivalent phiD( $\varphi(T_2)$ ) en fonction des composantes directe et en quadrature des courants statoriques déterminées à l'étape E2, cette deuxième valeur de flux global équivalent phiD( $\varphi(T_2)$ ) étant valable pour une valeur de flux rotorique à une deuxième température prédéfinie T<sub>2</sub>, différente de la première température prédéfinie T<sub>1</sub>. De préférence T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> correspondent à des températures limites de la machine électrique ME, de sorte que la température mesurée T<sub>rot</sub> soit toujours comprise entre les températures prédéfinies T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>.

[0056] L'étape E5 est une interpolation linéaire utilisant les deux valeurs de flux global équivalent phiD( $\varphi(T_1)$ ) et phiD( $\varphi(T_2)$ ) obtenues aux étapes E3 et E4, pour estimer une valeur de flux global équivalent phiD( $\varphi(T_{rot})$ ) valable pour le flux rotorique à la température mesurée T<sub>rot</sub> de la machine électrique ME. L'étape E5 utilise par exemple, pour le calcul de phiD( $\varphi(T_{rot})$ ), la formule :

[0057] [Math.5]

$$phiD(\varphi(T_{rot})) = \frac{phiD(\varphi(T_1)) - phiD(\varphi(T_2))}{\varphi_f(T_1) - \varphi_f(T_2)} * (\varphi_f(T_{rot}) - \varphi_f(T_2)) + phiD(\varphi_f(T_2))$$

[0058] L'étape E6 est l'estimation du couple Tq de la machine électrique en utilisant la formule :

[0059] [Math.1]

$$Tq = \frac{3p}{2} * phiD(\varphi_f(T_{rot})) * Iq$$

[0060] où :

[0061] - p est le nombre de paires de pôles de ladite machine électrique,

[0062] - Iq est la composante en quadrature desdits courants statoriques déterminée à l'étape

E2,

[0063] - et  $\phi_D(\phi_r(T_{rot}))$  est l'estimation du flux global équivalent issue de l'étape d'interpolation E5.

[0064] En référence à la **figure 2**, une étape E0 préalable à l'utilisation du procédé d'estimation de couple selon l'invention est représentée sous la forme d'étapes E01 à E04, permettant d'obtenir les première et deuxième cartographies donnant respectivement le flux global équivalent  $\phi_D(\phi_r(T_1))$  et le flux global équivalent  $\phi_D(\phi_r(T_2))$  en fonction des composantes directe et en quadrature des courants statoriques de la machine électrique ME.

[0065] L'étape E01 est la mesure des valeurs  $T_q$  de couple de la machine électrique ME à différents points de fonctionnement de la machine. Cette étape est réalisée sur un banc de tests de la machine électrique ME. Pour chaque point de fonctionnement testé, on mesure et on mémorise dans cette étape E01 le couple  $T_q$  réalisé par la machine électrique ME, les valeurs des courants des phases de la machine électrique, et la température  $T_i$  du rotor. On associe ainsi pour différentes valeurs de couple  $T_q$ , différents triplets ( $I_d, I_q, T_i$ ) comportant la composante directe des courants statoriques correspondants, la composante en quadrature des courants statoriques correspondants, et la température  $T_i$  de la machine correspondante.

[0066] L'étape suivante E02 est le calcul, dans un calculateur, pour chacun des triplets (avec le couple associé) mémorisés à l'étape E01, d'une composante de flux  $\Phi_1$  indépendante de la température du rotor et définie par  $\Phi_1 = (L_d - L_q) * I_d$ , où  $L_d$  est la composante directe de l'inductance statorique et  $L_q$  est la composante en quadrature de l'inductance statorique, en utilisant l'expression :

[0067] [Math.2]

$$\frac{T_q}{\frac{3p}{2} * I_q} = \phi_{f(T_i)}$$

[0068] où

[0069] - $T_q$  est le couple associé au triplet ( $I_d, I_q, T_i$ ) du point de fonctionnement considéré,

[0070] - $p$  est le nombre de paires de pôles de la machine,

[0071] -et  $\phi_{f(T_i)}$  est la valeur de flux rotorique correspondant à la température  $T_i$  du rotor, obtenue par exemple dans une cartographie donnant le flux rotorique en fonction de la température de la machine.

[0072] L'étape E03 est la construction de la première cartographie en additionnant, pour chacun des points de fonctionnement considérés, la composante de flux  $\Phi_1$  calculée à l'étape E02, avec la valeur de flux rotorique correspondant à la première température prédéfinie  $T_1$ , elle-même obtenue par exemple dans une cartographie donnant le flux rotorique en fonction de la température de la machine. En revenant à la formule [Math



4], on obtient bien des valeurs de flux global équivalent  $\phi_{fD}(\phi_f(T_1))$ . En associant chaque doublet de composante directe et de composante en quadrature des courants statoriques d'un point de fonctionnement à la valeur de flux global équivalent correspondante obtenue lors de cette étape E03, on obtient la première cartographie.

[0073] L'étape E04 est la construction de la deuxième cartographie de manière similaire, en additionnant, pour chacun des points de fonctionnement considérés, la composante de flux  $\Phi_1$  calculée à l'étape E02, avec la valeur de flux rotorique correspondant à la deuxième température prédéfinie  $T_2$ , ce qui donne une valeur de flux global équivalent  $\phi_{fD}(\phi_f(T_2))$ . En associant chaque doublet de composante directe et de composante en quadrature des courants statoriques d'un point de fonctionnement à la valeur de flux global équivalent correspondante obtenue lors de cette étape E04, on obtient la deuxième cartographie.

[0074] Il est à noter qu'il est également possible d'obtenir directement des première et deuxième cartographies de flux global équivalent en utilisant les mesures issues de l'étape E01 respectivement à la première température prédéfinie  $T_1$  et à la deuxième température prédéfinie  $T_2$ , en utilisant la formule [Math 1]. Néanmoins cela demande de stabiliser la température de la machine électrique ME respectivement aux températures  $T_1$  et  $T_2$  pour différents points de fonctionnement, ce qui est très difficile.

[0075] **La figure 3** illustre un estimateur de couple EST mettant en œuvre le procédé d'estimation du couple de la machine électrique ME selon l'invention. L'estimateur EST reçoit en entrée des mesures des courants des phases de la machine électrique ME en étant relié à des capteurs de courant de la machine électrique ME, ainsi qu'une mesure de température en étant relié à un capteur de température du rotor. Il fournit en sortie une estimation  $T_q$  du couple de la machine électrique ME. Ce couple  $T_q$  est soustrait à une consigne de couple  $T_{ref}$ , l'erreur  $\epsilon$  résultant de cette opération étant envoyée en entrée d'un moyen de commande CMD de la machine électrique ME. Le moyen de commande CMD comporte typiquement un régulateur et un onduleur apte à appliquer des tensions de commande aux enroulements statoriques de la machine électrique ME.

[0076] Il est à noter que bien que dans ce mode de réalisation de l'invention, on utilise seulement deux températures prédéfinies pour réaliser l'interpolation du flux global équivalent à la température mesurée, en variante de réalisation on utilise plus de deux températures prédéfinies et on choisit celles qui sont les plus proches de la température mesurée pour faire l'interpolation du flux global équivalent à la température mesurée. Cette variante permet un résultat plus précis mais au prix de plus de ressources mémoire. De plus l'ordre des étapes n'est pas figé dans la réalisation de l'invention, les étapes E3 et E4 pouvant être effectuées en parallèle ou l'une après l'autre par exemple.

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé d'estimation du couple ( $T_q$ ) d'une machine électrique (ME) synchrone comportant :

- une étape de réception (E1) de mesures des courants statoriques ( $i_1, i_2, i_3$ ) alimentant ladite machine (ME) et d'une valeur mesurée ( $T_{rot}$ ) de la température de ladite machine électrique (ME),
- une étape de détermination (E2) d'une composante directe ( $I_d$ ) desdits courants statoriques, d'une composante en quadrature ( $I_q$ ) desdits courants statoriques alimentant ladite machine (ME), et d'une valeur de flux rotorique  $\phi_f(T_{rot})$  correspondant à ladite valeur mesurée de température ( $T_{rot}$ ), ladite valeur mesurée de température ( $T_{rot}$ ) étant comprise entre une première température ( $T_1$ ) prédéfinie et une deuxième température ( $T_2$ ) prédéfinie,
- une étape d'obtention (E3) d'une première valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_1))$ ) correspondant à une valeur de flux rotorique à ladite première température ( $T_1$ ) de ladite machine électrique (ME), dans une première cartographie donnant ladite première valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_1))$ ) en fonction de ladite composante directe ( $I_d$ ) desdits courants statoriques et de ladite composante en quadrature ( $I_q$ ) desdits courants statoriques,
- une étape d'obtention (E4) d'une deuxième valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_2))$ ) correspondant à une valeur de flux rotorique à ladite deuxième température ( $T_2$ ) de ladite machine électrique (ME), dans une deuxième cartographie donnant ladite deuxième valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_2))$ ) en fonction de ladite composante directe ( $I_d$ ) desdits courants statoriques et de ladite composante en quadrature ( $I_q$ ) desdits courants statoriques,
- une étape d'interpolation (E5) utilisant ladite première valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_1))$ ) et ladite deuxième valeur de flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_2))$ ), et fournissant une estimation du flux global équivalent ( $\phi_{D}(\phi_f(T_{rot}))$ ) correspondant à ladite valeur de flux rotorique à ladite valeur mesurée de température ( $T_{rot}$ ),
- une étape d'estimation (E6) du couple ( $T_q$ ) de ladite machine (ME) en utilisant la formule suivante :

[Math 1]

$$T_q = \frac{3p}{2} * \phi_{D}(\phi_f(T_{rot})) * I_q$$

où :

- $T_q$  est le couple de ladite machine électrique (ME),
- $p$  est le nombre de paires de pôles de ladite machine électrique (ME),
- $I_q$  est ladite composante en quadrature desdits courants statoriques,
- $(\phi_f(T_{rot}))$  est ladite valeur de flux rotorique à ladite valeur mesurée de température  $T_{rot}$  de ladite machine électrique,
- et  $\phi_D(\phi_f(T_{rot}))$  est ladite estimation du flux global équivalent issue de ladite étape d'interpolation (E5).

[Revendication 2]

Procédé d'estimation du couple ( $T_q$ ) d'une machine électrique (ME) synchrone selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une étape préalable (E0) d'établissement d'au moins ladite première cartographie et ladite deuxième cartographie, ladite étape préalable (E0) comportant les sous-étapes suivantes:

- mesures (E01) de couple  $T_q$  de la machine électrique (ME) réalisées pour différents triplets ( $I_d$ ,  $I_q$ ,  $T_i$ ) correspondant à différents points de fonctionnement de ladite machine électrique (ME),  $I_d$  étant ladite composante directe desdits courants statoriques et  $T_i$  la température du rotor,
- calcul (E02) pour chacun desdits triplets d'une composante de flux  $\Phi_1$  indépendante de la température du rotor et définie par  $\Phi_1 = (L_d - L_q) * I_d$ , où  $L_d$  est la composante directe de l'inductance statorique et  $L_q$  est la composante en quadrature de l'inductance statorique, en utilisant l'expression

[Math 2]

$$\frac{T_q}{\frac{3p}{2} * I_q} = \phi_f(T_i)$$

$\phi_f(T_i)$  étant la valeur de flux rotorique correspondant à la température  $T_i$  du rotor,

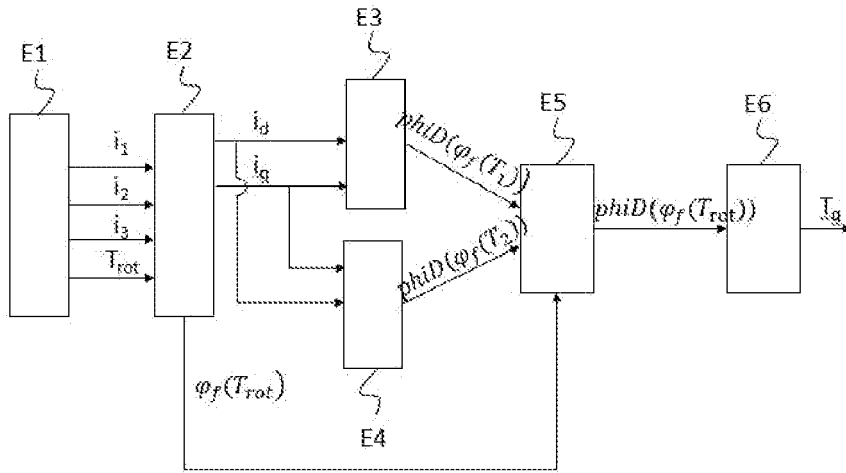
- construction (E03) de ladite première cartographie en additionnant, pour différentes valeurs  $I_d$  de composantes directes de courants statoriques et  $I_q$  de composantes en quadrature de courants statoriques d'un desdits triplets, ladite composante de flux  $\Phi_1$  précédemment calculée, et la valeur de flux rotorique à ladite première température ( $T_1$ ),
- construction (E04) de ladite deuxième cartographie en additionnant, pour différentes valeurs  $I_d$  de composantes directes de courants statoriques et  $I_q$  de composantes en quadrature de courants statoriques d'un desdits triplets, ladite composante de flux  $\Phi_1$  précédemment calculée, et

la valeur de flux rotorique à ladite première température ( $T_2$ ).

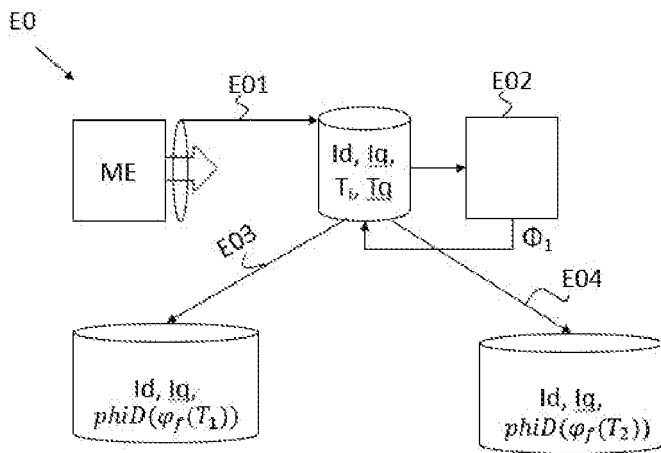
[Revendication 3] Procédé d'estimation du couple d'une machine électrique (ME) synchrone selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite première température ( $T_1$ ) et ladite deuxième température ( $T_2$ ) correspondent à des températures limites de ladite machine électrique.

[Revendication 4] Estimateur de couple d'une machine électrique synchrone à aimants permanents, mettant en œuvre le procédé d'estimation du couple d'une machine électrique selon l'une quelconque de revendications 1 à 3.

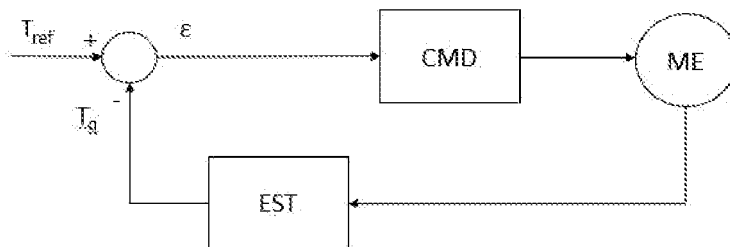
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 865048  
FR 1901751

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2012/212169 A1 (WU LONG [US] ET AL) 23 août 2012 (2012-08-23) * alinéa [0031] - alinéa [0076]; figures 1-6 *	1-4	H02P6/10 H02P21/20
X	US 2011/144843 A1 (WU JI [US] ET AL) 16 juin 2011 (2011-06-16) * alinéa [0035] - alinéa [0047]; figures 3-5 *	1-4	
X	GB 2 390 766 A (VISTEON GLOBAL TECH INC [US]) 14 janvier 2004 (2004-01-14) * page 6, ligne 15 - page 13; revendications 1-15; figures 1-4 *	1-4	
X	DE 10 2015 207185 A1 (HYUNDAI MOBIS CO [KR]) 10 décembre 2015 (2015-12-10) * alinéa [0033] - alinéa [0082]; revendications 1-3 *	1-4	
A	WO 2016/166443 A1 (RENAULT SA [FR]) 20 octobre 2016 (2016-10-20) * page 7 - page 11; revendications 1-5; figures 1-6 *	1-4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02P
A	EP 2 827 493 A1 (NISSAN MOTOR [JP]) 21 janvier 2015 (2015-01-21) * alinéa [0056] - alinéa [0061]; figure 5 * * alinéa [0036] - alinéa [0045]; figure 2 *	1-4	
A,D	FR 3 054 391 A1 (RENAULT SAS [FR]) 26 janvier 2018 (2018-01-26) * revendication 1 *	1-4	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 décembre 2019		Closa, Daniel	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1901751 FA 865048**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-12-2019**

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012212169 A1	23-08-2012	AU 2012220884 A1	12-09-2013
		CN 103931096 A	16-07-2014
		EP 2678939 A2	01-01-2014
		JP 2014515244 A	26-06-2014
		US 2012212169 A1	23-08-2012
		WO 2012115897 A2	30-08-2012
-----			
US 2011144843 A1	16-06-2011	AUCUN	
-----			
GB 2390766 A	14-01-2004	DE 10330425 A1	29-01-2004
		FR 2843658 A1	20-02-2004
		GB 2390766 A	14-01-2004
		US 2004007997 A1	15-01-2004
-----			
DE 102015207185 A1	10-12-2015	CN 105227019 A	06-01-2016
		DE 102015207185 A1	10-12-2015
		KR 20150141347 A	18-12-2015
		US 2015357954 A1	10-12-2015
-----			
WO 2016166443 A1	20-10-2016	CN 107624220 A	23-01-2018
		EP 3284168 A1	21-02-2018
		FR 3035283 A1	21-10-2016
		WO 2016166443 A1	20-10-2016
-----			
EP 2827493 A1	21-01-2015	CN 104335476 A	04-02-2015
		EP 2827493 A1	21-01-2015
		JP 5924045 B2	25-05-2016
		JP 2013192399 A	26-09-2013
		US 2015061557 A1	05-03-2015
		WO 2013137146 A1	19-09-2013
-----			
FR 3054391 A1	26-01-2018	AUCUN	
-----			