

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :

3 076 331

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

18 50013

⑤1 Int Cl⁸ : F 16 D 65/14 (2018.01), F 16 D 121/24, 125/40

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.01.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.19 Bulletin 19/27.

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) : FOUNDATION BRAKES FRANCE
Société par actions simplifiée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : PASQUET THIERRY et RAMDANE
ABDESSAMED.

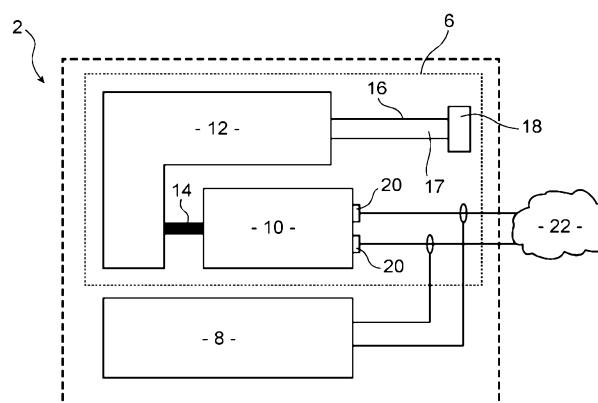
⑦3 Titulaire(s) : FOUNDATION BRAKES FRANCE
Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX INTERNATIONAL.

⑤4 ACTIONNEUR DE FREIN ET PROCEDE DE COMMANDE ASSOCIE.

⑤7 L'invention concerne un actionneur (2) de frein comportant un moteur (10) à courant continu, caractérisé en ce qu'il comporte également un calculateur (8) configuré pour:

- mesurer, au cours du temps, un courant consommé par le moteur (10) et une tension entre des bornes (20) du moteur (10);
- mettre en œuvre un filtre de Kalman pour calculer, à partir du courant et de la tension mesurés, un courant filtré consommé par le moteur (10) et une vitesse de rotation filtrée d'un arbre (14) du moteur (10);
- calculer, à partir de la valeur du courant filtré et de la valeur de la vitesse de rotation filtrée, une force de serrage qui est produite par l'actionneur (2);
- commander l'arrêt du moteur (10) lorsque la valeur calculée de la force de serrage atteint une valeur de consigne prédéterminée.



FR 3 076 331 - A1



ACTIONNEUR DE FREIN ET PROCEDE DE COMMANDE ASSOCIE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un actionneur de frein comportant un organe de freinage, l'organe de freinage comportant un moteur à courant continu et un patin de freinage, le moteur comprenant un arbre et étant configuré pour entraîner en mouvement le patin de freinage lors de la rotation de l'arbre.

L'invention s'applique au domaine du freinage, et plus particulièrement au freinage des roues d'un véhicule.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Il est connu de munir une roue d'un véhicule, notamment d'un véhicule terrestre, d'un actionneur de frein, destiné à coopérer avec un disque de frein solidaire de ladite roue, et ce dans le but de bloquer la roue en rotation.

Il est également connu de calculer la force de serrage exercée par l'actionneur sur le disque, et de commander le fonctionnement de l'actionneur selon la valeur calculée de la force de serrage.

Par exemple, dans le cas d'un actionneur dans lequel la force de serrage est fournie par un moteur électrique, il est connu de mesurer un courant consommé par le moteur et une vitesse de rotation d'un arbre du moteur pour calculer la force de serrage.

Néanmoins, un tel actionneur ne donne pas entière satisfaction.

En effet, dans un tel actionneur, la valeur estimée de la force de serrage peut s'avérer inexacte, notamment du fait d'imprécisions sur la mesure du courant consommé et de la vitesse de rotation de l'arbre. Ceci conduit à l'application, sur le disque de freinage, d'une force trop élevée, ce qui se traduit par une surconsommation d'énergie électrique et une détérioration accélérée des composants de l'actionneur, ou alors à

l'application d'une force insuffisante, ce qui se traduit par un serrage inefficace et une rotation possible de la roue correspondante.

Un but de l'invention est donc de proposer un actionneur de frein qui présente une plus grande fiabilité.

5

EXPOSÉ DE L'INVENTION

A cet effet, l'invention a pour objet un actionneur de frein du type précité, comportant un calculateur configuré pour :

- mesurer, au cours du temps, un courant consommé par le moteur et une tension entre des bornes du moteur ;
- mettre en œuvre un filtre de Kalman pour calculer, à partir du courant et de la tension mesurés, un courant filtré consommé par le moteur et une vitesse de rotation filtrée de l'arbre du moteur ;
- calculer, à partir de la valeur du courant filtré consommé par le moteur et de la valeur de la vitesse de rotation filtrée de l'arbre du moteur, une force de serrage qui est produite par l'actionneur ;
- commander l'arrêt du moteur lorsque la valeur calculée de la force de serrage atteint une valeur de consigne prédéterminée.

En effet, la mise en œuvre du filtre de Kalman réduit le bruit impactant la mesure du courant consommé par le moteur et de la tension entre ses bornes, ce qui se traduit par une estimation plus fiable de la force de serrage exercée par l'actionneur de frein. Il en résulte l'application, sur le disque de freinage, d'une force sensiblement égale à la force de serrage souhaitée, ce qui rend l'actionneur de frein selon l'invention plus fiable que les actionneurs de freins de l'état de la technique. En outre, il résulte de ce qui précède une meilleure gestion de la consommation électrique du moteur et un allongement de la durée de vie des composants de l'actionneur.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, l'actionneur de frein comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'organe de freinage comporte, en outre, un réducteur agencé entre l'arbre du moteur et le patin de freinage, le patin de freinage étant solidaire d'une vis de sortie du réducteur, le calculateur étant configuré pour calculer la force de serrage selon :

$$F=2\pi \left[K.(i-i_0) - J \frac{d\omega}{dt} - f(\omega-\omega_0) \right] \frac{\eta.r}{S}$$

5 où F est la force de serrage, exprimée en N ;

K est une constante de force électromotrice du moteur ;

J est un moment d'inertie du moteur ;

f est un coefficient de frottement visqueux du moteur ;

η est un rendement de l'organe de freinage ;

10 r est un rapport de réduction du réducteur ;

S est un pas de la vis de sortie du réducteur ;

d/dt est l'opérateur « dérivée temporelle » ;

i est le courant filtré consommé par le moteur ;

i_0 est un courant à vide de l'organe de freinage ;

15 ω est la vitesse angulaire de rotation filtrée de l'arbre du moteur ; et

ω_0 est une vitesse angulaire de rotation à vide de l'organe de freinage ;

- le calculateur est configuré pour déterminer le courant à vide et la vitesse angulaire de rotation à vide à partir des valeurs mesurées du courant consommé par le moteur et de la tension aux bornes électriques du moteur pendant un intervalle de temps au cours duquel le moteur présente un fonctionnement en régime permanent ;

20

- le filtre de Kalman présente un modèle d'état donné par :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

où x est un vecteur d'état de l'organe de freinage 6, exprimé comme :

$$x = \begin{pmatrix} i \\ \omega \end{pmatrix}$$

25 i étant le courant consommé par le moteur ; et

ω étant la vitesse angulaire de rotation de l'arbre du

moteur ;

où u est un vecteur d'entrée de commande, exprimé comme :

$$u = \begin{pmatrix} U \\ C_u \end{pmatrix}$$

U étant la tension mesurée aux bornes du moteur ; et

C_u étant un couple utile au niveau de l'arbre du moteur ;

où A est une matrice de transition d'état du filtre de Kalman, s'exprimant

5 comme :

$$A = \begin{pmatrix} R & K \\ -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ K & f \\ -\frac{K}{J} & -\frac{f}{J} \end{pmatrix}$$

avec R une résistance interne du moteur ;

K une constante magnétique du moteur ;

J un moment d'inertie du moteur ;

10 f un coefficient de frottement visqueux du moteur ; et

L une inductance interne du moteur ;

où B est une matrice d'entrée de commande du filtre de Kalman, s'exprimant comme :

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{pmatrix}$$

15 et où C et D sont des matrices valant respectivement :

$$C = (1 \quad 0)$$

$$D = (0 \quad 0)$$

- le calculateur est configuré pour :

20 • autoriser une alimentation du moteur en énergie électrique à compter d'un instant initial correspondant à une réception d'une commande de mise en service de l'actionneur ;

• mémoriser la valeur du courant électrique consommé par le moteur durant un intervalle de temps compris entre l'instant initial et un instant final ultérieur ;

- optimiser les paramètres d'un modèle prédéterminé pour déterminer une valeur d'une résistance interne du moteur et/ou une valeur d'une constante magnétique du moteur ;

- mettre à jour les coefficients d'une matrice de transition d'état du filtre de Kalman en fonction de la valeur déterminée de la résistance interne du moteur et/ou de la valeur déterminée de la constante magnétique du moteur ;

- le filtre de Kalman met en jeu une grandeur égale à :

$$A_d^* = I + \sum_{p=1}^m \frac{(A.T_e)^p}{p!}$$

où A est une matrice de transition d'état du filtre de Kalman ;

T_e est un intervalle de temps séparant deux estimations successives d'un vecteur d'état du filtre de Kalman ;

I est la matrice « identité » dont le rang est égal au rang de la matrice de transition d'état ;

« ! » est l'opérateur « factorielle » ; et

m est un entier naturel non nul prédéterminé ;

le calculateur étant configuré pour calculer successivement les puissances du terme $(A.T_e)$, dans l'ordre croissant des puissances, une puissance donnée $(A.T_e)^p$, p étant un entier quelconque compris entre 1 et m, étant obtenue en multipliant la puissance immédiatement inférieure $(A.T_e)^{p-1}$ précédemment calculée par le terme $(A.T_e)$.

En outre, l'invention a pour objet un procédé de commande d'un actionneur de frein, l'actionneur comportant un moteur à courant continu et un patin de freinage, le moteur comprenant un arbre étant configuré pour entraîner en mouvement le patin de freinage lors de la rotation de l'arbre, le procédé comportant les étapes de :

- alimentation du moteur en énergie électrique ;

- mesure, au cours du temps, d'un courant consommé par le moteur et une tension entre des bornes du moteur ;

- calcul, à partir du courant et de la tension mesurés, et par la mise en œuvre d'un filtre de Kalman, d'un courant filtré consommé par le moteur et d'une vitesse de rotation filtrée de l'arbre du moteur ;

- calcul, à partir de la valeur du courant filtré consommé par le moteur et de la valeur de la vitesse de rotation filtrée de l'arbre du moteur, d'une force de serrage qui est produite par l'actionneur ; et

- commande de l'arrêt du moteur lorsque la valeur calculée de la force de serrage atteint une valeur de consigne prédéterminée.

10 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un actionneur de frein selon l'invention ; et

- la figure 2 est un graphe représentant l'évolution temporelle d'un courant électrique consommé par un moteur de l'actionneur de la figure 1, au cours d'une phase de démarrage du moteur.

20 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un actionneur 2 de frein est représenté sur la figure 1.

L'actionneur 2 est embarqué à bord d'un véhicule pour assurer le blocage en rotation d'une roue correspondante du véhicule. L'actionneur 2 est un actionneur de frein électrique ou électrique et hydraulique, pour une utilisation en tant que frein de service et/ou de frein de parking.

L'actionneur 2 comporte un organe de freinage 6 et un calculateur 8 destiné à piloter le fonctionnement de l'organe de freinage 6.

L'organe de freinage 6 est configuré pour mettre en mouvement un patin de freinage 18 de l'organe de freinage 6 afin d'amener le patin de freinage 18 au contact d'un disque solidaire de la roue associée à l'actionneur 2, et ce dans le but de bloquer en rotation ladite roue.

5 En outre, le calculateur 8 est configuré pour commander le fonctionnement de l'organe de freinage 6.

L'organe de freinage 6 comporte un moteur 10, un réducteur 12 et le patin de freinage 18.

10 Le moteur 10 est un moteur électrique, plus précisément un moteur électrique à courant continu.

Le moteur 10 comporte un arbre 14 relié au réducteur 12.

15 Le moteur 10 comporte également des bornes 20 électriques destinées à être reliées à une source d'énergie électrique 22 propre à fournir de l'énergie électrique au moteur 10. La source d'énergie électrique 22 est, par exemple, un bus de tension du véhicule.

Le réducteur 12 comprend une vis de sortie 16 dont une extrémité libre 17 est solidaire du patin de freinage 18. La vis de sortie 16 est bloquée en rotation, de sorte qu'une rotation de l'arbre 14 du moteur 10 conduit à translation de la vis de sortie 16, et donc à une translation du patin de freinage 18.

20 Le calculateur 8 est configuré pour commander l'alimentation en énergie électrique du moteur 10. Plus précisément, Le calculateur 8 est configuré pour commander l'alimentation en énergie électrique du moteur 10 afin de faire fonctionner le moteur 10 (cas où le moteur 10 est alimenté en énergie électrique) ou de mettre le moteur 10 à l'arrêt (cas où l'alimentation électrique du moteur 10 est interrompue).

25 Le calculateur 8 est également configuré pour mesurer, au cours du temps, la valeur du courant électrique i consommé par le moteur 10. Le calculateur 8 est, en outre, configuré pour mesurer la valeur de la tension électrique U aux bornes 20 du moteur 10.

Le calculateur 8 est également configuré pour calculer, au cours du temps, une vitesse angulaire ω de rotation de l'arbre 14 du moteur 10. Le calcul de la vitesse angulaire ω de rotation de l'arbre 14 du moteur 10 sera décrit ultérieurement.

Le calculateur 8 est, en outre, configuré pour calculer, à tout instant, une force de serrage produite par l'actionneur 2. Plus particulièrement, le calculateur 8 est configuré pour calculer la force de serrage selon la formule (1) suivante :

$$(1) \quad F = 2\pi \left[K.(i-i_0) - J \frac{d\omega}{dt} - f(\omega-\omega_0) \right] \frac{\eta.r}{S}$$

où F est la force de serrage, exprimée en N (newton) ;

K est une constante de force électromotrice du moteur 10, encore appelée « constante magnétique », exprimée en N.m.A⁻¹ (newton mètre par ampère) ;

J est un moment d'inertie du moteur 10, exprimé en N.m.s².rad⁻¹ (newton mètre seconde au carré par radian) ;

f est un coefficient de frottement visqueux du moteur 10, exprimé en N.m.s.rad⁻¹ ;

η est un rendement de l'organe de freinage 6, sans dimension ;

r est un rapport de réduction du réducteur 12, sans dimension ;

S est un pas de la vis de sortie 16 du réducteur 12, exprimé en m ;

d/dt est l'opérateur « dérivée temporelle » ;

i, le courant consommé par le moteur 10, est exprimé en A ;

i_0 est un courant à vide de l'organe de freinage 6, décrit ultérieurement ;

ω , la vitesse angulaire de rotation de l'arbre 14 du moteur 10 est exprimée en rad.s⁻¹ ; et

ω_0 est une vitesse angulaire de rotation à vide de l'organe de freinage 6, décrite ultérieurement.

Le moment d'inertie J, le coefficient f de frottement visqueux, le rendement η , le rapport de réduction r et le pas de la vis S présentent des valeurs prédéterminées, caractéristiques de l'actionneur 2 et enregistrées dans une mémoire du calculateur 8.

En outre, la constante magnétique K présente une valeur qui est soit prédéterminée, soit calculée par le calculateur 8, comme cela sera décrit ultérieurement.

Pour le calcul de la valeur de la force de serrage F au cours du temps, le calculateur 8 est configuré pour mettre en œuvre un filtre de Kalman.

5 Plus précisément, le calculateur 8 est configuré pour mettre en œuvre un filtre de Kalman présentant un modèle d'état donné par la relation (2) suivante :

$$(2) \begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

les composantes de bruit n'étant pas notées.

10 Dans la relation (2), x est un vecteur d'état de l'organe de freinage 6, exprimé comme suit :

$$x = \begin{pmatrix} i \\ \omega \end{pmatrix}$$

En outre, u est un vecteur d'entrée de commande, exprimé comme suit :

$$u = \begin{pmatrix} U \\ C_u \end{pmatrix}$$

où U, la tension aux bornes 20 du moteur 10, est exprimée en V (volt) ; et

15 C_u est un couple utile au niveau de l'arbre 14 du moteur 10, exprimé en N.m. La couple utile C_u est obtenu selon :

$$C_u = K(i - i_0)$$

La quantité y est un vecteur de mesure du filtre de Kalman, égal au courant i consommé par le moteur 10 et mesuré par le calculateur 8.

20 En outre, A, B, C et D sont des matrices dont les valeurs sont données ci-après :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ K & f \\ -\frac{1}{J} & -\frac{1}{J} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{pmatrix}$$

$$C = (1 \quad 0)$$

$$D=(0 \quad 0)$$

La matrice A est généralement appelée « matrice de transition d'état ». En outre, la matrice B est généralement appelée « matrice d'entrée de commande ».

R est une résistance interne du moteur 10. En outre, L est une inductance interne du moteur 10.

L'inductance interne L présente une valeur prédéterminée, caractéristique du moteur 10 et enregistrée dans la mémoire du calculateur 8.

En outre, la résistance interne R présente une valeur qui est soit prédéterminée, soit calculée par le calculateur 8, comme cela sera décrit ultérieurement.

Avec un tel filtre, le calculateur 8 est configuré pour mettre en œuvre, successivement au cours du temps, une étape de prédiction connue du filtre de Kalman.

Classiquement, au cours de l'étape de prédiction, une valeur prédite du vecteur d'état x pour un instant de calcul donné, référencé par un indice entier k et désigné par l'expression « instant k », est calculée selon la relation (3) suivante :

$$(3) \quad \hat{x}_{k|k-1} = e^{(A.T_e)} \hat{x}_{k-1|k-1} + \left(\int_0^{T_e} e^{(A.t)} B dt \right) u_{k-1}$$

où $\hat{x}_{k|k-1}$ est la valeur prédite du vecteur d'état x à l'instant k ;

$\hat{x}_{k-1|k-1}$ est une valeur estimée du vecteur d'état x à un instant de calcul précédent, référencé par l'indice entier k-1 et désigné par l'expression « instant k-1 » ;

u_{k-1} est la valeur mesurée du vecteur d'entrée de commande à l'instant k-1 ;

T_e est la durée écoulée entre l'instant k-1 et l'instant k ; et

e est la fonction « exponentielle ».

Toutefois, le calculateur 8 est, avantageusement, configuré pour déterminer la valeur, au cours du temps, du vecteur d'état x en réalisant une approximation fondée sur la relation (3).

Plus précisément, le calculateur 8 est configuré pour calculer une valeur approchée des termes $e^{(A.T_e)}$, noté A_d , et $\int_0^{T_e} e^{(A.t)} B dt$, noté B_d .

En particulier, le calculateur 8 est configuré pour déterminer une valeur approchée A_d^* du terme A_d par le calcul des premiers termes du développement en série entière du terme A_d . Plus précisément :

$$A_d^* = I_2 + \sum_{p=1}^m \frac{(A.T_e)^p}{p!}$$

- 5 où I_2 est la matrice identité de rang 2 ;
 « ! » est l'opérateur « factorielle » ; et
 m est un entier naturel non nul prédéterminé.

De préférence, afin calculer la valeur approchée A_d^* , le calculateur 8 est configuré pour mettre en œuvre les étapes suivantes.

- 10 Au cours d'une étape d'initialisation, le calculateur 8 crée, dans la mémoire du calculateur 8, un premier tableau G et un deuxième tableau H, chacun étant de dimension (1, m+1).

- Puis, au cours d'une étape de calcul préliminaire, le calculateur 8 écrit la valeur « 1 » dans la case G(1,1) du premier tableau G. En outre, dans chacune des autres
 15 case du premier tableau G, le calculateur 8 écrit une valeur telle que :

$$G(1,p) = \frac{1}{p-1}$$

Dans ce cas, à l'issue de l'étape de calcul préliminaire, le premier tableau G s'écrit :

1	1/1	1/2	...	1/p	...	1/m
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

- Puis, au cours d'une étape de calcul intermédiaire, le calculateur 8 écrit
 20 la matrice identité d'ordre 2 dans la case H(1,1) du deuxième tableau H.

Puis, le calculateur 8 écrit récursivement, en allant de la case de rang (1, 2) à la case de rang (1, m+1) du deuxième tableau H, une valeur calculée selon la formule suivante :

$$H(1,p) = G(1,p).H(1,p-1) \times A.T_e$$

- 25 où « x » indique une multiplication matricielle.

Dans ce cas, à l'issue de l'étape de calcul intermédiaire, le deuxième tableau H s'écrit :

I_2	$A.T_e$	$(A.T_e)^2/2!$	...	$(A.T_e)^p/p!$	...	$(A.T_e)^m/m!$
-------	---------	----------------	-----	----------------	-----	----------------

Puis, au cours d'une étape de calcul finale, le calculateur 8 additionne les valeurs de chacune des cases du deuxième tableau H afin d'obtenir la valeur approchée A_d^* . La valeur approchée A_d^* est calculée itérativement.

En outre, le calculateur 8 est configuré pour déterminer une valeur approchée B_d^* du terme B_d par le calcul des premiers termes du développement en série entière du terme B_d . Plus précisément :

$$B_d^* = \left(I_2.T_e + \sum_{p=1}^n \frac{(A.T_e)^p}{p!} \cdot \frac{T_e}{p+1} \right) \times B$$

où n est un entier naturel non nul prédéterminé.

De préférence, les entiers m et n sont égaux. Dans ce cas, le calculateur 8 est également configuré pour créer également, dans la mémoire du calculateur 8, un troisième tableau Q et un quatrième tableau Z, chacun étant de dimension (1, m+1).

En outre, au cours de l'étape de calcul préliminaire, le calculateur 8 écrit, dans chaque case du troisième tableau Q, une valeur telle que :

$$Q(1,p) = \frac{1}{p}$$

de sorte que, à l'issue de l'étape de calcul préliminaire, le troisième tableau Q s'écrit :

1/1	1/2	1/3	...	1/p	...	1/(m+1)
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---------

En outre, au cours de l'étape de calcul intermédiaire, le calculateur 8 écrit, dans chaque case du quatrième tableau Z, une valeur telle que :

$$Z(1,p) = H(1,p).Q(1,p).T_e$$

A l'issue de l'étape de calcul intermédiaire, le quatrième tableau Z s'écrit :

$I_2.T_e$	$A.T_e^2/2!$	$A^2.T_e^3/3!$	...	$A^p.T_e^{p+1}/(p+1)!$	...	$A^m.T_e^{m+1}/(m+1)!$
-----------	--------------	----------------	-----	------------------------	-----	------------------------

En outre, au cours de l'étape de calcul finale, le calculateur 8 additionne les valeurs de chacune des cases du quatrième tableau Z, puis multiplie à droite le résultat obtenu par la matrice B afin d'obtenir la valeur approchée B_d^* .

De préférence, le calculateur 8 est configuré pour déterminer la valeur de la résistance interne R du moteur 10. Dans ce cas, le calculateur est, avantageusement, configuré pour également déterminer la valeur de la constance magnétique K du moteur 10.

5 Plus précisément, partant d'un état où l'actionneur 2 est au repos, c'est-à-dire un état où l'actionneur 2 ne coopère pas avec le disque de frein de la roue correspondante pour bloquer ladite roue en rotation, le calculateur 8 est configuré pour autoriser l'alimentation du moteur 10 en énergie électrique à compter d'un instant initial t_i correspondant à la réception d'une commande de mise en service de l'actionneur 2.

10 Le calculateur 8 est également configuré pour acquérir la valeur du courant électrique i consommé par le moteur 10 durant un intervalle de temps compris entre l'instant initial t_i et un instant final t_f . En outre, le calculateur 8 est configuré pour acquérir la valeur de la tension U aux bornes 20 du moteur 10 entre l'instant initial t_i et l'instant final t_f . La courbe 30 de la figure 2 illustre l'évolution du courant i consommé par
15 le moteur entre l'instant initial t_i et l'instant final t_f .

L'instant final t_f est choisi de sorte que, à l'instant final t_f , le patin de freinage 18 n'est pas encore entré en contact avec le disque de la roue correspondante.

En outre, l'instant final t_f est choisi de sorte que, à l'instant final t_f , le moteur 10 fonctionne en régime permanent.

20 Le calculateur 8 est, en outre, configuré pour optimiser les paramètres d'un modèle prédéterminé pour minimiser une fonction de coût prédéterminée. De préférence, le modèle prédéterminé s'écrit :

$$i(t) = i_0 + (i_M - i_0)e^{-t/\tau}$$

25 où t est un instant quelconque compris entre l'instant initial t_i et l'instant final t_f ;

i_0 est le courant à vide de l'organe de freinage 6 ;

i_M est la valeur maximale du courant, obtenue à la l'instant initial t_i ; et

τ est une constante de temps représentative de la résistance interne R et de la constance magnétique K du moteur 10.

Par exemple, une telle optimisation est obtenue en appliquant récursivement la méthode des moindres carrés.

Le courant à vide i_0 est le courant consommé par le moteur 10 en régime permanent, avant que le patin de freinage 18 n'atteigne le disque.

5 Par exemple, la valeur du courant à vide i_0 est la valeur moyenne du courant consommé par le moteur 10 entre un instant intermédiaire t_{int} , ultérieur à l'instant initial t_i , et l'instant final t_f . L'instant intermédiaire t_{int} est choisi de sorte que le moteur 10 puisse être considéré comme fonctionnant en régime permanent à partir de l'instant intermédiaire t_{int} .

10 En outre, la vitesse angulaire de rotation ω_0 à vide est la vitesse angulaire de l'organe de freinage 6, en régime permanent, avant que le patin de freinage 18 n'atteigne le disque correspondant.

Le calculateur 8 est, en outre, configuré pour calculer la valeur de la résistance interne R en appliquant la relation (4) suivante :

15
$$(4) \quad R = \frac{U(t_i)}{i_M}$$

où $U(t_i)$ est la valeur de la tension U à l'instant t_i .

En outre, le calculateur 8 est configuré pour calculer la valeur de la constante magnétique K en appliquant la relation (5) suivante :

$$(5) \quad K = \sqrt{\frac{RJ}{\tau}}$$

20 En outre, le calculateur 8 est configuré pour interrompre l'alimentation du moteur 10 en énergie électrique lorsque la valeur de la force de serrage F exercée par l'organe de freinage 6 atteint une valeur de consigne prédéterminée.

La valeur de consigne correspondant typiquement à une force de serrage minimale requise pour assurer le blocage en rotation de la roue à laquelle est associé l'actionneur 2.

25

Le fonctionnement de l'actionneur 2, partant d'un état où l'actionneur 2 est au repos, va maintenant être décrit.

Lorsqu'un utilisateur commande la mise en service de l'actionneur 2, par exemple en appuyant sur une pédale de frein du véhicule, ou en actionnant un frein à main du véhicule, le calculateur 8 autorise, à l'instant initial t_i , l'alimentation du moteur 10 en énergie électrique.

5 Dans ce cas, l'arbre 14 du moteur 10 entraîne le réducteur 12, dont la vis de sortie 16 fait progresser le patin de freinage 18 en direction du disque de la roue correspondante.

Avantageusement, à partir de l'instant initial t_i , et jusqu'à l'instant final t_f , le calculateur 8 acquiert la valeur du courant i consommé par le moteur 10 et de la tension
10 U aux bornes 20 du moteur 10.

Puis, le calculateur 10 détermine la valeur de la résistance interne R et de la constante magnétique K du moteur 10.

En outre, le calculateur 8 détermine la valeur du courant à vide i_0 et de la vitesse angulaire de rotation à vide ω_0 .

15 Puis, le calculateur 8 met à jour les coefficients de la matrice de transition d'état A avec les valeurs déterminées pour la résistance interne R et la constante magnétique K du moteur 10.

Puis, le calculateur 8 calcule les grandeurs approchées A_d^* et B_d^* pour le filtre de Kalman.

20 Puis, à partir des valeurs de la tension U aux bornes 20 du moteur 10 et du courant i consommé par le moteur 10 qui sont mesurées au cours du temps, le calculateur 8 met en œuvre le filtre de Kalman pour déterminer, au cours du temps, une valeur filtrée du courant consommé par le moteur 10, ainsi qu'une valeur filtrée de la vitesse angulaire de rotation ω de l'arbre 14 du moteur 10. En particulier, au cours du
25 temps, la valeur filtrée du courant consommé par le moteur 10 est égale à la première composante du vecteur d'état calculé, et la valeur filtrée de la vitesse angulaire de rotation ω de l'arbre 14 du moteur 10 est égale à la deuxième composante du vecteur d'état calculé.

En outre, à partir des valeurs filtrées du courant i consommé par le moteur 10 et de la vitesse angulaire de rotation ω de l'arbre 14 du moteur 10 qui sont

fournies par le filtre de Kalman, le calculateur 8 détermine, au cours du temps, la force de serrage F exercée par l'actionneur 2.

Tant que le patin de freinage 18 n'est pas entré en contact avec le disque correspondant, le courant i consommé par le moteur 10 est égal au courant à vide i_0 et la vitesse angulaire de rotation de l'arbre 14 est égale à la vitesse angulaire à vide ω_0 , de sorte que la force de serrage F est nulle.

Dès lors que le patin de freinage 18 entre en contact avec le disque correspondant, la force de serrage croît.

Lorsque la valeur de la force de serrage atteint la valeur de consigne prédéterminée, le calculateur 8 commande l'arrêt de l'alimentation du moteur 10 en énergie électrique.

Nomenclature

2 : actionneur

6 : organe de freinage

8 : calculateur

10 : moteur

12 : réducteur

14 : arbre

16 : vis de sortie

17 : extrémité libre de la vis de sortie

18 : patin de freinage

20 : bornes électriques

22 : source d'énergie électrique

REVENDICATIONS

1. Actionneur (2) de frein, comportant un organe de freinage (6), l'organe de freinage (6) comportant un moteur (10) à courant continu et un patin de freinage (18), le moteur comprenant un arbre (14) et étant configuré pour entraîner en mouvement le patin de freinage (18) lors de la rotation de l'arbre (14), l'actionneur (2) étant caractérisé en ce qu'il comporte un calculateur (8) configuré pour :
- mesurer, au cours du temps, un courant consommé par le moteur (10) et une tension entre des bornes (20) du moteur (10) ;
 - mettre en œuvre un filtre de Kalman pour calculer, à partir du courant et de la tension mesurés, un courant filtré consommé par le moteur (10) et une vitesse de rotation filtrée de l'arbre (14) du moteur (10) ;
 - calculer, à partir de la valeur du courant filtré consommé par le moteur (10) et de la valeur de la vitesse de rotation filtrée de l'arbre (14) du moteur (10), une force de serrage qui est produite par l'actionneur (2) ;
 - commander l'arrêt du moteur (10) lorsque la valeur calculée de la force de serrage atteint une valeur de consigne prédéterminée.
2. Actionneur (2) selon la revendication 1, dans lequel l'organe de freinage (6) comporte, en outre, un réducteur (12) agencé entre l'arbre (14) du moteur (10) et le patin de freinage (18), le patin de freinage (18) étant solidaire d'une vis de sortie (16) du réducteur (12), et dans lequel le calculateur (8) est configuré pour calculer la force de serrage selon :

$$F=2\pi \left[K.(i-i_0) - J \frac{d\omega}{dt} - f(\omega-\omega_0) \right] \frac{\eta.r}{S}$$

où F est la force de serrage, exprimée en N ;

K est une constante de force électromotrice du moteur (10) ;

J est un moment d'inertie du moteur (10) ;

f est un coefficient de frottement visqueux du moteur (10) ;

η est un rendement de l'organe de freinage (6) ;

r est un rapport de réduction du réducteur (12) ;

5 S est un pas de la vis de sortie (16) du réducteur (12) ;

d/dt est l'opérateur « dérivée temporelle » ;

i est le courant filtré consommé par le moteur (10) ;

i_0 est un courant à vide de l'organe de freinage (6) ;

ω est la vitesse angulaire de rotation filtrée de l'arbre (14) du moteur

10 (10) ; et

ω_0 est une vitesse angulaire de rotation à vide de l'organe de freinage (6).

3. Actionneur (2) selon la revendication 2, dans lequel le calculateur (8) est configuré pour déterminer le courant à vide et la vitesse angulaire de rotation à vide à partir des valeurs mesurées du courant consommé par le moteur (10) et de la tension aux bornes électriques (20) du moteur (10) pendant un intervalle de temps au cours duquel le moteur (10) présente un fonctionnement en régime permanent.

4. Actionneur (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le filtre de Kalman présente un modèle d'état donné par :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

où x est un vecteur d'état de l'organe de freinage 6, exprimé comme :

$$x = \begin{pmatrix} i \\ \omega \end{pmatrix}$$

i étant le courant consommé par le moteur (10) ; et

25 ω étant la vitesse angulaire de rotation de l'arbre (14) du moteur (10) ;

où u est un vecteur d'entrée de commande, exprimé comme :

$$u = \begin{pmatrix} U \\ C_u \end{pmatrix}$$

U étant la tension mesurée aux bornes (20) du moteur (10) ; et

C_u étant un couple utile au niveau de l'arbre (14) du moteur (10) ;

5 où A est une matrice de transition d'état du filtre de Kalman, s'exprimant comme :

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ K & f \\ -\frac{1}{J} & -\frac{f}{J} \end{pmatrix}$$

avec R une résistance interne du moteur (10) ;

K une constante magnétique du moteur (10) ;

10 J un moment d'inertie du moteur (10) ;

f un coefficient de frottement visqueux du moteur (10) ;

et

L une inductance interne du moteur (10) ;

15 où B est une matrice d'entrée de commande du filtre de Kalman, s'exprimant comme :

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{pmatrix}$$

et où C et D sont des matrices valant respectivement :

$$C = (1 \quad 0)$$

$$D = (0 \quad 0)$$

20

5. Actionneur (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le calculateur (8) est configuré pour :

25 - autoriser une alimentation du moteur (10) en énergie électrique à compter d'un instant initial correspondant à une réception d'une commande de mise en service de l'actionneur (2) ;

- mémoriser la valeur du courant électrique consommé par le moteur (10) durant un intervalle de temps compris entre l'instant initial et un instant final ultérieur ;

- optimiser les paramètres d'un modèle prédéterminé pour déterminer une valeur d'une résistance interne du moteur (10) et/ou une valeur d'une constante magnétique du moteur (10) ;

- mettre à jour les coefficients d'une matrice de transition d'état du filtre de Kalman en fonction de la valeur déterminée de la résistance interne du moteur (10) et/ou de la valeur déterminée de la constante magnétique du moteur (10).

6. Actionneur (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le filtre de Kalman met en jeu une grandeur égale à :

$$A_d^* = I + \sum_{p=1}^m \frac{(A.T_e)^p}{p!}$$

où A est une matrice de transition d'état du filtre de Kalman ;

T_e est un intervalle de temps séparant deux estimations successives d'un vecteur d'état du filtre de Kalman ;

I est la matrice « identité » dont le rang est égal au rang de la matrice de transition d'état ;

« ! » est l'opérateur « factorielle » ; et

m est un entier naturel non nul prédéterminé ;

et dans lequel le calculateur (8) est configuré pour calculer successivement les puissances du terme $(A.T_e)^p$, dans l'ordre croissant des puissances, une puissance donnée $(A.T_e)^p$, p étant un entier quelconque compris entre 1 et m, étant obtenue en multipliant la puissance immédiatement inférieure $(A.T_e)^{p-1}$ précédemment calculée par le terme $(A.T_e)$.

7. Procédé de commande d'un actionneur (2) de frein, l'actionneur (2) comportant un moteur (10) à courant continu et un patin de freinage (18), le moteur comprenant un arbre (14) étant configuré pour entraîner en mouvement le patin de freinage (18) lors de la rotation de l'arbre (14),

le procédé comportant les étapes de :

- alimentation du moteur (10) en énergie électrique ;
- mesure, au cours du temps, d'un courant consommé par le moteur (10)

et une tension entre des bornes (20) du moteur (10) ;

- 5 - calcul, à partir du courant et de la tension mesurés, et par la mise en œuvre d'un filtre de Kalman, d'un courant filtré consommé par le moteur (10) et d'une vitesse de rotation filtrée de l'arbre (14) du moteur (10) ;

 - calcul, à partir de la valeur du courant filtré consommé par le moteur (10) et de la valeur de la vitesse de rotation filtrée de l'arbre (14) du moteur (10), d'une

- 10 force de serrage qui est produite par l'actionneur (2) ; et

 - commande de l'arrêt du moteur (10) lorsque la valeur calculée de la force de serrage atteint une valeur de consigne prédéterminée.

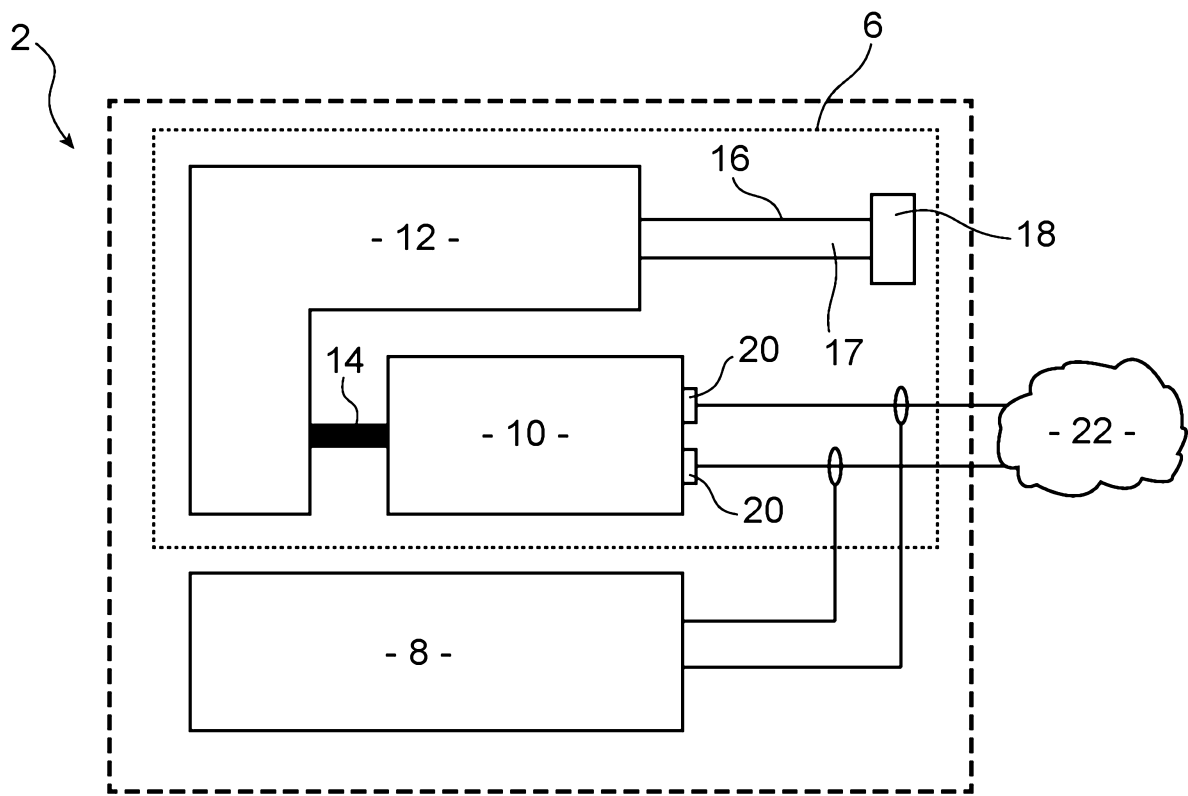


FIG. 1

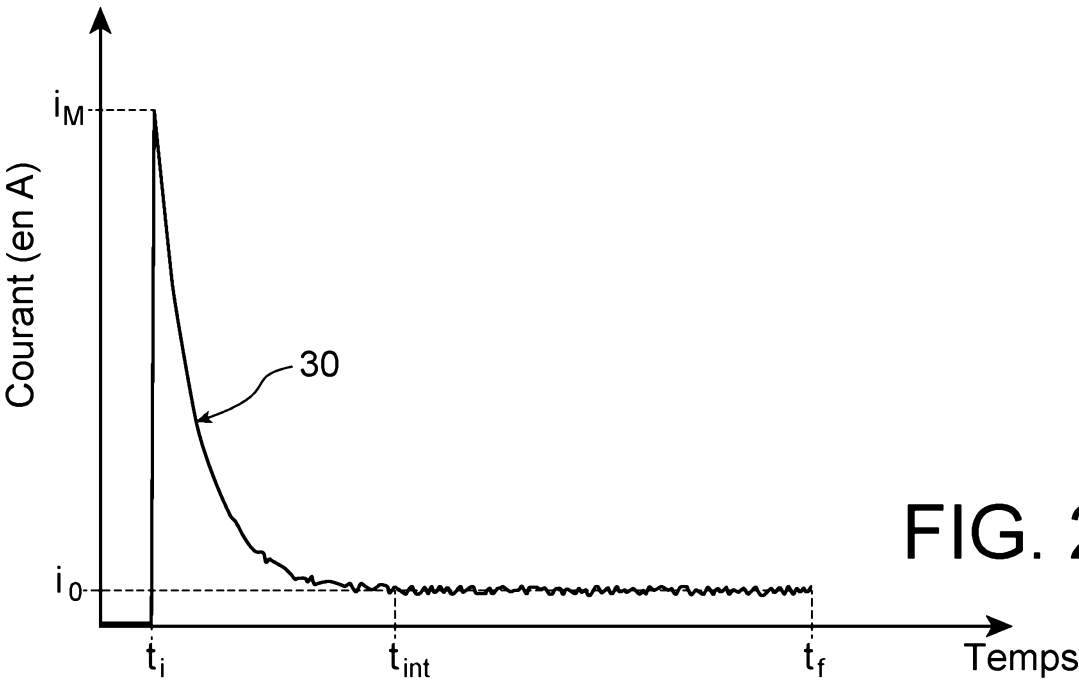


FIG. 2

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 848081
FR 1850013

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		
Y	EP 0 894 685 A2 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 3 février 1999 (1999-02-03)	1,7	F16D65/14 F16D125/40 F16D121/24
A	* figures 1-5, 7, 9, 23 *	2-6	
Y	US 2005/007044 A1 (QIU MING [CA] ET AL) 13 janvier 2005 (2005-01-13)	1,7	
A	* figure 3B *	2-6	
A	US 2014/156144 A1 (HOSHI YUZURU [JP] ET AL) 5 juin 2014 (2014-06-05) * le document en entier *	1-7	
A	EP 1 885 054 A1 (ST MICROELECTRONICS SRL [IT]) 6 février 2008 (2008-02-06) * le document en entier *	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B60T F16D H02P
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 septembre 2018		Graniou, Marc	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1850013 FA 848081**

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 **17-09-2018**
 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
EP 0894685	A2	03-02-1999	DE 69836301 T2	06-06-2007
			EP 0894685 A2	03-02-1999
			US 6270172 B1	07-08-2001
			US 2001033106 A1	25-10-2001

US 2005007044	A1	13-01-2005	EP 1645032 A1	12-04-2006
			JP 2007531478 A	01-11-2007
			US 2005007044 A1	13-01-2005
			WO 2005008890 A1	27-01-2005

US 2014156144	A1	05-06-2014	CN 104205617 A	10-12-2014
			EP 2835906 A1	11-02-2015
			JP 5641008 B2	17-12-2014
			JP 2013215064 A	17-10-2013
			US 2014156144 A1	05-06-2014
			WO 2013150948 A1	10-10-2013

EP 1885054	A1	06-02-2008	EP 1885054 A1	06-02-2008
			US 2009033259 A1	05-02-2009
