

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de pilotage d'un moteur par un régulateur proportionnel-dérivé prenant en compte une raideur d'un système de direction assistée.

②② Date de dépôt : 17.12.21.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *JTEKT EUROPE Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.23 Bulletin 23/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 26.04.24 Bulletin 24/17.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MICHELIS André et LARMINY Pierre.

⑦③ Titulaire(s) : *JTEKT EUROPE Société par actions simplifiée (SAS)*.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET GERMAIN ET MAUREAU.



Description

Titre de l'invention : Procédé de pilotage d'un moteur par un régulateur proportionnel-dérivé prenant en compte une raideur d'un système de direction assistée.

- [0001] L'invention concerne le domaine des directions assistées électriques et plus particulièrement un procédé de pilotage d'un moteur et un véhicule mettant en œuvre un tel procédé.
- [0002] Un système de direction d'un véhicule a pour objet de permettre à un conducteur de contrôler une trajectoire du véhicule en modifiant un angle d'orientation des roues du véhicule au moyen d'un volant de direction. L'angle d'orientation des roues, par la suite désigné par « angle roue », est notamment lié à un angle du volant de direction, par la suite désigné par « angle volant ». Le conducteur modifie l'angle volant en exerçant un effort sur le volant de direction.
- [0003] Généralement, un système de direction comprend plusieurs éléments dont ledit volant, une crémaillère, et deux roues chacune reliée à une biellette. La crémaillère est la pièce permettant de manœuvrer les roues, c'est-à-dire permettant de modifier l'angle d'orientation des roues, via les biellettes. La crémaillère transforme une variation de l'angle volant en une variation de l'angle roue du véhicule.
- [0004] Dans un système de direction assistée électrique de type mécanique ou traditionnel, il existe un lien mécanique, généralement réalisé par une colonne de direction, entre le volant de direction et la crémaillère. Un moteur exerce un couple moteur indirectement sur le volant, en exerçant le couple moteur sur la crémaillère ou sur la colonne de direction. Lors d'une application d'une fonction d'aide à la conduite, telle qu'une aide au parking, ou une aide au maintien dans la voie de circulation, dans un système de direction assistée traditionnel, le régulateur asservit une position angulaire du moteur à un angle consigne en pilotant le couple moteur exercé par le moteur sur la crémaillère. Une position angulaire du moteur de contrôle correspond à une position angulaire de la crémaillère modifiée par une valeur d'une raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère.
- [0005] Dans un système de direction assistée électrique sans lien mécanique, dit « steer-by-wire » en anglais, le volant est mécaniquement détaché de la crémaillère. Dans ce cas, le système de direction comprend une unité volant mécaniquement indépendante d'une unité crémaillère. Autrement dit, un effort appliqué sur l'unité volant n'est mécaniquement pas transmis à l'unité crémaillère, et inversement.
- [0006] L'unité volant comprend notamment ledit volant.
- [0007] L'unité crémaillère comprend ladite crémaillère et un régulateur qui pilote un moteur

venant exercer un couple moteur sur la crémaillère. Plus précisément, l'angle volant est mesuré ou calculé de manière à déterminer un angle consigne devant être atteint par une position angulaire de la crémaillère. Le régulateur asservit une position angulaire du moteur à l'angle consigne en pilotant un couple moteur exercé par le moteur sur la crémaillère. La position angulaire du moteur correspond à la position angulaire de la crémaillère modifiée par une valeur d'une raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère, et par une raideur virtuelle programmée dans le régulateur et re-présentant une raideur comprise entre le moteur et le volant.

[0008] Dans un système « steer-by-wire », ou dans un système de direction traditionnel lors d'une application d'une fonction d'aide à la conduite, telle qu'une aide au parking, ou une aide au maintien dans la voie de circulation, il est fondamental de contrôler précisément l'angle roue, c'est-à-dire la position angulaire de la crémaillère, via la position angulaire du moteur, en prenant en compte la raideur mécanique, ainsi que pour les systèmes « steer-by-wire », la raideur virtuelle.

[0009] Pour contrôler précisément l'angle roue, il est connu d'utiliser un régulateur proportionnel-dérivé (PD) en boucle fermée pour asservir la position angulaire du moteur à l'angle consigne.

[0010] Cependant, pour les systèmes « steer-by-wire », des limites de stabilité entre le régulateur de l'unité crémaillère et un régulateur de l'unité volant ne permettent pas, en général, de prendre en compte la raideur virtuelle suffisante pour maintenir la position angulaire du moteur lors de sollicitations ou de perturbations extérieures telles qu'une déformation de la route. En outre, l'utilisation d'un régulateur proportionnel-dérivé (PD) en boucle fermée ne permet pas de prendre en compte la raideur mécanique entre le moteur et la crémaillère. De plus le régulateur proportionnel-dérivé ne permet pas d'obtenir une erreur statique nulle. Il existe donc, d'une part, un écart d'angle entre l'angle consigne et la position angulaire du moteur à cause du régulateur proportionnel-dérivé, et d'autre part, entre la position angulaire du moteur et la position angulaire crémaillère à cause de la raideur mécanique.

[0011] Il est également connu d'utiliser un régulateur proportionnel-intégral-dérivé (PID) en boucle fermée. Cependant, lorsque le moteur atteint une limite de fonctionnement, un phénomène non linéaire de saturation du régulateur dégrade son fonctionnement normal et peut entraîner une instabilité du régulateur. Pour éviter cela, une solution classiquement utilisée est de sur-dimensionner ledit moteur ce qui induit un coût supplémentaire tant du point de vue d'un poids transportée, de l'énergie dépensée que du prix du moteur lui-même. Une autre solution est d'utiliser une commande anti-saturation, appelée « anti-windup » en anglais, consistant à limiter des performances, notamment une rapidité du régulateur pour éviter, autant que possible, de s'approcher des limites de fonctionnement du moteur. En outre, l'utilisation d'un régulateur pro-

portionnel-intégral-dérivé (PID) en boucle fermée ne permet pas de prendre en compte la raideur mécanique entre le moteur et la crémaillère.

[0012] Ainsi, aucune de ces solutions ne donne pleinement satisfaction.

[0013] L'invention a pour but de remédier à tout ou partie des inconvénients précités en proposant, un procédé de pilotage d'un moteur d'un système de direction assistée d'un véhicule, ledit système de direction assistée comprenant au moins un volant de direction et une crémaillère, ledit moteur étant piloté au moyen d'un régulateur proportionnel-dérivé en boucle fermée recevant en entrée une position angulaire dudit moteur et un angle consigne, ledit régulateur déterminant un couple moteur consigne, caractérisé en ce que le procédé comprend :

- Une étape de détermination d'une compensation de raideur par un calculateur de compensation de raideur déterminant un signal de correction à partir d'un couple moteur exercé sur le système de direction assistée et d'une raideur du système de direction assistée liée au moteur,
- Une étape de modification de la position angulaire du moteur en fonction du signal de correction.

[0014] L'invention s'applique à un système de direction assistée "steer-by-wire" et à un système de direction assistée traditionnel lors d'une application d'une fonction d'aide à la conduite.

[0015] Le moteur reçoit en entrée un couple moteur consigne et exerce sur un élément du système de direction assistée un couple moteur exercé. Par exemple, l'élément du système de direction est une crémaillère.

[0016] En fonctionnement normal, le couple moteur consigne est proche du couple moteur exercé. La position angulaire du moteur détermine une position angulaire de l'élément du système de direction assistée, par la suite désigné uniquement par l'élément. Cependant lorsqu'un effort est appliqué à l'élément, une raideur mécanique comprise entre ledit moteur et ledit élément entraîne un écart entre la position angulaire du moteur et la position angulaire de l'élément.

[0017] En outre, dans le cas des systèmes de direction assistée "steer-by-wire", une raideur virtuelle programmée dans le régulateur et représentant la raideur comprise entre le moteur et l'au moins un volant de direction peut ne pas être suffisante pour garantir un faible écart entre la position angulaire du moteur et la position angulaire de l'élément tout en maintenant une stabilité du régulateur.

[0018] L'invention s'applique à tout moteur du système de direction assistée piloté par un régulateur proportionnel-dérivé en boucle fermée recevant en entrée une position angulaire dudit moteur et un angle consigne. Le régulateur selon l'invention est donc un régulateur en angle en ce qu'il asservit la position angulaire du moteur considéré à l'angle consigne en pilotant le couple consigne du moteur.

- [0019] Le procédé de pilotage comprend une étape de détermination d'une compensation de raideur par un calculateur de compensation de raideur qui a pour objectif de permettre de maintenir la position angulaire de la crémaillère sensiblement égale à l'angle consigne lors de sollicitations ou de perturbations extérieures sur l'élément, comme par exemple une déformation de la route. Les perturbations extérieures correspondent à un effort appliqué sur l'élément. Le calculateur de compensation de raideur a donc pour objectif de rejeter les perturbations extérieures, c'est-à-dire que quels que soient les efforts appliqués sur l'élément, l'angle consigne et la position angulaire de l'élément sont maintenues très proches.
- [0020] Pour cela, le calculateur de compensation réalise une étape de modification de la position angulaire du moteur en fonction du signal de correction. Autrement dit, le signal de correction influe sur la position angulaire du moteur.
- [0021] Le calculateur de compensation de raideur modifie le couple moteur consigne et donc la position angulaire du moteur de sorte à réduire l'écart entre l'angle consigne et la position angulaire de l'élément.
- [0022] L'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison.
- [0023] Selon un mode de réalisation, le moteur applique le couple moteur exercé sur la crémaillère, et dans lequel la raideur du système de direction assistée liée au moteur comprend une composante de raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère et/ou une composante de raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction.
- [0024] Le couple moteur est exercé directement ou indirectement, via une chaîne de transmission mécanique, sur la crémaillère.
- [0025] Selon un mode de réalisation, lorsque la raideur du système de direction assistée liée au moteur comprend la composante de raideur mécanique et la composante de raideur virtuelle, la raideur du système de direction assistée liée au moteur est déterminée en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :
- [0026] [Math.1]
- $$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m}$$
- [0027] Avec :
- [0028] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur
- [0029] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction
- [0030] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère
- [0031] Selon un mode de réalisation, lorsque la raideur du système de direction assistée liée au moteur comprend la composante de raideur mécanique, la composante de raideur virtuelle, et une composante de raideur d'un train avant, la raideur du système de

direction assistée liée au moteur est déterminée en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :

[0032] [Math.2]

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_{fa}}$$

[0033] Avec :

[0034] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0035] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0036] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère

[0037] K_{fa} : la raideur du train avant comprise entre la crémaillère et une roue du véhicule

Selon un mode de réalisation, le signal de correction est un signal de correction d'angle venant modifier l'angle consigne de sorte à former un angle consigne corrigé entrant dans le régulateur.

[0038] Selon un mode de réalisation, le signal de correction d'angle est ajouté à l'angle consigne.

[0039] Selon un mode de réalisation, le signal de correction d'angle est déterminé en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :

[0040] [Math.3]

$$S_{\theta} = \frac{C_{ex}}{K_{tot}}$$

[0041] Avec :

[0042] S_{θ} : le signal de correction d'angle

[0043] C_{ex} : le couple moteur exercé

[0044] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0045] Selon un mode de réalisation, le signal de correction est un signal de correction de couple venant modifier le couple moteur consigne de sorte à former un couple moteur consigne corrigé entrant dans le moteur.

[0046] Selon un mode de réalisation, le signal de correction de couple est ajouté au couple moteur consigne.

[0047] Selon un mode de réalisation, le signal de correction de couple est déterminé en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :

[0048] [Math.4]

$$S_C = \frac{C_{ex} K_v}{K_{tot}}$$

[0049] Avec :

[0050] S_C : le signal de correction de couple

[0051] C_{ex} : le couple moteur exercé

[0052] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0053] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

- [0054] Selon un mode de réalisation, il n'y a pas de lien mécanique entre l'au moins un volant de direction et l'au moins une crémaillère.
- [0055] Le système de direction assistée est donc de type steer-by-wire.
- [0056] Selon un mode de réalisation, il existe un lien mécanique entre l'au moins un volant de direction et l'au moins une crémaillère.
- [0057] Le système de direction est donc de type traditionnel.
- [0058] L'invention porte également sur un véhicule mettant en œuvre un procédé selon l'invention.
- [0059] L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à plusieurs modes de réalisation selon la présente invention, donné à titre d'exemples non limitatifs et expliqués avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :
- [0060] [Fig.1] est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation du procédé de pilotage selon l'invention ;
- [0061] [Fig.2] est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation du procédé de pilotage selon l'invention ;
- [0062] [Fig.3] est une représentation d'un angle consigne, d'une position angulaire d'un moteur et d'une position angulaire d'une crémaillère sans mise en œuvre de l'invention ;
- [0063] [Fig.4] est une représentation de l'angle consigne, de la position angulaire du moteur et de la position angulaire de la crémaillère avec mise en œuvre de l'invention dans laquelle une raideur correspond à une raideur virtuelle comprise entre le moteur et un volant de direction ;
- [0064] [Fig.5] est une représentation de l'angle consigne, de la position angulaire du moteur et de la position angulaire de la crémaillère avec mise en œuvre de l'invention dans laquelle la raideur correspond à la raideur virtuelle et à une raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère.
- [0065] Seuls les éléments nécessaires à la compréhension de l'invention ont été représentés. Pour faciliter la lecture des dessins, les mêmes éléments portent les mêmes références d'une figure à l'autre.
- [0066] L'invention concerne un procédé 100, 101 de pilotage d'un moteur 1 d'un système de direction assistée pour un véhicule, et plus particulièrement pour un véhicule automobile destiné au transport de personnes.
- [0067] Le procédé 100, 101 selon l'invention s'applique, sous certaines conditions, à un système de direction assistée de type traditionnel dans lequel il existe un lien mécanique, généralement réalisé par une colonne de direction, entre un volant de direction et une crémaillère 2. Le volant de direction permet à un conducteur de manœuvrer ledit dispositif de direction assistée en exerçant un effort sur ledit volant de

direction.

- [0068] Le volant de direction est de préférence monté sur la colonne de direction, guidée en rotation sur le véhicule, et qui engrène, au moyen d'un pignon de direction, sur la crémaillère 2, qui est elle-même guidée en translation dans un carter de direction fixé audit véhicule.
- [0069] De préférence, les extrémités de ladite crémaillère 2 sont reliées chacune à une biellette de direction raccordée au porte-fusée d'une roue 3 directrice, de telle sorte qu'un déplacement longitudinal en translation de la crémaillère 2 permet de modifier un angle de braquage (angle de lacet) des roues 3 directrices.
- [0070] Les roues 3 directrices peuvent par ailleurs de préférence être également des roues motrices.
- [0071] Le dispositif de direction assistée traditionnel comprend également un régulateur R_0 qui pilote un moteur 1. Le moteur 1 peut venir en prise, le cas échéant par l'intermédiaire d'un réducteur de type réducteur à engrenage, soit sur la colonne de direction elle-même, pour former un mécanisme dit « à simple pignon », soit directement sur la crémaillère 2, au moyen par exemple d'un second pignon distinct du pignon de direction qui permet à la colonne de direction d'engrener sur la crémaillère 2, de sorte à former un mécanisme dit « à double pignon », ou bien encore au moyen d'une vis à billes qui coopère avec un filetage correspondant de ladite crémaillère 2, à distance dudit pignon de direction.
- [0072] Le moteur 1 sera de préférence un moteur électrique, à double sens de fonctionnement, et préférentiellement un moteur électrique rotatif, de type brushless.
- [0073] Lors d'une application d'une fonction d'aide à la conduite, telle qu'une aide au parking, ou une aide au maintien dans la voie de circulation, dans un système de direction assistée traditionnel, le régulateur R_0 asservit une position angulaire θ_m du moteur 1 à un angle consigne θ_c en pilotant le couple moteur exercé C_{ex} par le moteur 1 sur la crémaillère 2. Une position angulaire θ_m du moteur 1 correspond à une position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 modifiée par une valeur d'une raideur mécanique K_m comprise entre le moteur de contrôle 1 et la crémaillère 2.
- [0074] Le procédé 100, 101 selon l'invention s'applique également à un système de direction assistée de type "steer-by-wire" dans lequel le volant de direction est mécaniquement détaché de la crémaillère 2. Dans ce cas, le système de direction comprend une unité volant mécaniquement indépendante d'une unité crémaillère.
- [0075] L'unité volant comprend le volant de direction.
- [0076] Dans l'unité crémaillère, un régulateur R_0 pilote un moteur 1 venant exercer un couple moteur C_{ex} sur la crémaillère 2. Plus précisément, l'angle volant est mesuré ou calculé de manière à déterminer un angle consigne θ_c devant être atteint par la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2. Le régulateur R_0 asservit une position angulaire θ_m du

moteur de manœuvre 1 à l'angle consigne θ_c en pilotant un couple moteur exercé C_{ex} par le moteur 1 sur la crémaillère 2. La position angulaire θ_m du moteur de manœuvre 1 correspond à la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 modifiée par une valeur d'une raideur mécanique K_m comprise entre le moteur 1 et la crémaillère 2, et par une raideur virtuelle K_v programmée dans le régulateur R_0 et représentant une raideur comprise entre le moteur 1 et le volant.

- [0077] L'invention porte sur un procédé 100, 101 de pilotage du moteur 1 du système de direction assistée dans lequel le régulateur R_0 du moteur 1 est un régulateur proportionnel-dérivé en boucle fermée, recevant en entrée une position angulaire θ_m dudit moteur 1 et un angle consigne θ_c . Le régulateur R_0 est donc un régulateur en angle.
- [0078] Le procédé 100, 101 comprend également une étape de détermination d'une compensation de raideur par un calculateur de compensation de raideur C_{comp} déterminant un signal de correction S_0, S_c à partir du couple moteur exercé C_{ex} sur la crémaillère 2 par le moteur 1 et d'une raideur du système de direction assistée liée au moteur 1. Le signal de correction S_0, S_c modifie la position angulaire θ_m du moteur 1 en fonction de la raideur du système de direction assistée liée au moteur 1.
- [0079] Un premier mode de réalisation du procédé 100 selon l'invention est représenté schématiquement en [Fig.1].
- [0080] Dans ce mode de réalisation, le signal de correction est un signal de correction d'angle S_0 qui est additionné à l'angle consigne θ_c de sorte à former un angle consigne corrigé θ_{cc} entrant dans le régulateur R_0 . Le régulateur R_0 reçoit également en entrée la position angulaire θ_m du moteur 1. Le régulateur R_0 détermine alors un couple moteur consigne C_c qui est transmis au moteur 1. A partir de ce couple moteur consigne, le moteur 1 exerce un couple moteur exercé C_{ex} sur la crémaillère 2.
- [0081] Le couple moteur exercé C_{ex} est mesuré ou calculé, puis est transmis au calculateur de compensation de raideur C_{comp} de sorte que ce dernier détermine le signal de correction d'angle S_0 . Plus précisément, le signal de correction d'angle S_0 est calculé suivant la formule :
- [0082] [Math.5]
- $$S_{\theta} = \frac{C_{ex}}{K_{tot}}$$
- [0083] Avec :
- [0084] S_0 : le signal de correction d'angle
- [0085] C_{ex} : le couple moteur exercé
- [0086] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur
- [0087] La raideur du système de direction assistée liée au moteur comprenant une composante de raideur mécanique K_m et une composante de raideur virtuelle K_v , est calculée suivant la formule ci-dessous :

[0088] [Math.6]

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m}$$

[0089] Avec :

[0090] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0091] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0092] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère

[0093] De manière alternative, la raideur du système de direction assistée liée au moteur comprenant une composante de raideur mécanique K_m , une composante de raideur virtuelle K_v , et une raideur d'un train avant est calculée suivant la formule ci-dessous :

[0094] [Math.7]

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_{fa}}$$

[0095] Avec :

[0096] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0097] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0098] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère

[0099] K_{fa} : la raideur du train avant comprise entre la crémaillère et une roue du véhicule

[0100] Un deuxième mode de réalisation du procédé 101 selon l'invention est représenté schématiquement en [Fig.2].

[0101] Dans ce mode de réalisation, le régulateur R_0 reçoit en entrée la position angulaire θ_m du moteur 1 et l'angle consigne θ_c . Le régulateur R_0 détermine alors le couple moteur consigne C_c . Le signal de correction S est un signal de correction de couple S_c qui est additionné au couple moteur consigne C_c de sorte à former un couple moteur consigne corrigé C_{cc} pilotant le moteur 1. A partir de ce couple moteur consigne corrigé C_{cc} , le moteur 1 exerce un couple moteur exercé C_{ex} sur la crémaillère 2.

[0102] Le couple moteur exercé C_{ex} est mesuré ou calculé, puis est transmis au calculateur de compensation de raideur C_{comp} de sorte que ce dernier détermine le signal de correction de couple S_c . Plus précisément, le signal de correction de couple S_c est calculé suivant la formule :

[0103] [Math.8]

$$S_c = \frac{C_{ex} \cdot K_v}{K_{tot}}$$

[0104] Avec :

[0105] S_c : le signal de correction de couple

[0106] C_{ex} : le couple moteur exercé

[0107] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0108] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0109] La raideur du système de direction assistée liée au moteur comprenant une

composante de raideur mécanique K_m et une composante de raideur virtuelle K_v , est calculée suivant la formule ci-dessous :

[0110] [Math.9]

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m}$$

[0111] Avec :

[0112] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0113] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0114] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère

[0115] De manière alternative, la raideur du système de direction assistée liée au moteur comprenant une composante de raideur mécanique K_m , une composante de raideur virtuelle K_v , et une raideur d'un train avant est calculée suivant la formule ci-dessous :

[0116] [Math.10]

$$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_{fa}}$$

[0117] Avec :

[0118] K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur

[0119] K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

[0120] K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère

[0121] K_{fa} : la raideur du train avant comprise entre la crémaillère et une roue du véhicule

[0122] Les figures 3, 4, et 5 illustrent une représentation de l'angle consigne θ_c , de la position angulaire θ_m du moteur 1 et de la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 respectivement sans mise en œuvre de l'invention, avec mise en œuvre de l'invention dans laquelle la raideur correspond uniquement à la raideur virtuelle K_v et avec mise en œuvre de l'invention dans laquelle la raideur correspond à la raideur virtuelle K_v et à la raideur mécanique K_m comprise entre le moteur 1 et la crémaillère 2, dans un système de direction "steer-by-wire".

[0123] Dans la [Fig.3], le régulateur R_0 est un régulateur proportionnel-dérivé en boucle fermée, recevant en entrée une position angulaire θ_m dudit moteur 1 et un angle consigne θ_c , sans mise en œuvre d'un calculateur de compensation de raideur C_{comp} selon l'invention. Les courbes de la position angulaire θ_m du moteur 1 et de la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 sont proches mais non superposées. Elles sont séparées d'un angle de $0,8^\circ$. Autrement dit, la position angulaire θ_m du moteur 1 et la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 présentent un écart de $0,8^\circ$. L'écart de la position angulaire de la crémaillère θ_2 et la courbe consigne θ_c est d'environ 10° .

[0124] Dans la [Fig.4], la raideur du système de direction assistée liée au moteur 1 est prise égale à la raideur virtuelle K_v . Les courbes de la position angulaire θ_m du moteur 1 et de la courbe de l'angle consigne θ_c sont proches. Autrement dit, l'invention a diminué l'écart associé à la raideur virtuelle K_v du système de direction assistée. Cependant, la

position angulaire θ_m du moteur et la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 présentent toujours un écart de $0,8^\circ$ correspondant à la raideur mécanique K_m du système de direction assistée.

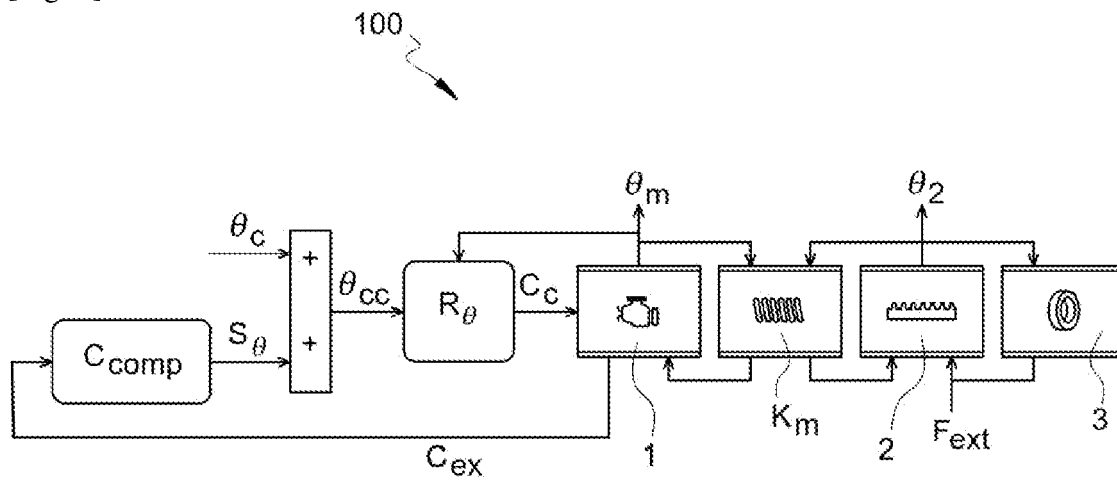
- [0125] Dans la [Fig.5], la raideur du système de direction assistée liée au moteur 1 est prise égale à la raideur virtuelle K_v et à la raideur mécanique K_m . Ainsi, la courbe de la position angulaire θ_m du moteur est supérieure à la courbe de l'angle consigne θ_c . De cette manière, la courbe de la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 est proche de la courbe de l'angle consigne θ_c , ce qui est le but de l'invention. Autrement dit, l'invention a diminué l'écart associé à la raideur virtuelle K_v et à la raideur mécanique K_m du système de direction assistée.
- [0126] La [Fig.5] illustre que l'invention permet de maintenir la position angulaire θ_2 de la crémaillère 2 sensiblement égale à l'angle consigne θ_c lors de sollicitations ou de perturbations extérieures F_{ext} sur la crémaillère 2, comme par exemple une déformation de la route.
- [0127] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés aux figures annexées. Des modifications restent possibles, notamment du point de vue de la constitution des divers éléments ou par substitution d'équivalents techniques, sans sortir pour autant du domaine de protection de l'invention.

Revendications

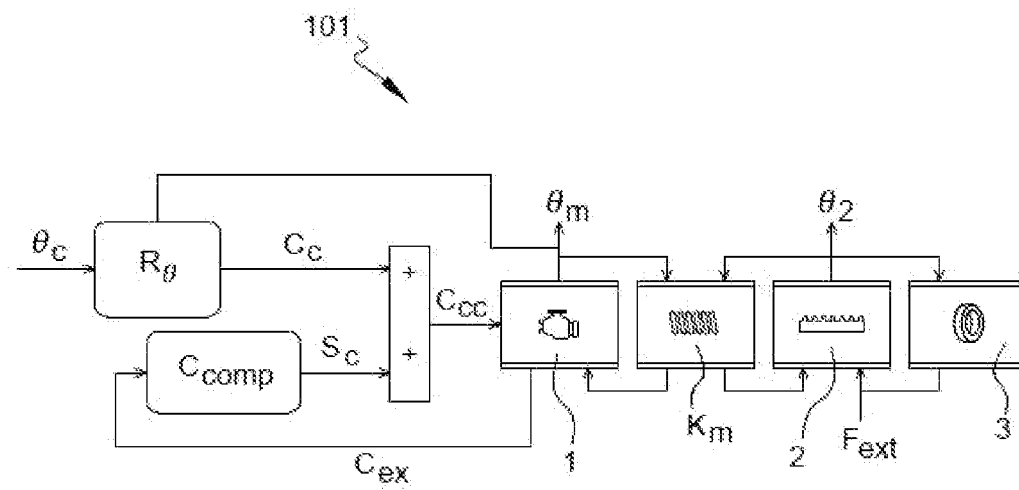
- [Revendication 1] Procédé de pilotage (100, 101) d'un moteur (1) d'un système de direction assistée d'un véhicule, ledit système de direction assistée comprenant au moins un volant de direction et une crémaillère (2), ledit moteur (1) étant piloté au moyen d'un régulateur (R_0) proportionnel-dérivé en boucle fermée recevant en entrée une position angulaire (θ_m) dudit moteur (1) et un angle consigne (θ_c), ledit régulateur (R_0) déterminant un couple moteur consigne (C_c), caractérisé en ce que le procédé (100, 101) comprend :
- Une étape de détermination d'une compensation de raideur par un calculateur de compensation de raideur (C_{comp}) déterminant un signal de correction (S_0, S_c) à partir d'un couple moteur exercé (C_{ex}) sur le système de direction assistée et d'une raideur (K_{tot}) du système de direction assistée liée au moteur (1),
 - Une étape de modification de la position angulaire (θ_m) du moteur (1) en fonction du signal de correction (S_0, S_c).
- [Revendication 2] Procédé de pilotage (100, 101) selon la revendication 1, dans lequel le moteur (1) applique le couple moteur exercé (C_{ex}) sur la crémaillère (2), et dans lequel la raideur (K_{tot}) du système de direction assistée liée au moteur (1) comprend une composante de raideur mécanique (K_m) comprise entre le moteur (1) et la crémaillère (2) et/ou une composante de raideur virtuelle (K_v) comprise entre le moteur (1) et l'au moins un volant de direction.
- [Revendication 3] Procédé de pilotage (100, 101) selon la revendication 2, dans lequel lorsque la raideur (K_{tot}) du système de direction assistée liée au moteur (1) comprend la composante de raideur mécanique (K_m) et la composante de raideur virtuelle (K_v), la raideur (K_{tot}) du système de direction assistée liée au moteur (1) est déterminée en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :
- [Math.11]
- $$\frac{1}{K_{tot}} = \frac{1}{K_v} + \frac{1}{K_m}$$
- Avec :
- K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur
- K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction

- K_m : la raideur mécanique comprise entre le moteur et la crémaillère
- [Revendication 4] Procédé de pilotage (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le signal de correction (S_0 , S_c) est un signal de correction d'angle (S_0) venant modifier l'angle consigne (θ_c) de sorte à former un angle consigne corrigé (θ_{cc}) entrant dans le régulateur (R_0).
- [Revendication 5] Procédé de pilotage (100) selon la revendication 4, dans lequel le signal de correction d'angle (S_0) est ajouté à l'angle consigne (θ_c).
- [Revendication 6] Procédé de pilotage (100) selon la revendication 5 pris en combinaison avec la revendication 3, dans lequel le signal de correction d'angle (S_0) est déterminé en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :
- [Math.12]
- $$S_{\theta} = \frac{C_{ex}}{K_{tot}}$$
- Avec :
- S_0 : le signal de correction d'angle
- C_{ex} : le couple moteur exercé
- K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur
- [Revendication 7] Procédé de pilotage (101) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le signal de correction (S_0 , S_c) est un signal de correction de couple (S_c) venant modifier le couple moteur consigne (C_c) de sorte à former un couple moteur consigne corrigé (C_{cc}) entrant dans le moteur (1).
- [Revendication 8] Procédé de pilotage (101) selon la revendication 7, dans lequel le signal de correction de couple (S_c) est ajouté au couple moteur consigne (C_c).
- [Revendication 9] Procédé de pilotage (101) selon la revendication 8 pris en combinaison avec la revendication 3, dans lequel le signal de correction de couple (S_c) est déterminé en prenant en compte un terme calculé selon la formule suivante :
- [Math.13]
- $$S_C = \frac{C_{ex} K_v}{K_{tot}}$$
- Avec :
- S_C : le signal de correction de couple
- C_{ex} : le couple moteur exercé
- K_{tot} : la raideur du système de direction assistée liée au moteur
- K_v : la raideur virtuelle comprise entre le moteur et le volant de direction
- [Revendication 10] Véhicule comprenant un procédé de pilotage (100, 101) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

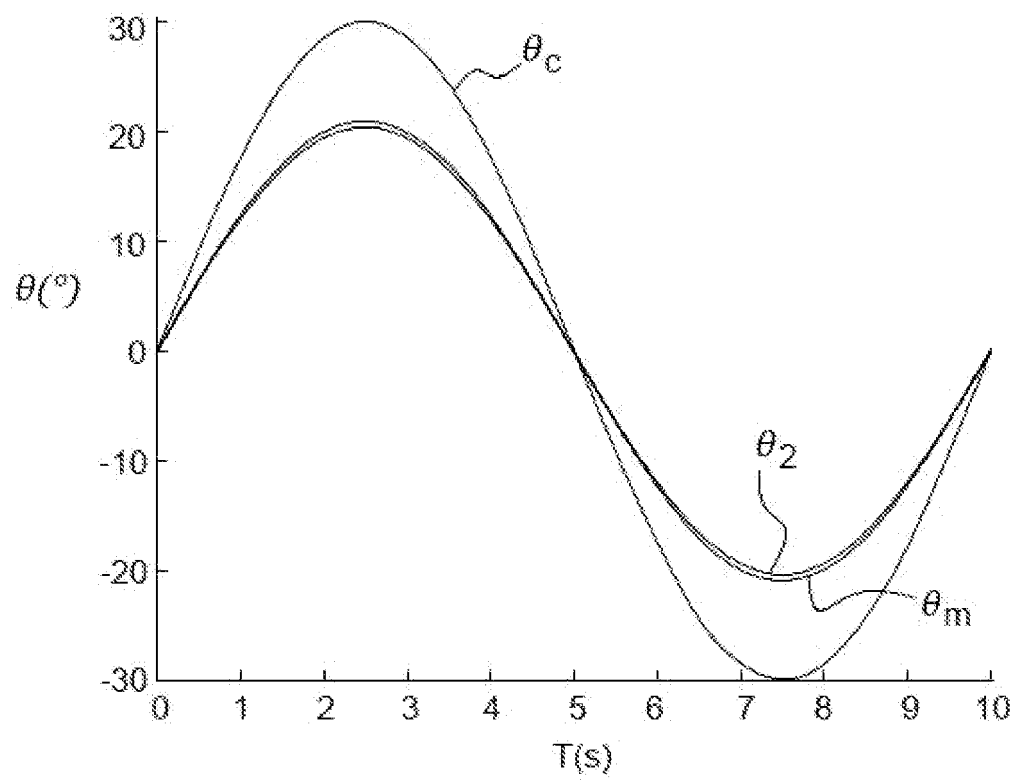
[Fig. 1]



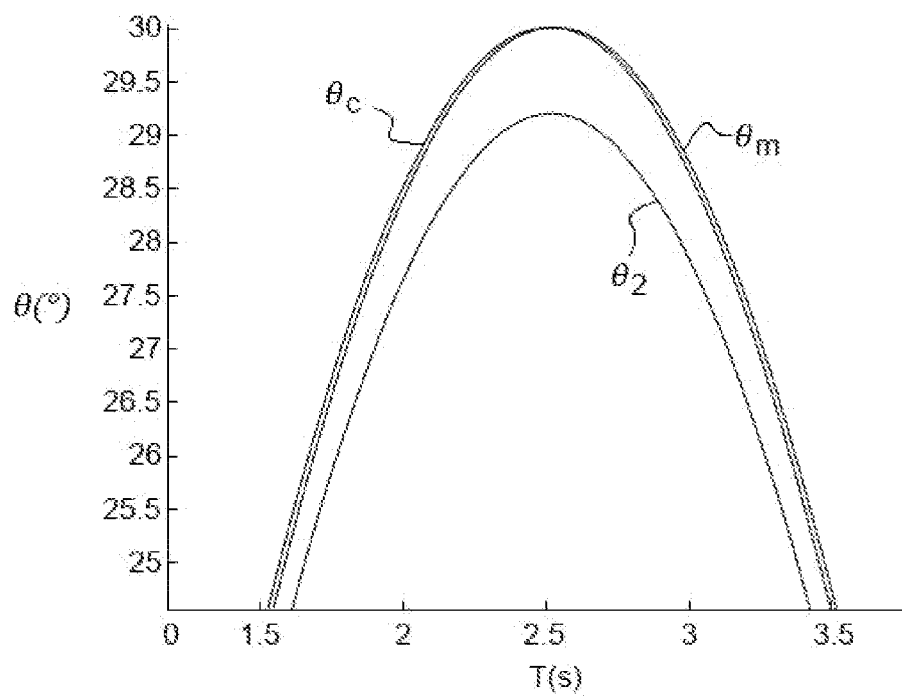
[Fig. 2]



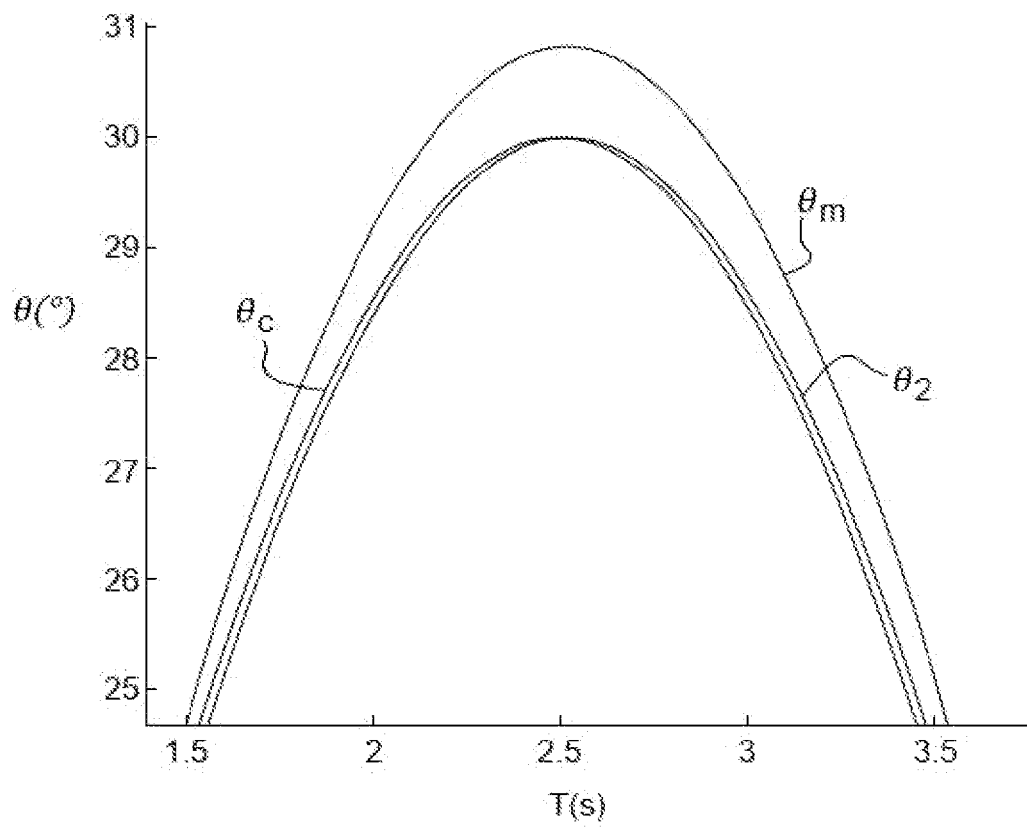
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**EP 3 572 300 A1 (JTEKT CORP [JP])
27 novembre 2019 (2019-11-27)**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT