

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 123 630**

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

②① N° d'enregistrement national : **21 05919**

⑤① Int Cl⁸ : **B 64 C 13/04** (2020.12), B 64 D 31/04, B 64 C 13/08,
B 64 C 13/50

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Système de commande de compensateur de vol pour aéronef à retour haptique.

②② Date de dépôt : 04.06.21.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.12.22 Bulletin 22/49.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 27.06.25 Bulletin 25/26.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN ELECTRONICS &
DEFENSE Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

⑦② Inventeur(s) : *LAWNICZAK Remi-Louis et BASTIDE
Christophe.*

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE
Société par actions simplifiée (SAS).*

⑦④ Mandataire(s) : *Casalonga.*

FR 3 123 630 - B1



Description

Titre de l'invention : Système de commande de compensateur de vol pour aéronef à retour haptique

- [0001] La présente invention concerne les systèmes de commande de vol pour aéronef et se rapporte plus particulièrement à la commande d'un compensateur de vol pour aéronef, notamment pour hélicoptère.
- [0002] Les compensateurs ou TRIM, ont notamment pour fonction de compenser diverses perturbations susceptibles d'avoir une influence sur les paramètres de vol de l'aéronef, sans que le pilote n'ait à agir sur les commandes de vol.
- [0003] Les actionneurs de TRIM restituent classiquement au pilote un effort résistant sur les commandes de vol sous la forme d'un retour haptique. Cet effort est généralement engendré par un ressort, un moteur électrique en court-circuit, une friction mécanique et est dès lors essentiellement passif.
- [0004] Le retour haptique appliqué aux commandes de vol par les actionneurs de TRIM est dès lors constant et correspond à un niveau de couple résistif figé à la conception.
- [0005] Il est notamment constant, quelle que soit la position de la commande de vol.
- [0006] En particulier, les actionneurs de TRIM à ressort nécessitent une architecture spécifique pour chaque commande de vol, notamment spécifique au roulis, au lacet, au tangage, ...
- [0007] Lorsque l'on souhaite modifier le retour haptique, par exemple pour proposer un effort résistif ou un amortissement, par exemple après essai d'un premier prototype sur un aéronef, il est nécessaire de reconfigurer l'ensemble de la chaîne de retour d'effort.
- [0008] Il a été proposé de remplacer les actionneurs de TRIM conventionnels par des actionneurs actifs comprenant un moteur électrique alimenté et piloté relié directement à l'arbre de sortie de l'actionneur et agissant sur les commandes de vol.
- [0009] Les actionneurs de TRIM de ce type nécessitent en premier lieu des moteurs électriques de forte capacité, qui engendrent une consommation électrique élevée et ont une masse très importante.
- [0010] L'électronique de pilotage doit également être très performante.
- [0011] Il a également été proposé d'utiliser un moteur électrique directement relié à la commande de vol et ayant une vitesse de rotation élevée et continue, et d'utiliser un actionneur comprenant un frein magnétorhéologique qui fournit un retour haptique piloté.
- [0012] Ce type d'actionneur présente également un certain nombre d'inconvénients majeurs relatifs à la consommation électrique élevée du moteur, au bruit de fonctionnement, à l'usure importante de l'actionneur et à l'utilisation d'une électronique de pilotage

complexe et dès lors onéreuse.

- [0013] Le but de l'invention est donc de pallier ces divers inconvénients et de proposer un système de commande de compensateur de vol qui soit capable de fournir un retour haptique qui soit variable.
- [0014] L'invention a donc pour objet un système de commande de compensateur de vol d'aéronef comprenant un moteur et un actionneur à friction variable couplé au moteur et à un arbre de sortie.
- [0015] L'actionneur comprend un embrayage magnétique à couple de friction variable lié à l'arbre de sortie.
- [0016] Ce système de commande comporte en outre un réducteur placé entre le moteur et l'actionneur. Grâce au réducteur, il est possible d'utiliser un moteur ayant une puissance moins élevée, notamment un couple relativement faible, et nécessitant une électronique de pilotage moins complexe.
- [0017] En outre, l'embrayage à couple de friction variable permet de modifier le retour haptique fourni au pilote, par exemple en modifiant la raideur de la commande ou en créant des butées virtuelles.
- [0018] Par exemple, l'embrayage à couple de friction variable comporte deux disques liés l'un au moteur et l'autre à l'arbre de sortie, un fluide magnétorhéologique en contact avec les disques et une source de champ magnétique agissant sur le fluide magnétorhéologique pour faire varier le couple de friction entre les disques.
- [0019] Selon une autre caractéristique, le système de commande comporte un capteur de position angulaire de l'arbre de sortie.
- [0020] Il peut en outre comprendre des moyens de détection d'un sens de l'effort appliqué à l'arbre de sortie.
- [0021] Par exemple, les moyens de détection comprennent un capteur de position relative entre deux portions d'arbre reliées avec jeu.
- [0022] Dans un mode de réalisation, le réducteur est un réducteur irréversible.
- [0023] Dans un autre mode de réalisation, le système de commande comprend en outre un frein magnétorhéologique interposé entre l'embrayage magnétique et le moteur, le réducteur étant un réducteur réversible.
- [0024] L'invention a également pour objet un hélicoptère comprenant un système de commande de compensateur tel que défini ci-dessus.
- [0025] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0026] [Fig.1] illustre schématiquement la structure générale d'un système de commande de compensateur de commande de vol conforme à l'invention ; et
- [0027] [Fig.2] illustre schématiquement la structure d'un système de commande d'un com-

pensateur de vol selon un autre mode de réalisation.

- [0028] Sur la [Fig.1], on a représenté l'architecture générale d'un système de commande de TRIM pour hélicoptère conforme à l'invention, désigné par la référence numérique générale 1.
- [0029] Ce système de commande est destiné à fournir un retour haptique au pilote qui soit modifiable sous l'effet d'une commande qui lui est appliquée, en particulier pendant le vol de la machine, et qui présente une consommation et une masse relativement faible.
- [0030] Ce système de commande comporte un motoréducteur 2 comprenant un moteur 3 associé à un capteur 4 de position du moteur pour permettre le pilotage du moteur et un réducteur 5.
- [0031] Le moteur 3 est un moteur à faible couple et à haute vitesse de rotation, par exemple de l'ordre de 5 degrés par seconde, le réducteur étant un réducteur à rapport de réduction élevée, par exemple de l'ordre de 50.
- [0032] Le système de commande 1 comporte en outre un actionneur à friction variable 6 couplé à un arbre moteur 7, en sortie du réducteur, et lié à l'arbre de sortie 8 du système de commande qui agit sur un instrument de commande de vol, tel qu'un manche ou un palonnier, par l'intermédiaire d'un volant 9.
- [0033] Par ailleurs, le système de commande comporte un premier capteur de position angulaire 10 assurant la mesure de la position angulaire de l'arbre de sortie 8 par rapport à un point fixe, constitué par exemple par le bâti du système de commande.
- [0034] En outre, dans un mode de réalisation, la ligne d'arbres de l'arbre de sortie comporte deux portions d'arbre reliées entre elles avec jeu autorisant un débattement angulaire par exemple de l'ordre de $0,1^\circ$ et avec une faible raideur d'actionnement. Tel qu'illustré, le système de commande comprend alors un deuxième capteur de position angulaire 12 assurant la mesure de la position angulaire relative entre les deux portions d'arbre dans la zone de jeu 13 pour détecter les changements de sens de l'effort appliqué par le pilote sur l'instrument de commande de vol.
- [0035] Le système de commande est complété par une carte électronique (non représentée), recevant les mesures de position angulaire délivrées par le premier capteur de position 10 et par le deuxième capteur de position 12 et recevant la mesure de position du capteur 4 de position du moteur pour piloter le moteur ainsi que l'actionneur à friction variable 6.
- [0036] L'actionneur à friction variable 6 est constitué, dans l'exemple de réalisation illustré à la [Fig.1], par un embrayage magnétique à couple de friction variable qui est interposé entre l'arbre de sortie du réducteur 5 et l'arbre de sortie du système de commande lié au volant 9. Par exemple, cet embrayage comprend deux disques 14 et 15 liés l'un à l'arbre moteur 7 et l'autre à l'arbre de sortie 8 et un fluide magnéto-rhéologique 16 emplissant localement l'espace entre les deux disques 14 et 15 de

manière à être en contact avec ces disques, une source de champ magnétique, par exemple une bobine alimentée sous le contrôle de la carte électronique, délivrant un champ magnétique agissant sur le fluide magnétorhéologique dans la zone située entre les deux disques de manière à faire varier sa viscosité et par conséquent le couple de friction entre les deux disques.

- [0037] Ainsi, en fonction de la commande qui lui est appliquée, le système de commande qui vient d'être décrit peut modifier l'effort ou l'amortissement appliqué à l'instrument de commande de vol en particulier en agissant sur la vitesse de rotation du moteur et sur le couple de friction fourni par l'embrayage, notamment selon les phases de vol de l'hélicoptère.
- [0038] Il permet également de fournir des butées virtuelles permettant d'augmenter virtuellement l'effort nécessaire pour atteindre certaines positions de l'instrument de commande selon les phases de vol, par exemple pour éviter des positions critiques susceptibles d'engendrer des dysfonctionnements.
- [0039] Ce système de commande permet également de procurer une assistance au pilotage en fournissant un effort actif permettant de repositionner l'instrument de commande en position initiale.
- [0040] En outre, l'embrayage magnétique est placé au plus près de la sortie et permet dès lors de lisser et gommer tous les effets de l'entraînement. Le système de commande profite d'un effet sécuritaire en cas de blocage du motoréducteur 2, en raison du glissement possible de l'embrayage pour redonner la main au pilote.
- [0041] Par exemple, le système de commande qui vient d'être décrit fonctionne de la façon suivante.
- [0042] En premier lieu, le système de commande peut être utilisé pour délivrer un effort variable selon une loi d'effort croissante.
- [0043] Dans ce cas, le moteur électrique tourne dans un sens opposé à celui de l'arbre de sortie 8 lié à l'instrument de commande. Il est entraîné à une faible vitesse de rotation et l'embrayage fournit un retour d'effort F selon une loi $F=f(\text{position}, \text{vitesse})$ qui croît en fonction de la position et de la vitesse de l'arbre de sortie 8.
- [0044] Ce mode de fonctionnement assure la réactivité et sécurise les équipements embarqués en cas de panne.
- [0045] Lorsque le pilote relâche l'instrument de commande, par exemple le manche, le moteur électrique, qui tournait dans le sens inverse de celui de l'arbre de sortie 8 ramène le manche en position initiale.
- [0046] Si le pilote ramène le manche à zéro à faible vitesse, c'est-à-dire à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation du moteur lors de la première phase, le deuxième capteur de position 12 détecte qu'aucun changement de sens de l'effort fourni par le pilote n'est intervenu. L'embrayage 6 fournit un retour d'effort $F=f(\text{position}, \text{vitesse})$

pour ramener le manche à faible vitesse.

[0047] Le moteur électrique ramène alors le manche à zéro.

[0048] Au contraire, si le pilote ramène le manche à zéro à haute vitesse, c'est-à-dire à une vitesse supérieure à la vitesse du moteur électrique de la première phase, le deuxième capteur de position 12 détecte le changement de sens de l'effort fourni par le pilote et le moteur électrique est accéléré jusqu'à ce que le capteur de position détecte à nouveau un changement de sens de l'effort, la vitesse de rotation du moteur, supérieure à la vitesse d'actionnement de l'instrument de commande permettant de rattraper le jeu qui existait initialement. Puis, le moteur électrique ramène le manche à zéro.

[0049] On notera qu'entre ces diverses phases, le moteur électrique est arrêté.

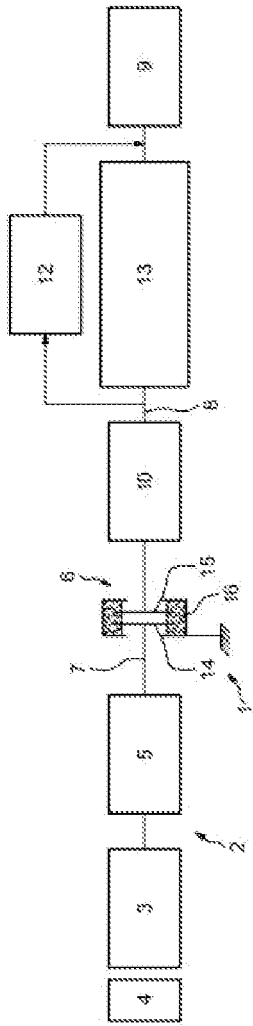
[0050] Dans le mode de réalisation décrit en référence à la [Fig.1], le réducteur 5 est un réducteur irréversible, de sorte que les efforts appliqués sur l'instrument de commande ne sont pas remontés par le réducteur vers le moteur.

[0051] Dans un autre mode de réalisation illustré sur la [Fig.2], sur lequel on reconnaît le motoréducteur 2, les premier et deuxième capteurs de position 10 et 12 et la zone de jeu 13 ainsi que le volant 9, l'actionneur à friction 6 comprend un embrayage magnétique 17, similaire à l'embrayage magnétique décrit précédemment en référence à la [Fig.1] et un frein magnétorhéologique 18 comprenant par exemple un disque en contact avec un fluide rhéologique dont la viscosité et donc l'effort de friction est modifié sous l'effet d'un champ magnétique. Dans ce cas, le réducteur n'est pas nécessairement irréversible, le couple de friction appliquée au volant 9 étant constitué par la somme des effets de la friction procurée par l'embrayage 17 et par le frein 18.

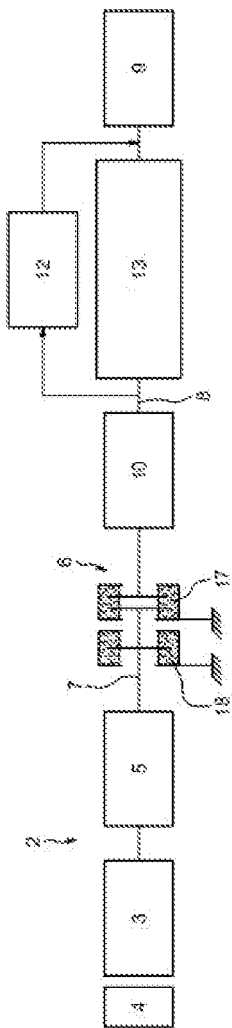
Revendications

- [Revendication 1] Système de commande de compensateur de vol d'aéronef, comprenant un moteur (3), et un actionneur (6) à friction variable couplé au moteur et à un arbre de sortie (8), caractérisé en ce que l'actionneur à friction variable comprenant un embrayage magnétique à couple de friction variable lié à l'arbre de sortie, le système de commande de compensateur de vol d'aéronef comprenant des moyens de détection d'un sens d'effort appliqué à l'arbre de sortie.
- [Revendication 2] Système de commande selon la revendication 1, comprenant un réducteur (5) placé entre le moteur (3) et l'actionneur (6).
- [Revendication 3] Système de commande selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel l'embrayage magnétique comporte deux disques (14, 15) liés l'un au moteur et l'autre à l'arbre de sortie (8), un fluide (16) magnétorhéologique en contact avec les disques et une source de champ magnétique agissant sur le fluide magnétorhéologique pour faire varier le couple de friction entre les disques.
- [Revendication 4] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant un capteur de position angulaire (10) de l'arbre de sortie (8).
- [Revendication 5] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les moyens de détection comprennent un capteur (12) de position relative entre deux portions de l'arbre de sortie reliées avec jeu.
- [Revendication 6] Système selon l'une quelconque des revendication 1 à 5 dans lequel le réducteur est un réducteur irréversible.
- [Revendication 7] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre un frein magnétorhéologique (18) interposé entre l'embrayage magnétique et le moteur, le réducteur étant un réducteur réversible.
- [Revendication 8] Hélicoptère comprenant un système de commande de compensateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



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**

US 7 044 024 B1 (YOUNKIN JAMES R [US])
16 mai 2006 (2006-05-16)

US 2016/221674 A1 (LATHAM GEOFFREY C [US]
ET AL) 4 août 2016 (2016-08-04)

US 2 736 518 A (DEGENFELDER WALTER B)
28 février 1956 (1956-02-28)

GB 763 506 A (BENDIX AVIAT CORP)
12 décembre 1956 (1956-12-12)

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

NEANT

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

NEANT