



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN  
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(22) Date de dépôt/Filing Date: 2017/12/12

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2019/06/12

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B64C 13/00* (2006.01),  
*B64C 13/08* (2006.01), *B64C 13/50* (2006.01)

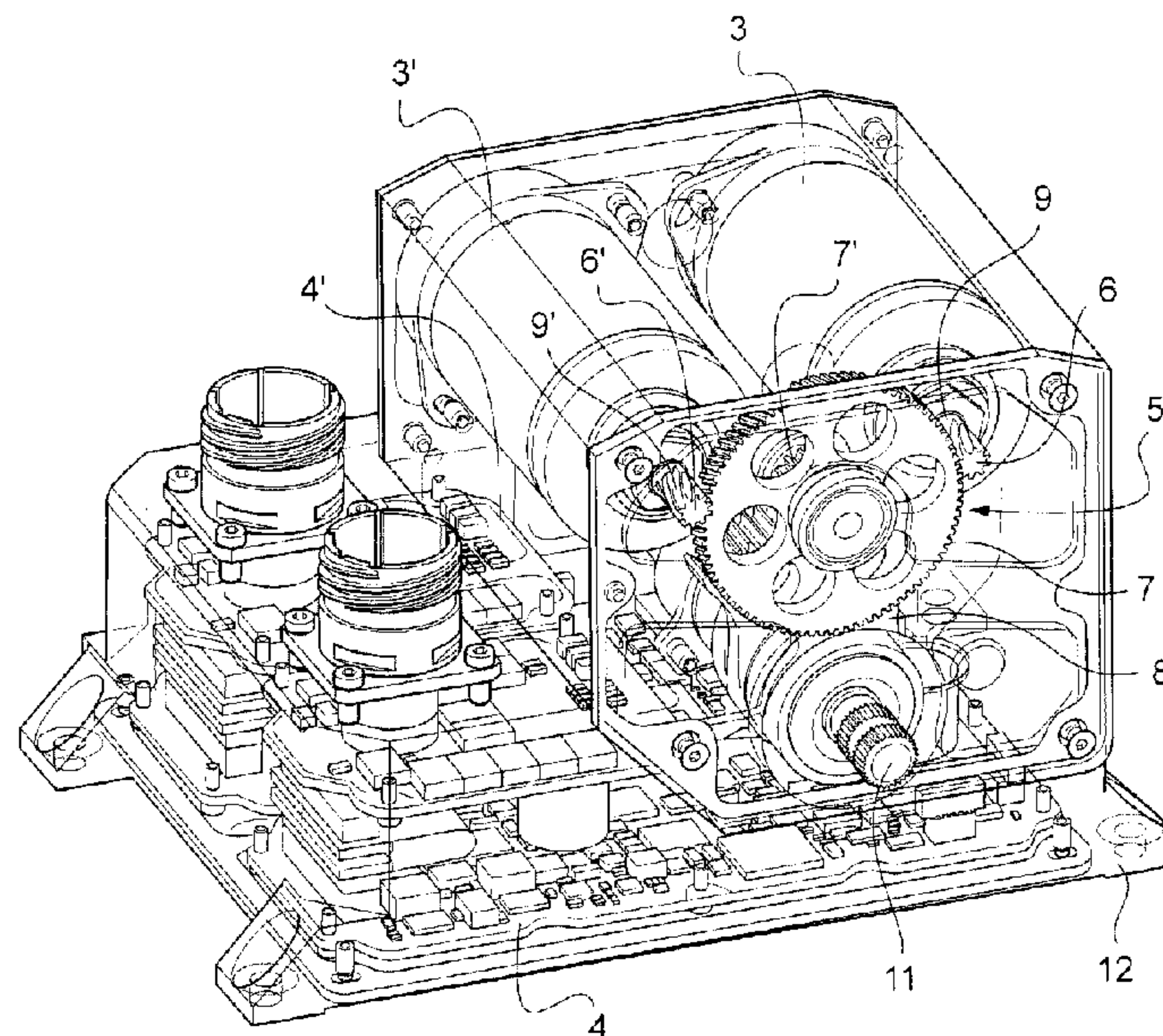
(71) Demandeur/Applicant:  
AIRBUS HELICOPTERS, FR

(72) Inventeurs/Inventors:  
HONNORAT, OLIVIER, FR;  
NEVERS, ROMAIN, FR;  
KOVEL, ROMAIN, FR

(74) Agent: FASKEN MARTINEAU DUMOULIN LLP

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN AERONEF, AERONEF CORRESPONDANT ET METHODE DE PILOTAGE D'UN AERONEF

(54) Title: CONTROL ELEMENT FOR AN AIRCRAFT, CORRESPONDING AIRCRAFT AND PILOTING METHOD FOR AN AIRCRAFT



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne un dispositif de commande (10) d'un aéronef (1), ce dispositif de commande (10) comportant au moins un "vérin de trim" (2) motorisé à ancrage de type actif, le vérin de trim (2) comportant au moins un moteur électrique, au moins un circuit électronique de puissance pour alimenter en énergie électrique le (ou les) moteur(s) électrique(s) (3, 3') et des moyens de réduction de vitesse permettant d'entraîner en rotation un arbre de sortie du vérin de trim (2). Ce dispositif de commande (10) met en oeuvre trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, ces trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique, une boucle d'asservissement en vitesse et une boucle d'asservissement en effort.

«Dispositif de commande d'un aéronef, aéronef correspondant et  
méthode de pilotage d'un aéronef»

ABREGÉ DESCRIPTIF

La présente invention concerne un dispositif de commande (10) d'un aéronef (1), ce dispositif de commande (10) comportant au moins un "vérin de trim" (2) motorisé à ancrage de type actif, le vérin de trim (2) comportant au moins un moteur électrique, au moins un circuit électronique de puissance pour alimenter en énergie électrique le (ou les) moteur(s) électrique(s) (3, 3') et des moyens de réduction de vitesse permettant d'entraîner en rotation un arbre de sortie du vérin de trim (2). Ce dispositif de commande (10) met en œuvre trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, ces trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique, une boucle d'asservissement en vitesse et une boucle d'asservissement en effort.

Dispositif de commande d'un aéronef, aéronef correspondant et  
méthode de pilotage d'un aéronef

La présente invention concerne un dispositif de commande d'un aéronef, un tel aéronef équipé d'un dispositif de commande de ce type et une méthode de pilotage correspondante permettant à un pilote de réaliser un pilotage d'un aéronef tel que par exemple un avion ou un giravion.

L'invention vise plus particulièrement un dispositif de commande dans lequel un "vérin de trim" est placé en parallèle d'une chaîne principale de commande permettant de commander des moyens aérodynamiques d'un aéronef. Ce vérin de trim constitue notamment un système d'assistance au pilotage en facilitant le maintien d'un organe de commande dans une position déterminée.

En effet, un tel aéronef comporte également au moins un organe de commande destiné à être manœuvré par au moins un pilote et permettant de réaliser un déplacement des moyens aérodynamiques.

Ainsi, pour la suite de la présente demande, on entend désigner par organe de commande tout dispositif de commande apte à être manœuvré par un pilote ou automatiquement que ce soit dans un cockpit de pilotage ou à l'extérieur de l'aéronef lorsque celui-ci n'embarque pas de pilote. De tels organes de commande peuvent ainsi se présenter sous diverses formes et notamment, d'une part, celle d'un levier, d'un manche ou d'un "mini-manche", également désigné en langue anglaise par le terme de "joystick", ou encore d'autre part, celle d'un palonnier.

Ces organes de commande permettent alors de déplacer des moyens aérodynamiques par rapport à un flux d'air incident relativement à un fuselage de l'aéronef. De tels moyens aérodynamiques peuvent alors, dans le cas d'un avion, consister soit  
5 par exemple en des volets, des ailerons ou des spoilers d'aile, soit par exemple en une gouverne de direction d'une dérive ou d'une gouverne de profondeur.

Dans le cas d'un giravion, de tels moyens aérodynamiques peuvent cependant correspondre par exemple à un angle de pas  
10 collectif ou cyclique des pales d'un rotor principal et à un angle de pas collectif des pales notamment d'un rotor arrière, par exemple.

Par ailleurs, un aéronef comporte généralement une pluralité de vérins de trim pour permettre de commander plusieurs moyens aérodynamiques. Ces vérins de trim peuvent alors être du type  
15 "motorisés à ancrage" pour permettre de générer un effort résistant dans un organe de commande de l'aéronef à partir d'un couple résistant généré par au moins un moteur électrique du vérin de trim. De plus, de tels vérins de trim peuvent également être de type actif : dans ce cas le gradient d'effort du couple résistant généré par le ou  
20 les moteurs électriques peut varier avec une position "d'ancrage" du vérin de trim.

Par ailleurs, pour réaliser une commande d'un tel vérin de trim, il est nécessaire d'asservir une consigne de commande du ou des moteurs électriques de manière à garantir un fonctionnement optimal  
25 des différents organes.

Pour ce faire, et tel que notamment décrit par les documents FR 2 718 102, FR 2 989 353, US2016 / 0221674, US 8 942 866, US2005 / 0080495 et US 7 108 232, il a alors été développé des dispositifs de

commande comportant notamment une boucle d'asservissement dite "en effort" du (ou des) moteur(s) électrique(s) du vérin de trim. De telles boucles d'asservissement sont dans ce cas réalisées au moyen de capteurs d'effort mesurant un effort exercé sur une chaîne cinématique de l'organe de commande. De cette manière, il est alors possible d'adapter la consigne de commande du moteur électrique en fonction de la mesure de l'effort exercé sur la chaîne cinématique de l'organe de commande. La boucle d'asservissement en effort est alors généralement combinée avec une boucle d'asservissement en courant électrique pour générer la consigne de commande du (ou des) moteur(s) électrique(s) du vérin de trim.

Cependant, de tels dispositifs de commande ne permettent pas de réaliser un ancrage dynamique d'un vérin série agencé en série sur la chaîne principale de commande permettant de commander les moyens aérodynamiques de l'aéronef. En effet, une variation de position d'un organe de commande induit automatiquement une variation de sa vitesse de déplacement et donc de la vitesse d'un arbre de sortie ou d'un levier de sortie du vérin de trim. Cette variation de vitesse n'est donc pas prise en compte par ces dispositifs de commande ce qui peut se révéler problématique en générant des secousses dans l'organe de commande.

En outre, l'asservissement du (ou des) moteur(s) de vérin de trim de ce type de dispositif de commande est alors peu robuste ou à tout le moins n'est pas optimum.

La présente invention a alors pour objet de proposer un dispositif de commande permettant de s'affranchir des limitations mentionnées ci-dessus via un asservissement plus robuste du (ou des) moteur(s) de vérin de trim. Ce dispositif de commande permet en

outre d'ancrer dynamiquement des vérins série en prenant en compte les variations de vitesse de déplacement des organes de commande de l'aéronef.

L'invention concerne donc un dispositif de commande d'un aéronef, un tel dispositif de commande comportant au moins un "vérin de trim" motorisé à ancrage de type actif, ce vérin de trim comportant au moins un moteur électrique, au moins un circuit électronique de puissance pour alimenter en énergie électrique le (ou les) moteur(s) électrique(s) et des moyens de réduction de vitesse pour réduire la vitesse de rotation d'un axe de rotation d'un moteur électrique. En outre, de tels moyens de réduction de vitesse permettent d'entraîner en rotation un arbre de sortie du vérin de trim à une vitesse de rotation de sortie inférieure à une vitesse de rotation d'entrée de l'axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s).

Ce dispositif de commande est remarquable en ce qu'il met en œuvre trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, ces trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique, une boucle d'asservissement en vitesse et une boucle d'asservissement en effort.

La boucle d'asservissement en courant électrique comporte alors au moins une sonde de courant électrique agencée en entrée du (ou des) moteur(s) électrique(s) pour mesurer une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par le (ou les) circuit(s) électronique(s) de puissance. Une telle boucle d'asservissement en courant électrique comporte également au moins un premier capteur de position agencé sur l'axe de rotation du (ou

des) moteur(s) électrique(s) pour mesurer une position angulaire de l'axe de rotation par rapport à un châssis fixe du vérin de trim.

La boucle d'asservissement en vitesse comporte quant à elle au moins un second capteur de position agencé sur l'arbre de sortie du vérin de trim pour mesurer une position angulaire de cet arbre de sortie par rapport au châssis fixe du vérin de trim. Une telle boucle d'asservissement en vitesse comporte également une branche de sortie connectée à une entrée de la boucle d'asservissement en courant électrique.

Enfin, la boucle d'asservissement en effort comporte au moins un capteur d'effort agencé au niveau d'au moins un organe de commande de vol pour mesurer un effort extérieur exercé sur le (ou les) organe(s) de commande de vol. De plus, la boucle d'asservissement en effort comporte également une ligne de sortie connectée à une entrée de la boucle d'asservissement en vitesse.

Autrement dit, le second capteur de position permet de mesurer la vitesse de variation de la position du (ou des) organe(s) de commande. La boucle d'asservissement en vitesse peut alors permettre de générer, via un comparateur/soustracteur, un ordre inverse à celui généré par la boucle d'asservissement en courant électrique.

Une telle boucle d'asservissement en vitesse et son imbrication avec la boucle d'asservissement en courant électrique et la boucle d'asservissement en effort permet alors de réaliser l'ancrage dynamique du (ou des) vérin(s) série de l'aéronef.

Par ailleurs, la boucle d'asservissement en vitesse permet également de réaliser un pilotage de la vitesse de déplacement du

point d'ancrage via un dispositif de pilote automatique de l'aéronef. En effet, la boucle d'asservissement en vitesse permet alors de réaliser un pilotage "fluide" de la consigne générant une position d'ancrage, également désignée par l'expression de "position d'effort nul" sur le (ou les) organe(s) de commande de vol.

La boucle d'asservissement en vitesse permet ainsi d'éviter des oscillations en rotation de l'arbre de sortie du vérin de trim par rapport à son châssis fixe ce qui provoquerait des secousses ou des à-coups dans le (ou les) organe(s) de commande de vol. En effet, une boucle d'asservissement en vitesse permet alors de prendre en considération les jeux internes des moyens de réduction de vitesse du vérin de trim et/ou les jeux internes de la chaîne principale de commande permettant de commander des moyens aérodynamiques d'un aéronef. En effet, de tels jeux ne doivent pas être perçus par le pilote lors de la manipulation du (ou des) organe(s) de commande de vol.

Avantageusement, le (ou les) moteur(s) électrique(s) peu(ven)t être de type triphasé et la boucle d'asservissement en courant électrique peut comporter trois sondes de courant électrique mesurant respectivement chacune une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par le (ou les) circuit(s) électronique(s) de puissance.

En d'autres termes, sur chacune des trois phases du (ou des) moteur(s), une sonde de courant électrique mesure les variations de l'intensité du signal. Le (ou les) moteur(s) électrique(s) peu(ven)t notamment être de type "Brushless".

En pratique, le dispositif de commande peut comporter au moins un calculateur permettant de mettre en œuvre une méthode de

commande vectorielle du (ou des) moteur(s) électrique(s) triphasé(s), une telle méthode de commande vectorielle permettant de fournir deux composantes orthogonales : une première composante représentative d'un réglage d'un flux magnétique du (ou des) moteur(s) électrique(s) et une seconde composante représentative d'un réglage d'un couple moteur du (ou des) moteur(s) électrique(s).

De cette manière, le (ou les) moteur(s) électrique(s) peu(ven)t être asservis en évitant de générer des ondulations de couple causées par la commande du circuit électronique associé. En effet, chaque phase doit normalement être pilotée suivant une commande sinus, et synchronisée avec un déphasage de 120 degrés par rapport aux deux autres phases. Ce pilotage nécessite une bande passante élevée impliquant une électronique de pointe ayant une puissance de calcul très importante.

Une telle électronique n'est cependant pas envisageable pour un système embarqué très compact destiné à être agencé dans un aéronef. La méthode de commande vectorielle permet alors de réaliser un autre mode de pilotage du courant électrique dans chaque phase du (ou des) moteur(s) électrique(s).

En effet, avant d'implémenter une valeur d'état dans un régulateur, on transforme, via des transformations trigonométriques, le système triphasé à trois courants électriques en un système biphasé à deux courants électriques en fonction de la position du rotor de chaque moteur électrique. Ainsi, on génère un système fictif de courants électriques dans un plan complexe avec un courant électrique réel  $I_d$  et un courant électrique imaginaire  $I_q$ . Le courant électrique réel  $I_d$  étant maintenu à la valeur 0, on pilote alors une seule valeur du courant électrique imaginaire  $I_q$ .

De cette manière, on obtient un déphasage des phases qui est constant. Le système triphasé est donc simplifié et est ramené à un système monophasé avec une seule valeur d'état  $I_q$  à commander. Dès lors, asservir une seule valeur de courant électrique imaginaire  $I_q$  devient très facile. Une fois ce courant électrique imaginaire asservi, par exemple au moyen d'un soustracteur et d'un régulateur proportionnel intégrateur, les transformées trigonométriques inverses sont calculées, pour en déduire les trois courants électriques de pilotage à appliquer aux bornes du (ou des) moteur(s) électrique(s).

10 Selon un exemple de réalisation de l'invention, la boucle d'asservissement en vitesse peut comporter un circuit de calcul permettant de déterminer, à partir d'un premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie du vérin de trim, un second signal représentatif d'une vitesse de rotation de cet arbre de sortie.

15 Ainsi, le signal dérivé peut alors être filtré pour éliminer des oscillations et du bruit numérique dû à la dérivation. Un tel filtre peut notamment être un filtre dit à moyenne glissante permettant par exemple d'éliminer les fréquences supérieures à 80Hz. Selon un exemple de réalisation, la bande passante de la boucle  
20 d'asservissement en vitesse peut alors être de 50Hz - 80Hz.

Enfin, selon la stratégie de sécurité et de bridage des performances du vérin de trim, un dispositif de type "limiter" peut être utilisé afin de limiter à une valeur maximale la consigne de vitesse en sortie de la boucle d'asservissement en vitesse.

25 Avantageusement, la boucle d'asservissement en courant électrique peut comporter au moins un premier filtre permettant d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la

position angulaire de l'axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s).

En effet, les mesures de courant électrique données par les sondes de courant électrique peuvent être perturbées par des champs électromagnétiques parasites. Les signaux sont donc filtrés à environ 2 kHz, de manière à supprimer des perturbations telles que celles provenant du circuit électronique de puissance permettant d'alimenter en énergie électrique le (ou les) moteur(s). Une fréquence de hachage du (ou des) premier(s) filtre(s) est alors comprise entre 10 kHz et 20 kHz.

Par suite, la bande passante de la boucle d'asservissement en courant électrique est réglée à 500 Hz - 1 kHz.

De même, la boucle d'asservissement en vitesse peut comporter au moins un second filtre permettant d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie du vérin de trim.

En d'autres termes, avant d'être dérivé, le signal issu du second capteur de position agencé sur l'arbre de sortie peut être filtré une première fois entre 500 Hz et 1 kHz pour éliminer les bruits électromagnétiques, en particulier la fréquence de commutation d'un pont de puissance qui est généralement comprise entre 10 kHz et 20 kHz, puis une seconde fois entre 100 Hz et 150 Hz pour limiter et adapter la bande passante de la boucle d'asservissement en vitesse.

Selon un exemple de réalisation de l'invention, le (ou les) capteur(s) d'effort peu(ven)t être agencé(s) mécaniquement en série par rapport au(x) organe(s) de commande de vol.

De tels capteurs peuvent ainsi permettent d'effectuer respectivement chacun des mesures simultanées et redondantes de l'effort transmis au(x) organe(s) de commande de vol.

Avantageusement, la boucle d'asservissement en effort peut  
5 comporter une mémoire permettant de stocker au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer au(x) organe(s) de commande de vol en fonction d'une donnée de position transmise par le (ou les) second(s) capteur(s) de position de la boucle  
d'asservissement en vitesse.

10 Ainsi, le second capteur de position donne une position angulaire de l'arbre de sortie par rapport au châssis fixe du vérin de trim. A cette position angulaire correspond un effort théorique à obtenir au niveau du (ou des) organe(s) de commande. Cet effort théorique est alors donné par la table de valeurs d'efforts  
15 prédéterminés préenregistrée dans la mémoire.

Cette table définit donc la loi d'effort théorique à obtenir. On compare ensuite cet effort théorique à l'effort mesuré par le capteur d'effort, puis on asservit via par exemple un régulateur proportionnel intégrateur la différence entre l'effort théorique et l'effort mesuré. La  
20 valeur de sortie permet alors de piloter en entrée la boucle d'asservissement en vitesse.

Comme déjà évoqué, l'invention concerne également un aéronef remarquable en ce qu'il comporte un dispositif de commande tel que précédemment décrit.

25 Enfin, la présente invention a aussi pour objet la méthode de pilotage d'un aéronef comportant au moins un "vérin de trim" motorisé à ancrage de type actif, ce vérin de trim comportant au moins un

moteur électrique, au moins un circuit électronique de puissance pour alimenter en énergie électrique le (ou les) moteur(s) électrique(s) et des moyens de réduction de vitesse pour réduire la vitesse de rotation d'un axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s), les  
 5 moyens de réduction de vitesse permettant d'entraîner en rotation un arbre de sortie du vérin de trim à une vitesse de rotation de sortie inférieure à une vitesse de rotation d'entrée de l'axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s).

Une telle méthode de pilotage est alors remarquable en ce  
 10 qu'elle comporte trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, ces trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique, une boucle d'asservissement en vitesse et une boucle d'asservissement en effort, et en ce que :

15 dans la boucle d'asservissement en courant électrique :

- en entrée du (ou des) moteur(s) électrique(s), on mesure, via au moins une sonde de courant électrique, une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par le (ou les) circuit(s) électronique(s) de puissance, et
- 20 • sur l'axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s), on mesure, via au moins un premier capteur de position, une position angulaire de l'axe de rotation par rapport à un châssis fixe du vérin de trim,

dans la boucle d'asservissement en vitesse :

- 25 • sur l'arbre de sortie, on mesure, via au moins un second capteur de position, une position angulaire de l'arbre de sortie par rapport au châssis fixe du vérin de trim, et

- on connecte une branche de sortie avec une entrée de la boucle d'asservissement en courant électrique,

dans la boucle d'asservissement en effort :

- au niveau d'au moins un organe de commande de vol, on mesure, via au moins un capteur d'effort, un effort extérieur exercé sur le (ou les) organe(s) de commande de vol, et
- on connecte une ligne de sortie avec une entrée de la boucle d'asservissement en vitesse.

Une telle méthode de pilotage permet alors notamment de réaliser l'ancrage dynamique du (ou des) vérin(s) série de l'aéronef.

Par ailleurs, le (ou les) moteur(s) électrique(s) étant de type triphasé, la boucle d'asservissement en courant électrique peut comporter une étape de mesure, via trois sondes de courant électrique, de trois valeurs d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par le (ou les) circuit(s) électronique(s) de puissance.

En pratique, on peut mettre en œuvre, via au moins un calculateur, une étape de commande vectorielle du (ou des) moteur(s) électrique(s) triphasé(s), une telle étape de commande vectorielle permettant de fournir deux composantes orthogonales : une première composante représentative d'un réglage d'un flux magnétique du (ou des) moteur(s) électrique(s) et une seconde composante représentative d'un réglage d'un couple moteur du (ou des) moteur(s) électrique(s).

Avantageusement, la boucle d'asservissement en vitesse peut comporter une étape de calcul permettant de déterminer, via un

circuit de calcul utilisant en entrée un premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie du vérin de trim, un second signal dérivé représentatif d'une vitesse de rotation de l'arbre de sortie.

5           En pratique, la boucle d'asservissement en courant électrique peut comporter une première étape de filtration permettant, via au moins un premier filtre, d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la position angulaire de l'axe de rotation du (ou des) moteur(s) électrique(s).

10           De même par analogie, la boucle d'asservissement en vitesse peut comporter une seconde étape de filtration permettant, via au moins un second filtre, d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie du vérin de trim.

15           Enfin selon un exemple de réalisation, la boucle d'asservissement en effort peut comporter une étape de stockage permettant de mémoriser au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer au(x) organe(s) de commande de vol en fonction d'une donnée de position transmise par le (ou les) second(s)  
20   capteur(s) de position de la boucle d'asservissement en vitesse.

L'invention et ses avantages apparaîtront avec plus de détails dans le cadre de la description qui suit avec des exemples donnés à titre illustratif en référence aux figures annexées qui représentent :

25           - la figure 1, une vue schématique de coté d'un aéronef conforme à l'invention,

- la figure 2, une vue en perspective d'un vérin de trim équipant un aéronef, conformément à l'invention,
- la figure 3, un schéma de principe du dispositif de commande et de la méthode de pilotage, conformément à l'invention, et
- 5 - la figure 4, un schéma de principe de la méthode de pilotage conforme à l'invention.

Les éléments présents dans plusieurs figures distinctes sont affectés d'une seule et même référence.

Comme déjà évoqué l'invention se rapporte à un aéronef 1, tel  
10 que par exemple représenté à la figure 1 sous la forme d'un giravion.

Un tel aéronef 1 est alors équipé d'au moins un vérin de trim 2 motorisé à ancrage de type actif. Un tel vérin de trim 2 permet alors notamment de commander une position d'ancrage d'un organe de commande de vol 13 représenté par exemple sous la forme d'un  
15 manche de pas cyclique pour commander cycliquement le pas des pales d'un rotor, d'un levier de pas collectif pour commander collectivement le pas des dites pales ou d'un palonnier. En outre, un tel aéronef 1 comporte également un dispositif de commande 10 pour permettre de réaliser l'asservissement de la consigne de commande  
20 d'au moins un moteur électrique du vérin de trim 2.

Par ailleurs, cet asservissement de la consigne de commande du moteur électrique du vérin de trim 2 permet de réaliser un ancrage dynamique d'au moins un vérin "série" 15. Ce (ou ces) vérin(s) série 15 est (sont) agencé(s) en série par rapport à une chaîne principale  
25 16 de commande permettant de commander des moyens aérodynamiques 17 de l'aéronef 1. Tels que représentés dans le cas

d'un giravion, ces moyens aérodynamiques 17 peuvent être formés par des pales d'un rotor dont on peut modifier un pas cyclique ou collectif pour piloter cet aéronef 1.

Tel que représenté à la figure 2, un tel vérin de trim 2 peut  
5 comporter deux moteurs électriques 3 ,3' comportant respectivement chacun un axe de rotation 9, 9', des moyens de réduction de vitesse 5 et un arbre de sortie 11 mobile en rotation par rapport à un châssis 12 du vérin de trim 2.

De tels moteurs électriques 3, 3' sont alors alimentés en  
10 énergie électrique respectivement chacun par un circuit électronique de puissance 4, 4'. Ces deux circuits électroniques de puissance 4, 4' sont alors montés sur le châssis 12 du vérin de trim 2 et permettent notamment une redondance de la commande du mouvement de rotation de l'arbre de sortie 11 du vérin de trim 2.

15 Par ailleurs, les moyens de réduction de vitesse 5 permettent de réduire la vitesse de rotation des deux moteurs électrique 3, 3' pour que la vitesse de rotation de l'arbre de sortie 11 soit inférieure à la vitesse de rotation des deux moteurs électriques 3, 3'.

De tels moyens de réduction de vitesse 5 peuvent ainsi par  
20 exemple comporter un train de pignons dentés 6, 6', 7, 7' et une pièce partiellement dentée 8 solidarisée sans degré de liberté avec l'arbre de sortie 11

Par suite, et tel que représenté à la figure 3, le dispositif de  
commande 10 met en œuvre trois boucles d'asservissement distinctes  
25 et imbriquées les unes dans les autres. Ces trois boucles d'asservissement d'une méthode de pilotage 50 sont ainsi formées par une boucle d'asservissement en courant électrique 20, une boucle

d'asservissement en vitesse 30 et une boucle d'asservissement en effort 40.

Une telle boucle d'asservissement en courant électrique 20 peut comporter par exemple trois sondes de courant électrique 21, 21', 21" agencées en entrée de chacune des phases d'un moteur électrique 3, 3' de type triphasé. Ces trois sondes de courant électrique 21, 21', 21" permettent alors de mesurer une valeur d'un courant électrique d'alimentation triphasé en énergie électrique fourni par l'un des circuits électronique de puissance 4, 4'.

De plus, la boucle d'asservissement en courant électrique 20 comporte également un premier capteur de position 22 agencé sur l'axe de rotation 9, 9' du moteur électrique 3, 3'. Un tel premier capteur de position 22 permet ainsi de mesurer une position angulaire de l'axe de rotation 9, 9' par rapport au châssis fixe 12 du vérin de trim 2.

Par ailleurs, le dispositif de commande 10 peut comporter un calculateur 14 permettant de mettre en œuvre une méthode de commande vectorielle du moteur électrique 3, 3' triphasé. Cette méthode de commande vectorielle permet alors de fournir deux composantes orthogonales : une première composante représentative d'un réglage d'un flux magnétique du moteur électrique 3, 3' et une seconde composante représentative d'un réglage d'un couple moteur du moteur électrique 3, 3'.

Dans ce cas, la méthode de pilotage 50 comporte alors une étape de mesure 51 des trois valeurs du courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par le circuit électronique de puissance 4, 4' au moteur électrique 3, 3' et une étape de commande vectorielle 52.

Au surplus, la boucle d'asservissement en courant électrique 20 peut également comporter deux premiers filtres 25, 25' permettant d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la position angulaire de l'axe de rotation 9, 9' du moteur électrique 3, 3'.

5 Dans ce cas, la méthode de pilotage 50 comporte aussi une première étape de filtration 54 permettant, via les deux premiers filtres 25, 25', d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de la position angulaire de l'axe de rotation 9, 9' du  
10 moteur électrique 3, 3'. Par exemple, la boucle d'asservissement en courant électrique 20 peut comporter un premier filtre 25 de type analogique agencé en série en amont d'un premier filtre 25' de type numérique.

En outre, la boucle d'asservissement en vitesse 30 comporte quant à elle un second capteur de position 31 agencé sur l'arbre de  
15 sortie 11 de manière à mesurer la position angulaire de l'arbre de sortie 11 par rapport au châssis fixe 12 du vérin de trim 2.

Telle que représentée, la boucle d'asservissement en vitesse 30 peut alors comporter deux seconds filtres 35, 35' permettant d'éliminer des fréquences parasites du signal représentatif de la  
20 position angulaire de l'arbre de sortie 11 fourni par le second capteur de position 31.

Dans ce cas, la méthode de pilotage 50 comporte aussi une seconde étape de filtration 55 permettant, via les deux seconds filtres 35, 35', d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif  
25 de la position angulaire de l'arbre de sortie 11. Par exemple, la boucle d'asservissement en vitesse 30 peut comporter un second filtre 35 de type analogique agencé en série en amont d'un second filtre 35' de type numérique.

Par ailleurs, la boucle d'asservissement en vitesse 30 peut comporter également une branche de sortie 36 connectée à une entrée 44 de la boucle d'asservissement en effort 40.

En outre, la boucle d'asservissement en vitesse 30 peut  
5 comporter un circuit de calcul 34 permettant de déterminer, à partir d'un premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie 11, un second signal représentatif d'une vitesse de rotation de l'arbre de sortie 11.

Dans ce cas, la méthode de pilotage 50 comporte alors une  
10 étape de calcul 53 utilisant en entrée le premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie 11.

Selon un exemple de réalisation particulier, un tel circuit de calcul 34 peut être un circuit dérivateur permettant de dériver le premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de  
15 sortie 11. Par analogie, l'étape de calcul 53 peut alors dans ce cas correspondre à une étape de dérivation du premier signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de sortie 11.

La boucle d'asservissement en vitesse 30 peut également comporter un troisième filtre 35" de type numérique pour supprimer  
20 d'éventuelles fréquences parasites d'un signal représentatif de la vitesse de rotation de l'arbre de sortie 11 du vérin de trim 2 par rapport au châssis fixe 12 de ce vérin de trim 2.

Enfin, la boucle d'asservissement en vitesse 30 comporte également une branche de sortie 32 connectée à une entrée 23 de la  
25 boucle d'asservissement en courant électrique 20 pour permettre de réguler continument le moteur électrique 3 en vitesse. Une telle boucle d'asservissement en vitesse 30 permet alors à la fois d'ancrer

dynamiquement les vérins série 15 de l'aéronef 1 et de piloter en vitesse la valeur d'un point d'ancrage fourni par un dispositif de type pilote automatique.

5 Par ailleurs, la boucle d'asservissement en effort 40 comporte quant à elle un capteur d'effort 41 agencé au niveau de l'organe de commande de vol 13 et permet de mesurer un effort extérieur exercé sur cet organe de commande de vol 13.

10 En pratique la boucle d'asservissement en effort 40 peut comporter une mémoire 43 permettant de mettre en œuvre une étape de stockage 56 d'au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer à l'organe de commande de vol 13. La donnée d'effort théorique est alors déterminée en fonction d'une donnée de position de l'arbre de sortie 11 transmise par le second capteur de position 31 via la branche de sortie 36 connectée à  
15 l'entrée 44 de la boucle d'asservissement en effort 40.

Enfin, la boucle d'asservissement en effort 40 comporte une ligne de sortie 42 connectée à une entrée 33 de la boucle d'asservissement en vitesse 30 pour permettre de piloter la boucle d'asservissement en vitesse 30.

20 Telle que représentée de manière épurée à la figure 4, la méthode de pilotage 50 comporte trois boucles d'asservissement formées par une boucle d'asservissement en courant électrique 20, une boucle d'asservissement en vitesse 30 et une boucle d'asservissement en effort 40.

25 La boucle d'asservissement en courant électrique 20 comporte alors notamment l'étape de mesure 51 pour mesurer le courant

électrique d'alimentation en énergie électrique par le circuit électronique de puissance 4, 4' au moteur électrique 3, 3'.

La boucle d'asservissement en courant électrique 20 comporte aussi l'étape de commande vectorielle 52 telle que précédemment  
5 décrite et la première étape de filtration 54 du signal issu de la position angulaire de l'axe de rotation 9, 9' du moteur électrique 3, 3'.

La boucle d'asservissement en vitesse 30 comporte quant à elle, d'une part, la boucle d'asservissement en courant électrique 20, et d'autre part, l'étape de dérivation 53 pour dériver le signal issu de  
10 la position angulaire de l'axe de rotation 9, 9' du moteur électrique 3, 3' et la seconde étape de filtration 55 pour filtrer le signal issu de la position angulaire de l'arbre de sortie 11 du vérin de trim 2 par rapport au châssis fixe 12 de ce vérin de trim 2.

Enfin, la boucle d'asservissement en effort 40 comporte quant à  
15 elle, d'une part, la boucle d'asservissement en vitesse 30, et d'autre part, l'étape de stockage 56 d'au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer à l'organe de commande de vol 13.

Naturellement, la présente invention est sujette à de nombreuses variations quant à sa mise en œuvre. Bien que plusieurs  
20 modes de réalisation aient été décrits, on comprend bien qu'il n'est pas concevable d'identifier de manière exhaustive tous les modes possibles. Il est bien sûr envisageable de remplacer un moyen décrit par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de commande (10) d'un aéronef (1), ledit dispositif de commande (10) comportant au moins un "vérin de trim" (2) motorisé à ancrage de type actif, ledit vérin de trim (2) comportant au moins un moteur électrique (3, 3'), au moins un circuit électronique de puissance (4, 4') pour alimenter en énergie électrique ledit au moins un moteur électrique (3, 3') et des moyens de réduction de vitesse (5) pour réduire la vitesse de rotation d'un axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3'), lesdits moyens de réduction de vitesse (5) permettant d'entraîner en rotation un arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2) à une vitesse de rotation de sortie inférieure à une vitesse de rotation d'entrée dudit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3'),

caractérisé en ce que ledit dispositif de commande (10) met en œuvre trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, lesdites trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique (20), une boucle d'asservissement en vitesse (30) et une boucle d'asservissement en effort (40), et en ce que :

ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) comporte :

- au moins une sonde de courant électrique (21, 21', 21'') agencée en entrée dudit au moins un moteur électrique (3, 3') pour mesurer une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par ledit au moins un circuit électronique de puissance (4) et
- au moins un premier capteur de position (22) agencé sur ledit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3,

- 3') pour mesurer une position angulaire dudit axe de rotation (9, 9') par rapport à un châssis fixe (12) dudit vérin de trim (2),

ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) comporte :

- au moins un second capteur de position (31) agencé sur ledit arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2) pour mesurer une position angulaire dudit arbre de sortie (11) par rapport audit châssis fixe (12) dudit vérin de trim (2),
- une branche de sortie (32) connectée à une entrée (23) de ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20),

ladite boucle d'asservissement en effort (40) comporte :

- au moins un capteur d'effort (41) agencé au niveau d'au moins un organe de commande de vol (13) pour mesurer un effort extérieur exercé sur ledit au moins un organe de commande de vol (13),
- une ligne de sortie (42) connectée à une entrée (33) de ladite boucle d'asservissement en vitesse (30).

2. Dispositif selon la revendication 1,

caractérisé en ce que ledit au moins un moteur électrique (3, 3') est de type triphasé et ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) comporte trois sondes de courant électrique (21, 21', 21'') mesurant respectivement chacune une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par ledit au moins un circuit électronique de puissance (4, 4').

3. Dispositif selon la revendication 2,

caractérisé en ce que ledit dispositif de commande (10) comporte au moins un calculateur (14) permettant de mettre en œuvre une méthode de commande vectorielle dudit au moins un moteur électrique (3, 3') triphasé, une telle méthode de commande vectorielle permettant de fournir deux composantes orthogonales : une première composante représentative d'un réglage d'un flux magnétique dudit au moins un moteur électrique (3, 3') et une seconde composante représentative d'un réglage d'un couple moteur dudit au moins un moteur électrique (3, 3').

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) comporte un circuit de calcul (34) permettant de déterminer, à partir d'un premier signal représentatif de ladite position angulaire dudit arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2), un second signal représentatif d'une vitesse de rotation dudit arbre de sortie (11).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,

caractérisé en ce que ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) comporte au moins un premier filtre (25, 25') permettant d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de ladite position angulaire dudit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3').

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,

caractérisé en ce que ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) comporte au moins un second filtre (35, 35') permettant d'éliminer

des fréquences parasites d'un signal représentatif de ladite position angulaire dudit arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2).

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit au moins un capteur d'effort (41) est agencé mécaniquement en série par rapport audit au moins un organe de commande de vol (13).

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite boucle d'asservissement en effort (40) comporte une mémoire (43) permettant de stocker au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer audit au moins un organe de commande de vol (13) en fonction d'une donnée de position transmise par ledit au moins un second capteur de position (31) de ladite boucle d'asservissement en vitesse (30).

9. Aéronef (1) caractérisé en ce que ledit aéronef (1) comporte un dispositif de commande (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

10. Méthode de pilotage (50) d'un aéronef (1) comportant au moins un "vérin de trim" (2) motorisé à ancrage de type actif, ledit vérin de trim (2) comportant au moins un moteur électrique (3, 3'), au moins un circuit électronique de puissance (4, 4') pour alimenter en énergie électrique ledit au moins un moteur électrique (3, 3') et des moyens de réduction de vitesse (5) pour réduire la vitesse de rotation d'un axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3'), lesdits moyens de réduction de vitesse (5) permettant d'entraîner en rotation un arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2) à une vitesse de rotation de sortie inférieure à une vitesse de rotation

d'entrée dudit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3'),

caractérisée en ce que ladite méthode de pilotage (50) comporte trois boucles d'asservissement distinctes et imbriquées les unes dans les autres, lesdites trois boucles d'asservissement étant formées par une boucle d'asservissement en courant électrique (20), une boucle d'asservissement en vitesse (30) et une boucle d'asservissement en effort (40), et en ce que :

dans ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) :

- en entrée dudit au moins un moteur électrique (3, 3'), on mesure, via au moins une sonde de courant électrique (21, 21', 21''), une valeur d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par ledit au moins un circuit électronique de puissance (4, 4'), et
- sur ledit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3'), on mesure, via au moins un premier capteur de position (22), une position angulaire dudit axe de rotation (9, 9') par rapport à un châssis fixe (12) dudit vérin de trim (2),

dans ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) :

- sur ledit arbre de sortie (11), on mesure, via au moins un second capteur de position (31), une position angulaire dudit arbre de sortie (11) par rapport audit châssis fixe (12) dudit vérin de trim (2), et
- on connecte une branche de sortie (32) avec une entrée (23) de ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20),

dans ladite boucle d'asservissement en effort (40) :

- au niveau d'au moins un organe de commande de vol (13), on mesure, via au moins un capteur d'effort (41), un effort extérieur exercé sur ledit au moins un organe de commande de vol (13), et
- on connecte une ligne de sortie (42) avec une entrée (33) de ladite boucle d'asservissement en vitesse (30).

11. Méthode selon la revendication 10,

caractérisée en ce que ledit au moins un moteur électrique (3, 3') étant de type triphasé, ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) comporte une étape de mesure (51), via trois sondes de courant électrique (21, 21', 21''), de trois valeurs d'un courant électrique d'alimentation en énergie électrique fourni par ledit au moins un circuit électronique de puissance (4, 4').

12. Méthode selon la revendication 11,

caractérisée en ce qu'on met en œuvre, via au moins un calculateur (14) , une étape de commande vectorielle (52) dudit au moins un moteur électrique (3, 3') triphasé, une telle étape de commande vectorielle (52) permettant de fournir deux composantes orthogonales : une première composante représentative d'un réglage d'un flux magnétique dudit au moins un moteur électrique (3, 3') et une seconde composante représentative d'un réglage d'un couple moteur dudit au moins un moteur électrique (3, 3').

13. Méthode selon l'une quelconque des revendications 10 à 12,

caractérisée en ce que ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) comporte une étape de calcul (53) permettant de déterminer, via un circuit de calcul (34) utilisant en entrée un premier signal représentatif de ladite position angulaire dudit arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2), un second signal représentatif d'une vitesse de rotation dudit arbre de sortie (11).

14. Méthode selon l'une quelconque des revendications 10 à 13,

caractérisée en ce que ladite boucle d'asservissement en courant électrique (20) comporte une première étape de filtration (54) permettant, via au moins un premier filtre (25, 25'), d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de ladite position angulaire dudit axe de rotation (9, 9') dudit au moins un moteur électrique (3, 3').

15. Méthode selon l'une quelconque des revendications 10 à 14,

caractérisée en ce que ladite boucle d'asservissement en vitesse (30) comporte une seconde étape de filtration (55) permettant, via au moins un second filtre (35, 35'), d'éliminer des fréquences parasites d'un signal représentatif de ladite position angulaire dudit arbre de sortie (11) dudit vérin de trim (2).

16. Méthode selon l'une quelconque des revendications 10 à 15,

caractérisé en ce que ladite boucle d'asservissement en effort (40) comporte une étape de stockage (56) permettant de mémoriser au moins une table de valeurs d'efforts prédéterminés à appliquer audit au moins un organe de commande de vol (13) en fonction d'une donnée de position transmise par ledit au moins un second capteur de position (31) de ladite boucle d'asservissement en vitesse (30).

Fig.1

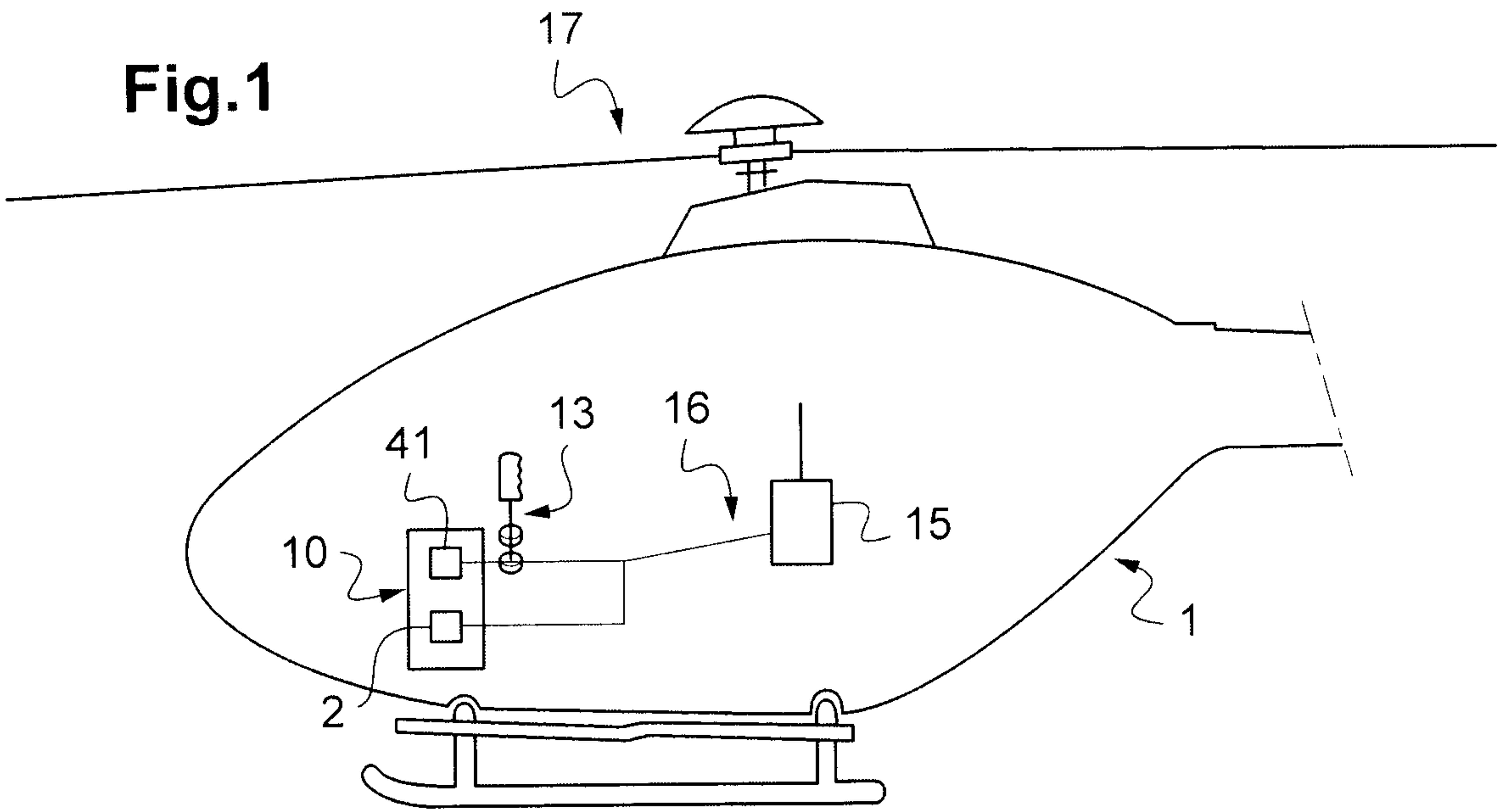
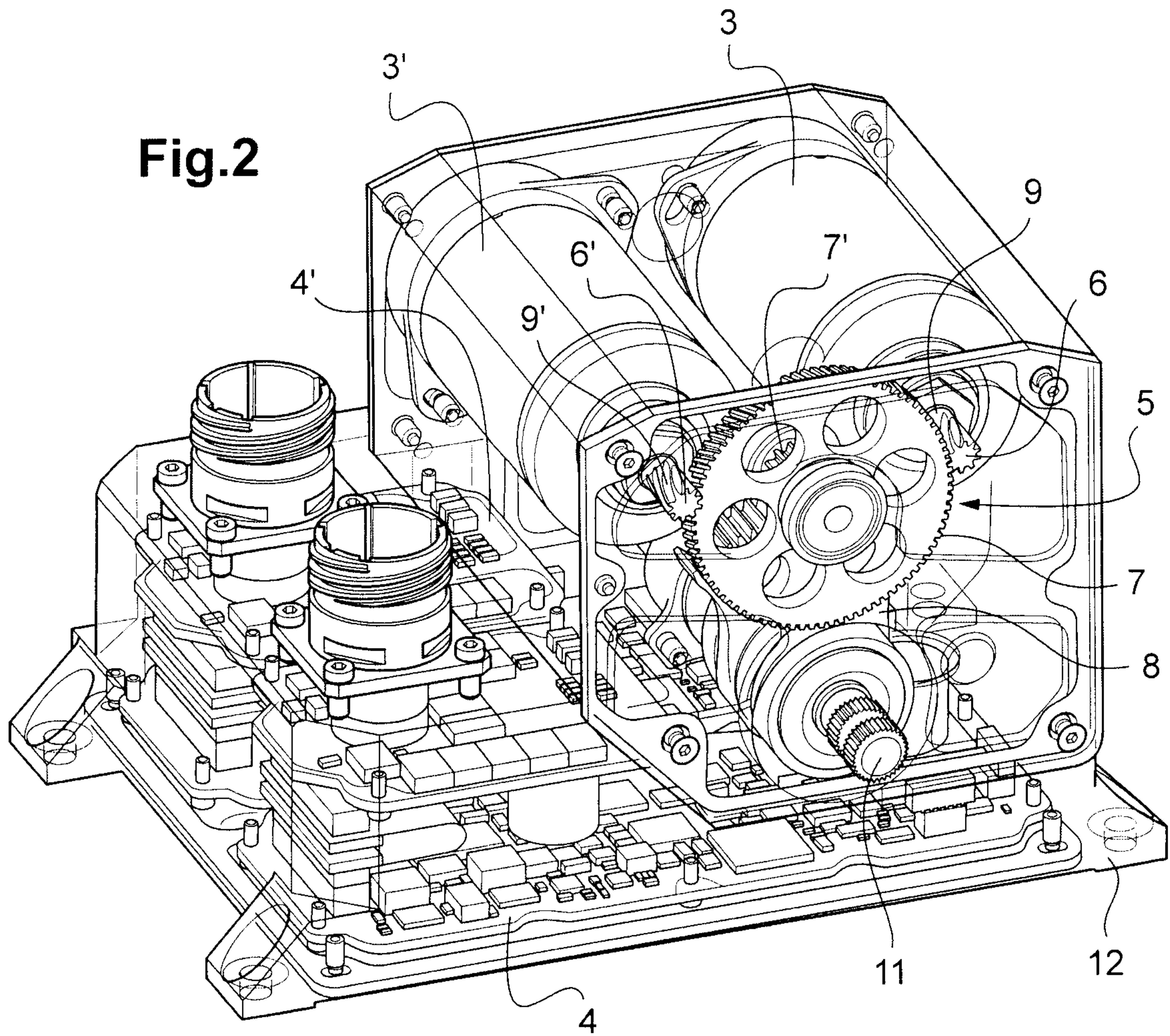


Fig.2



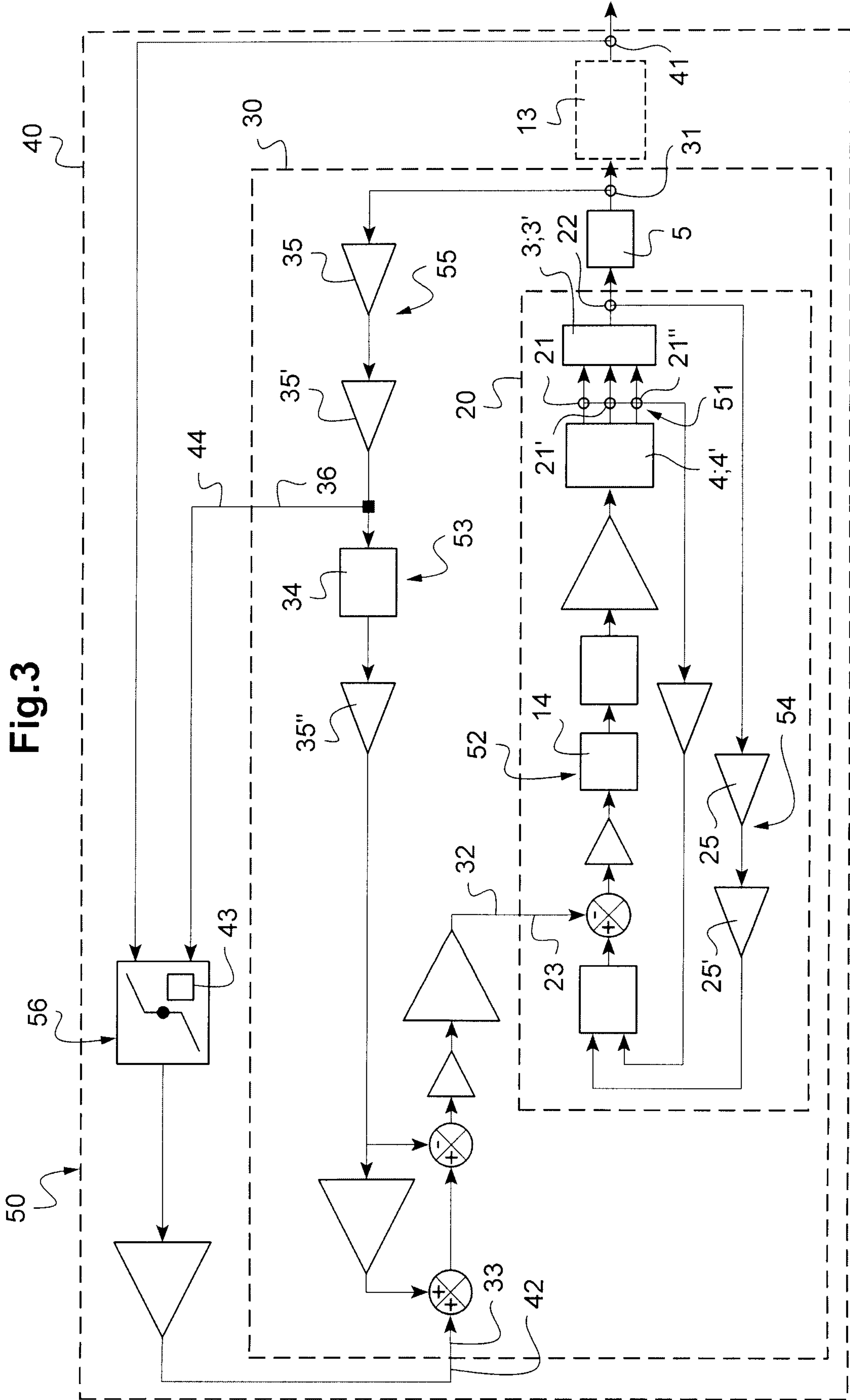


Fig.3

Fig.4

