

(22) Date de dépôt/Filing Date: 2003/08/14

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2004/03/09

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2011/02/15

(30) **Priorité/Priority:** 2002/09/09 (FR02 11124)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B64C 13/50* (2006.01),
B64C 9/00 (2006.01), *G05D 1/00* (2006.01)

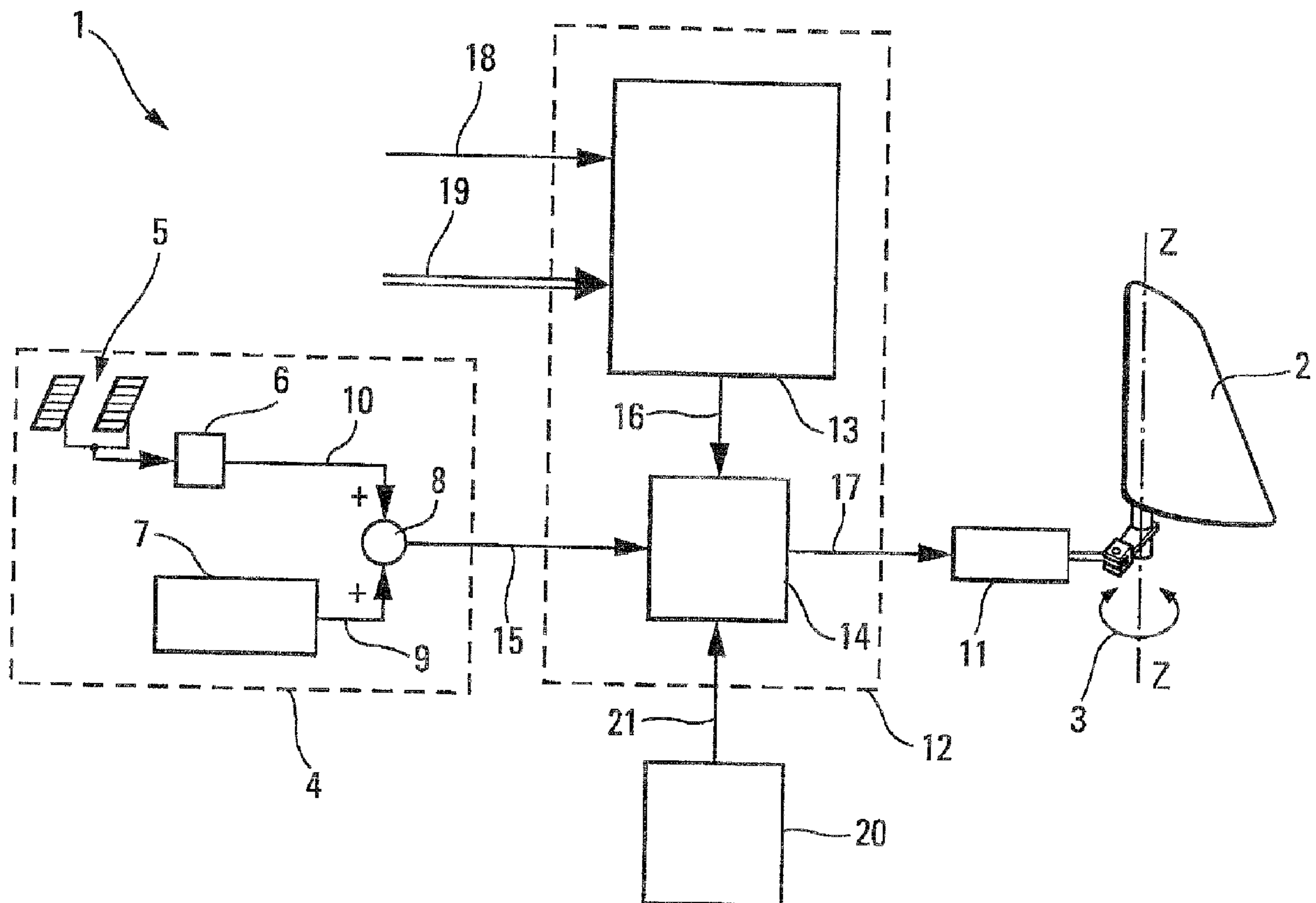
(72) Inventeurs/Inventors:
VAN DE KREEKE, MARC, FR;
CASSEIN, GUILLAUME, FR

(73) Propriétaire/Owner:
AIRBUS FRANCE, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCEDE ET SYSTEME POUR DEPLACER UNE GOUVERNE D'UN AERONEF

(54) Title: PROCEDURE AND SYSTEM TO MOVE THE ELEVATOR OF AN AIRCRAFT



(57) **Abrégé/Abstract:**

- Le système de commande électrique (1) comporte une unité de commande (4) qui comprend un organe (5) susceptible d'être actionné par un pilote et un moyen de protection en effort (7), et qui délivre un premier ordre de braquage représentatif de l'action

(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

du pilote sur l'organe (5) et de la contribution apportée par le moyen de protection en effort (7), un actionneur (11) qui déplace la gouverne (2) autour d'un axe (Z-Z), en fonction d'un ordre de braquage, et un dispositif de correction (12) qui comprend un moyen (13) pour déterminer un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort, auquel est soumis un élément stabilisateur de l'aéronef, à un effort maximal, et un moyen (14) pour choisir l'un des premier et second ordres de braquage, qui est transmis audit actionneur (11) pour déplacer ladite gouverne (2).

A B R É G É

- Le système de commande électrique (1) comporte une unité de commande (4) qui comprend un organe (5) susceptible d'être actionné par un pilote et un moyen de protection en effort (7), et qui délivre un premier ordre de braquage représentatif de l'action du pilote sur l'organe (5) et de la contribution apportée par le moyen de protection en effort (7), un actionneur (11) qui déplace la gouverne (2) autour d'un axe (Z-Z), en fonction d'un ordre de braquage, et un dispositif de correction (12) qui comprend un moyen (13) pour déterminer un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort, auquel est soumis un élément stabilisateur de l'aéronef, à un effort maximal, et un moyen (14) pour choisir l'un des premier et second ordres de braquage, qui est transmis audit actionneur (11) pour déplacer ladite gouverne (2).

Procédé et système pour déplacer une gouverne d'un aéronef.

La présente invention concerne un procédé et un système pour déplacer une gouverne d'un aéronef, en particulier d'un avion de transport.

5 Afin d'améliorer les performances (consommation de carburant, niveau de bruit, ...) d'un aéronef, sans diminuer la charge utile transportée, les constructeurs sont amenés à diminuer le plus possible la masse de l'aéronef, c'est-à-dire la masse de la structure, d'organes, d'équipements, ... dudit aéronef. A cet effet, il peut être intéressant de diminuer la
10 masse d'éléments stabilisateurs tels que la dérive, un stabilisateur horizontal ou une voilure par exemple.

On sait qu'un élément stabilisateur d'un aéronef est dimensionné en tenant compte des efforts maximaux auxquels il est susceptible d'être soumis lors des différentes configurations de vol de cet aéronef. Par conséquent, pour limiter la masse d'un tel élément stabilisateur et donc
15 également la masse de l'aéronef, une solution est de réduire les efforts auxquels cet élément stabilisateur est susceptible d'être soumis au cours d'un vol.

A cet effet, on connaît par le document FR-2 809 373 de la demanderesse, un système de commande électrique pour une gouverne de
20 direction d'un aéronef, grâce auquel il est possible de limiter les charges latérales appliquées en manœuvre sur ladite gouverne de direction et donc de réduire le dimensionnement et la masse de cette dernière, sans pour autant réduire les qualités de vol de l'aéronef ou la sécurité de vol.

Pour ce faire, ledit système de commande comporte :

- un palonnier actionné par le pilote et associé à un transducteur délivrant un ordre électrique de pilotage représentatif de l'action du pilote sur ledit palonnier ;
- un actionneur recevant un ordre de commande dérivé dudit ordre de pilotage et déplaçant ladite gouverne de direction autour de son axe de rotation ; et
- entre ledit palonnier et ledit actionneur, des moyens de filtrage du type passe-bas recevant ledit ordre de pilotage dudit transducteur et engendrant ledit ordre de commande pour ledit actionneur, la constante de temps desdits moyens de filtrage étant d'autant plus élevée que l'amplitude dudit ordre de pilotage correspond à une fraction plus grande de la valeur maximale de débattement de la gouverne de direction.

Ainsi, ce système de commande connu introduit, dans les ordres de pilotage au palonnier, un filtrage non linéaire qui dépend du débattement disponible pour la gouverne de direction, ce filtrage étant d'autant plus important que ladite gouverne de direction s'approche des butées limitant le débattement maximal, ce qui limite les charges appliquées à ladite gouverne et permet donc de réduire le dimensionnement et la masse de cette dernière.

Ce système de commande connu a donc pour but de minimiser les efforts induits par une manœuvre brusque de la dérive, commandée par le pilote. Pour cela, il procède à un filtrage de l'ordre de braquage de la dérive donné par le pilote. L'amplitude du filtrage est fonction de l'amplitude de cet ordre de braquage. Le réglage dudit filtrage est identique sur tout le domaine de vol de l'avion, de sorte que le filtrage dépend de conditions liées à l'ordre de braquage de la gouverne, mais ne dépend pas des conditions de vol de l'avion.

Or, pour un ordre de braquage donné, les efforts induits sur la dérive peuvent être différents selon les conditions de vol de l'avion. Il en ré-

sulte que ledit système de commande connu n'est pas optimal dans certains cas, en ce sens que, dans certaines conditions de vol, il agit moins que ce qu'il pourrait agir effectivement.

5 La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un procédé pour déplacer une gouverne d'un aéronef de manière à réduire les efforts induits auxquels est soumis un élément stabilisateur dudit aéronef, ladite gouverne étant montée (sur ledit élément stabilisateur) rotative autour d'un axe pour pouvoir prendre n'importe
10 quelle position angulaire de braquage à l'intérieur d'une plage de débattement et étant déplacée conformément à un ordre de braquage qui lui est appliqué, et ledit aéronef comportant une unité de commande susceptible de déterminer un premier ordre de braquage en fonction au moins de l'actionnement d'un organe de commande par un pilote de l'aéronef.

15 A cet effet, ledit procédé est remarquable, selon l'invention, en ce que l'on réalise, automatiquement et répétitivement, la suite d'opérations successives suivante :

- a) on détermine une première valeur dépendant de l'effort maximal auquel peut être soumis ledit élément stabilisateur ;
- b) on détermine une seconde valeur tenant compte de l'effort effectif auquel est soumis ledit élément stabilisateur lorsqu'on applique à ladite
20 gouverne ledit premier ordre de braquage déterminé par ladite unité de commande ;
- c) on compare entre elles lesdites première et seconde valeurs ; et
- d) en fonction de cette comparaison :
 - 25 – si ladite seconde valeur est inférieure ou égale à ladite première valeur, on applique à ladite gouverne ledit premier ordre de braquage ;
et
 - si ladite seconde valeur est supérieure à ladite première valeur, on calcule un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort

auquel est soumis ledit élément stabilisateur audit effort maximal et on applique à ladite gouverne ce second ordre de braquage.

Le second ordre de braquage δ_{rmax} , utilisé à l'étape d), est déterminé à partir de l'expression suivante:

$$\delta_{rmax} = \left[\left(M_{xmax} / \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \right) - Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r \right] \cdot [1 / (Z2 \cdot C2)]$$

dans laquelle :

- M_{xmax} est ledit effort maximal ; et
- 10 – ρ est la densité de l'air ;
- S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- β_r est le dérapage ;
- $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne et l'axe de calcul du moment ;
- 20 – $C2$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne ; et
- δ_{rmes} est un angle de braquage mesuré.

Ainsi, grâce à l'invention, dès que ladite seconde valeur tenant compte de l'effort effectif auquel est soumis l'élément stabilisateur dépasse ladite première valeur dépendant de l'effort maximal, on applique à la gouverne ledit second ordre de braquage (ordre correctif) qui permet de limiter l'effort auquel est soumis ledit élément stabilisateur audit effort maximal.

Par conséquent, quelles que soient les conditions de vol et les manœuvres de l'aéronef, l'effort auquel est soumis ledit élément stabilisateur (une dérive, un stabilisateur horizontal, une voilure, ...) est toujours limité audit effort maximal, ce qui permet de remédier aux inconvénients précités. On peut ainsi, notamment, réduire le dimensionnement et la masse dudit élément stabilisateur.

En outre, à la différence du système de commande décrit dans le document FR-2 809 373 précité, la présente invention prévoit de détecter les conditions de vol pour lesquelles les efforts sont importants, afin d'agir sur l'ordre de braquage, notamment lorsque lesdits efforts sont les plus élevés.

Dans un premier mode de réalisation, ladite première valeur correspond audit effort maximal qui est prédéterminé et ladite seconde valeur correspond audit effort effectif.

Dans ce cas, avantageusement, on détermine ledit effort effectif M_x à partir de l'expression suivante :

$$M_x = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot (Z_1 \cdot C_1 \cdot \beta_r + Z_2 \cdot C_2 \cdot \delta_{r_{mes}})$$

Dans un second mode de réalisation préféré, ladite première valeur correspond audit second ordre de braquage et ladite seconde valeur correspond audit premier ordre de braquage. Ce mode de réalisation préféré présente l'avantage d'éviter des oscillations à hautes fréquences qui peuvent survenir lorsque l'on compare directement des efforts (au lieu de comparer des ordres de braquage).

En outre, avantageusement, ledit effort maximal est inférieur d'un pourcentage prédéterminé d'un effort limite relatif audit élément stabilisateur.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, on inhibe l'application dudit second ordre de braquage, lors d'au moins une configuration de vol particulière de l'aéronef, pour laquelle la correction précitée et conforme à l'invention pourrait entraîner un blocage de la gouverne ou un braquage de cette dernière de sens opposé à celui commandé par le pilote. Ceci pourrait se produire, en particulier, lors de pannes de capteurs employés pour mesurer les différents paramètres utilisés par la loi de protection en effort ou lorsque la valeur du seuil d'effort M_{xmax} est trop faible, c'est-à-dire inférieure à la valeur des efforts qui seraient induits du seul fait du dérapage de l'avion dans les conditions de vol considérées.

La présente invention concerne également un système de commande électrique pour déplacer une gouverne d'un aéronef, du type comportant :

- une unité de commande qui comprend au moins un organe de commande susceptible d'être actionné par un pilote et au moins un moyen de protection en effort, et qui délivre un premier ordre de braquage représentatif, d'une part, de l'action exercée par le pilote sur ledit organe de commande et, d'autre part, de la contribution apportée par ledit moyen de protection en effort ; et
- un actionneur qui déplace ladite gouverne autour de son axe, en fonction d'un ordre de braquage reçu.

Selon l'invention, ledit système de commande comporte, de plus :

- un dispositif de correction qui comprend :
 - . un premier moyen pour déterminer un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort, auquel est soumis ledit élément stabilisateur, à un effort maximal ; et

6a

- . un deuxième moyen, de préférence un voteur, pour choisir l'un desdits premier et second ordres de braquage, qui est transmis audit actionneur pour déplacer ladite gouverne ; et
- éventuellement, un troisième moyen pour inhiber ledit dispositif de correction.

Le second ordre de braquage δr_{max} est déterminé à partir de l'expression suivante:

$$10 \quad \delta r_{max} = \left[\left(M_{x_{max}} / \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \right) - Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r \right] \cdot [1 / (Z2 \cdot C2)]$$

dans laquelle :

- $M_{x_{max}}$ est ledit effort maximal ; et
- ρ est la densité de l'air ;
- S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- 20 – β_r est le dérapage ;
- $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne et l'axe de calcul du moment ;
- $C2$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne ; et
- δr_{mes} est un angle de braquage mesuré.

L'unique figure du dessin annexé fera bien comprendre comment

l'invention peut être réalisée. Cette figure montre le schéma synoptique d'un système de commande électrique conforme à l'invention.

Le système de commande électrique 1, conforme à la présente invention et représenté sur la figure, est destiné à l'actionnement d'une gouverne 2 d'aéronef, par exemple une gouverne de direction, montée
5 rotative dans les deux sens autour d'un axe Z-Z, de la façon symbolisée par une double flèche 3. Ladite gouverne 2 peut prendre n'importe quelle position angulaire autour dudit axe Z-Z à l'intérieur d'une plage de débattement, s'étendant de part et d'autre de la position aérodynamiquement
10 neutre de ladite gouverne 2.

Ledit système de commande électrique 1 d'un aéronef, par exemple d'un avion de transport, est du type connu, comportant :

- une unité de commande 4 qui comprend :
 - un organe de commande 5, par exemple un palonnier ou un mini-
15 manche, qui est susceptible d'être actionné par un pilote de l'aéronef, et qui est associé à un transducteur 6 délivrant un ordre électrique de commande (relatif au braquage de la gouverne 2) représentatif de l'actionnement dudit organe de commande 5 ;
 - un moyen 7 de protection en effort, de type usuel qui délivre un
20 ordre électrique de protection ou ordre électrique filtré (relatif au braquage de la gouverne 2), comme décrit par exemple dans le document FR-2 809 373 précité de la demanderesse ; et
 - un sommateur 8 qui est relié par l'intermédiaire de liaisons 9 et 10
25 respectivement audit transducteur 6 et audit moyen 7 et qui fait la somme desdits ordres de commande et de protection, pour former un premier ordre (électrique) de braquage de la gouverne 2 ; et
- un actionneur 11 usuel, qui est susceptible de déplacer ladite gouverne 2 autour de l'axe Z-Z, en fonction d'un ordre de braquage reçu.

Selon l'invention, pour limiter les efforts auxquels est soumis un élément stabilisateur (par exemple une dérive, un stabilisateur horizontal ou une voilure) de l'aéronef en fonction du braquage de la gouverne 2, ladite gouverne 2 étant montée rotative sur ledit élément stabilisateur non représenté, ledit système de commande 1 comporte, de plus, un dispositif de correction 12 qui est agencé entre l'unité de commande 4 et l'actionneur 11 et qui comporte :

- un moyen de calcul 13 pour déterminer un second ordre (électrique) de braquage permettant de limiter l'effort auquel est soumis ledit élément stabilisateur, à un effort maximal ; et
- un moyen 14, par exemple un voteur, qui est relié par des liaisons 15 et 16 respectivement au sommateur 8 et au moyen de calcul 13, et qui a pour objet, comme précisé ci-dessous, de choisir parmi ledit premier ordre de braquage reçu du sommateur 8 et ledit second ordre de braquage reçu du moyen de calcul 13, celui qu'il transmet par une liaison 17 à l'actionneur 11 pour qu'il déplace, de façon correspondante, ladite gouverne 2.

Plus précisément, selon l'invention, ledit moyen 14 :

- compare entre elles :
 - . une première valeur dépendant de l'effort maximal, auquel peut être soumis ledit élément stabilisateur ; et
 - . une seconde valeur tenant compte de l'effort effectif, auquel est soumis ledit élément stabilisateur lorsqu'on applique audit actionneur 11 ledit premier ordre de braquage déterminé par ladite unité de commande 4 ; et
- transmet audit actionneur 11, en fonction de cette comparaison :
 - . si ladite seconde valeur est inférieure ou égale à ladite première valeur, ledit premier ordre de braquage (reçu de l'unité de commande 4) ; et

- si ladite seconde valeur est supérieure à ladite première valeur, ledit second ordre de braquage (reçu du moyen de calcul 13) permettant de limiter l'effort, auquel est soumis ledit élément stabilisateur, audit effort maximal.

5 Dans un premier mode de réalisation, ladite première valeur correspond audit effort maximal $M_{x\max}$ qui est, de plus, prédéterminé, et ladite seconde valeur correspond à l'effort effectif M_x .

Dans ce cas, le dispositif de correction 12 détermine ledit effort effectif M_x à partir de l'expression suivante :

10
$$M_x = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot (Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r + Z2 \cdot C2 \cdot \delta_{r\text{mes}})$$

dans laquelle :

- ρ est la densité de l'air ;
- S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- 15 – $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort dynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- β_r est le dérapage ;
- 20 – $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort dynamique dû au braquage de la gouverne 2 et l'axe de calcul du moment ;
- $C2$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne 2 ; et
- $\delta_{r\text{mes}}$ est un angle de braquage mesuré.

25 Dans un second mode de réalisation préféré, qui permet d'éviter des oscillations à hautes fréquences susceptibles de survenir avec ledit premier mode de réalisation, ladite première valeur correspond audit se-

cond ordre de braquage et ladite seconde valeur correspond audit premier ordre de braquage.

Dans ce second mode de réalisation, ledit moyen 14 compare donc, entre eux, directement, le premier ordre de braquage reçu de l'unité de commande 4 et le second ordre de braquage reçu du moyen de calcul 13.

Selon l'invention, aussi bien pour ledit premier mode de réalisation que pour ledit second mode de réalisation, ledit moyen de calcul 13 détermine ledit second ordre de braquage $\delta r_{\max}$, à partir de l'expression suivante :

$$\delta r_{\max} = \left[\left(M_{x\max} / \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \right) - Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r \right] \cdot [1 / (Z2 \cdot C2)]$$

dans laquelle :

- $M_{x\max}$ est ledit effort maximal ;
- ρ est la densité de l'air ;
- S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est le coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- β_r est le dérapage ;
- $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne 2 et l'axe de calcul du moment ; et
- $C2$ est le coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne 2.

Pour ce faire, ledit moyen de calcul 13 reçoit :

- la valeur $M_{x\max}$ de l'effort maximal, par une liaison 18 ; et

– d'autres valeurs (ρ , V , ...) de capteurs montés sur l'aéronef et destinés à mesurer ces valeurs, comme illustré par une liaison globale 19 sur la figure.

5 Dans le cadre de la présente invention, on choisit ledit effort maximal $M_{x\max}$ égal à une valeur qui est inférieure d'un pourcentage prédéterminé, par exemple 10% ou 20%, d'un effort limite concernant ledit élément stabilisateur. Par exemple, on peut choisir une valeur qui est 10% au-dessous du niveau de l'enveloppe des charges extrêmes. Cette valeur peut, de plus, être ajustée lors de vols d'essai.

10 Par ailleurs, ledit système de commande 1 comporte également un moyen d'inhibition 20 qui est relié par une liaison 21 au moyen 14 pour inhiber, lors de l'application du second ordre de braquage, ledit dispositif de protection 12, c'est-à-dire pour supprimer alors l'application dudit second ordre de braquage et imposer l'application du premier ordre de bra-
15 quage, mais ceci uniquement dans certaines conditions de vol très particulières et peu fréquentes, précisées ci-après.

En effet, dans certaines (rares) conditions de vol, la correction précitée et mise en œuvre par le dispositif de correction 12, pourrait entraîner un blocage de la gouverne 2 ou un braquage de cette dernière de sens
20 opposé à celui commandé par le pilote. Ceci pourrait se produire, en particulier, lors de pannes de capteurs employés pour mesurer les différents paramètres utilisés par la loi de protection en effort ou lorsque la valeur du seuil d'effort $M_{x\max}$ est trop faible, c'est-à-dire inférieure à la valeur des efforts qui seraient induits du seul fait du dérapage de l'avion dans les
25 conditions de vol considérées.

Les informations qui permettent de détecter de tels phénomènes indésirables sont, notamment :

– le départ de la gouverne 2 en sens inverse à l'ordre du pilote ;

- un braquage constant pendant un laps de temps trop long, alors que la consigne pilote est dans une phase dynamique ;
- le braquage de la gouverne 2 tendant à l'éloigner de la position de consigne pilote, alors que cette consigne n'est pas en régime dynami-
5 que avec une pente trop importante ou pendant un laps de temps trop long.

Le moyen d'inhibition 20 peut détecter ces phénomènes, en utilisant comme informations par exemple les entrées de consigne pilote (liaison 10) et de braquage de la gouverne 2 (liaison 17).

10 On notera que le système 1 conforme à l'invention (et notamment le dispositif de correction 12) :

- agit de manière efficace sur la réduction des pics d'effort dus aux déplacements rapides de la gouverne 2. On notera à titre d'exemple non limitatif que l'on peut obtenir, en pratique, en fonction notamment de
15 l'avion et du domaine de vol envisagé, une réduction des pics d'effort de 20% pour l'application à une gouverne de direction et une dérive (élément stabilisateur). Plus précisément, sur un avion de transport civil gros porteur, on peut espérer une réduction des charges limites en flexion de la dérive de 20% qui, conjuguée avec la réduction induite des
20 efforts s'appliquant sur le fuselage arrière, peut permettre une économie d'environ 250 kg, soit un gain de deux passagers supplémentaires embarqués. Cette réduction agit de manière à adoucir les phases transitoires. Dans ce cas, il n'y a quasiment aucune répercussion sur la mécanique du vol. On notera, en outre, qu'au lieu d'utiliser l'invention pour
25 diminuer le poids de la dérive, il est aussi possible de l'utiliser pour se prémunir contre des efforts plus importants que ceux choisis pour les calculs de dimensionnement de l'avion ;

- est peu coûteux et simple à réaliser. En particulier, il ne nécessite pas de capteurs supplémentaires autres que ceux existants en général sur les aéronefs ; et
- peut être appliqué à tout type d'élément stabilisateur de l'aéronef.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour déplacer une gouverne (2) d'un aéronef de manière à réduire les efforts induits auxquels est soumis un élément stabilisateur dudit aéronef, ladite gouverne (2) étant montée rotative autour d'un axe (Z-Z) pour pouvoir prendre n'importe quelle position angulaire de braquage é l'intérieur d'une plage de débattement et étant déplacée conformément é un ordre de braquage qui lui est appliqué, et ledit aéronef comportant une unité de commande (4) susceptible de déterminer un premier ordre de braquage en fonction au moins de l'actionnement d'un organe de commande (5) par un pilote de l'aéronef, caractérisé en ce que l'on
- 10 réalise, automatiquement et répétitivement, la suite d'opérations successives suivante
- a) on détermine une première valeur dépendant de l'effort maximal auquel peut être soumis ledit élément stabilisateur;
 - b) on détermine une seconde valeur tenant compte de l'effort effectif auquel est soumis ledit élément stabilisateur, lorsqu'on applique à ladite gouverne (2) ledit premier ordre de braquage déterminé par ladite unité de commande (4);
 - c) on compare entre elles lesdites première et seconde valeurs; et
 - d) en fonction de cette comparaison:
 - si ladite seconde valeur est inférieure ou égale é ladite première valeur, on
 - 20 applique à ladite gouverne (2) ledit premier ordre de braquage; et
 - si ladite seconde valeur est supérieure é ladite première valeur, on calcule un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort auquel est soumis ledit élément stabilisateur audit effort maximal, et on applique à ladite gouverne (2) ce second ordre de braquage, ledit second ordre de braquage $\delta r_{\max}$, étant déterminé à partir de l'expression suivante:

$$\delta r_{\max} = \left[\left(M_{x \max} / \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \right) - Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r \right] \cdot [1 / (Z2 \cdot C2)]$$

dans laquelle :

- M_{xmax} est ledit effort maximal ;
- ρ est la densité de l'air ;
- S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- β_r est le dérapage ;
- $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne (2) et l'axe de calcul du moment ; et
- $C2$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne (2).

10

20

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite première valeur correspond audit effort maximal qui est prédéterminé, et ladite seconde valeur correspond audit effort effectif.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on détermine ledit effort effectif M_x à partir de l'expression suivante:

$$M_x = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot (Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r + Z2 \cdot C2 \cdot \delta_{rmes})$$

dans laquelle:

- ρ est la densité de l'air;
- S est la surface de l'élément stabilisateur;
- V est la vitesse air;

- Z1 est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment;
 - C1 est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage;
 - β_r est le dérapage;
 - Z2 est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne (2) et l'axe de calcul du moment;
 - C2 est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne (2); et
- 10 - δ_{rms} est un angle de braquage mesuré.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite première valeur correspond audit second ordre de braquage, et ladite seconde valeur correspond audit premier ordre de braquage.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit effort maximal est inférieur d'un pourcentage prédéterminé d'un effort limite relatif audit élément stabilisateur.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on inhibe l'application dudit second ordre de braquage, lors d'au moins une configuration de vol particulière de l'aéronef.
- 20 7. Système de commande électrique pour déplacer une gouverne (2) d'un aéronef, ladite gouverne (2) étant montée rotative autour d'un axe (Z-Z) pour pouvoir prendre n'importe quelle position angulaire de braquage à l'intérieur d'une plage de débattement, et ledit système (1) comportant:
- une unité de commande (4) qui comprend au moins un organe de commande (5) susceptible d'être actionné par un pilote et au moins un moyen de protection en effort (7), et qui délivre un premier ordre de braquage représentatif, d'une part, de l'action

exercée par le pilote sur ledit organe de commande (5) et, d'autre part, de la contribution apportée par ledit moyen de protection en effort (7), ledit second ordre de braquage $\delta r_{\max}$, étant déterminé à partir de l'expression suivante:

$$\delta r_{\max} = \left[\left(M_{x\max} / \left(-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \right) - Z1 \cdot C1 \cdot \beta_r \right] \cdot [1 / (Z2 \cdot C2)]$$

dans laquelle :

- $M_{x\max}$ est ledit effort maximal ;
- ρ est la densité de l'air ;
- 10 – S est la surface de l'élément stabilisateur ;
- V est la vitesse air ;
- $Z1$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au dérapage et l'axe de calcul du moment ;
- $C1$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur pour l'effet de dérapage ;
- β_r est le dérapage ;
- $Z2$ est le bras de levier entre le centre d'application de l'effort aérodynamique dû au braquage de la gouverne (2) et l'axe de calcul du moment ; et
- 20 – $C2$ est un coefficient de force latérale, relatif à l'élément stabilisateur, en fonction du braquage de la gouverne (2); et
- un actionneur (11) qui déplace ladite gouverne (2) autour dudit axe (Z-Z), en fonction d'un ordre de braquage reçu, caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un dispositif de correction (12) qui comprend:
- un premier moyen (13) pour déterminer un second ordre de braquage permettant de limiter l'effort, auquel est soumis ledit élément stabilisateur, à un effort maximal; et

- un deuxième moyen (14) pour choisir l'un desdits premier et second ordres de braquage, qui est transmis audit actionneur (11) pour déplacer ladite gouverne (2), ledit deuxième moyen (14) comparant entre elles:

- une première valeur dépendant de l'effort maximal, auquel peut être soumis ledit élément stabilisateur; et

- une seconde valeur tenant compte de l'effort effectif, auquel est soumis ledit élément stabilisateur lorsqu'on applique audit actionneur (11) ledit premier ordre de braquage déterminé par ladite unité de commande (4),

et ledit deuxième moyen (14) transmettant audit actionneur (11), en fonction de cette

10 comparaison:

- si ladite seconde valeur est inférieure ou égale à ladite première valeur, ledit premier ordre de braquage; et

- si ladite seconde valeur est supérieure à ladite première valeur, ledit second ordre de braquage permettant de limiter l'effort, auquel est soumis ledit élément stabilisateur, audit effort maximal.

8. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit deuxième moyen (14) est un moteur.

9. Système selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, caractérisé en ce qu'il comporte, de plus, un troisième moyen (20) pour inhiber ledit dispositif de

20 correction (12).

