



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2009/02/24

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2009/08/27

(30) Priorité/Priority: 2008/02/27 (FR08 01070)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B60T 8/17* (2006.01),
B60T 8/171 (2006.01), *B60T 8/172* (2006.01)

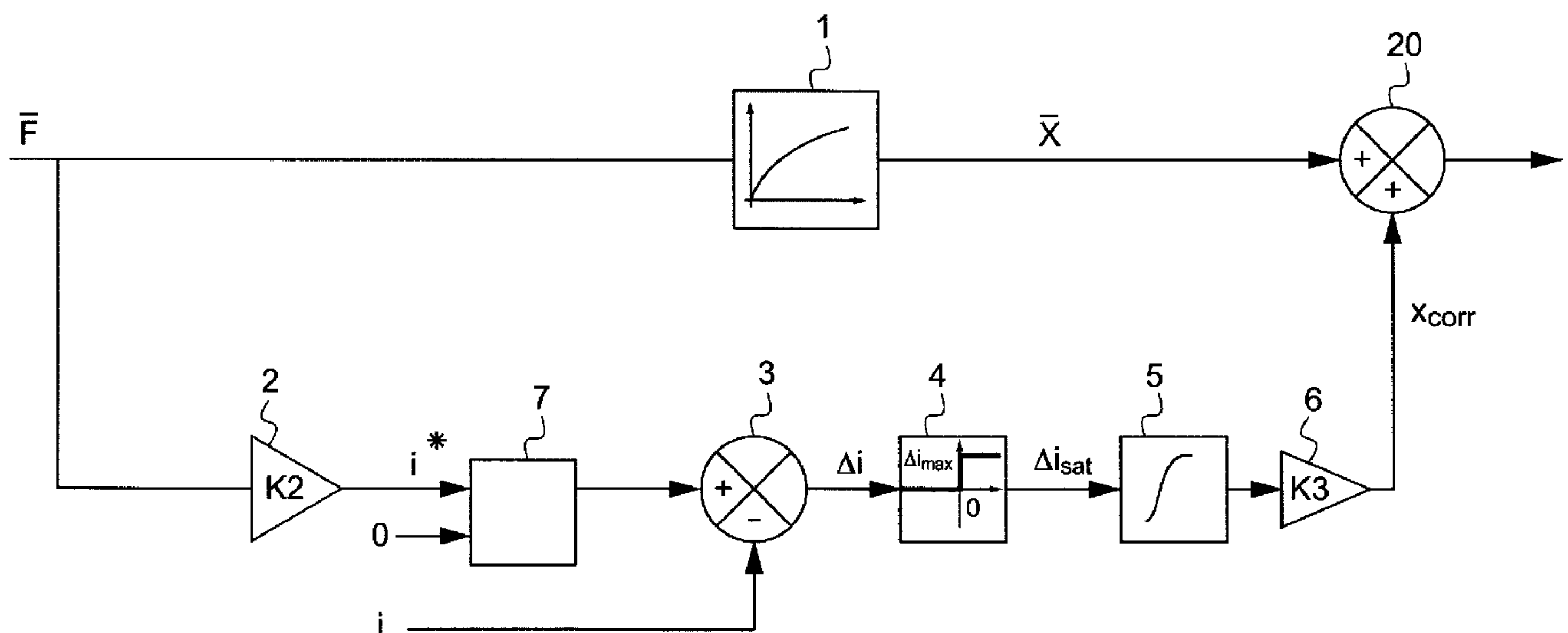
(71) Demandeur/Applicant:
MESSIER-BUGATTI, FR

(72) Inventeur/Inventor:
THIBAUT, JULIEN, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE DE COMMANDE D'UN FREIN DE VEHICULE AVEC COMPENSATION DES DILATATIONS

(54) Title: PROCESS FOR APPLYING A VEHICLE BRAKE WITH SELF-ADJUSTMENT



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un procédé de commande d'un frein électromécanique de roue de véhicule comportant un actionneur muni d'un poussoir actionné par un moteur électrique et adapté à exercer sélectivement un effort de freinage sur des éléments de friction en réponse à une consigne d'actionnement, dans lequel : - à partir d'une consigne de freinage ($\bar{F}$), on détermine une consigne nominale de position ($\bar{X}$) de l'actionneur du frein ; - à partir de cette même consigne de freinage ($\bar{F}$), on estime un courant de référence (i^*) qui devrait normalement circuler dans le moteur de l'actionneur pour appliquer un effort égal à la consigne de freinage ; - on compare le courant de référence (i^*) à un courant (i) circulant dans le moteur de l'actionneur, et on en déduit une correction de position (x_{corr}) ; et on ajoute la correction de position à la consigne nominale de position.



PRECIS DE DIVULGATION

L'invention concerne un procédé de commande d'un frein électromécanique de roue de véhicule comportant un actionneur muni d'un poussoir actionné par un moteur électrique et adapté à exercer sélectivement un effort de freinage sur des éléments de friction en réponse à une consigne d'actionnement, dans lequel :

- à partir d'une consigne de freinage ($\bar{F}$), on détermine une consigne nominale de position ($\bar{X}$) de l'actionneur du frein ;
- à partir de cette même consigne de freinage ($\bar{F}$), on estime un courant de référence (i^*) qui devrait normalement circuler dans le moteur de l'actionneur pour appliquer un effort égal à la consigne de freinage ;
- on compare le courant de référence (i^*) à un courant (i) circulant dans le moteur de l'actionneur, et on en déduit une correction de position (x_{corr}) ; et on ajoute la correction de position à la consigne nominale de position.

Figure unique.

L'invention concerne un procédé de commande d'un frein de véhicule avec compensation des dilatations.

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

5 Les systèmes de freinage pour roues de véhicule comportent des actionneurs de freinage (hydrauliques ou électromécaniques) pour appliquer sur des éléments de friction un effort en vue de générer un couple de freinage tendant à ralentir le véhicule.

10 La plupart des commandes de frein connues en aéronautique utilisent une consigne, qui est traduite soit en une pression dans le cas des freins hydrauliques, soit en un effort à appliquer ou un déplacement du poussoir dans le cas de freins à actionneurs électromécaniques.

15 Dans ce dernier cas, la commande des actionneurs en position pose un problème particulier lié à l'éventuelle dilatation des composants du frein lors d'un freinage. En effet, lors d'un freinage de haute intensité, par exemple un freinage d'un aéronef à pleine charge faisant suite à un décollage refusé, la chaleur dégagée par les éléments de friction du frein est très importante et risque de conduire à une dilatation du tube de torsion sur lequel les éléments de friction sont montés, ce qui pourrait, pour une position du poussoir de l'actionneur donné, conduire à une diminution de l'effort exercé.

25 En particulier, dans le cas d'un frein à éléments de friction en carbone, la dilatation des éléments de friction est très faible par rapport à la dilatation du tube de torsion métallique sur lequel les éléments de friction sont disposés, ce qui peut conduire, en cas de dégagement de chaleur très important, à une baisse de l'effort de freinage pour une position donnée des poussoirs des actionneurs.

OBJET DE L'INVENTION

35 L'invention a pour objet une commande de frein en position permettant d'atténuer les éventuels effets d'une

dilatation.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

En vue de la réalisation de l'invention, on propose un procédé de commande d'un frein de véhicule adapté à exercer un effort de freinage en réponse à une consigne d'effort, le frein comportant au moins un actionneur électromécanique de freinage comportant un moteur électrique actionnant un poussoir déplaçable en regard d'éléments de friction, comprenant les étapes suivantes :

10 - estimer une consigne nominale de position du poussoir à partir de la consigne d'effort ; en parallèle :

15 - estimer un courant de référence qui circulerait dans le moteur électrique dans une situation de référence donnée pour exercer un effort égal à la consigne d'effort ;

20 - comparer le courant de référence au courant circulant dans le moteur, et si le courant circulant dans le moteur est inférieur au courant de référence, déduire de cette comparaison une correction de position ;

 - ajouter la correction de position à la consigne nominale de position.

25 Ainsi, si le courant qui circule dans le moteur est inférieur au courant de référence, c'est que, bien que le poussoir ait été amené dans une position correspondant à la consigne nominale de position, le poussoir exerce un effort moindre que celui qu'il est censé appliquer. Ce peut-être le cas si des dilatations ont allongé le tube de torsion de sorte que le modèle utilisé pour
30 déduire la consigne nominale de position de la consigne d'effort n'est plus représentatif. Dans ce cas, on détermine une correction de position que l'on ajoute à la consigne nominale de position nominale dans le but d'augmenter l'effort effectivement appliqué par le pous-
35 soir sur les éléments de friction.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit en référence à l'unique figure présente un schéma-bloc d'un mode particulier de mise en oeuvre du procédé de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

L'invention est ici décrite en application à un frein d'aéronef de type comportant des actionneurs électromécaniques commandés en déplacement. Un calculateur (non représenté) génère une consigne de freinage $\bar{F}$. Cette consigne est corrigée à haute fréquence par un système de protection anti-blocage qui, vérifiant en permanence le taux de glissement de la roue, détecte un éventuel départ au blocage de la roue et diminue en conséquence la consigne de freinage $\bar{F}$ pour éviter le blocage de la roue.

De façon connue en soi, un convertisseur 1 transforme la consigne de freinage $\bar{F}$ en une consigne nominale de position $\bar{X}$ pour le poussoir de l'actionneur, ici selon un modèle non-linéaire. Le calcul de la consigne nominale de position $\bar{X}$ est ici réalisé à une fréquence de calcul élevée compatible avec la vitesse de fonctionnement de la protection d'anti-blocage, de sorte que la consigne nominale de position $\bar{X}$ tient compte à la fois des composantes basse fréquence et des composantes haute fréquence de la consigne de freinage $\bar{F}$.

Selon l'invention, on calcule une correction de position x_{corr} , que l'on ajoute au moyen du sommateur 20 à la consigne nominale de position $\bar{X}$ pour obtenir la consigne nominale de position corrigée $\bar{X}_{corr} = \bar{X} + x_{corr}$. Cette correction de position x_{corr} est réalisée à basse fréquence et tient compte d'une différence entre un courant circulant dans le moteur de l'actionneur et un courant de référence estimé selon les modalités suivantes.

On commence par estimer un courant de référence

i^* qui est le courant qui circulerait dans le moteur électrique de l'actionneur pour que le poussoir applique un effort égal à la consigne d'effort $\bar{F}$, dans une situation de référence donnée.

5 Plus précisément, on sait que l'effort exercé par le poussoir sur les éléments de friction est donné par l'équation gouvernant la dynamique de rotation du moteur :

$$F = r \cdot \eta \left\{ K \cdot i - C_s - C_v \cdot \Omega - J \frac{d\Omega}{dt} \right\}$$

10 Où Ω est la vitesse de rotation du moteur, J l'inertie de l'actionneur rapportée sur l'arbre du moteur, K un coefficient de proportionnalité, i le courant circulant dans le moteur, C_s le couple de frottement solide, C_v le coefficient de couple de frottement visqueux,
15 F l'effort exercé par le poussoir sur les éléments de friction, r un rapport de transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation du poussoir, et η un rendement de la liaison entre le moteur et le poussoir.

20 Dans une situation de référence dans laquelle l'actionneur est en régime stationnaire (soit à l'arrêt, soit à vitesse constante faible), le terme d'accélération est petit, tandis que les termes de frottement solide et de frottement visqueux sont négligeables par rapport aux
25 efforts en jeu. Par ailleurs, le rendement η est stationnaire. On peut donc, sans beaucoup d'erreur, estimer que lorsque l'actionneur se trouve dans la situation de référence, l'effort exercé par le poussoir est lié au courant circulant dans le moteur de l'actionneur par la rela-
30 tion :

$$F \approx r \cdot \eta \cdot K \cdot i$$

Ainsi, si l'actionneur se trouve dans une telle

situation de référence, l'exercice d'un effort égal à la consigne d'effort $\bar{F}$ nécessiterait qu'un courant de référence i^* égal à :

$$i^* = \frac{\bar{F}}{r \cdot \eta \cdot K}$$

5 circule dans le moteur de l'actionneur.

Cette situation de référence est en pratique rencontrée fréquemment lors du fonctionnement du frein. Elle correspond notamment à l'application d'un effort par le poussoir sur les disques, hors correction brusque due à
10 la protection antiblocage.

Sur le schéma de la figure, le courant de référence i^* est calculé au moyen d'un multiplicateur 2 gain $K2$, égal à

$$K2 = \frac{1}{r \cdot \eta \cdot K}$$

15 Le courant de référence i^* est fourni à l'entrée positive d'un comparateur 3 dont l'entrée négative reçoit une mesure du courant i circulant réellement dans le moteur électrique de l'actionneur.

La sortie Δi du comparateur 3 est fournie à un
20 saturateur 4 qui sature cette sortie entre 0 et une valeur de saturation maximale $\Delta i_{\max}$, pour fournir en sortie une différence calibrée Δi_{sat} . La sortie est alors fournie à un intégrateur 5 et enfin à un multiplicateur 6 de gain $K3$ qui transforme la sortie de l'intégrateur 5 en la correction de position x_{corr} , qui est ajoutée à la consigne
25 nominale de position $\bar{X}$.

Du fait de l'action du saturateur 4, la correction de position x_{corr} n'augmente que si le courant i qui circule dans l'actionneur est inférieur au courant de référence i^* , c'est-à-dire si l'effort appliqué est manifestement inférieur à ce qu'il devrait être.
30

En pratique, les conditions dans lesquelles une telle correction est susceptible d'intervenir sont des conditions de freinage engendrant un fort dégagement de

chaleur conduisant à une dilatation du tube de torsion du frein, qui entraîne une diminution non souhaitée de l'effort appliqué. Il s'agit donc de freinage d'intensité très importante. Dans ces circonstances, et lorsque le
5 poussoir est en contact avec les disques, il est légitime de considérer qu'il se trouve dans la situation de référence dans laquelle on peut facilement estimer le courant de référence i^* qui devrait circuler dans le moteur électrique si l'actionneur appliquait l'effort demandé. Si le
10 courant mesuré i est inférieur au courant de référence i^* , c'est que le modèle non-linéaire utilisé dans le convertisseur 1 pour calculer la consigne nominale de position $\bar{X}$ à partir de la consigne d'effort $\bar{F}$ n'est plus représentatif de l'état du frein, ce qui peut se produire
15 en cas de fort dégagement de chaleur, engendrant des dilatations difficilement mesurables ou modélisables. La correction effectuée selon l'invention compense ainsi l'inadaptation du modèle non-linéaire aux conditions de freinage.

20 Selon un aspect particulier de l'invention, un organe de neutralisation 7 vérifie en permanence si les conditions de fonctionnement de l'actionneur sont bien compatibles avec le situation de référence pour laquelle le calcul du courant de référence est représentatif d'un
25 courant réel pouvant circuler dans l'actionneur. Si les conditions de fonctionnement de l'actionneur sont telles que ce calcul ne serait pas représentatif (par exemple lors d'une phase d'accélération brusque du poussoir due à une correction du dispositif de protection antiglisse-
30 ment), l'organe de neutralisation 7 envoie une sortie nulle, de sorte que la différence Δi est systématiquement négative. Le saturateur 4 renvoie donc une différence calibrée Δi_{sat} nulle, et la sortie de l'intégrateur 5 reste ainsi figée à sa valeur courante. Ainsi, la correction de
35 position est désactivée pour des conditions de fonction-

nement de l'actionneur pour lesquelles le courant estimé i^* n'est pas représentatif d'un courant pouvant circuler dans le moteur électrique de l'actionneur. En pratique, l'organe de protection tient compte de paramètres de fonctionnement tels que la position et la vitesse du poussoir, le courant i circulant dans le moteur, afin de déterminer si oui ou non l'actionneur est dans la situation de référence.

De préférence, on prévoira une remise à zéro de la correction de position, par exemple toutes les fois qu'un contact entre le poussoir et les disques est détecté suite à l'accostage des disques par le poussoir de l'actionneur.

L'invention n'est pas limitée à ce qui vient d'être décrit, mais bien au contraire englobe toute variante entrant dans le cadre défini par les revendications.

En particulier, bien que l'on ait indiqué que l'on déterminait le courant de référence directement à partir de la consigne d'effort de freinage au moyen d'un simple multiplicateur 2, on pourra déterminer ce courant de façon plus sophistiquée, par exemple en tenant compte d'une valeur du rendement η de la liaison qui peut différer selon le signe de la vitesse de rotation du moteur, et, de façon encore plus sophistiquée, en utilisant un modèle étalonné du type :

$$i^* = \frac{1}{K} \left\{ \frac{\bar{F}}{r \cdot \eta} + C_s + C_v \cdot \Omega \right\}$$

si l'on a étalonné au préalable les valeurs C_s et C_v . Dans ce cas, la situation de référence englobe quasiment toutes les situations pratiques de fonctionnement de l'actionneur, hormis les cas d'accélération très brusque dans lesquels le terme d'accélération ne pourrait plus être négligé.

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande d'un frein électromécanique de roue de véhicule comportant un actionneur muni d'un poussoir actionné par un moteur électrique et adapté à exercer sélectivement un effort de freinage sur des éléments de friction en réponse à une consigne d'actionnement, dans lequel :
- à partir d'une consigne de freinage, on détermine une consigne nominale de position de l'actionneur du frein ;
 - à partir de cette même consigne de freinage, on estime un courant de référence qui devrait normalement circuler dans le moteur de l'actionneur pour appliquer un effort égal à la consigne de freinage ;
 - on compare le courant de référence à un courant circulant dans le moteur de l'actionneur, et on en déduit une correction de position ; et on ajoute la correction de position à la consigne nominale de position.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, la correction de position ne peut qu'augmenter, l'augmentation n'ayant lieu que si le courant circulant dans le moteur de l'actionneur est inférieur au courant de référence.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, on sature la différence entre le courant de référence et le courant circulant dans le moteur de l'actionneur à une valeur maximale si la différence dépasse cette valeur maximale.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la différence calibrée est intégrée.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on neutralise la correction si on détecte que l'actionneur est dans une situation qui rend la calcul du courant de référence non représentatif d'un

courant réel qui circulerait dans le moteur de l'actionneur.

5 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la neutralisation de la correction fige la valeur de la correction de position à sa valeur courante.

7. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé de l'une des revendications précédentes, comportant :

- une entrée pour recevoir une consigne de freinage ;
- 10 - une entrée pour recevoir une mesure du courant (i) circulant dans le moteur de l'actionneur ;
- des moyens de calcul, à partir de la consigne de freinage, d'une consigne nominale de position du poussoir l'actionneur ;
- 15 - des moyens de calcul, à partir de la consigne de freinage et du courant circulant dans le moteur de l'actionneur, d'une correction de position ;
- une sortie fournissant une somme de la consigne nominale d'actionnement et de la correction de position.

Figure unique

