



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1995/07/05

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1996/01/07

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2005/01/11

(30) Priorité/Priority: 1994/07/06 (94 08337) FR

(51) Cl.Int.⁶/Int.Cl.⁶ F15B 21/02, B60G 17/015

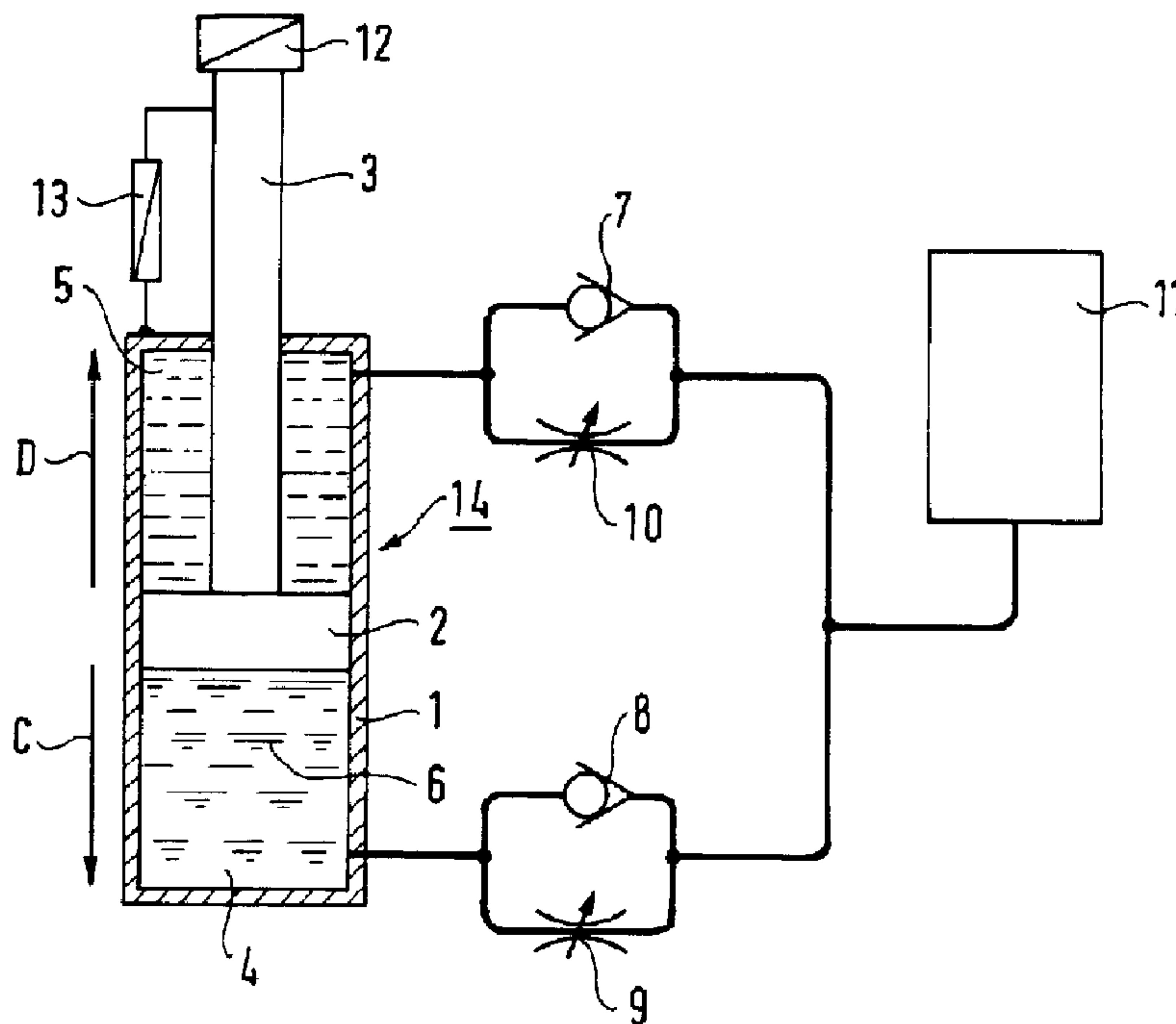
(72) Inventeurs/Inventors:
BOICHOT, PHILIPPE, FR;
KIRAT, REGIS, FR

(73) Propriétaire/Owner:
GEC ALSTHOM TRANSPORT SA, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : AMORTISSEUR SEMI-ACTIF

(54) Title: SEMI-ACTIVE SUSPENSION



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention porte sur un amortisseur semi-actif commandé par un circuit de commande comportant une boucle de commande directe (19) composée d'un modèle inverse (15) de l'amortisseur. Le modèle inverse (15) de l'amortisseur détermine une valeur d'un courant électrique théorique i_{th} de commande d'une valve de compression (9) et d'une valve de détente (10) à partir d'une mesure d'une valeur d'une vitesse relative $\dot{y}$ entre deux extrémités de l'amortisseur et d'une valeur de consigne d'effort F_c . L'amortisseur semi-actif de l'invention trouve une application en tant que suspension secondaire transversale d'un véhicule ferroviaire de transport de voyageurs.



ABREGE**AMORTISSEUR SEMI-ACTIF**

La présente invention porte sur un amortisseur semi-actif commandé par un circuit de commande comportant une boucle de commande directe (19) composée d'un modèle inverse (15) de l'amortisseur.

Le modèle inverse (15) de l'amortisseur détermine une valeur d'un courant électrique théorique i_{th} de commande d'une valve de compression (9) et d'une valve de détente (10) à partir d'une mesure d'une valeur d'une vitesse relative $\dot{y}$ entre deux extrémités de l'amortisseur et d'une valeur de consigne d'effort F_c .

L'amortisseur semi-actif de l'invention trouve une application en tant que suspension secondaire transversale d'un véhicule ferroviaire de transport de voyageurs.

Figure à publier : Figure 2

AMORTISSEUR SEMI-ACTIF

La présente invention concerne les lois de pilotage d'amortisseur hydraulique en général, et porte, plus particulièrement, sur un amortisseur semi-actif.

Les brevets français FR 2 660 705 et FR 2 667 907 de la société REGIE NATIONALE DES USINES RENAULT sont relatifs à un asservissement en effort de vérins hydrauliques de suspension d'automobile.

Les dispositifs décrits s'inscrivent dans le cadre des
10 suspensions actives obtenues par application de la théorie de la commande optimale par minimisation de critères quadratiques.

La terminologie suspension active s'emploie pour des suspensions mettant en oeuvre une génération d'énergie, que ce soit hydraulique, pneumatique ou électrique avec un niveau de puissance important.

De plus, on parle de suspension semi-active lorsque la suspension possède des caractéristiques variables pilotées sans fourniture de puissance importante.

20 Une loi de commande prenant en compte les mesures par capteurs sur un véhicule traduisant les mouvements de ce dernier permet de calculer les efforts que les suspensions doivent appliquer à tout instant pour minimiser le critère retenu.

Ce critère peut se traduire par exemple par la recherche d'une réduction des vibrations ou encore par une limitation des débattements.

Les efforts ainsi calculés représentent les consignes d'effort que devront suivre les organes de suspension. Ces
30 derniers agissent donc en générateurs d'efforts asservis, avec une boucle de contre-réaction négative en effort.

Dans le cas idéal, chaque asservissement d'effort correspondant à chacun des organes de suspension du véhicule est réalisé par un vérin hydraulique alimenté en haute pression, muni d'un capteur d'effort et d'une servovalve.

Une telle solution est par exemple décrite dans les brevets français FR 2 660 705 et FR 2 667 907.

Il découle du brevet FR 2 660 705 que le problème essentiel réside en la difficulté de réaliser un asservissement d'effort avec un vérin quand celui-ci est soumis à des mouvements de grande amplitude à relativement basse fréquence, ce qui est le cas dans le contexte d'une suspension automobile.

En d'autres termes, cette difficulté se traduit par
10 une impédance fortement variable de la suspension automobile.

Le brevet FR 2 660 705 décrit un correcteur de correction du courant de commande de servovalve basé sur la mesure de la vitesse relative entre les deux extrémités du vérin.

Le dispositif décrit dans le brevet FR 2 660 705 fait donc appel à un modèle inverse de la servovalve intégré dans une boucle de correction positive qui se superpose à la boucle de contre-réaction principale de l'asservissement
20 d'effort.

Une autre caractéristique du dispositif de l'art antérieur est que le modèle inverse de servovalve utilisé prend en compte, outre la mesure de vitesse relative, la mesure de l'effort réalisé.

Le dispositif de l'art antérieur constitue une suspension active dans le sens où le dispositif comprend un système de génération hydraulique haute pression.

Un avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est qu'il ne comporte pas de génération hydraulique, de ce
30 fait le dispositif de l'invention constitue un dispositif semi-actif, car il y a une variation commandée de la loi d'amortissement produite.

De plus, une limitation des dispositifs d'amortissement conventionnels est que la loi d'amortissement présente une caractéristique unique figée par construction.

Un but de l'invention est un amortisseur semi-actif permettant d'améliorer le confort vibratoire d'un véhicule ferroviaire.

Un autre but de l'invention est un amortisseur semi-actif permettant d'améliorer le confort de véhicules ferroviaires déjà en exploitation, sous réserve d'implantation de l'électronique de commande.

La présente invention vise un amortisseur semi-actif commandé par un circuit de commande présentant comme entrées une consigne d'effort F_c élaborée par un calculateur, une vitesse relative $\dot{y}$ entre deux extrémités de l'amortisseur et une force effective F exercée par l'amortisseur, ledit circuit de commande comportant une boucle de commande directe composée d'un modèle inverse simplifié de l'amortisseur, ledit modèle inverse de l'amortisseur déterminant une valeur d'un courant électrique théorique i_{th} de commande d'une valve de compression et d'une valve de détente à partir d'une mesure d'une valeur de ladite vitesse relative $\dot{y}$ et d'une valeur de ladite consigne d'effort F_c , une boucle de rétroaction en effort introduisant, audit courant électrique théorique i_{th} de commande, un terme correctif δi de type proportionnel de manière à tenir compte d'une erreur d'effort εF entre ladite valeur de consigne d'effort F_c et une valeur mesurée de la force effective F exercée.

De préférence, l'invention a également pour objet un amortisseur semi-actif commandé par un circuit de commande satisfaisant à l'une des caractéristiques suivantes:

- le modèle inverse de l'amortisseur détermine une valeur d'un courant électrique théorique i_{th} de commande d'une valve de compression et d'une valve de détente à partir d'une mesure d'une valeur d'une vitesse relative $\dot{y}$ entre deux extrémités de l'amortisseur et d'une valeur de consigne d'effort F_c ;

- une boucle de rétroaction en effort, introduit audit courant électrique théorique i_{th} de commande, un terme correctif δi de type proportionnel de manière à tenir compte

3a

d'une erreur d'effort ϵF entre ladite valeur de consigne d'effort F_c et une valeur mesurée d'une force effective F exercé;

- le modèle inverse de l'amortisseur est défini par les expressions:

$$i_{th} = K_{23} \frac{|\dot{y}|}{\sqrt{|F_c|}}, \text{ en phase de détente } (\dot{y} > 0), \text{ et}$$

$$i_{th} = K_{13} \frac{|\dot{y}|}{\sqrt{|F_c|}}, \text{ en phase de compression } (\dot{y} < 0).$$

Comme indiqué ci-dessus, un avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est qu'il ne nécessite pas de source d'énergie, de pompe ou de compresseur.

Un autre avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est le pilotage de la loi d'amortissement de

l'amortisseur, ce qui permet de réaliser de façon continue une infinité de lois force-vitesse relative.

Un autre avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est que l'organe amortisseur piloté se substitue à l'amortisseur conventionnel, moyennant des modifications dans le câblage électrique.

Un autre avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est que le fonctionnement en mode dégradé s'apparente à celui d'un amortisseur conventionnel.

10 Un autre avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention est qu'il procure 20 à 50 pour cent d'amélioration du confort vibratoire suivant le type de véhicule équipé.

Un autre avantage de l'amortisseur semi-actif de l'invention découle de l'utilisation d'un modèle inverse de l'amortisseur.

L'utilisation d'un modèle inverse de l'amortisseur permet de déterminer le courant de commande de la servovalve à partir de la mesure de la vitesse relative et de la
20 consigne d'effort et non, comme indiqué précédemment dans l'état de la technique, à partir de la mesure de la vitesse relative et de l'effort réalisé.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description du mode de réalisation préféré de l'amortisseur semi-actif, description faite en liaison avec les dessins dans lesquels:

- la figure 1 représente un schéma de principe de l'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention;

- la figure 2 représente un schéma de principe du
30 circuit de commande de l'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention.

La figure 1 représente un schéma de principe de l'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention.

L'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention comporte un corps 1 dans lequel coulisse un piston 2 plein muni d'une tige 3 l'ensemble constituant un vérin 14.

Le piston 2 délimite une première chambre 4 dite chambre de compression et une seconde chambre 5 dite chambre de détente.

Le corps 2 est rempli d'un fluide 6, par exemple d'huile hydraulique.

L'amortisseur semi-actif comprend également un premier clapet anti-retour 7 dit clapet de compression et un second clapet anti-retour 8 dit clapet de détente.

Une première valve hydraulique 9 dite valve de
10 compression et une seconde valve hydraulique 10 dite valve de détente sont pilotées électriquement.

L'amortisseur semi-actif comprend également un accumulateur 11 oléopneumatique préchargé constitué d'une chambre.

Un tel accumulateur 11 oléopneumatique forme un volume fixe comprenant un gaz inerte sous pression et de l'huile hydraulique à laquelle le gaz communique sa pression.

Les deux fluides sont généralement séparés physiquement par une membrane ou une vessie.

20 La fonction de cet accumulateur consiste, d'une part, à absorber le volume d'huile correspondant au volume de la tige lorsque l'amortisseur est complètement comprimé et, d'autre part, à assurer une pression minimale dans le circuit hydraulique.

Le clapet de compression 7 et la valve de détente 10 sont montés en parallèle et sont disposés entre la chambre de détente 5 et la chambre de l'accumulateur 11.

Le clapet de détente 8 et la valve de compression 9
30 de compression 4 et la chambre de l'accumulateur 11.

Enfin, l'amortisseur semi-actif comprend un capteur de force 12 et un capteur de vitesse relative 13.

La figure 2 représente un schéma de principe de la commande de l'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention.

Les références utilisées dans cette figure 2 et leur signification sont indiquées ci-après:

- Fc: consigne de force,
- F: force effective,
- Fm: mesure par capteur de la force effective F,
- ϵF : erreur d'effort, $\epsilon F = F_c - F_m$,
- $\dot{y}$: vitesse relative entre les deux extrémités de l'amortisseur,
- i: courant électrique de commande des valves,
- 10 i_{th} : courant de commande théorique déterminée par le modèle inverse et à appliquer aux vannes hydrauliques pour obtenir l'effort F_c ,
- δi : correction supplémentaire à $i = i_{th} + \delta i$ pour tenir compte de l'erreur d'effort ϵF .

Le fonctionnement hydraulique de l'amortisseur semi-actif piloté conforme à l'invention est décrit ci-après en liaison avec les figures 1 et 2.

On distingue deux phases dans le fonctionnement hydraulique de l'amortisseur semi-actif piloté de
20 l'invention:

- une première phase dite phase de compression, symbolisée sur la figure 1 par la flèche C, et
- une phase dite phase de détente, symbolisée sur la figure 1 par la flèche D.

Lors de la phase de compression le piston 2 pénètre dans le corps 1 du vérin et lors de la phase de détente le piston 2 sort du corps 1 du vérin.

En phase dite de compression, le fluide 6 contenue dans la chambre de compression 4 est comprimé. Le clapet
30 anti-retour de détente 8 est bloqué, ce qui force le fluide à passer par la valve de compression 9.

Le clapet anti-retour de compression 7 permet au fluide 6 de court-circuiter la valve de détente 10 et de remplir librement la chambre de détente 5.

Le pilotage de la valve de compression 9 permet de contrôler le niveau de pression dans la chambre de

compression 4 et donc de contrôler l'effort de réaction exercé en compression.

En phase dite de détente, le rôle des organes est inversé.

La valve de détente 10 contrôle le passage du fluide 6 de la chambre de détente 5 vers la chambre de l'accumulateur 11, ce qui permet de moduler l'effort de détente.

Le clapet de détente 8 est actif et laisse libre le passage du fluide 6 de la chambre de détente 5 vers la 10 chambre de l'accumulateur 11.

Les valves de compression 9 et de détente 10 sont pilotées de préférence électriquement de façon à moduler l'effort d'amortissement qui est toujours opposé à la vitesse.

Il résulte de ce qui précède que l'amortissement reste un système dissipatif.

La modulation de l'effort exercé permet d'asservir cet effort à une consigne d'effort F_c élaborée par un calculateur (non représenté).

20 Le problème de base consiste à déterminer le courant de commande i à appliquer aux valves de compression 9 et de détente 10 pour réaliser la consigne d'effort F_c .

L'exploitation des relations qui traduisent l'équilibre des débits volumiques de chaque chambre de l'amortisseur à vitesse constante, et ce pour les phases de compression et de détente, a permis de déduire une relation simple entre le courant i_{th} délivré par un modèle inverse 15 de l'amortisseur, la vitesse relative instantanée $\dot{y}$ et l'effort d'amortissement.

30 Cette relation est par exemple donnée par la formule suivante, en phase de détente:

$$F = \frac{\rho}{2} \left(\frac{S_2}{G_{i,i}} \right)^2 \cdot S_2 \cdot \dot{y}^2 + \frac{\rho}{2} \left(\frac{S_1}{C_d \cdot A_{31}(\Delta P_{31})} \right)^2 \cdot S_1 \cdot \dot{y}^2 - (P_3 - P_e) \cdot S_1$$

où:

F est l'effort d'amortissement exercé,
 ρ la masse volumique de l'huile,

S_1 la section du piston, côté sans tige, soumise à la pression,
 S_2 la section du piston, côté tige, soumise à la pression,
 S_t la section de la tige,
 $\dot{y}$ la vitesse relative,
 G_i le gain en pression de la valve de commande,
 i le courant de commande,
 C_d le coefficient de débit du clapet antiretour de détente,
 A_{31} la section de passage géométrique du clapet antiretour de détente,
 ΔP_{31} la perte de charge entre l'accumulateur et la chambre mise en dépression,
 P_3 la pression dans l'accumulateur et
 P_e la pression atmosphérique.

10

L'exploitation de ce modèle d'amortisseur, dans le sens où, en fonction de l'effort désiré F_c et de la vitesse mesurée $\dot{y}$, on cherche le courant i_{th} à appliquer aux organes
 20 de commande, revient à exploiter un modèle inverse 15 de l'amortisseur.

Du fait des simplifications dans l'établissement de la loi d'amortissement et donc dans le modèle inverse 15 de l'amortissement, un terme correctif δi de type proportionnel est introduit par le biais d'une boucle de rétro-action 16 en effort.

Cette boucle de rétroaction 16 permet, par la mesure F_m , au moyen du capteur de force 12 de l'effort F exercé, de réaliser le signal d'erreur εF entre la force de consigne F_c
 30 et la force mesurée F_m .

Ce signal d'erreur εF est appliqué à un correcteur 17, lequel délivre la correction supplémentaire δi au courant de commande i des valves 9, 10.

La valeur de la vitesse relative $\dot{y}$ est introduite dans le modèle inverse 15 de l'amortisseur par le biais d'une boucle de rétroaction 18 en vitesse.

La boucle de rétro-action 18 en vitesse inclue le capteur de vitesse 13.

La valeur du courant théorique i_{th} de commande est déterminée par le modèle inverse 15 de l'amortisseur.

Ce courant théorique i_{th} de commande est appliqué aux valves hydrauliques, pour obtenir l'effort F_c , par le biais d'une boucle de commande directe 19.

La boucle de commande directe 19 inclue le modèle inverse 15 de l'amortisseur lequel est défini, par exemple, 10 par les expressions:

$$i_{th} = K_{23} \frac{|\dot{y}|}{\sqrt{|F_c|}}, \text{ en phase de détente } (\dot{y} > 0), \text{ et}$$

$$i_{th} = K_{13} \frac{|\dot{y}|}{\sqrt{|F_c|}}, \text{ en phase de compression } (\dot{y} < 0),$$

où K_{13} et K_{23} sont des constantes positives dépendant de la taille du vérin, des caractéristiques physiques de l'huile ainsi que du gain en débit des valves hydrauliques.

L'amortisseur semi-actif de l'invention trouve une application en tant que suspension secondaire transversale d'un véhicule ferroviaire de transport de voyageurs.

REVENDICATIONS

1. Amortisseur semi-actif commandé par un circuit de commande présentant comme entrées une consigne d'effort F_c élaborée par un calculateur, une vitesse relative $\dot{y}$ entre deux extrémités de l'amortisseur et une force effective F exercée par l'amortisseur, ledit circuit de commande comportant une boucle de commande directe (19) composée d'un modèle inverse (15) simplifié de l'amortisseur, ledit modèle inverse (15) de l'amortisseur déterminant une valeur d'un courant électrique théorique i_{th} de commande d'une valve de compression (9) et d'une valve de détente (10) à partir d'une mesure d'une valeur de ladite vitesse relative $\dot{y}$ et d'une valeur de ladite consigne d'effort F_c , une boucle de rétroaction (16) en effort introduisant, audit courant électrique théorique i_{th} de commande, un terme correctif δi de type proportionnel de manière à tenir compte d'une erreur d'effort εF entre ladite valeur de consigne d'effort F_c et une valeur mesurée de la force effective F exercée.

2. Amortisseur semi-actif selon la revendication 1, dans lequel ledit modèle inverse (15) de l'amortisseur est défini par les expressions:

$$i_{th} = K_{23} \frac{\left| \dot{y} \right|}{\sqrt{\left| F_c \right|}}, \text{ en phase de détente } (\dot{y} > 0), \text{ et}$$

$$i_{th} = K_{13} \frac{\left| \dot{y} \right|}{\sqrt{\left| F_c \right|}}, \text{ en phase de compression } (\dot{y} < 0),$$

où K_{13} et K_{23} sont des constantes positives dépendant de la taille du vérin, des caractéristiques physiques de l'huile ainsi que du gain en débit des valves hydrauliques.

FIG. 2

