CH 676638 A5

(19) CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 676638 A5

(51) Int. Cl.[5]: G 03 B 5/00
G 02 B 27/64
G 03 B 41/00

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) FASCICULE DU BREVET A5

(21) Numéro de la demande: 4095/87

(22) Date de dépôt: 19.10.1987

(24) Brevet délivré le: 15.02.1991

(45) Fascicule du brevet publié le: 15.02.1991

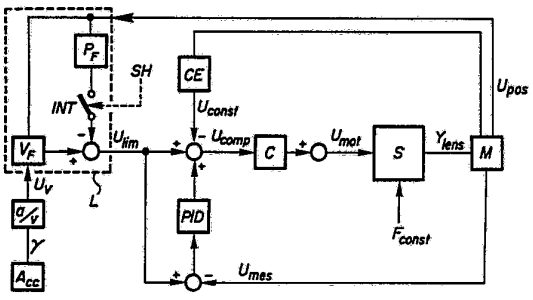
(73) Titulaire(s):
Canon Inc., Takatsu-ku/Kawasaki-shi (JP)

(72) Inventeur(s):
Vasey, François, Lausanne
Arditi, Marcel, Genève

(74) Mandataire:
Blasco Dousse, Carouge GE

(54) Dispositif de stabilisation d'image.

(57) Un élément optique de prise de vue et de visée est déplacé entre deux positions limites par une came solidaire de l'arbre d'un moteur d'un dispositif de compensation (S) alimenté par une tension (U_V) proportionnelle à la vitesse angulaire de l'appareil obtenue par intégration d'un signal d'accélération (γ) dans une gamme de fréquences fonction de la fréquence du mouvement angulaire susceptible d'être communiqué manuellement à l'appareil. On détecte la position (U_{pos}) de cet élément optique et on diminue progressivement la tension d'alimentation du moteur (U_{lim}) dès que cette position est à une distance donnée des positions limites de la came pour amener cette tension à zéro lorsque cet élément optique atteint l'une ou l'autre de ces positions limites.



Description

La présente invention se rapporte à un dispositif de stabilisation d'image.

On sait qu'à partir d'un certain grossissement, il n'est plus possible d'obtenir une image nette pour un temps de pose donné avec un appareil portatif, si celui-ci n'est pas fixé à un pied. Or l'emploi du pied limite évidemment les conditions d'utilisation d'un appareil de photo, la visée et la prise de vue avec l'appareil porté à la main étant le plus souvent désirable.

Il existe déjà de nombreux dispositifs de stabilisation pour rendre un organe indépendant des mouvements d'un véhicule, en particulier dans des applications militaires. De tels dispositifs ne sont pas adaptables à la stabilisation d'une image sur le plan d'un film photographique.

Un dispositif mécanique apte à déplacer un élément optique d'un objectif photographique parallèlement au plan du film a été décrit dans le brevet suisse No 669 271. Ce mécanisme est basé sur un système optique de compensation à double parallèlogramme, déformable selon les 2 axes de compensation, chacun de ces parallélogrammes est pressé élastiquement contre une came entraînée par un moteur. Cette came est destinée a communiquer au parallélogramme déformable des déplacements dont la vitesse est comparable à la vitesse angulaire des tremblements communiques manuellement à l'appareil photographique.

Si la compensation n'intervient que pendant le temps d'exposition du film, typiquement 1/60 s, l'amplitude du mouvement de vibration durant 24 ms, si l'on englobe le temps total de déplacement du rideau, est relativement faible et peut être estimée, d'après des mesures effectuées avec un échantillon représentatif de personnes, à 0,5 mm.

Si on désire étendre cette compensation au temps de visée, c'est-à-dire sur plusieurs secondes, l'amplitude de ce mouvement est susceptible d'être très sensiblement supérieure à cette valeur. D'une part, une compensation d'une amplitude de plusieurs mm serait difficile à réaliser, d'autre part il est nécessaire que le photographe, pendant la visée, reste conscient de ses mouvements lents et de grande amplitude, tandis que seuls ses mouvements de tremblement involontaires, rapides et de faible amplitude sont compensés, dans la mesure où ce sont de tels mouvements qui troublent la netteté de l'image. L'amplitude maximum du mouvement de compensation est donnée par la came, ici une came en spirale, et est limitée par ses deux extrémités. Dans ces conditions, il est nécessaire d'arrêter le mouvement de la came à chacune de ses extrémités indépendemment de l'amplitude du mouvement angulaire de l'appareil. Par cette limitation, il est alors possible d'étendre la compensation non seulement au temps d'exposition de la pellicule photographique, mais également au temps de visée.

A cet effet, la présente invention a pour objet un dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1.

Les avantages de cette solution résident dans sa simplicité. Le système d'asservissement étant basé sur une mesure de position de laquelle est déduite la vitesse, la détermination de positions limites, correspondant aux deux extrémités de la came, est basée sur la même mesure que celle utilisée dans la boucle de compensation des vibrations. Cette solution permet donc de façon simple, d'adapter le système électromécanique de stabilisation non seulement à l'exposition du film, mais à la visée. Les différents tests effectués avec un appareil de photographie, équipé d'un dispositif de compensation du tremblement selon l'invention, ont permis de révéler que la stabilisation de l'image pendant la visée joue un rôle important sur le comportement du photographe. Celui-ci en ne voyant pas le sujet trembler dans le viseur, n'a pas tendance à se crisper, ce qui contribue a diminuer le niveau de tremblement par rapport à un appareil sans stabilisation durant la visée. Ainsi la réduction du niveau de tremblement rend d'autant plus efficace la stabilisation durant l'exposition du film.

Le dessin annexé illustre, schématiquement et à titre d'exemple, une forme d'exécution d'un circuit électronique d'asservissement du dispositif de stabilisation d'image objet de la présente invention.

La fig. 1 est une vue très schématique et unidimensionnelle montrant la conception du mécanisme à actionner.

Les fig. 2a et 2b illustrent un modèle analytique contenant les paramètres mécaniques et électriques intervenant dans le dispositif de compensation.

La fig. 3 est un schéma-bloc du circuit électrique de commande.

Les fig. 4a et 4b sont des diagrammes explicatifs.

La fig. 5 est un schéma électrique de réalisation du module de compensation C du schéma-bloc de la fig. 3.

La fig. 6 est un diagramme de la caractéristique du module de la fig. 5.

La fig. 7 est un schéma électrique du module PID utilisé dans le schéma-bloc de la fig. 3.

La fig. 8 est un diagramme illustrant le gain en fonction de la fréquence du module de la fig. 7.

La fig. 9 est un schéma électrique d'un module du schemabloc de la fig. 3.

La fig. 10 est un diagramme charactéristique du module de la fig. 9 illustrant la variation de tension du moteur d'entraînement de la came de commande en fonction de la position, durant la phase de centrage.

La fig. 11 est un schéma électrique du module de limitation d'amplitude V_F de la fig. 3.

La fig. 12 est un diagramme donnant la relation entre le signal $V_{control}$ et la position mesurée U_{pos}.

La fig. 13 est un diagramme du gain en fonction de la position mesurée.

Le dispositif de stabilisation d'image a été dimensionné sur la base de mesures de fréquence, d'amplitude et de vitesse angulaire des mouvements communiqués à un appareil photographique équipé d'un téléobjectif de 300mm f/2.8 pendant le temps d'exposition. Ces tests ont été réalisés sur un échantillon de personnes des deux sexes. L'analyse de ces résultats a montré que la largeur de bande de la fréquence des mouvements à stabiliser se situe entre 1 et 10 – 12Hz. L'amplitude moyenne de déplacement de l'image sur le plan du film pendant le temps d'exposition de 1/60s est de 60 à 80 µm avec des pointes maximum de 200 à 260 µm qui peuvent aller jusqu'à 300 µm, si l'on tient compte du temps total de déplacement du rideau qui est de 24 ms. Pour que le processus de stabilisation soit efficace, il ne faut pas que les oscillations résiduelles dépassent 20 µm pendant 1/60 s.

Les vitesses linéaires maximum à compenser ont été fixées à 20 mm/s, ce qui fixe le déplacement maximum de l'optique de compensation durant 1/60 s à moins de 0.5 mm.

La présente invention a pour objet un système d'asservissement d'un dispositif électromécanique du type de celui décrit dans le brevet suisse No 669 271 auquel on pourra se référer. La fig. 1 illustre très schématiquement le principe unidimensionnel de ce dispositif qui constitue un compensateur optique des déplacements angulaires imprimés à l'appareil photographique. Ce dispositif comporte un équipage mobile 1 portant un elément optique de compensation 2, guidé en translation par des organes de guidage 3 et actionné par une came 4 solidaire de l'arbre d'un moteur 5, un ressort de précontrainte 6 maintenant constamment l'équipage mobile 1 contre la came 4 par l'intermédiaire d'un galet 7. En fait, le mécanisme comporte un second degré de liberté orthogonal à celui illustré et comprenant les mêmes éléments afin de déplacer l'élément optique 2 selon deux axes orthogonaux. Par souci de simplicité on ne se réfère ici qu'à un moteur et un équipage mobile, la commande du second équipage mobile étant, dans son principe, identique à celle du premier.

La fig. 2a représente le compensateur optique S illustré par la fig. 1, dont le premier elément, le moteur 5, reçoit une tension d'entrée U_{mot}. L'élément optique 2 solidaire de l'équipage mobile 1, dont la position correspond à Y_{lens} et la vitesse à V_{lens}, constitue le dernier élément de ce compensateur.

Avant d'examiner l'ensemble du circuit de commande, nous allons procéder à une étude des caractérisques électro-mécaniques du compensateur optique, qui sera utile pour concevoir ce circuit de commande.

La fig. 2b représente symboliquement tous les paramètres électriques et mécaniques du dispositif illustré par la fig. 1. On analysera à partir de cette représentation symbolique la fonction de transfert du dispositif. Cette fig. 2b comporte quatre parties relatives au moteur 5, à la came 4, à l'équipage mobile 1 de l'élément optique 2 et à la force de précontrainte F_{const}. La partie électrique du moteur à courant continu 5 comporte sa résistance R, son inductance L, sa tension contre électromotrice E et sa partie mécanique, son inertie I, son frottement ρ. La came 4 est symbolisée par son facteur de transformation couple-force δ, l'équipage mobile 1 par sa masse m d'une part et par la raideur k, le frottement dynamique λ du ressort, la force de précontrainte, F_{const} du ressort et le poids de l'équipage mobile qui plaquent celui-ci contre la came d'autre part.

Par analyse de ces différents paramètres, on obtiendra la fonction de transfert S relative au déplacement du compensateur optique en fonction de la tension U_{mot} appliquée au moteur 5 à courant continu et de la force F_{const}.

Les fonctions de transfert du modèle symbolique de la fig. 2 sont pour la partie électrique du moteur:

$$M = \psi.i$$
$$E = \psi.\omega$$
$$U_{mot} - E = Ri + sLi$$
$$U_{mot} = (R+sL)\, i + \psi\omega$$

et pour sa partie mécanique:

$$M = M_I + M_\rho + M_\delta$$
$$= sI\omega + \rho.\omega + \delta F_\delta$$

pour la liaison came-équipage mobile supposée rigide:

$$M_\delta = F_\delta \cdot \delta \qquad \Rightarrow \delta = \frac{M_\delta}{F_\delta}$$

$$M_\delta \cdot \omega = F_\delta \cdot v_{lens} \qquad \frac{y_{lens}}{\alpha} = \frac{v_{lens}}{\omega} = \delta$$

pour l'équipage mobile

$F_\delta = F_m + F_k + F_\lambda + F_{const.}$
$=(s^2m + s\lambda + k)V_{lens} + F_{const}$

où V_{lens} correspond à la position de l'équipage mobile.

pour l'ensemble

$$Y_{lens} = \frac{F_\delta - F_{const}}{s^2 m + s\lambda + k}$$

$$Y_{lens} = \frac{\psi\delta\, U_{mot}(s) - F_{const}(s)\delta^2(R+sL)}{s^3 L\, I_{tot} + s^2(L\rho_{tot} + RI_{tot}) + s(Lk\delta^2 + R\rho_{tot} + \psi^2) + Rk\delta^2}$$

$I_{tot} = I + m\delta^2$
$\rho_{tot} = \rho + \lambda\delta^2$

Etant donné que le poids de l'équipage mobile et la force de précontrainte F_{const} sont des valeurs constantes, on peut les neutraliser en appliquant au moteur 5 une tension fixe équivalente à U_{const}:

$$U_{const} = F_{const} \cdot \frac{\delta R}{\psi}$$

En plus de la neutralisation de F_{const}, on peut simplifier les qualités dynamiques du compensateur optique dans le domaine des fréquences utiles à la fonction de transfert S (s) suivante:

$$S(s) = \frac{\text{vitesse atteinte}}{U_{mot}} = \frac{s\,\psi\,\delta}{s^2 RI_{tot} + s\psi^2 + Rk\delta^2}$$

Le diagramme de la fig. 4a illustre les caractéristiques dynamiques du modèle simplifié, dont les paramètres P_{s1}, P_{s2} et S_{const} sont définis par:

$$P_{s1} = \frac{\psi^2}{2RI_{tot}} - \sqrt{\frac{\psi^4}{4R^2I^2_{tot}} - \frac{k\,\delta^2}{I_{tot}}}$$

$$P_{s2} = \frac{\psi^2}{2RI_{tot}} + \sqrt{\frac{\psi^4}{4R^2I^2_{tot}} - \frac{k\,\delta^2}{I_{tot}}}$$

$$S_{const} = \frac{\psi}{k\delta R} \cdot P_{s1}$$

On voit donc qu'à basses fréquences une tension U_{mot} appliquée au moteur 5 engendre essentiellement un déplacement et à hautes fréquences une accélération. Entre ces deux domaines de fréquences, il existe une zone de proportionalité dans le sens complexe entre tension et vitesse.

En élargissant cette zone à l'intervalle de fréquences de 1–10 (Hz) requis pour obtenir une stabilisation efficace comme proposé sur la fonction de transfert idéale (fig. 4b) du compensateur C, on peut réaliser un circuit d'asservissement en vitesse que l'on décrira maintenant plus en détail à l'aide du schéma-bloc de la fig. 3.

Ce circuit comporte un accéléromètre A_{cc} formant à sa sortie un signal γ proportionnel à l'accélération angulaire communiquée à l'appareil photographique pendant la visée et l'exposition du film. Ce signal γ est intégré par un convertisseur accélération-vitesse a/v pour former à sa sortie un signal U_V caractéristique de la vitesse angulaire.

Le reste du circuit d'asservissement est constitué par une boucle fermée. Le signal de vitesse U_V issu du convertisseur a/v est envoyé dans un bloc de compensation électronique C qui filtre et élargit la gamme de fréquences pour laquelle la vitesse V_{lens} atteinte par le moteur sera proportionnelle à sa tension d'alimentation U_{mot}. Les zéros de sa fonction de transfert doivent correspondre aux pôles P_{s1} et P_{s2} du système électromécanique S, comme illustré par le diagramme de la fig. 6. C'est ce bloc, dont le détail est illustré par le schéma électrique de la fig. 5 qui fournit la tension U_{mot} introduite dans le moteur 5 du compensateur optique S. La position V_{lens} de l'équipage mobile 1 du compensateur optique S est détectée par le bloc M qui effectue une mesure différentielle de haute précision de cette position. Cette mesure est différenciée pour engendrer un signal U_{mes} proportionnel à la vitesse V_{lens} de cet équipage mobile.

Ce signal est envoyé dans un filtre PID (Proportionnel, Intégrateur, Différentiateur) qui extrait alors du signal d'erreur U_{diff} entre le signal de vitesse désirée U_V et le signal de vitesse mesurée U_{mes} de l'équipage mobile 1, les termes qui vont être réinjectés dans la boucle d'asservissement sous forme du signal U_{comp}.

Cette régulation sert à stabiliser optiquement les tremblements communiqués à l'appareil photographique. Elle a pour but de faire en sorte que l'erreur en position ε due à la différence entre la vitesse de tremblement Ω_{camera} et la vitesse Ω_{lens} de la lentille compensatrice 2, fixée à l'équipage mobile 1 soit minimum durant le temps d'exposition de la pellicule photographique.

La régulation proposée ici fonctionne en vitesse. Son but est de générer un signal de correction de vitesse jusqu'à ce que l'erreur de vitesse soit aussi petite que possible. Au lieu du filtre PID proposé ici, on pourrait utiliser un règleur à variables d'état, une solution digitale ou un asservissement en position.

La fig. 7 illustre le schéma électrique du filtre PID. La tension U_{diff} caractéristique de la différence entre la vitesse mesurée et la vitesse demandée est introduite dans le filtre qui produit à sa sortie une tension U_{corr} qui est caractéristique de la correction à effectuer. Un interrupteur IN est relié à un signal logique «cent» d'une seconde boucle d'asservissement utilisée pour le centrage de la came 4 et dont on parlera par la suite. Cet interrupteur IN est maintenu ouvert, tant que l'opération de centrage n'est pas terminée.

Le diagramme de la fig. 8 illustre la caractéristique du circuit de la fig. 7 en fonction de la fréquence f.

On voit sur la fig. 3 qu'une seconde boucle fermée est formée dans laquelle un signal de tension U_{pos} proportionnel à V_{lens} est envoyé dans un module de centrage CE dont le détail du circuit électrique est illustré par la fig. 9. Le signal U_{pos} est amené à l'entrée d'un amplificateur différentiel A dont la sortie est connectée à l'entrée d'un échantillonneur-bloqueur S+H rendu actif par un signal logique «cent». Durant la phase active de ce signal logique, le module CE génère une tension U_{const} fonction de la position U_{pos} de l'équipage mobile 1, dont le but est de centrer l'élément optique de compensation 2 au milieu de sa zone de mouvement.

On voit sur la fig. 10 que tant que la position de la lentille est en dessous d'un certain seuil U_{thres}, on applique au moteur une tension U_{max} qui oblige l'élément optique à se mouvoir avec une vitesse constante en direction de son centre de positionnement. Une fois proche de ce point, on diminue la tension appliquée au moteur jusqu'au point d'équilibre U_{bal} correspondant au milieu de la zone de mouvement (U_{pos} = 0). Cette tension U_{bal} est nécessaire pour que le moteur génère un couple apte à compenser la force F_{const} causée par le poids de l'élément optique 2 et la force de précontrainte du ressort 6 qui tend constamment à ramener la came 4 en position de butée.

Une fois l'équipage mobile 1 centré, le signal logique «cent» passe au niveau bas, l'échantillonneur bloqueur S+H fixe U_{const} à sa valeur U_{bal}, et l'asservissement en vitesse peut fonctionner puisque l'élément optique de compensation est libre de se mouvoir dans les deux directions.

En vue de permettre l'utilisation du dispositif de stabilisation aussi bien pendant la visée que pendant la prise de vue, il y a lieu de limiter la course de l'équipage mobile 1 afin de ne pas dépasser les deux extrémités de la came 4.

La mesure de position effectuée par le bloc de mesure M est envoyée, outre au bloc de centrage CE, à un bloc de limitation de course L. Comme on le voit, ce bloc de limitation de course comporte deux entrées l'une recevant un signal U_{pos} caractéristique de la position de l'équipage mobile, l'autre un signal U_V caractéristique de la vitesse obtenue par l'intégration du signal d'accélération γ et qui correspond à la vitesse qui devrait être communiquée à l'équipage mobile 1 pour obtenir une stabilisation parfaite. Ce bloc de limitation comporte deux éléments distincts, un atténuateur de signal V_F qui reçoit les signaux U_V et U_{pos} et un filtre P_F qui reçoit le signal U_{pos}. La sortie de ce filtre P_F est reliée à la sortie du bloc de limitation par l'intermédiaire d'un interrupteur INT dont l'ouverture est commandée par le déclencheur SH de l'appareil photographique.

Le schéma électrique de la fig. 11 représente le concept de base de cet atténuateur V_F. Le diagramme de la fig. 12 illustre le signal de commande de l'atténuateur $V_{control}$ en fonction de la position mesurée de l'équipage mobile U_{pos}.

Le gain de l'amplificateur A, et par conséquent le signal de sortie U_{lim} sont fonction de la position de l'équipage mobile comme illustré par le diagramme de la fig. 13: un gain maximum correspond à une image stabilisée, un gain minimum à une image non stabilisée. La transition correspond à une zone de prise de conscience par le photographe de ses trop grands mouvements. Les caractéristiques de cet atténuateur peuvent etre modifiées en variant la transition gain maximum-gain minimum.

Le rôle du filtre P_F est de recentrer continuellement mais lentement la came 4 afin d'éviter qu'elle ne reste bloquée en bout de course sous l'effet de l'atténuateur V_F et qu'elle ne soit de ce fait plus opérationnelle. Ce recentrage continu permet d'effectuer des changements de direction pendant la phase de visée, tout en continuant de stabiliser l'image. Ce recentrage est déconnecté dès que l'on effectue la prise de vue afin d'assurer une stabilisation d'une précision maximale. A cet effet, le déclencheur de l'appareil ouvre alors l'interrupteur INT. Le filtre utilisé est un filtre passe-bas du 1er ordre. Sa constante de temps doit être choisie de manière à assurer un recentrage efficace lorsque la came est proche de ses limites. Par contre, ce filtre ne doit pas dégrader les performances de la stabilisation d'image lorsque la came est centrée. La réalisation proposée ici n'est qu'une variante des multiples manières de recentrer lentement l'élément mobile 2, telles que:

- Filtres différents mais agissant toujours en continu.
- Filtres n'entrant en action que lorsque la came approche de ses limites.
- Filtres entrant en action périodiquement.

Revendications

1. Dispositif de stabilisation d'image caractérisé par le fait qu'il comporte:
(A) des moyens optiques de correction (2) pour compenser la vibration de l'image;
(B) des moyens d'entraînement (4, 5) pour entraîner ces moyens optiques de correction;
(C) des moyens de limitation (L) pour limiter le fonctionnement de ces moyens d'entraînement (4, 5) en fonction de l'approche de la limite d'entraînement par des moyens optiques de correction.

2. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de limitation (L) comportent des moyens de réduction de vitesse (V_F) pour réduire la vitesse dudit dispositif d'entrainement (4, 5) en fonction de l'approche par lesdits moyens optiques de correction (2), d'une limite de déplacement possible.

3. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de limitation (L) comportent des moyens de commande (P_F) pour commander l'entraînement des moyens d'entraînement (4, 5) en fonction de l'approche par lesdits moyens optiques de correction (2), d'une limite de déplacement possible, de sorte que ces moyens optiques de correction sont déplacés vers le milieu d'une zone de déplacement possible.

4. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 3, caractérisé par le fait que les moyens de commande (P_F) sont destinés à fonctionner de manière lente et continue.

5. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de commande (P_F) comportent des moyens sensibles à une gamme de fréquences basses pour fonctionner lorsque la vibration agissant sur lui est d'une gamme de fréquences basses.

6. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens sensibles à une gamme de frequences basses comportent un filtre passe-bas du premier ordre.

7. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de commande (P_F) comportent des moyens de neutralisation (INT) pour les empêcher de fonctionner pendant la prise de vue.

8. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de limitation (L) comportent des moyens pour limiter (A Fig. 11) le fonctionnement desdits moyens d'entraînement (4, 5) en fonction de l'approche des moyens optiques de correction (2) d'une limite de déplacement possible.

9. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de limitation (L) comportent des moyens pour réduire l'importance de fonctionnement desdits moyens d'entraînement.

10. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, comportant en outre des moyens de detection (C) pour détecter un état de vibration d'image, caractérisé en ce que les moyens d'entraînement (4, 5) agissent en fonction de la sortie desdits moyens de détection (C) et lesdits moyens de limitation (L) limitent la sortie desdits moyens de détection (C) en fonction de l'approche de la limite d'entraînement desdits moyens optiques de correction.

11. Dispositif de stabilisation d'image selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de limitation (L) comportent des moyens (V_F) pour limiter complètement l'actionnement desdits moyens d'entraînement à la limite d'entraînement desdits moyens optiques de correction.

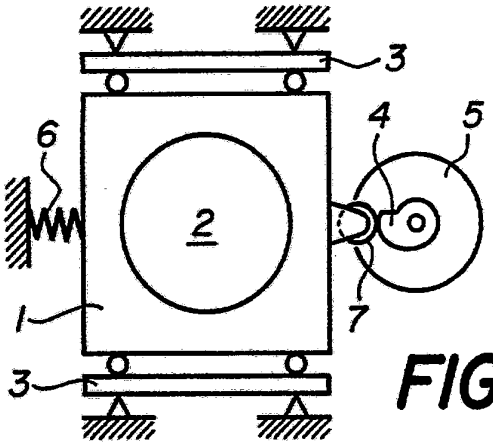


FIG. 1

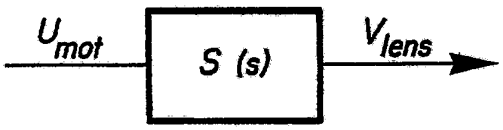


FIG. 2a

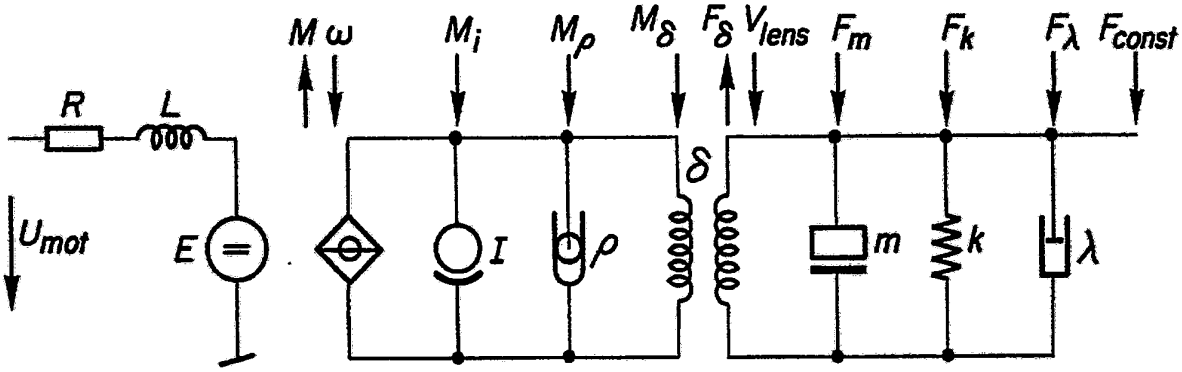


FIG. 2b

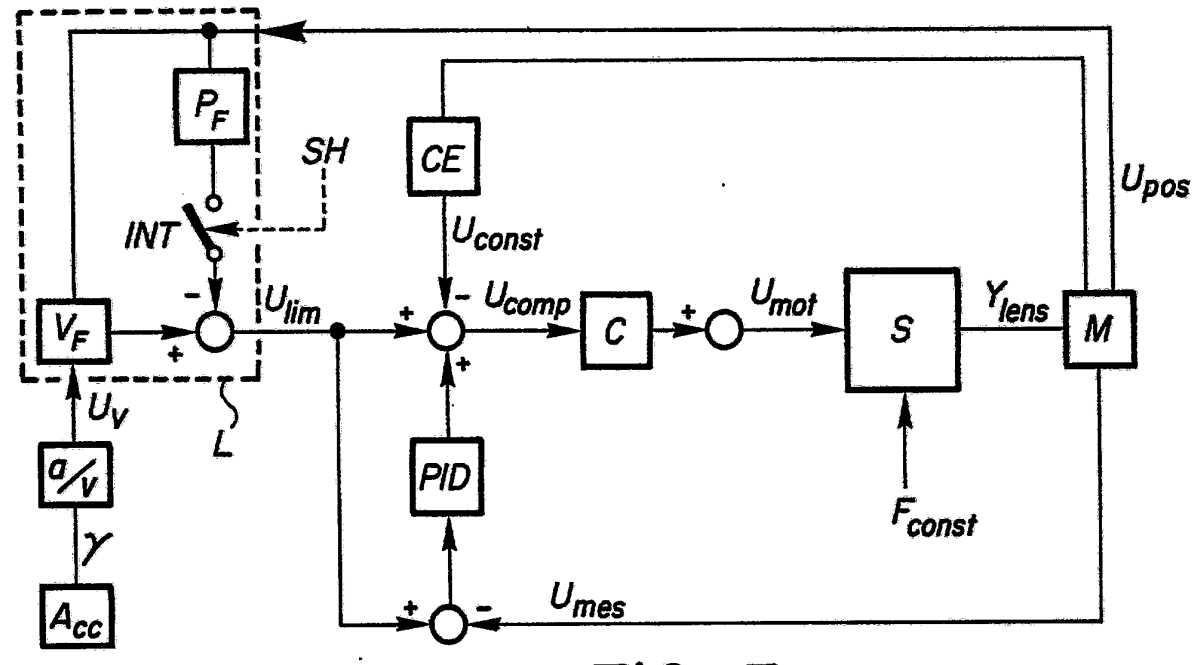


FIG. 3

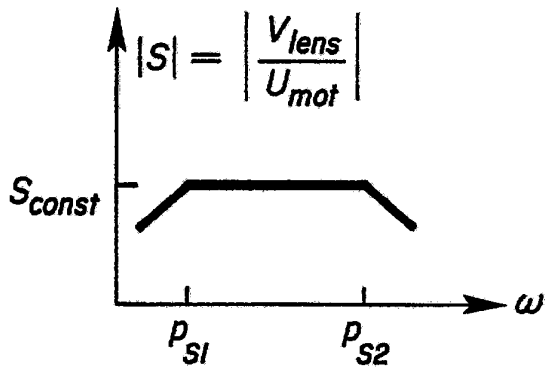


FIG. 4a

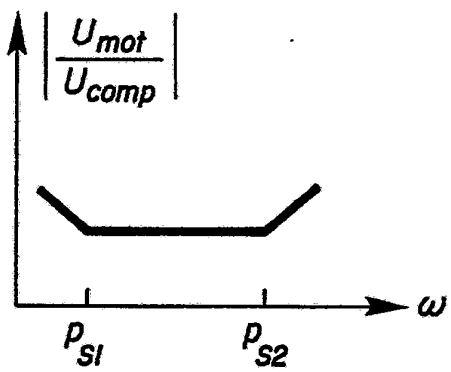
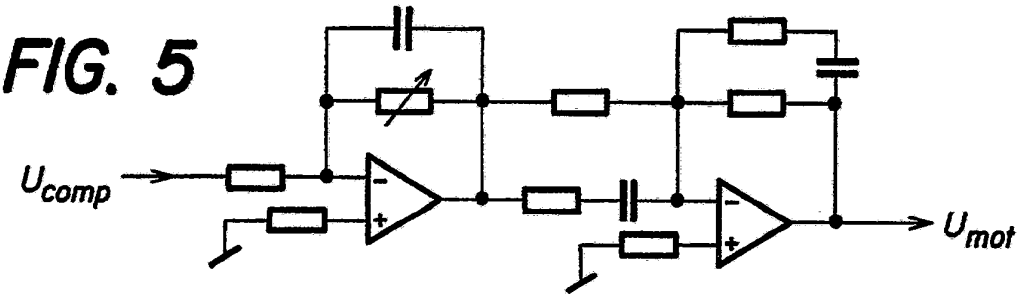


FIG. 4b

FIG. 5



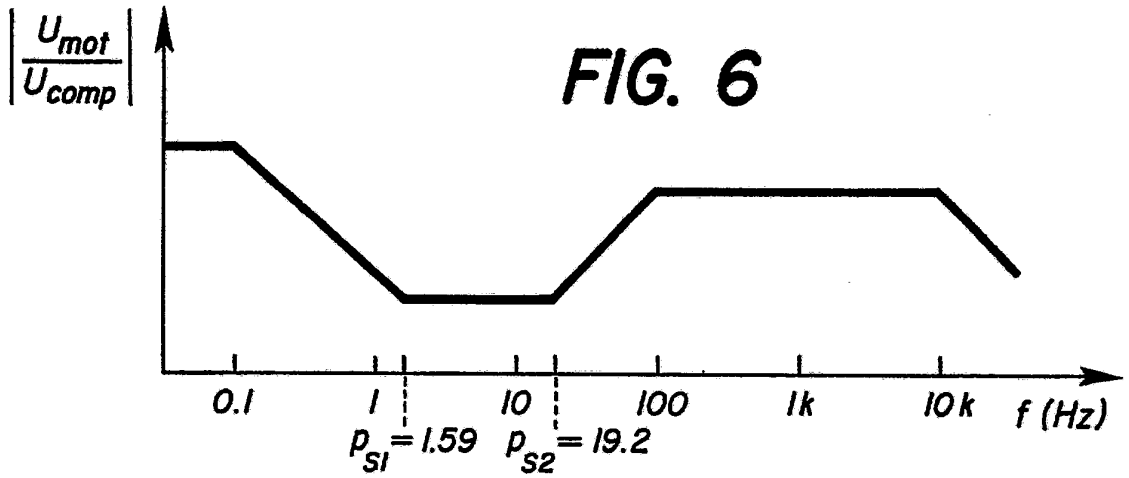
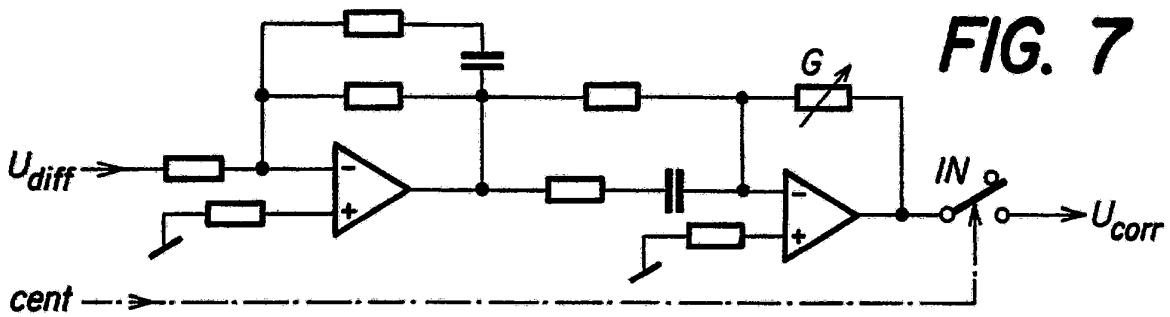


FIG. 6

FIG. 7



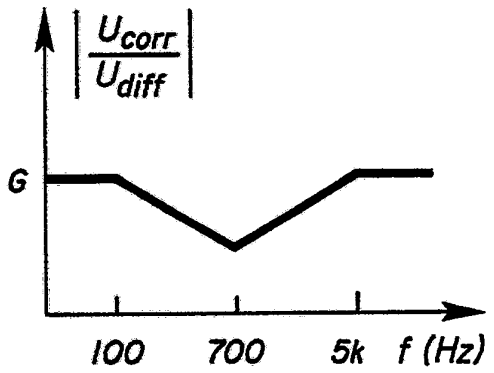


FIG. 8

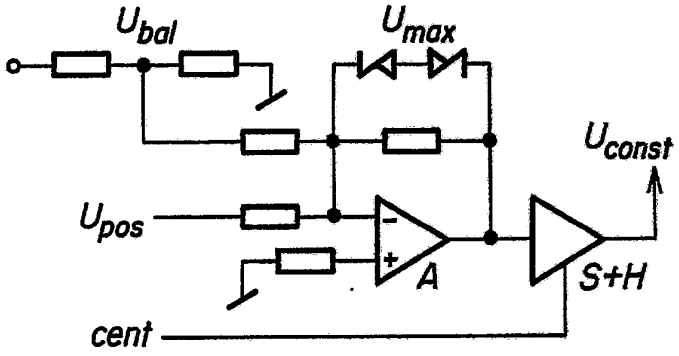
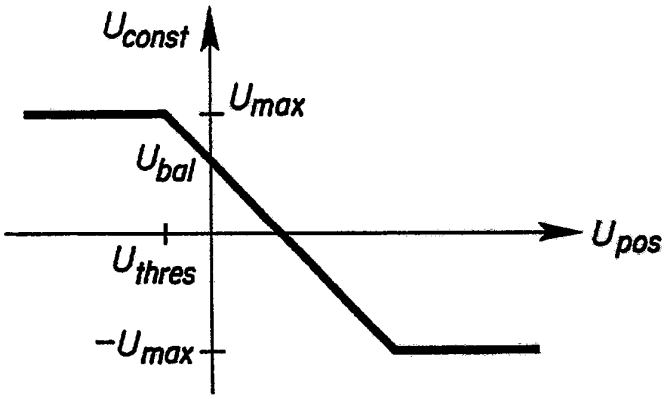


FIG. 9

FIG. 10



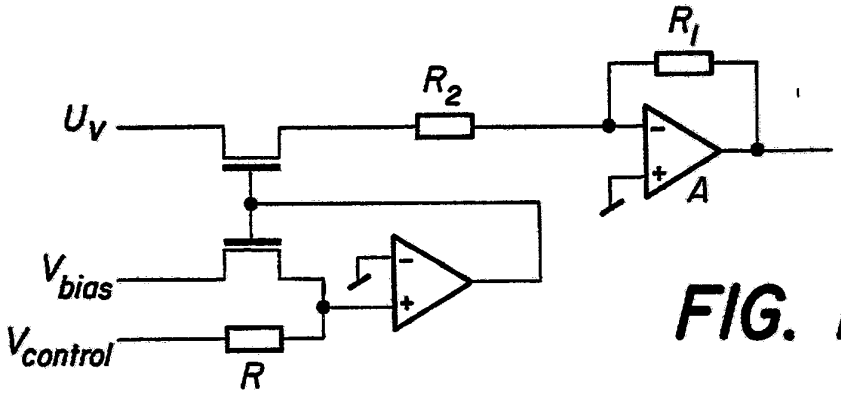


FIG. 11

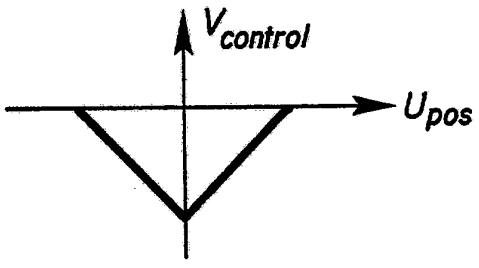


FIG. 12

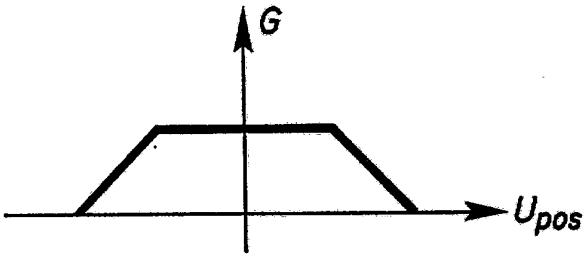


FIG. 13