

(19)



(11)

EP 2 019 396 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.02.2018 Bulletin 2018/08

(51) Int Cl.:
H01F 7/18^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **08354047.6**

(22) Date de dépôt: **30.06.2008**

(54) **Actionneur électromagnétique à au moins deux bobinages**

Elektromagnetisches Stellglied mit mindestens zwei Wicklungen

Electromagnetic actuator with at least two coils

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **23.07.2007 FR 0705343**

(43) Date de publication de la demande:
28.01.2009 Bulletin 2009/05

(73) Titulaire: **Schneider Electric Industries SAS
92500 Rueil-Malmaison (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Follic, Stéphane
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**

• **Lauraire, Michel
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**

(74) Mandataire: **Colette, Marie-Françoise et al
Schneider Electric Industries SAS
Service Propriété Industrielle
WTC - E1
5, place Robert Schuman
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
**WO-A-99/06677 WO-A-02/061780
DE-A1- 3 546 513 DE-A1- 19 741 570
GB-A- 1 502 676 US-A- 4 688 138**

EP 2 019 396 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 **[0001]** L'invention est relative à un actionneur électromagnétique comprenant un circuit magnétique formé d'une culasse ferromagnétique s'étendant selon un axe longitudinal, et d'un noyau ferromagnétique mobile monté à coulissement axial selon l'axe longitudinal de la culasse. L'actionneur comporte au moins deux bobinages et des moyens de commutation des bobinages d'une position série à une position parallèle et inversement.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] Il est connu d'utiliser au moins deux types de bobinages distincts pour les phases d'appel et de maintien d'un actionneur électromagnétique. En effet, l'optimisation du fonctionnement énergétique des actionneurs électromagnétiques est souvent prise en compte au moment de leur conception. Un principe connu consiste à utiliser un premier type de bobinage au moment de la phase d'appel et un second bobinage au cours de la phase de maintien. L'emploi de plusieurs bobinages spécifiques est décrit dans l'état de la technique notamment dans les brevets suivants FR2290009, US4227231, US4609965, EP1009003. En général, le bobinage utilisé pour la phase d'appel est dimensionné pour supporter l'essentiel de la puissance d'appel et le bobinage utilisé pour la phase de maintien est destiné à fournir les seuls ampères tours nécessaires au maintien du noyau en position fermée. Chacun des bobinages est mis en service en fonction de la position du noyau.

[0003] En outre, le besoin d'utiliser les actionneurs électromagnétiques avec de larges plages de tension d'alimentation devient aussi priorité. Plusieurs solutions décrites dans les documents suivants FR2568715, EP1009003, EP1009004 utilisent des moyens de régulation de la tension d'alimentation du ou des bobinages. La tension fournie aux bobinages est traditionnellement modulée selon une modulation d'impulsion en largeur de type PWM.

25 **[0004]** L'utilisation de courants pulsés telle que décrite dans le document de l'état de la technique EP0998623 ne permet pas d'obtenir une régulation du courant électrique dans la ou bobines et maintenir ledit courant conforme à une consigne. En outre, l'utilisation de courants pulsés ne permet pas d'atteindre un niveau de régulation satisfaisante. En effet, l'utilisation de courant pulsé implique un rapport cyclique fixe et non modulé en fonction de la tension. Le courant est donc soit directement fonction de la tension soit lié à la tension par un ratio fixe. On n'a donc pas un découplage entre la tension et le courant. L'indépendance entre tension de commande et courant n'est pas possible. En outre, on observe une influence néfaste de l'augmentation de la valeur de la résistance de la bobine en fonction de la température. La conception d'actionneur électromagnétique dont le fonctionnement est à la fois optimal en termes de consommation électrique et en termes de plage de tension d'utilisation reste très difficile. Les progrès réalisés dans un des deux axes de développement se font généralement au détriment de l'autre. En outre, le fonctionnement des actionneurs électromagnétiques pendant la phase de retombée ou d'ouverture n'est généralement pas optimisée. DE 197 41 570 A1 divulgue un actionneur électromagnétique comportant deux bobines qui sont commandées en mode parallèle séparément par deux transistors et en mode série par un seul transistor.

EXPOSE DE L'INVENTION

40 **[0005]** L'invention vise donc à remédier aux inconvénients de l'état de la technique, de manière à proposer un actionneur électromagnétique à haut rendement énergétique.

[0006] L'actionneur électromagnétique selon l'invention comporte des moyens de commande comprenant des moyens de régulation du courant électrique circulant dans lesdits au moins deux bobinages, des moyens d'appel disposés de manière à commander la tension fournie aux dits au moins deux bobinages pendant une opération de fermeture de l'actionneur, et commander les moyens de commutation pour placer lesdits au moins deux bobinages en mode parallèle pour engendrer un premier flux magnétique d'appel pour fermer l'actionneur. Les moyens de commande comprennent des moyens de maintien disposés de manière à commander le courant fourni aux desdits au moins deux bobinages pendant une opération de maintien de l'actionneur en position fermée et, commander les moyens de commutation pour placer lesdits au moins deux bobinages en mode série pour engendrer un second flux magnétique de maintien.

[0007] Selon l'invention, les moyens de régulation comportent un comparateur comparant la valeur d'un courant électrique parcourant lesdits au moins deux bobinages à une consigne, ledit comparateur étant connecté à un correcteur associé à un amplificateur commandant un interrupteur. Selon l'invention, les moyens de régulation comporte un moyen de commande pour moduler la tension d'alimentation desdits au moins deux bobinages selon une modulation d'impulsion en largeur de type PWM. Selon l'invention, l'actionneur électromagnétique comporte un premier et un second bobinages.

55 **[0008]** Selon l'invention, les moyens de commutation comportent un premier moyen d'ouverture connecté en série entre une première borne du premier bobinage et une première borne d'alimentation en tension, une deuxième borne du premier bobinage étant connectée à une seconde borne d'alimentation en tension à travers le transistor de commande.

Les moyens de commutation comportent un second moyen d'ouverture connecté en série entre la seconde borne du premier bobinage et une seconde borne du second bobinage, ledit second bobinage ayant une première borne reliée à la première borne d'alimentation en tension et la deuxième borne reliée à la seconde borne d'alimentation en tension à travers le second moyen d'ouverture et le transistor de commande en série. Un troisième moyen d'ouverture est directement connecté en série entre seconde borne du second bobinage et la première borne du premier bobinage. Au moins une diode de roue libre est connectée en parallèle et en inverse entre la seconde borne du premier bobinage et la première borne du second bobinage. Les trois moyens d'ouverture sont disposés pour recevoir des ordres des moyens d'appel ou de maintiens de manière à se placer respectivement dans un état d'ouverture ou de fermeture, les bobinages étant en mode série lorsque les premier et second moyens d'ouverture ont ouverts et le troisième moyen d'ouverture est fermé, les bobinages étant en mode parallèle lorsque les premier et second moyens d'ouverture sont fermés et le troisième moyen d'ouverture est ouvert. Selon l'invention, les moyens de commande comportent des moyens de mesure destinés à détecter le courant passant à travers les deux bobinages.

[0009] Selon un mode développement de l'invention, les moyens de commande comportent des moyens de retombée disposés de manière à commander une contre-tension fournie aux deux bobinages, et commander les moyens de commutation pour placer les deux bobinages en mode parallèle pour engendrer un troisième flux magnétique de retombée pour ouvrir l'actionneur.

[0010] De préférence, les moyens de retombée comportent un quatrième moyen d'ouverture connecté en série avec la diode de roue libre, une diode Zener connectée en parallèle et en inverse aux bornes de la diode de roue libre, le quatrième moyen d'ouverture étant disposé pour être piloté par la sous-unité de commande de manière à se placer dans un état d'ouverture et déconnecter la diode de roue libre, une contre-tension étant appliquée aux bornes des bobinages.

[0011] De préférence, les moyens de commande comportent des moyens de mesure de tension apte à détecter la tension entre la première et seconde borne d'alimentation en tension avant l'opération de fermeture, et à commander la tension fournie aux bobinages en fonction de la tension d'alimentation détectée pendant l'opération de fermeture.

[0012] De préférence, l'actionneur électromagnétique comporte un premier et un second bobinages ayant la même résistance ohmique.

[0013] De préférence, les bobinages sont identiques et comportent la même inductance et le même nombre de spires.

[0014] Avantagement, les bobinages sont disposés sur deux bobines séparées. Avantagement, les bobinages sont cylindriques et alignés selon le même axe longitudinal.

[0015] Dans un mode de réalisation particulier, l'actionneur électromagnétique comporte des moyens de test commandant de manière cyclique le changement de configuration desdits aux moins deux bobinages au cours de la phase de maintien, les moyens de test envoyant des ordres aux moyens de commutations pour placer temporairement lesdits aux moins deux bobinages en parallèle.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0016] D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 représente un schéma électrique d'un actionneur électromagnétique à au moins deux bobinages selon un premier mode préférentiel de réalisation de l'invention ;

la figure 2 représente un schéma électrique d'un actionneur électromagnétique à au moins deux bobinages selon un second mode préférentiel de réalisation de l'invention ;

la figure 3 représente un schéma électrique d'une variante de réalisation des moyens de commutation d'un actionneur électromagnétique selon le premier mode préférentiel de réalisation de la figure 1 ;

la figure 4 représente un schéma électrique d'une variante de réalisation des moyens de commutation d'un actionneur électromagnétique selon les modes de réalisation des figures 1 et 2 ;

la figure 5 représente des courbes traçant l'évolution du rapport des tensions maximale et minimale d'alimentation en fonction du rapport des courants d'appel et de maintien ;

la figure 6 représente une vue en perspective d'un mode particulier de réalisation d'un actionneur selon les modes de réalisation des figures 1 et 2 ;

la figure 7A représente des courbes représentatives de l'évolution du courant dans un bobinage en phase d'appel en fonction de la tension d'alimentation, selon un mode de réalisation connu ;

la figure 7B représente des courbes représentatives de l'évolution du courant dans un bobinage en phase d'appel en fonction de la tension d'alimentation, selon un mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION

[0017] Selon un premier mode préférentiel de réalisation, l'actionneur électromagnétique comprend un circuit magnétique fixe en matériau ferromagnétique. Le circuit magnétique comprend une culasse ferromagnétique 2 s'étendant selon un axe longitudinal Y. Un noyau ferromagnétique mobile 3 est placé à en vis-à-vis de la culasse. Ledit noyau est monté à coulissement axial selon l'axe longitudinal Y de la culasse. L'actionneur électromagnétique comprend au moins deux bobinages L1, L2. Lesdits au moins deux bobinages s'étendent de préférence selon l'axe longitudinal Y.

[0018] A titre d'exemple tel que représenté sur la figure 6, l'actionneur est de type E. Il peut être envisagé d'autre géométrie d'actionneur à noyau plongeur telle que des actionneurs de type U. Les actionneurs peuvent comporter ou ne pas comporter d'épanouissement polaire ou d'aimants permanents.

[0019] Selon un mode préférentiel de réalisation de l'invention, l'actionneur comprend un premier et un second bobinages L1, L2. Des moyens de commutations 10 placent lesdits au moins deux bobinages L1, L2 en série ou parallèle en fonction de la phase de fonctionnement de l'actionneur.

[0020] Lesdits au moins deux bobinages L1, L2 sont connectés en parallèle pendant une phase d'appel durant laquelle l'actionneur de ferme. Pendant une opération de fermeture de l'actionneur, lesdits au moins deux bobinages L1, L2 engendrent un premier flux magnétique d'appel ϕ_{appel} pour déplacer le noyau mobile 3 d'une première position P1 à une seconde position P2.

[0021] Lesdits au moins deux bobinages sont connectés en série pendant une phase de maintien durant laquelle l'actionneur est maintenu dans une position de fermeture. Lesdits au moins deux bobinages L1, L2 engendrent un second flux magnétique de maintien $\phi_{maintien}$ pour garder le noyau 16 mobile dans sa seconde position P2.

[0022] Des moyens de commande 20 commandent les moyens de commutation 10 pour placer les desdits au moins deux bobinages L1, L2 en mode parallèle ou en mode série.

[0023] Des moyens de commande 20 comportent des moyens de régulation 22 du courant électrique circulant dans lesdits au moins deux bobinages L1, L2.

[0024] En phase d'appel et/ou de maintien, les moyens de commande 20 régulent le courant électrique I circulant dans les deux bobinages L1, L2 de l'actionneur. Cette régulation temporelle est de préférence dépendante d'une consigne qui peut être fonction de plusieurs paramètres pris seuls ou en combinaison.

[0025] La consigne peut être fixée en fonction d'un profil de courant défini selon son évolution en fonction du temps.

[0026] La consigne peut être fixée en fonction d'une constante de temps. Une transition brusque entre la phase d'appel et de maintien est alors observée après une durée prédéterminée.

[0027] La consigne peut être fixée en fonction de la position de l'armature mobile. Une transition brusque entre la phase d'appel et de maintien est alors observée lorsque l'armature mobile de l'actionneur a atteint une position déterminée.

[0028] En outre, la consigne peut aussi être fixée en fonction du temps de fermeture souhaité. Ce temps de fermeture est tributaire de la puissance de la source à l'appel. Cette contrainte peut alors avoir un impact sur la consommation en phase de maintien. La limitation de la consommation en phase de maintien permet de limiter la dissipation thermique.

[0029] Comme représenté sur la figure 1, cette régulation est réalisée par un correcteur 223, qui peut être par exemple un régulateur de type PID (Proportionnel Intégral Dérivé). Le régulateur PID est un organe de contrôle permettant d'effectuer une régulation en boucle fermée de l'actionneur, la régulation devant fonctionner même si les conditions environnementales changent, notamment en cas de changement de la tension d'alimentation de l'actionneur. Le régulateur est associé un amplificateur 224 qui peut être par exemple par un amplificateur à modulation de largeur d'impulsions de type PWM (Pulse Width Modulation). L'amplificateur commande un interrupteur 226. Cette modulation de la largeur des impulsions en fonction de la tension permet d'ajuster la valeur du courant au plus proche de la consigne. Le courant réel qui parcourt lesdits au moins deux bobinages L1, L2 est mesuré par un capteur 225. Un comparateur 222 compare la valeur dudit courant réel à la consigne. Le capteur de courant 225 peut être par exemple un shunt de mesure telle qu'une résistance R1 placée en série avec lesdits au moins deux bobinages L1, L2. La résistance de valeur connue est de préférence de faible.

[0030] A chaque cycle de fonctionnement (fermeture/maintien), les moyens de régulation 22 permettent de fournir de manière reproductible, un courant électrique stable. Comme représenté sur la figure 7B, le courant électrique est alors indépendant de la tension et des variations de température. On obtient alors un actionneur fonctionnant dans une large plage de tension avec une fenêtre de courants régulés la plus large possible. En outre le fonctionnement se fait de manière relativement insensible aux conditions d'utilisation. Les seules limitations concernent les limites propres de la

régulation de type PWM. La régulation est en effet limitée dans une certaine plage de tension entre une valeur minimale et une valeur maximale.

[0031] Le principe du double bobinage permet d'accroître la plage de tension ou le ratio en le courant d'appel et le courant de maintien. En effet ces grandeurs sont liées par la résistance bobine que l'on modifie selon la phase de fonctionnement (appel ou maintien).

[0032] A titre d'exemple de réalisation, comme représenté sur la figure 2, les moyens de régulation 22 comporte un transistor de commande TC pour moduler la tension fournie aux dits au moins deux bobinages L1, L2 selon une modulation d'impulsion en largeur de type PWM. La mesure de courant bobine est réalisée via la résistance R1 associée à un condensateur de filtrage. La mesure est ensuite comparée qui attaque un comparateur pour moduler le PWM et permettre d'obtenir une régulation du courant.

[0033] Les moyens de commande 20 comportent des moyens d'appel 23B, 24, 21, 22 disposés de manière à commander la tension fournie aux dits au moins deux bobinages L1, L2 pendant une opération de fermeture de l'actionneur.

[0034] Les moyens de commande 20 comportent des moyens de maintien 23B, 24, 21, 22 disposés de manière à commander le courant électrique fourni aux dits au moins deux bobinages L1, L2 pendant une opération de maintien de l'actionneur en position fermée.

[0035] Selon un premier mode de réalisation préférentiel de l'invention représenté sur la figure 1, les moyens de commutation 10 comportent un premier moyen d'ouverture T1 connecté en série entre une première borne L1a du premier bobinage L1 et une première borne d'alimentation en tension A. Une deuxième borne L1b du premier bobinage L1 est connectée à une seconde borne d'alimentation en tension B à travers un transistor de commande TC des moyens de régulation 22.

[0036] Les moyens de commutation 10 comportent un second moyen d'ouverture T2 connecté en série entre la seconde borne L1b du premier bobinage L1 et une seconde borne L2b du second bobinage L2. Ledit second bobinage L2 a une première borne L2a reliée à la première borne d'alimentation en tension A et la deuxième borne L2b reliée à la seconde borne d'alimentation en tension B à travers le second moyen d'ouverture T2 et le transistor de commande TC en série. Un troisième moyen d'ouverture T3 est directement connecté en série entre la seconde borne L2b du second bobinage L2 et la première borne L1a du premier bobinage L1. Comme représenté sur les figures 1 et 2, au moins une diode de roue libre D2 est connectée en parallèle et en inverse entre la seconde borne L1 b du premier bobinage L1 et la première borne L2a du second bobinage L2. La diode D2 n'est donc pas passante lorsque la première borne d'alimentation en tension A est alimentée avec une tension positive.

[0037] Les trois moyens d'ouverture T1, T2, T3 sont disposés pour recevoir des ordres d'une sous-unité de commande 24 de manière à se placer respectivement dans un état d'ouverture et de fermeture et inversement. Les bobinages L1, L2 sont en mode série lorsque les premier et second moyens d'ouverture T1, T2 sont ouverts et le troisième moyen d'ouverture T3 est fermé. Les bobinages L1, L2 sont en mode parallèle lorsque les premier et second moyens d'ouverture T1, T2 sont fermés et le troisième moyen d'ouverture T3 est ouvert.

[0038] De préférence, les premier et second moyens d'ouverture T1, T2 comportent respectivement un transistor pouvant être commandé par la sous-unité de commande 24 des moyens de commande 20. En outre, le troisième moyen d'ouverture T3 comporte de préférence un transistor commandé par la sous-unité de commande 24.

[0039] Les moyens de commande 20 comportent des moyens de mesure R1 destinés à détecter le courant passant à travers les deux bobinages L1, L2. Les moyens de mesure R1 comporte une résistance de mesure du courant connectée en série entre le transistor de commande TC et la seconde borne d'alimentation en tension B.

[0040] Selon une variante de réalisation du premier mode préférentiel telle que représenté sur la figure 3, le troisième moyen d'ouverture T3 comporte une diode de commutation D1 connectée en en parallèle et en inverse au second bobinage L2. L'ajout de la diode de commutation D1 permet de garantir un bon fonctionnement si l'actionnement des premier et second moyens d'ouverture T1, T2 n'est pas synchronisé.

[0041] Selon un mode particulier de réalisation du premier mode préférentiel, l'actionneur électromagnétique comporte une première et une seconde bobine L1, L2. Les deux bobines L1, L2 ont des bobinages identiques, et donc des résistances ohmiques sensiblement identiques, le même nombre de spires ainsi que la même inductance. De préférence, les bobines L1, L2 sont cylindriques et alignées selon le même axe longitudinal Y.

[0042] Grâce à cette configuration, on peut dissocier les contraintes antagonistes rencontrées en phase d'appel et en phase de maintien. En outre, l'actionneur selon l'invention peut être utilisé pour une large plage de tension d'alimentation ce qui le rend très polyvalent.

[0043] Les résistances minimale et maximale du ou des bobinages utilisés fixent la largeur de la plage de tension d'alimentation U_{\max}/U_{\min} en fonction du courant d'appel et de maintien et des rapports cycliques de commande de régulation. Dans une configuration traditionnelle où un seul bobinage est utilisé avec une régulation du courant à l'appel et au maintien, le rapport entre la tension maximale d'utilisation et la tension minimale est définie de la façon suivante :

$$U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}=(\tau_{\text{maxi}}\times R_{\text{bobine}_{\text{mini}}})/(\tau_{\text{min}}\times R_{\text{bobine}_{\text{maxi}}})\times 1/(I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}})$$

où τ_{maxi} correspond au rapport cyclique maximal égal au rapport entre la durée d'impulsion maximale et à la période d'envoi des impulsions et τ_{min} correspond au rapport cyclique minimal égal au rapport entre la durée d'impulsion minimale et à la période d'envoi des impulsions. $R_{\text{bobine}_{\text{maxi}}}$ est égal à la résistance maximale du bobinage en phase l'appel et $R_{\text{bobine}_{\text{mini}}}$ est égal la résistance minimale du bobinage en phase de maintien.

[0044] Dans une configuration traditionnelle, la variation de la résistance du bobinage dépend alors essentiellement de la température.

[0045] Selon l'invention, le rapport entre la tension maximale d'utilisation et la tension minimale est définie de la façon suivante :

$$U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}=k\times(\tau_{\text{maxi}}\times R_{\text{bobine}_{\text{mini}}})/(\tau_{\text{min}}\times R_{\text{bobine}_{\text{maxi}}})\times 1/(I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}})$$

[0046] Compte tenu que les résistances maximale et minimale des bobinages à l'appel et au maintien sont ajustables et ne dépendent plus seulement de la température, on peut multiplier d'un facteur k le ratio entre la tension maximale d'utilisation et la tension minimale $U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}$. Par exemple, si les résistances des deux bobinages L1, L2 sont identiques, le passage entre le mode série et le mode parallèle permet d'obtenir un facteur k égal à 4. On peut alors augmenter la largeur de la plage de tension d'alimentation et/ou le ratio du courant appel/maintien selon les besoins en relâchant ainsi la contrainte sur l'impédance vue par le circuit de commande.

[0047] Selon un mode de développement de l'invention, le courant maximal d'appel se détermine en fonction d'une valeur de tension minimale U_{mini} de la plage de tension, pour une température maximale d'utilisation et au rapport cyclique maximal. Le courant maximal d'appel s'exprime selon l'équation suivante :

$$I_{\text{appel}} = U_{\text{mini}} \times (\tau_{\text{maxi}}) \times R_{\text{bobine}_{\text{maxi}}}$$

où $R_{\text{bobine}_{\text{maxi}}}$ est égal à la résistance du bobinage à une température maximale d'utilisation, U_{mini} est égal à la tension minimale de la plage d'utilisation.

[0048] En outre, le courant minimal de maintien se détermine en fonction d'une valeur de tension maximale U_{maxi} de la plage de tension, pour une température minimale d'utilisation et au rapport cyclique maximal. Le courant minimal de maintien s'exprime selon l'équation suivante :

$$I_{\text{maintien}} = U_{\text{maxi}} \times (\tau_{\text{min}}) \times R_{\text{bobine}_{\text{mini}}}$$

où $R_{\text{bobine}_{\text{mini}}}$ est égal à la résistance du bobinage à une température minimale d'utilisation, U_{maxi} est égal à la tension maximale de la plage d'utilisation.

[0049] La courbe en pointillés 50 de la figure 5 représente l'évolution du rapport des tensions $U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}$ en fonction du rapport des courants d'appel et de maintien $I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}}$ lorsque l'impédance des bobinages varie entre la phase d'appel et la phase de maintien. La courbe en trait plein 51 représente l'évolution du rapport des tensions $U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}$ en fonction du rapport des courants d'appel et de maintien $I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}}$ lorsque l'impédance des bobinages ne varie pas.

[0050] Comme représenté sur la figure 5, on peut ainsi accroître soit la largeur de la plage de tension $U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}$ et/ou le ratio entre le courant d'appel et de maintien $I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}}$. Pour obtenir une plage de tension maximale $U_{\text{maxi}}/U_{\text{mini}}$ et un ratio courant $I_{\text{appel}}/I_{\text{maintien}}$ le plus important, il est souhaitable de disposer d'un bobinage ayant la résistance la plus faible à l'appel et la plus élevée au maintien. Selon un mode particulier de réalisation, la résistance peut facilement être multipliée par 4 ($K=4$) entre l'appel et le maintien.

[0051] Selon un second mode préférentiel de réalisation présenté sur la figure 2, les moyens de commande 20 de l'actionneur électromagnétique comportent des moyens de retombée 23A, 24. Les moyens de retombée 23A, 24 sont disposés de manière à commander une contre-tension fournie aux deux bobinages L1, L2 et à commander les moyens de commutation 10 pour placer les deux bobinages L1, L2 en mode parallèle pour engendrer un troisième flux magnétique de retombée $\phi_{\text{retombé}}$ pour ouvrir l'actionneur.

[0052] Les moyens de retombée 23A, 24 comportent un quatrième moyen d'ouverture T4 connecté en série avec la diode de roue libre D2. Ils comportent une diode Zener Dz connectée en parallèle et en inverse aux bornes de la diode de roue libre D2. Le quatrième moyens d'ouverture T4, de préférence un transistor, est disposé pour recevoir des ordres de la sous-unité de commande 24 de manière à se placer dans un état d'ouverture et déconnecter la diode de roue libre

D2, une contre-tension étant alors appliquée aux bornes des bobinages L1, L2.

[0053] Les moyens de retombée 23A, 24 comportent un cinquième moyen d'ouverture T5 connecté en série avec la diode Zener Dz. Le cinquième moyen d'ouverture T5 est disposé pour recevoir ordres de la sous-unité de commande 24 de manière à se placer dans un état de fermeture pendant une opération de retombée, le cinquième moyen d'ouverture T5 étant ouvert pendant les opérations de fermeture ou de maintien de l'actionneur.

[0054] Les moyens de retombée autorisent le passage des bobinages L1, L2 dans un mode parallèle et facilitent la retombée de l'électro-aimant en diminuant le niveau de contre tension nécessaire. Cela entraîne une simplification des circuits électroniques notamment en ce qui concerne des composants Asics qui pourront fonctionner à des tensions plus basse. Ainsi, par rapport aux solutions connues, pour une même valeur de courant au maintien et pour la même valeur de contre tension, le passage en mode parallèle des bobinages permet de démagnétiser plus rapidement et donc d'ouvrir plus rapidement l'actionneur. En outre, pour une même valeur de courant au maintien, pour un même temps de démagnétisation, le fait de placer les bobinages en mode parallèle permet de démagnétiser avec une contre tension plus faible. A titre d'exemple, on obtient une même vitesse de d'ouverture avec une valeur de contre tension deux fois plus faible.

[0055] Selon une autre variante de réalisation du deuxième mode préférentiel, le troisième moyen d'ouverture T3 comporte un transistor connecté en série avec la diode de commutation D1.

[0056] Selon les modes de réalisations représentés sur les figures 1 et 2, les moyens de commande 20 comportent des moyens de mesure tension 25 conçus pour détecter la tension U_{AB} entre la première et seconde borne d'alimentation en tension A, B avant l'opération de fermeture, et commander la tension fournie aux bobinages L1, L2 en fonction de la tension U_{AB} d'alimentation détectée pendant l'opération de fermeture.

[0057] Selon une variante de réalisation des modes préférentiels de réalisation, chaque bobinage L1, L2 peut comporter une diode de roue libre connectée en parallèle et en inverse à ces bornes.

[0058] Lorsque les ordres de commande envoyés à l'actionneur, notamment au moment de la phase de maintien, sont transmis sur de longues distances avec des lignes électriques, la présence de capacités parasites sur les lignes électriques peut générer une tension résiduelle aux bornes de l'actionneur. Cette tension résiduelle peut notamment modifier le temps nécessaire à la détection de la tension de retombée. A titre d'exemple, le temps nécessaire à la détection de la tension de retombée peut être augmenté.

[0059] Ainsi, avec des actionneurs de très faible consommation électrique et en présence de très grandes longueurs de câble d'alimentation, l'annulation de la tension d'alimentation ne provoque pas immédiatement l'ouverture de l'actionneur. Les capacités parasites sont chargées et se comportent comme un filtre ou un écran. Ce problème est incontournable lorsque l'actionneur est à très faible consommation et est alimenté avec une tension élevée.

[0060] L'effet néfaste des capacités parasites sur le temps d'ouverture d'un actionneur peut être limité en réduisant l'impédance de l'actionneur vue de la source d'alimentation en tension. En effet, le fait de réduire l'impédance de l'actionneur permet d'absorber une quantité totale d'énergie plus importante, en absorbant notamment celle contenue dans les capacités parasites.

[0061] La quantité d'énergie totale absorbée dans ces conditions est cependant limitée par la capacité de l'actionneur à supporter des contraintes thermiques. L'énergie due à une variation de tension de la source d'alimentation en présence de capacités parasites doit pouvoir être détectée et absorbée sans provoquer un échauffement excessif de l'actionneur.

[0062] Selon un mode particulier de réalisation des modes précédents, les moyens de commande 20 de l'actionneur électromagnétique comportent des moyens de test commandant de manière cyclique le changement de configuration desdits aux moins deux bobinages L1, L2. Au cours de la phase de maintien, les moyens de test envoient des ordres aux moyens de commutations 10 pour placer temporairement lesdits aux moins deux bobinages L1, L2 en parallèle. La réduction d'impédance de l'actionneur se fait alors au travers du changement de configuration des bobinages du mode série au mode parallèle. Le fait de placer les bobinages L1, L2 en mode parallèle a pour conséquence de réduire l'impédance de l'actionneur d'un facteur k, le facteur k étant égale au rapport entre la résistance des bobinages L1, L2 en mode série et la résistance des bobinages en mode parallèle.

[0063] La constante de temps du circuit électrique RLC constitué des bobinages L1, L2 et des capacités parasites est aussi réduite d'un facteur k. La chute de la tension aux bornes desdites capacités est donc plus rapide et le temps de détection de la tension de retombée est ainsi réduit d'un facteur k. On peut encore augmenter la rapidité de la chute de tension en augmentant le niveau du courant de consigne de la régulation bobine. Dans ce dernier cas, on sera limité par un risque d'échauffement de l'actionneur. Le changement de configuration série-parallèle être fait de préférence de manière cyclique. La durée de cette phase de test, pendant laquelle les bobinages sont placés en mode parallèle, doit être intégrée dans le temps de détection de la tension de retombée.

Revendications

1. Actionneur électromagnétique comprenant :

EP 2 019 396 B1

- un circuit magnétique formé d'une culasse ferromagnétique (2) s'étendant selon un axe longitudinal (Y), et d'un noyau ferromagnétique mobile (3) monté à coulissement axial selon l'axe longitudinal (Y) de la culasse,
- au moins deux bobinages (L1, L2),
- des moyens de commutation (10) des bobinages (L1, L2) d'une position série à une position parallèle et inversement,
- des moyens de commande (20) comprenant :

- des moyens de mesure (R1) destinés à détecter le courant passant à travers lesdits au moins deux bobinages (L1, L2).

- des moyens de régulation (22) du courant électrique circulant dans lesdits au moins deux bobinages (L1, L2), les moyens de régulation (22) comportant un comparateur (222) comparant la valeur d'un courant électrique parcourant lesdits au moins deux bobinages (L1, L2) à une consigne,

- des moyens d'appel (23B, 24, 21, 22) disposés de manière à :

- commander la tension fournie aux dits au moins deux bobinages (L1, L2) pendant une opération de fermeture de l'actionneur, et

- commander les moyens de commutation (10) pour placer lesdits au moins deux bobinages (L1, L2) en mode parallèle pour engendrer un premier flux magnétique d'appel pour fermer l'actionneur,

- des moyens de maintien (23B, 24, 21, 22) disposés de manière à :

- commander le courant fourni aux desdits au moins deux bobinages (L1, L2) pendant une opération de maintien de l'actionneur en position fermée et,

- commander les moyens de commutation (10) pour placer lesdits au moins deux bobinages (L1, L2) en mode série pour engendrer un second flux magnétique de maintien,

- les moyens de régulation (22) comportant un correcteur (223) connecté au comparateur (222), ledit correcteur étant associé à un amplificateur (224) commandant un interrupteur (226),

- les moyens de régulation (22) comportant un moyen de commande (TC) pour moduler la tension d'alimentation desdits au moins deux bobinages (L1, L2) selon une modulation d'impulsion en largeur de type PWM,

- un premier et un second bobinages (L1, L2).

- les moyens de commutation (10) comportant :

- un premier moyen d'ouverture (T1) connecté en série entre une première borne (L1a) du premier bobinage (L1) et une première borne d'alimentation en tension (A), une deuxième borne (L1b) du premier bobinage (L1) étant connectée à une seconde borne d'alimentation en tension (B) à travers le transistor de commande (TC),

- un second moyen d'ouverture (T2) connecté en série entre la seconde borne (L1b) du premier bobinage (L1) et une seconde borne (L2b) du second bobinage (L2), ledit second bobinage (L2) ayant une première borne (L2a) reliée à la première borne d'alimentation en tension (A) et la deuxième borne (L2b) reliée à la seconde borne d'alimentation en tension (B) à travers le second moyen d'ouverture (T2) et le transistor de commande (TC) en série,

- un troisième moyen d'ouverture (T3) directement connecté en série entre la seconde borne (L2b) du second bobinage (L2) et la première borne (L1a) du premier bobinage (L1),

- au moins une diode de roue libre (D2) connectée en parallèle et en inverse entre la seconde borne (L1b) du premier bobinage (L1) et la première borne (L2a) du second bobinage (L2),

- les trois moyens d'ouverture (T1, T2, T3) étant disposés pour recevoir des ordres des moyens d'appel ou de maintiens (23B, 24, 21, 22) de manière à se placer respectivement dans un état d'ouverture ou de fermeture ;

- les bobinages (L1, L2) étant en mode série lorsque les premier et second moyens d'ouverture (T1, T2) sont ouverts et le troisième moyen d'ouverture (T3) est fermé,

- les bobinages (L1, L2) étant en mode parallèle lorsque les premier et second moyens d'ouverture (T1, T2) sont fermés et le troisième moyen d'ouverture (T3) est ouvert.

2. Actionneur électromagnétique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les moyens de commande (20) comportent des moyens de retombée (23A, 24, 30) disposés de manière à :

EP 2 019 396 B1

- commander une contre-tension fournie aux deux bobinages (L1, L2),
- commander les moyens de commutation (10) pour placer les deux bobinages (L1, L2) en mode parallèle pour engendrer un troisième flux magnétique de retombée.

5 3. Actionneur électromagnétique selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les moyens de retombée (23A, 24, 30) comportent :

- un quatrième moyen d'ouverture (T4) connecté en série avec la diode de roue libre (D2),
- une diode Zener (Dz) connectée en parallèle et en inverse aux bornes de la diode de roue libre (D2),

10 le quatrième moyen d'ouverture (T4) étant disposé pour être piloté par la sous-unité de commande (24) de manière à se placer dans un état d'ouverture et déconnecter la diode de roue libre (D2), une contre-tension étant appliquée aux bornes des bobinages (L1, L2).

15 4. Actionneur électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les moyens de commande (20) comportent des moyens de mesure de tension (25) apte à :

- détecter la tension (U_{AB}) entre la première et seconde borne d'alimentation en tension (A, B) avant l'opération de fermeture, et,
- commander la tension fournie aux bobinages (L1, L2) en fonction de la tension (U_{AB}) d'alimentation détectée pendant l'opération de fermeture.

25 5. Actionneur électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte un premier et un second bobinages (L1, L2) ayant la même résistance ohmique

30 6. Actionneur électromagnétique selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les bobinages (L1, L2) sont identiques et comportent la même inductance et le même nombre de spires.

35 7. Actionneur électromagnétique selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisé en ce que** les bobinages (L1, L2) sont disposés sur 2 bobines séparées.

40 8. Actionneur électromagnétique selon l'une des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce que** les bobinages (L1, L2) sont cylindriques et alignés selon le même axe longitudinal (Y).

45 9. Actionneur électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens de test commandant de manière cyclique le changement de configuration desdits aux moins deux bobinages (L1, L2) au cours de la phase de maintien, les moyens de test envoyant des ordres aux moyens de commutations (10) pour placer temporairement lesdits aux moins deux bobinages (L1, L2) en parallèle

40 Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Aktuator, umfassend:

- einen Magnetkreis, der aus einem ferromagnetischen Joch (2), das sich entlang einer Längsachse (Y) erstreckt, und einem beweglichen ferromagnetischen Kern (3) gebildet ist, der axialverschieblich entlang der Längsachse (Y) des Jochs montiert ist,
- mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2),
- Schaltmittel (10) der Spulenwicklungen (L1, L2) von einer Position der Reihenschaltung in eine Position der Parallelschaltung und umgekehrt,
- Steuermittel (20), umfassend:

- Messmittel (R1), die dazu bestimmt sind, den Strom zu erfassen, der die mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) durchläuft,
- Mittel zum Regeln (22) des elektrischen Stroms, der in den mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) fließt, wobei die Mittel zum Regeln (22) einen Komparator (222) aufweisen, der den Wert eines elektrischen Stroms, der die mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) durchströmt, mit einem Sollwert vergleicht,
- Verbindungsmittel (23B, 24, 21, 22), die derart angeordnet sind, um:

EP 2 019 396 B1

- die Spannung zu steuern, die den mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) während eines Schließvorgangs des Aktuators bereitgestellt wird, und
- die Schaltmittel (10) zu steuern, um die mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) im Parallelmodus zu positionieren, um einen ersten Verbindungsmagnetfluss zu erzeugen, um den Aktuator zu schließen,

5

- Haltemittel (23B, 24, 21, 22), die derart angeordnet sind, um:

- den Strom zu steuern, der den mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) während eines Haltevorgangs des Aktuators in geschlossener Position zugeführt wird, und
- die Schaltmittel (10) zu steuern, um die mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) im Reihenschaltungsmodus zu positionieren, um einen zweiten Haltemagnetfluss zu erzeugen,

10

- wobei die Mittel zum Regeln (22) einen Regler (223) aufweisen, der mit dem Komparator (222) verbundenen ist, wobei der Regler mit einem Verstärker (224) verbunden ist, der einen Schalter (226) steuert,

15

- wobei die Mittel zum Regeln (22) ein Steuermittel (TC) aufweisen, um die Versorgungsspannung der mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) nach einer Pulsbreitenmodulation des Typs PWM zu modulieren,

- eine erste und eine zweite Spulenwicklung (L1, L2),

- wobei die Schaltmittel (10) Folgendes aufweisen:

20

- ein erstes Öffnungsmittel (T1), das zwischen einer ersten Klemme (L1a) der ersten Spulenwicklung (L1) und einer ersten Spannungsversorgungsklemme (A) in Reihe geschaltet ist, wobei eine zweite Klemme (L1b) der ersten Spulenwicklung (L1) über den Steuertransistor (TC) an eine zweite Spannungsversorgungsklemme (B) angeschlossen ist,

25

- ein zweites Öffnungsmittel (T2), das zwischen der zweiten Klemme (L1b) der ersten Spulenwicklung (L1) und einer zweiten Klemme (L2b) der zweiten Spulenwicklung (L2) in Reihe geschaltet ist, wobei die zweite Spulenwicklung (L2) eine erste Klemme (L2a), die mit der ersten Spannungsversorgungsklemme (A) verbunden ist, und die zweite Klemme (L2b) aufweist, die mit der zweiten Spannungsversorgungsklemme (B) über das zweite Öffnungsmittel (T2) und den Steuertransistor (TC) in Reihe geschaltet ist,

30

- ein drittes Öffnungsmittel (T3), das direkt zwischen der zweiten Klemme (L2b) der zweiten Spulenwicklung (L2) und der ersten Klemme (L1a) der ersten Spulenwicklung (L1) in Reihe geschaltet ist,

- mindestens eine Freilaufdiode (D2), die zwischen der zweiten Klemme (L1b) der ersten Spulenwicklung (L1) und der ersten Klemme (L2a) der zweiten Spulenwicklung (L2) parallel und invers geschaltet ist,

35

- wobei die drei Öffnungsmittel (T1, T2, T3) angeordnet sind, um Befehle von den Verbindungs- oder Haltemitteln (23B, 24, 21, 22) derart zu empfangen, um jeweils in einen Öffnungs- oder Schließzustand positioniert zu werden;

- wobei die Spulenwicklungen (L1, L2) im Reihenschaltungsmodus sind, wenn das erste und zweite Öffnungsmittel (T1, T2) offen sind und das dritte Öffnungsmittel (T3) geschlossen ist,

- wobei die Spulenwicklungen (L1, L2) im Parallelmodus sind, wenn das erste und zweite Öffnungsmittel (T1, T2) geschlossen sind und das dritte Öffnungsmittel (T3) offen ist.

2. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuermittel (20) Nebenmittel (23A, 24, 30) aufweisen, die derart angeordnet sind, um:

40

- eine Gegenspannung zu steuern, die den Spulenwicklungen (L1, L2) bereitgestellt wird,
- die Schaltmittel (10) zu steuern, um die zwei Spulenwicklungen (L1, L2) im Parallelmodus zu positionieren, um einen dritten magnetischen Nebenfluss zu erzeugen.

45

3. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nebenmittel (23A, 24, 30) Folgendes aufweisen:

- ein viertes Öffnungsmittel (T4), das mit der Freilaufdiode (D2) in Reihe geschaltet ist,
- eine Zenerdiode (Dz), die zu den Klemmen der Freilaufdiode (D2) parallel und invers geschaltet ist,

50

wobei das vierte Öffnungsmittel (T4) angeordnet ist, um von der Untersteuereinheit (24) derart gesteuert zu werden, um in einen Öffnungszustand positioniert zu werden und die Freilaufdiode (D2) abzuschalten, wobei eine Gegenspannung an die Klemmen der Spulenwicklungen (L1, L2) angelegt wird.

55

4. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuermittel (20) Spannungsmessmittel (25) aufweisen, die geeignet sind, um:

- die Spannung (U_{AB}) zwischen der ersten und zweiten Spannungsversorgungsklemme (A, B) vor dem Schließvorgang zu erfassen und
- die Spannung zu steuern, die den Spulenwicklungen (L1, L2) in Abhängigkeit von der erfassten Versorgungsspannung (U_{AB}) während des Schließvorgangs bereitgestellt wird.

- 5
5. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine erste und eine zweite Spulenwicklung (L1, L2) aufweist, die den gleichen ohmschen Widerstand aufweisen.
- 10
6. Elektromagnetischer Aktuator nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spulenwicklungen (L1, L2) identisch sind und die gleiche Induktivität und die gleiche Anzahl an Windungen aufweisen.
- 15
7. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spulenwicklungen (L1, L2) auf 2 getrennten Spulen angeordnet sind.
- 20
8. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spulenwicklungen (L1, L2) zylindrisch sind und entlang der gleichen Längsachse (Y) ausgerichtet sind.
9. Elektromagnetischer Aktuator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** er Prüfmittel aufweist, die die Änderung der Konfiguration der mindestens zwei Wicklungen (L1, L2) während der Haltephase zyklisch steuern, wobei diese Prüfmittel den Schaltmitteln (10) Befehle senden, um die mindestens zwei Spulenwicklungen (L1, L2) gleichzeitig parallel zu positionieren.

Claims

- 25
1. Electromagnetic actuator comprising:
- 30
- a magnetic circuit formed from a ferromagnetic yoke (2) extending along a longitudinal axis (Y), and from a movable ferromagnetic core (3) mounted so as to slide axially along the longitudinal axis (Y) of the yoke;
 - at least two windings (L1, L2);
 - means for switching (10) the windings (L1, L2) from a series position to a parallel position and vice versa;
 - control means (20) comprising:
 - 35
 - measurement means (R1) intended to detect the current passing through said at least two windings (L1, L2);
 - means (22) for regulating the electric current flowing through said at least two windings (L1, L2), the regulating means (22) including a comparator (222) comparing the value of an electric current flowing through said at least two windings (L1, L2) with a setpoint;
 - surge means (23B, 24, 21, 22) arranged so as to:
 - 40
 - control the voltage delivered to said at least two windings (L1, L2) during an operation of closing the actuator; and
 - controlling the switching means (10) in order to place said at least two windings (L1, L2) in parallel mode in order to generate a first, surge magnetic flux for the purpose of closing the actuator;
 - 45
 - holding means (23B, 24, 21, 22) arranged so as to:
 - 50
 - controlling the current delivered to said at least two windings (L1, L2) during an operation of holding the actuator in the closed position; and
 - controlling the switching means (10) in order to place said at least two windings (L1, L2) in series mode so as to generate a second, holding magnetic flux;
 - the regulating means (22) including a corrector (223) connected to the comparator (222), said corrector being associated with an amplifier (224) controlling a switch (226);
 - the regulating means (22) including a control means (TC) for modulating the supply voltage of said at least two windings (L1, L2) using pulse-width modulation of PWM type;
 - 55
 - first and second windings (L1, L2).
 - the switching means (10) including:
 - a first opening means (T1) connected in series between a first terminal (L1a) of the first winding (L1) and a first voltage supply terminal (A), a second terminal (L1b) of the first winding (L1) being connected

to a second voltage supply terminal (B) through the control transistor (TC);

- a second opening means (T2) connected in series between the second terminal (L1b) of the first winding (L1) and a second terminal (L2b) of the second winding (L2), said second winding (L2) having a first terminal (L2a) linked to the first voltage supply terminal (A) and the second terminal (L2b) linked to the second voltage supply terminal (B) through the second opening means (T2) and the control transistor (TC) in series;

- a third opening means (T3) directly connected in series between the second terminal (L2b) of the second winding (L2) and the first terminal (L1a) of the first winding (L1);

- at least one flyback diode (D2) connected in parallel and in reverse between the second terminal (L1b) of the first winding (L1) and the first terminal (L2a) of the second winding (L2);

- the three opening means (T1, T2, T3) being arranged so as to receive surge or holding orders (23B, 24, 21, 22) so as to be placed in an opening or closing state, respectively;

- the windings (L1, L2) being in series mode when the first and second opening means (T1, T2) are open and the third opening means (T3) is closed;

- the windings (L1, L2) being in parallel mode when the first and second opening means (T1, T2) are closed and the third opening means (T3) is open.

2. Electromagnetic actuator according to Claim 1, **characterized in that** the control means (20) include release means (23A, 24, 30) arranged so as to:

- control a counter-voltage delivered to the two windings (L1, L2);

- control the switching means (10) in order to place the two windings (L1, L2) in parallel mode so as to generate a third, release magnetic flux.

3. Electromagnetic actuator according to Claim 2, **characterized in that** the release means (23A, 24, 30) include:

- a fourth opening means (T4) connected in series with the flyback diode (D2);

- a Zener diode (Dz) connected in parallel and in reverse to the terminals of the flyback diode (D2);

the fourth opening means (T4) being arranged so as to be driven by the control subunit (24) in order to be placed in an opening state and to disconnect the flyback diode (D2), a counter-voltage being applied to the terminals of the windings (L1, L2).

4. Electromagnetic actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the control means (20) include voltage measurement means (25) capable of:

- detecting the voltage (U_{AB}) between the first and second voltage supply terminals (A, B) before the closing operation; and

- controlling the voltage delivered to the windings (L1, L2) according to the supply voltage (U_{AB}) detected during the closing operation.

5. Electromagnetic actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it includes first and second windings (L1, L2) having the same ohmic resistance.

6. Electromagnetic actuator according to Claim 5, **characterized in that** the windings (L1, L2) are identical and include the same inductance and the same number of turns.

7. Electromagnetic actuator according to either of Claims 5 and 6, **characterized in that** the windings (L1, L2) are arranged on two separate coils.

8. Electromagnetic actuator according to one of Claims 5 to 7, **characterized in that** the windings (L1, L2) are cylindrical and aligned along the same longitudinal axis (Y).

9. Electromagnetic actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it includes test means for cyclically controlling the change of configuration of said at least two windings (L1, L2) during the holding phase, the test means sending orders to the switching means (10) in order to temporarily place said at least two windings (L1, L2) in parallel.

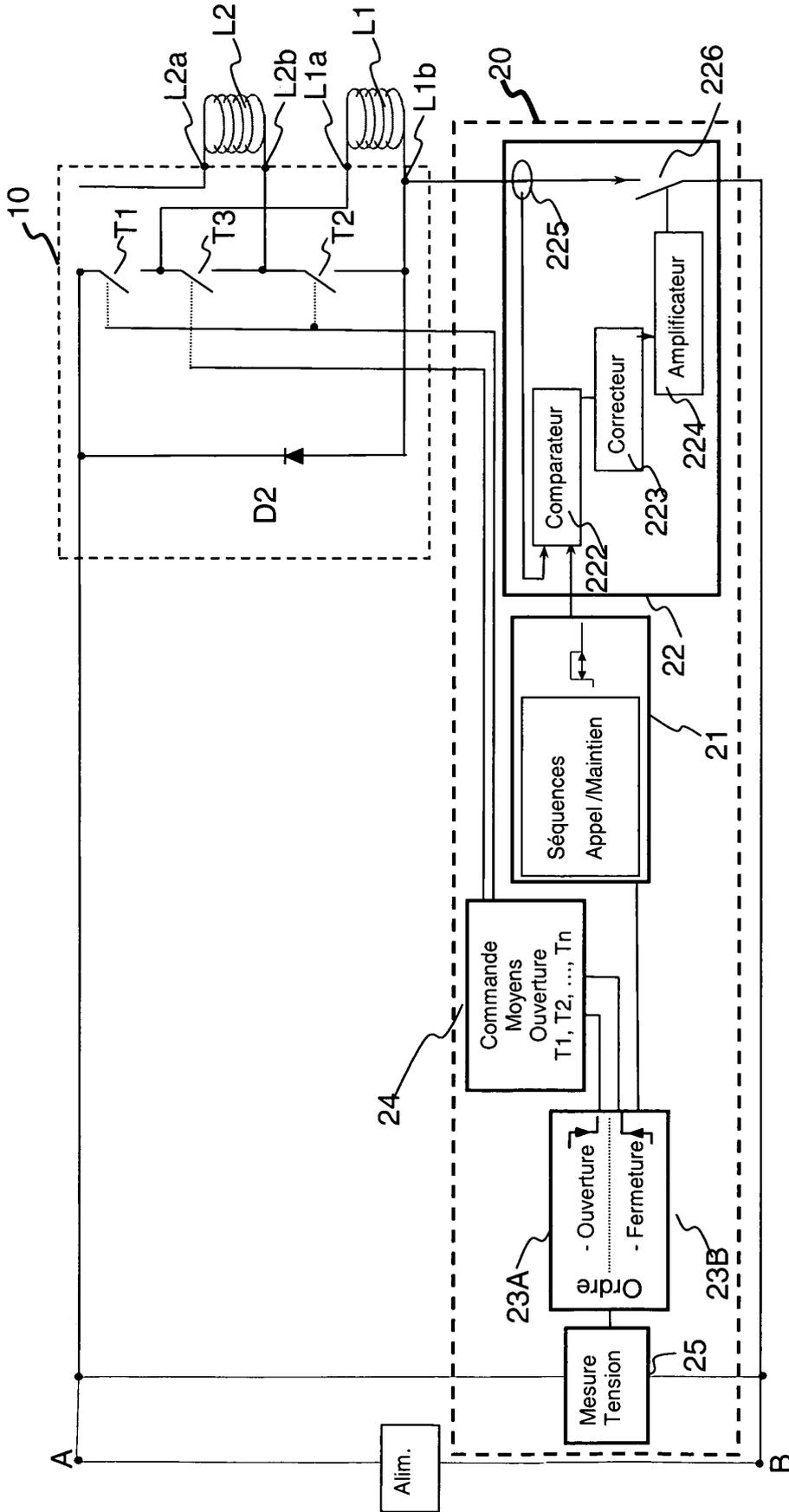


Fig. 1

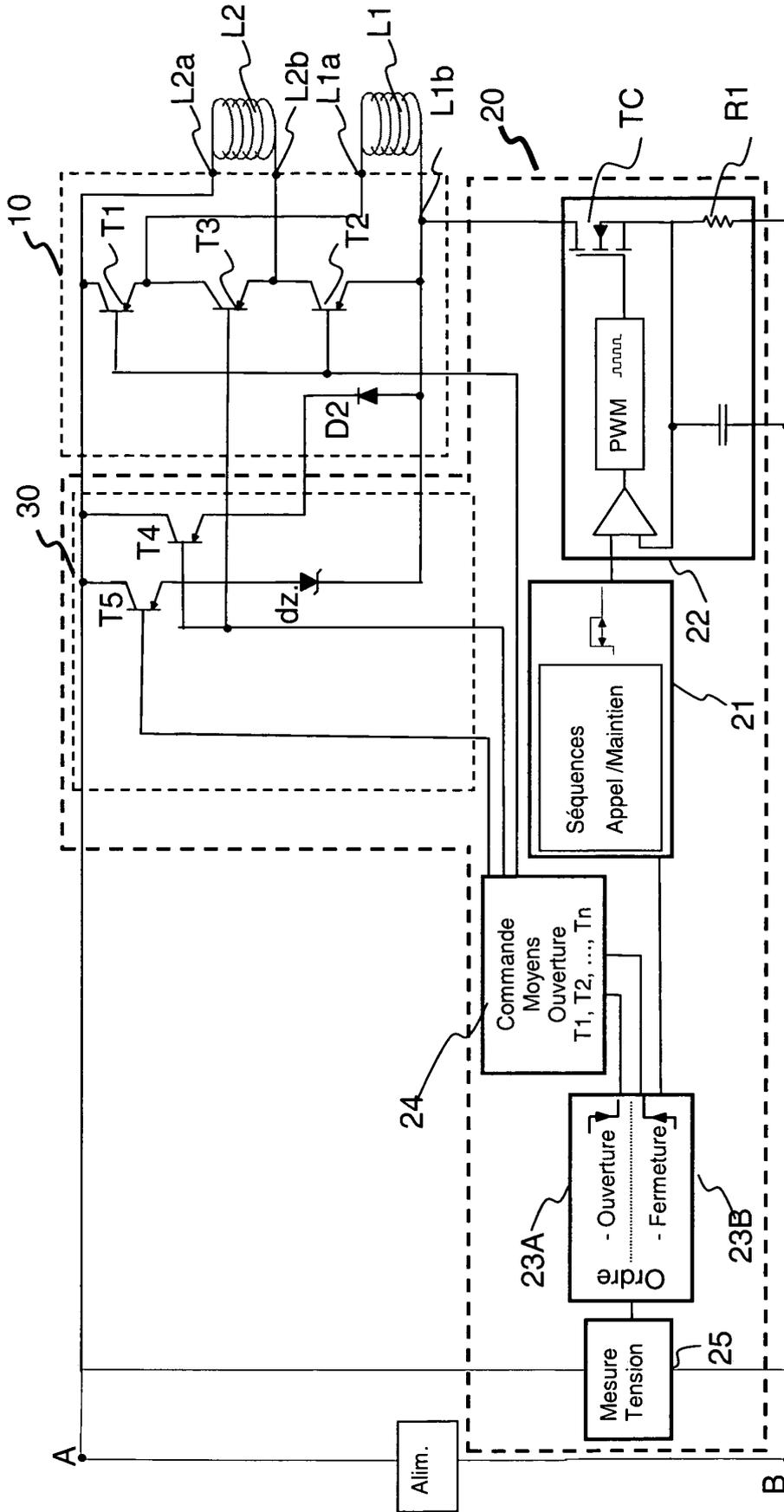


Fig. 2

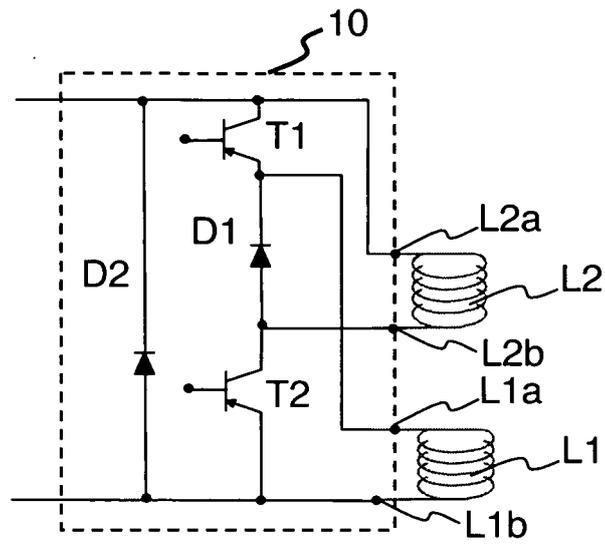


Fig. 3

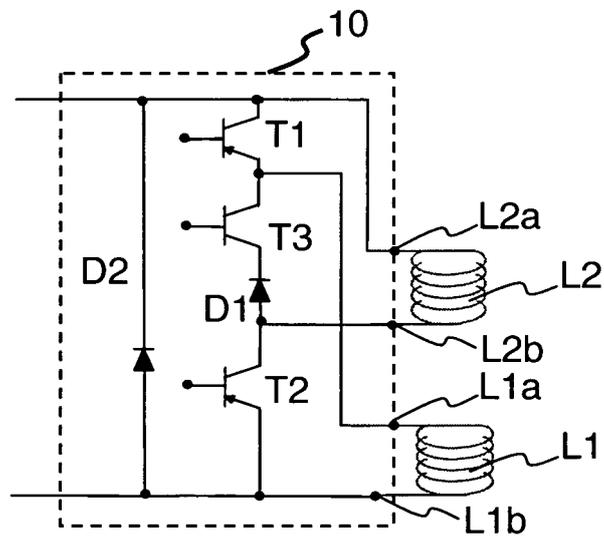


Fig. 4

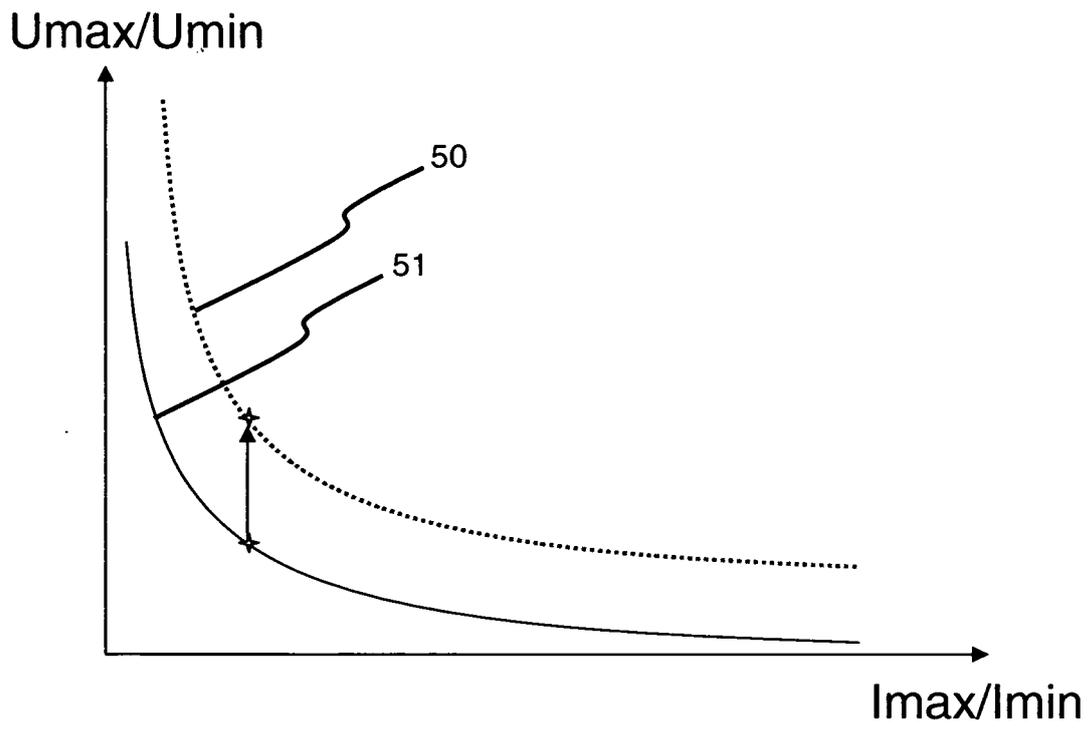


Fig. 5

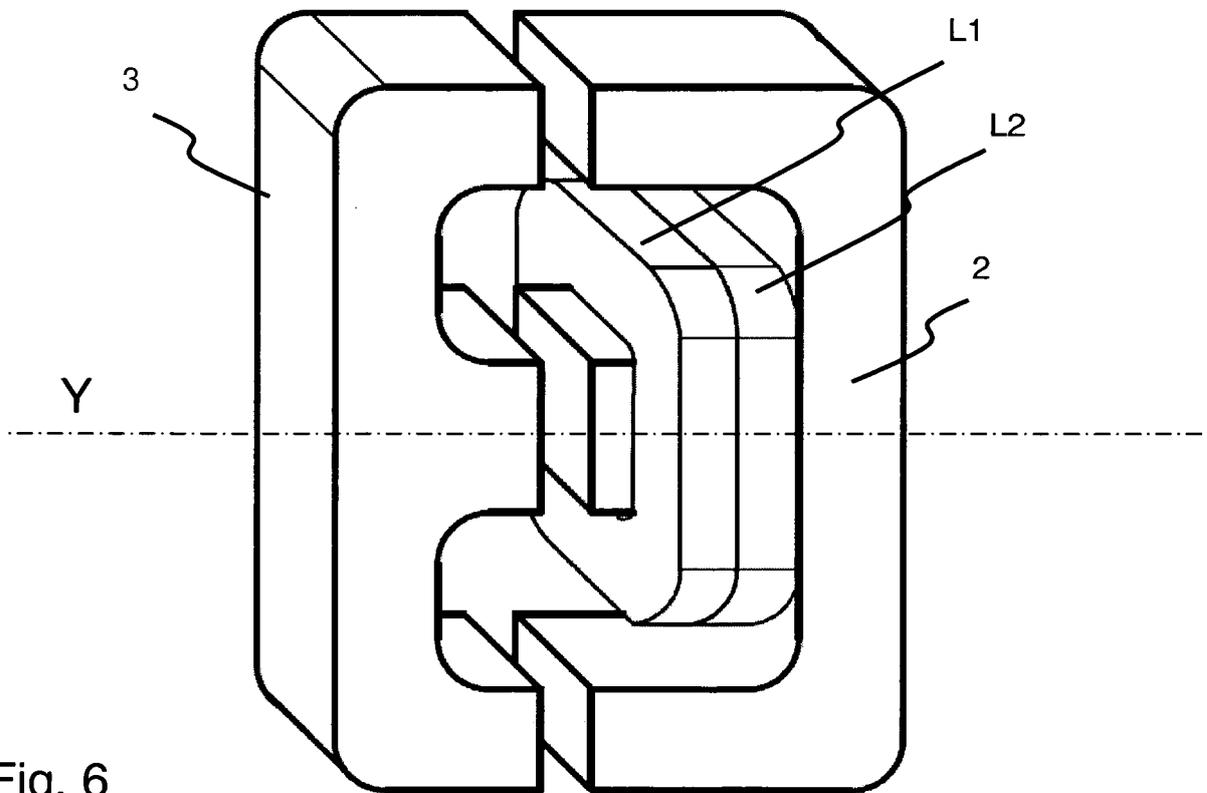


Fig. 6

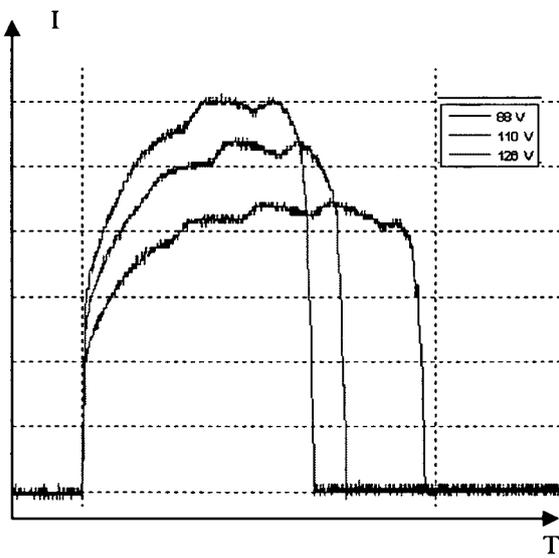


Fig. 7A

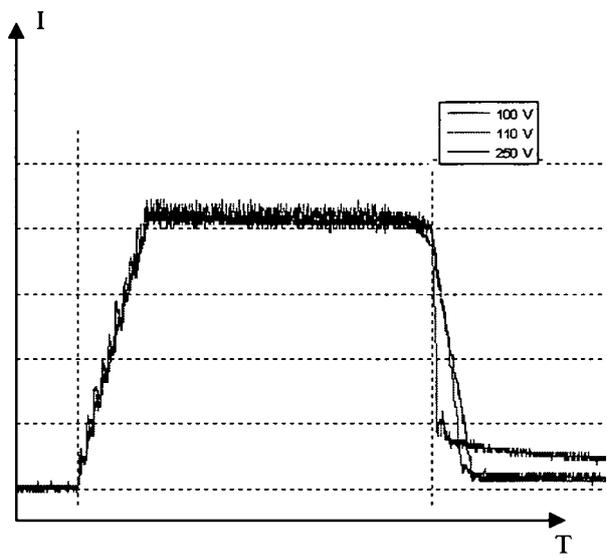


Fig. 7B

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2290009 [0002]
- US 4227231 A [0002]
- US 4609965 A [0002]
- EP 1009003 A [0002] [0003]
- FR 2568715 [0003]
- EP 0998623 A [0004]
- DE 19741570 A1 [0004]