



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁵ : B25B 23/14	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 94/13437 (43) Date de publication internationale: 23 juin 1994 (23.06.94)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR92/01192</p> <p>(22) Date de dépôt international: 16 décembre 1992 (16.12.92)</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CIANDAR [FR/FR]; Quartier Lacroix, F-07800 Saint-Georges-les-Bains (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et</p> <p>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): CHASTEL, Jean-Marc [FR/FR]; Quartier Fontjuliane, F-26740 Sauzet (FR). REY, Didier [FR/FR]; Quartier Lacroix, F-07800 Saint-Georges-les-Bains (FR).</p> <p>(74) Mandataire: CABINET GERMAIN & MAUREAU; B.P. 3011, F-69392 Lyon Cédex 03 (FR).</p>	<p>(81) Etats désignés: BR, CA, CS, FI, HU, JP, KP, KR, NO, PL, RU, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	

(54) Title: METHOD FOR MONITORING AND CONTROLLING STRESS IN A THREADED MEMBER

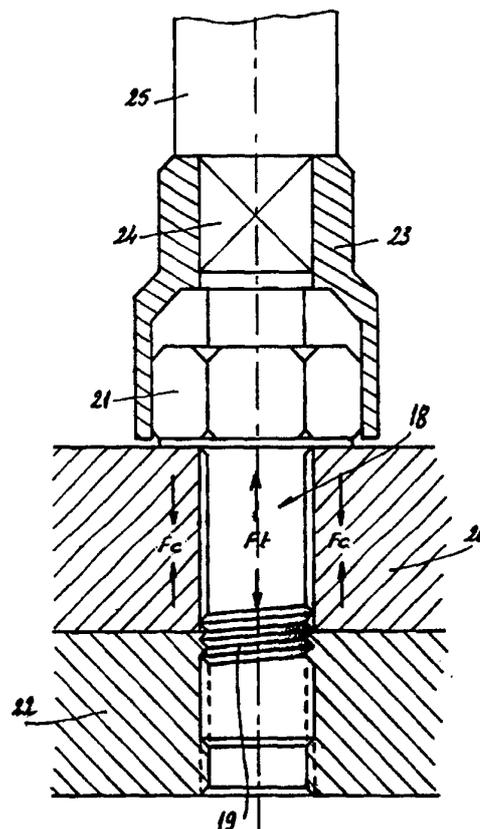
(54) Titre: PROCÉDE POUR LE CONTRÔLE ET L'ASSERVISSEMENT DE LA TENSION D'UN ORGANE FILETÉ

(57) Abstract

The tensile or compressive stress (F_t) in a threaded member (18) is determined by subtracting an unscrewing torque from a screwing torque, and dividing the resulting torque difference by a coefficient proportional to the screw pitch (19) of said member. The torque values are recorded either statically at the screwing and unscrewing rest limit, or dynamically in a series of corresponding screwing and unscrewing positions. The method is particularly useful for measuring, monitoring and controlling stress in threaded fastening members used in screwed joints.

(57) Abrégé

La force de tension ou de compression (f_t) de l'organe fileté (18) est déterminée par l'action de soustraire un couple appliqué au dévissage d'un couple appliqué au vissage, et de diviser cet écart de couples par un coefficient proportionnel au pas du filetage (19) dudit organe. Le prélèvement des valeurs de couple est fait soit statiquement à la limite de repos de vissage et de dévissage, soit dynamiquement en une succession de positions concordantes en vissage et dévissage. Le procédé s'applique notamment à la mesure, au contrôle et à l'asservissement de la tension d'éléments de fixation filetés utilisés dans des assemblages vissés.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brsil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
CN	Chine	LV	Lettonie	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TG	Togo
CZ	République tchèque	LV	Lettonie	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MC	Monaco	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MD	République de Moldova	UA	Ukraine
ES	Espagne	MG	Madagascar	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	ML	Mali	UZ	Ouzbékistan
FR	France	MN	Mongolie	VN	Viet Nam
GA	Gabon				

1

"Procédé pour le contrôle et l'asservissement de la tension d'un organe fileté"

L'invention concerne un procédé pour le contrôle et l'asservissement de la tension d'un organe fileté, tel que vis, boulon, écrou, ou autres éléments de fixation filetés utilisés notamment mais non exclusivement dans les
5 assemblages vissés.

Les industries de l'automobile, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire et toutes activités de fabrication mécanique exploitent de façon généralisée les assemblages vissés, et ce dans des utilisations extrêmement
10 variées et complexes.

Les notes de calcul des assemblages vissés ont pour but de déterminer la précharge à appliquer à l'assemblage en fonction de la charge utile (ou charge de service) à laquelle sera soumis l'assemblage dans son utilisation et d'un facteur de serrage dépendant de la précision des moyens d'application de
15 cette précharge.

Ces notes de calcul réalisées par les ingénieurs d'étude de ces industries étant très précises en fonction des besoins définis et les conditions d'exploitation des assemblages vissés étant de plus en plus sévères, il devient essentiel d'accroître la fiabilité de ces assemblages en respectant les notes de
20 calcul dans leur exécution afin d'augmenter les performances et la sécurité des équipements ainsi réalisés.

La tension à appliquer dans un élément de fixation fileté est généralement réalisée par transformation d'une force de rotation en une force de traction engendrée par la taille hélicoïdale du filet de l'élément. Cette
25 transformation a un rendement imparfait dû pour l'essentiel aux pertes par frottement des surfaces en contact ; de ce fait il faudra appliquer une force de rotation (couple) supérieure à la force de rotation utile à cette transformation.

Le rendement de cette transformation est extrêmement dispersif du fait de la variation des coefficients de frottement, de la variation de la
30 distance à laquelle s'applique la résultante des forces de frottement par rapport à l'axe de rotation et de la variation géométrique des pièces notamment des surfaces en contact. L'observation pratique donne une variation de 50 % de la tension induite lors de l'application d'un couple
35 constant sur un même lot d'éléments de fixation. Il est vérifié que l'amélioration de la précision du couple appliqué n'entraîne pas d'amélioration significative de la précision sur la tension observée.

Une première amélioration de la variation de la tension générée par le couple a été d'associer l'angle de rotation à partir d'un certain couple. En effet l'allongement de l'élément de fixation qui provoque la tension est proportionnel à l'angle de rotation. Cette proportion doit être déterminée
5 préalablement car elle est la résultante de l'assemblage et non de l'élément de fixation. La dispersion de la tension est améliorée dans des conditions particulières dues à des essais préparatoires et des spécifications géométriques des pièces en prise qui peuvent être coûteux. De plus le risque de pénétration en zone plastique n'est pas exclu du fait de la variabilité du
10 point de départ de la mesure de l'angle, en principe appelé couple de pré-serrage. Il est à noter que le couple de pré-serrage peut être un couple accidentel, par exemple matage des filets ; dans ce cas, la tension sera loin d'être réalisée.

A partir de la combinaison de ces deux mesures de couple et d'angle,
15 un principe de serrage a été élaboré : l'observation permanente pendant l'application du couple, de la variation du gradient de couple en fonction de l'avance angulaire permet la détermination d'un point remarquable de la fonction couple/angle, appelé point de limite élastique. Cette méthode amène la vis dans un état de contrainte (ou de précharge) qui exploite la totalité de
20 la précharge possible de l'assemblage au détriment de la charge de service. Une détermination préalable de la tension est réalisée afin d'intégrer les variations de section et de résistance à la traction des matériaux constituant les éléments de fixation. Cette méthode est très sensible aux efforts de réaction des moyens qui applique le couple ; par exemple, flexion du
25 bâti-machine, glissement du bridage de l'élément assemblé. Le point de limite élastique peut être celui du premier élément qui flambe dans la chaîne d'action et de réaction mécanique. Pour être appliquée avec un maximum de sécurité, cette méthode nécessite des précautions accessoires engendrant des coûts. Cette méthode offre une précision de ± 10 % sur la tension d'un point
30 unique exploitant toute la capacité de l'élément de fixation pour la précharge. L'inconvénient majeur de cette méthode est la pénétration, même minime, dans la zone plastique de l'élément de fixation. Les essais d'asservissement et/ou de contrôle de la pente (coefficient directeur de la tangente à la courbe) en un point quelconque de la zone élastique se sont révélés imprécis
35 et dispersifs. Dans ce cas, on cumule la dispersion du couple due aux frottements et la dispersion de l'angle due à la flexibilité de l'assemblage.

Pour éliminer les variations de tension dues aux variations diverses

citées précédemment, une nouvelle approche du serrage à la tension est réalisée par la méthode ultra-sonore.

Cette méthode est basée sur la variation d'un temps de parcours du son se propageant uniquement à l'intérieur de l'élément de fixation et elle s'affranchit de tous les autres paramètres non liés à l'élément ainsi que des variations de l'épaisseur des pièces en prise. La variation du temps de parcours est en théorie la représentation directe de l'allongement. La relation tension/allongement est liée à la résistance du matériau, à sa section et à sa longueur initiale. Cette méthode purement comparative nécessite une modélisation (élément spécimen) de l'élément de fixation qui sera éprouvée pour la détermination d'une variation d'un temps de parcours spécifique à une tension donnée. L'allongement déterminé n'est qu'une faible partie de la longueur réelle de l'élément de fixation. En effet, lorsqu'il s'agit de la propagation d'un son, seule la partie tendue de l'élément de fixation participe à l'allongement. Cette partie tendue dépend de l'épaisseur des pièces en prise. Les tolérances d'usinage se répercutent directement sur l'allongement observé. L'élément de fixation intervient dans ses dimensions géométriques notamment pour la variation totale du temps de parcours qui dépend de la longueur de l'élément par rapport à sa partie tendue. Cette variation se répercute sur le temps de parcours et sur sa variation dans le rapport de longueur tendue/longueur totale. De plus le parallélisme des plans de réflexion des ondes ultra-sonores (essentiellement pour une vis, la tête et le fond de tige) intervient directement dans la position effective de l'organe de mesure du temps de parcours. La mesure d'allongement doit être effectuée pendant la montée en tension de l'élément car le repositionnement introduit des erreurs pouvant doubler le degré d'imprécision de la méthode ultra-sonore. L'ensemble des ces tolérances étant parfaitement maîtrisé par un surcoût important, la précision de la mesure effective de la tension est similaire à celle de la limite élastique avec l'avantage de pouvoir se situer en un point quelconque de la charge admissible de l'élément de fixation, avec cependant l'inconvénient de n'être qu'une probabilité de tension compte tenu de la référence à un spécimen (modèle théorique) issue du traitement moyen d'un lot d'éléments de fixation.

Les conditions d'application de cette méthode nécessitent des précautions importantes telles que couplage de l'organe de mesure, absence de marquage sur la tête de l'élément de fixation, température effective de la mesure, propreté des surfaces de mesure, etc, précautions qui entraînent des

coûts d'exploitation élevés et des cadences de fabrication limitées. Le coût des moyens de mesure ultra-sonore étant lui-même très élevé, cette méthode ne s'applique que dans des cas particuliers où les coûts et les cadences ne sont pas essentiels. Cette méthode est souvent retenue comme moyen de
5 contrôle ou de détermination de paramètres conventionnels de vissage (couple et angle).

En résumé, l'ensemble des méthodes citées ci-dessus n'assure pas une mesure directe de la tension, elles sont soit comparatives, soit théoriques et doivent nécessiter des essais préalables d'ajustement des paramètres et de
10 connaissance du comportement de l'assemblage. Il existe toujours au moins un paramètre qui varie d'un élément de fixation fileté à l'autre et qui de ce fait donne une incertitude sur la tension obtenue :

- Méthode du couple : variation extrême de la tension, tension inconnue ;
- 15 - Méthode impliquant l'angle : variation limitée de la tension, tension estimée avec préalable ;
- Méthode utilisant la limite élastique : Point unique de tension au maximum de la capacité de la vis, tension estimée avec préalable,
20 environnement à maîtriser ;
- Méthode ultra-sonore : Point unique de tension en un point quelconque sur la capacité de l'élément de fixation, tension estimée avec préalable,
25 géométrie et tolérances d'usinage à maîtriser, exploitation limitée par le coût.

Plus on recherche avec précision une estimation de la tension, plus les coûts des moyens, de leur mise en oeuvre et de l'exploitation s'accroissent. Le fait d'aboutir à une estimation plutôt qu'à une mesure directe engendre des coûts supplémentaires de contrôle. Les exigences des industriels
30 concernant de nouvelles méthodes font nettement apparaître leur insatisfaction de celles existantes.

Sachant que les méthodes énoncées précédemment présentent toutes une ou plusieurs carences, on a déjà exploré une nouvelle voie, suite à l'observation sur plusieurs centaines de vissages de toutes sortes d'éléments
35 de fixation, d'une différence entre la valeur du couple appliqué au vissage et la valeur du couple appliqué au dévissage, ce qui ramenait au moyen le plus simple d'application de la tension par le couple afin de caractériser les

relations énergétiques entre le couple et l'énergie dans l'assemblage vissé et déboucher sur un nouveau procédé.

En effet, l'assemblage vissé est constitué de matériaux élastiques. De ce fait, il se comporte comme un ressort. En allongeant ce ressort dans sa plage élastique à l'aide d'une force F_t , on accumule dans cet assemblage vissé une énergie E qui s'exprime comme suit :

$$E = (F_t \cdot \delta L) / 2 \quad (1)$$

où : δL est la différence entre la longueur finale et la longueur initiale de l'élément de fixation.

Cette énergie accumulée (1) est restituée au dévissage du fait de la réversibilité de l'élément de fixation due à son pas à taille hélicoïdale et à l'énergie potentielle résidant dans l'assemblage vissé.

Si cet allongement est effectué par transformation d'un couple C_u en effort de traction, par l'intermédiaire d'une rampe hélicoïdale d'angle α développée sur une circonférence de diamètre $2 \cdot r$, cette expression devient :

$$E = (C_u \cdot \cotg \alpha / r) \cdot (\delta L / 2) \text{ avec } \cotg \alpha = 2\pi r / P$$

P étant le pas de filetage

$$\text{soit : } E = C_u \cdot \delta L \cdot \pi / P \quad (2)$$

Cette énergie accumulée n'est pas apparente et ne représente qu'une fraction de l'énergie appliquée du fait de l'énergie consommée par les frottements qui empêchent notamment le dévissage spontané de l'élément de fixation. Ces frottements existent de façon équivalente au vissage et au dévissage et sont occasionnés par les parties des surfaces en contact des différents éléments composant l'assemblage. De ce fait on observe une différence d'énergie appliquée au vissage et au dévissage due à l'énergie qui est accumulée au vissage et restituée au dévissage alors que l'énergie consommée par les frottements est constante.

La distribution générale des différentes énergies, pour une énergie appliquée se décrit comme suit :

$$\begin{aligned} \text{30} \quad \text{en vissage} & \quad : E_{app} = E_{tfr} + E_{tt} + E_{flt} + E_{tg} \\ \text{en dévissage} & \quad : -E_{app'} = E_{tfr} - E_{tt} - E_{flt} - E_{tg} \\ \text{d'où} & \quad : E_{tfr} = (E_{app} - E_{app'}) / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

avec :

E_{app} : énergie appliquée au vissage de l'élément de fixation
 35 $E_{app'}$: énergie appliquée au dévissage de l'élément de fixation
 E_{tfr} : énergie transformée en tension de l'élément de fixation
 E_{tt} : énergie consommée au frottement tête ou écrou de l'élément de

fixation

E_{flt} : énergie consommée au frottement filet de l'élément de fixation

E_{tg} : énergie consommée au frottement tige de l'élément de fixation.

En dérivant l'équation (3), on obtient :

$$5 \quad d(E_{tfr})/dt = [d(E_{app})/dt - d(E_{app}')/dt]/2$$

soit à un instant t :

$$P_{tfr} = (P_{app} - P_{app}')/2 \quad (4)$$

avec :

P_{app} : puissance appliquée au vissage

10 P_{app}' : puissance appliquée au dévissage

P_{tfr} : puissance transformée en tension

et compte tenu de la relation générale $P_u = C \cdot \omega$. (Puissance = couple X vitesse de rotation)

(4) se simplifie en :

$$15 \quad C_u = (C_{app} - C_{app}')/2 \quad (5)$$

Le couple utile ou couple transformé en tension C_u peut s'exprimer d'après (2) en fonction de l'énergie transformée comme suit :

$$C_u = E_{tfr} \cdot P / (\pi \cdot \delta L)$$

en faisant intervenir (1), on obtient :

$$20 \quad C_u = F_t \cdot P / (2 \cdot \pi) \quad (6)$$

en faisant intervenir (5) et (6), on obtient :

$$C_{app} - C_{app}' = F_t \cdot P / \pi$$

avec :

C_{app} : couple appliqué au vissage

25 C_{app}' : couple appliqué au dévissage

et réciproquement :

$$F_t = (C_{app} - C_{app}') / (P / \pi) \quad (7)$$

En d'autres termes, la force de tension (en traction ou en compression) peut être contrôlée en fonction proportionnelle à la différence entre le couple appliqué au vissage, notamment le couple maximum au point d'arrêt, et le couple appliqué au dévissage, plus particulièrement le couple maximum de dévissage, différence divisée par (P/π) , quantité proportionnelle au pas du filetage. La quantité (P/π) constitue une constante qui permet la transformation immédiate de la différence des couples de l'action de visser, 30 puis de dévisser un élément de fixation fileté, exprimés en newton-mètre (Nm) en une tension exprimée en Newton (N), dont la précision suit directement la précision des couples. 35

De la formule (7), se déduit la définition générale d'un procédé pour le contrôle et l'asservissement de la tension ou compression d'un organe fileté, dans lequel la force de tension ou de compression (F_t) de l'organe fileté est déterminée par l'action de soustraire un couple appliqué au dévissage (C_{app}') d'un couple appliqué au vissage (C_{app}), et de diviser cet écart de couples par un coefficient proportionnel au pas (P) du filetage dudit organe. Un tel procédé est divulgué, dans son aspect général et théorique, par le document EP-A-0096620.

Toutefois, ce document ne révèle pas un mode opératoire rationnel et fiable, pour la mise en oeuvre industrielle de ce procédé ; l'enseignement du document EP-A-0096620 permet seulement une approximation de la force de serrage exercée par l'élément fileté, et ainsi les inconvénients des autres techniques antérieures ne sont pas supprimés.

Plus précisément, une analyse du document EP-A-0096620 permet de discerner, pour le procédé qu'il décrit, d'une part des insuffisances théoriques et d'autre part des insuffisances techniques.

La mention d'un coefficient de proportionnalité reliant l'effort de serrage à la différence du couple de vissage/dévissage vu en un point particulier, base du document EP-A-0096620, contient plusieurs aberrations :

1) Spéculation abusive sur la constance du frottement (qui varie en réalité à chaque point d'avancement en fonction de la surface en contact, de l'état de surface et de la pression de contact) pour la proportionnalité (K). Ceci n'est jamais le cas, donc il est impossible de prédire le couple de vissage final en un point différent de celui de l'observation, et encore moins la tension existante à ce couple.

2) Les couples de vissage/dévissage doivent être mesurés dans des conditions particulières qui ne sont pas précisées dans le document cité, et en l'absence desquelles les mesures sont aberrantes, pouvant aller jusqu'à une tension négative ! (ex : un couple de dévissage supérieur à un couple de vissage dû à un grippage ou un collage). Il y a obligation de mesurer dès le début de la mise en mouvement de l'organe fileté et/ou de ne prélever les couples qu'à des instants précis, comme le propose la présente invention.

Les points précédents sont confirmés par le contenu du document EP-A-0096620 où il est admis que le coefficient K est différent sur plusieurs tentatives, d'où l'obligation de l'évaluer statistiquement, mais qui ne résoud pas le problème de la proportionnalité du coefficient K sur l'étendue du vissage. Au mieux, on obtient une approximation de K en un point particulier,

repéré par une position angulaire.

3) Absence de notion de positions concordantes aux prélèvements des couples de vissage/dévissage, ce qui pour un effort progressif comme la montée en couple et en tension introduit un écart de couple supplémentaire
5 qui nuit gravement au procédé (détorsion de l'organe fileté).

4) A propos des modalités de mise en oeuvre selon les revendications 5 et 6 du document EP-A-0096620, introduisant la notion de "gradient", on notera que ce mode de mise en oeuvre souffre des mêmes défauts que ceux précédemment indiqués, et de plus le fait de dériver amplifie exagérément les
10 anomalies de mesure et rend impossibles tous calculs. Cette formulation est impropre, et à l'inverse il aurait fallu intégrer.

Outre les insuffisances théoriques développées ci-dessus, le document EP-A-0096620 ne contient aucune description pratique de moyens qui permettraient d'appliquer la théorie développée dans ce document, et son
15 unique figure se limite à la représentation d'un assemblage vissé classique.

L'insuffisance technique apparaît en particulier en ce qui concerne les concordances de positions de prélèvement des valeurs de couple, qui pour n'importe quels moyens sont à prendre en compte, notamment la maîtrise des torsions desdits moyens, qui sans cela ramène à l'insuffisance théorique 3)
20 (détorsion de la vis, avec en plus la torsion des moyens).

Face à cet état de la technique, la présente invention vise à fournir au procédé perfectionné, en préconisant un mode opératoire spécifique permettant une bonne reproductibilité et une précision améliorée.

Dans ce procédé pour le contrôle et l'asservissement de la tension ou
25 compression d'un organe fileté, où la force de tension ou de compression de l'organe fileté est déterminée par l'action de soustraire un couple appliqué au dévissage d'un couple appliqué au vissage, et où cet écart de couples est divisé par un coefficient proportionnel au pas du filetage dudit organe, l'invention prévoit que le prélèvement de ces valeurs de couple est effectué
30 soit statiquement à la limite de repos de vissage et dévissage, soit dynamiquement en une succession de positions concordantes en vissage et dévissage.

Des moyens simples permettent de mettre en oeuvre le procédé, dont la définition générale vient d'être indiquée, pour connaître, asservir ou
35 contrôler des assemblages vissés d'une manière économique et plus

performante que toutes celles existantes, et ainsi l'invention permet d'utiliser des éléments de fixation filetés de moindre coût ou de qualité plus faible, tout en ayant une certitude au sujet du serrage de ces éléments de fixation.

Un premier mode de mise en oeuvre du procédé selon l'invention
5 consiste à appliquer ce procédé à une mesure de tension, en utilisant un moyen moteur manuel, mécanique, pneumatique, hydraulique ou électrique capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté d'un assemblage, d'assurer un effort contrôlé de mise en rotation de cet élément de fixation.

10 Dans le cas d'une inertie mécanique négligeable, le procédé se caractérise par l'action de visser dans le but de prélever, à la limite de repos du glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation, puis par l'action de dévisser dans le but de prélever, à la limite de repos pendant le glissement de la
15 partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation au passage par son maximum, puis de différencier ces deux valeurs d'effort pour les diviser par un coefficient notamment proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir une valeur représentant, en ces limites précises :

- 20 - soit la force de traction subie par l'élément de fixation
- soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
- soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation.

Lorsque le moyen moteur est instrumenté par un couplemètre, la relation directe est exprimée comme suit :

25 $F_t = (C_v - C_d) / K$ où $K = P / \pi$

avec :

F_t force de tension en Newton

C_v couple à la limite de vissage en Newton-mètre

C_d couple maximum de dévissage en Newton-mètre

30 π constante du cercle

P pas du filetage en mètre

La relation indirecte est établie pour l'expression de la force de tension dans un autre système de mesure, par un coefficient supplémentaire rétablissant la cohérence entre les unités de force et les unités de longueur,
35 par exemple :

Pour Ft en Newton

$$K = (P/\pi).S$$

où S = 12 , si Cv est Cd sont exprimés en
Newton.foot (N.ft)

5 et P en inch (in)

où S = 1,6584 , si Cv et Cd sont exprimés en
poundal.foot(pdl.ft)
et P en inch (in)

Lorsque le moyen moteur est instrumenté sur son énergie la relation
10 directe est exprimée comme suit :

$$Ft = (Ev'-Ed')/K \quad \text{où } K = P/\tau$$

avec :

Ft force de tension en Newton

Ev' élément représentatif de l'énergie à la limite de vissage

15 Ed' élément représentatif de l'énergie maximum de dévissage

τ constante incluant π constante du cercle par le

rendement moteur par le transformateur du type d'énergie

P pas du filetage en mètre.

L'élément représentatif de l'énergie peut être n'importe quel élément
20 donnant l'image du couple du moyen moteur (intensité, voltage, pression, etc)
par une constante ou une fonction f(x), mais aussi le moment d'un moyen
mécanique utilisant la flexion ou la torsion d'un organe pour lequel le
transformateur n'est pas obligatoirement une constante, mais peut être aussi
une fonction (x).

25 Dans le cas d'une inertie mécanique importante, le procédé se
caractérise par l'action de visser dans le but de prélever, au début du
glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de
l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation, puis de prélever, à la limite de
repos du glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie
30 fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation, puis par l'action de
dévisser dans le but de prélever, à la limite de repos pendant le glissement de
la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la
valeur de l'effort de rotation au passage par son maximum, puis de
différencier ces deux valeurs d'effort pour diviser ce résultat par un
35 coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin
d'obtenir une valeur représentant, pour ces valeurs particulières :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation

- soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
 - soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation
 au départ de l'action.

Lorsque le moyen moteur est instrumenté par un couplemètre, la
 5 relation directe est exprimée comme suit :

$$F_t = (C_v - C_d) \cdot I / K \quad \text{où } K = P / \pi \quad \text{où } I = C_g / C_v$$

avec :

F_t force de tension en Newton

C_g couple au début de vissage en Newton.mètre

10 C_v couple à la limite de vissage en Newton.mètre

C_d couple maximum de dévissage en Newton.mètre

π constante du cercle

P pas du filetage en mètre

La relation indirecte est établie pour l'expression de la force de
 15 tension dans un autre système de mesure, par un coefficient supplémentaire
 rétablissant la cohérence entre les unités de force et les unités de longueur.

Lorsque le moyen moteur est instrumenté sur son énergie, la relation
 directe est exprimée comme suit :

$$F_t = (E_v' - E_d') \cdot I / K \quad \text{où } K = P / \tau \quad \text{où } I = E_g' / E_v'$$

20 avec :

F_t force de tension en Newton

E_g' élément représentatif de l'énergie au début de vissage

E_v' élément représentatif de l'énergie à la limite de vissage

E_d' élément représentatif de l'énergie maximum de dévissage

25 τ constante incluant π constante du cercle par le rendement
 moteur par le transformateur du type d'énergie

P pas du filetage en mètre

L'élément représentatif de l'énergie peut être n'importe quel élément
 donnant l'image du couple du moyen moteur (intensité, voltage, pression, etc)
 30 par une constante ou une fonction $f(x)$, mais aussi le moment d'un moyen
 mécanique utilisant la flexion ou la torsion d'un organe pour lequel le
 transformateur n'est pas obligatoirement une constante, mais peut être aussi
 une fonction $f(x)$.

La relation indirecte est établie pour l'expression de la force de
 35 tension dans un autre système de mesure, par un coefficient supplémentaire
 rétablissant la cohérence entre les unités de force, et les unités de distance.

Un contrôle non destructif de l'assemblage est réalisable par l'action

précédemment définie de mesure de tension, suivie de l'action de re-visser jusqu'à l'effort de vissage prélevé en premier, à savoir :

- soit celui de la limite du repos s'il n'y a pas inertie
- soit celui de début de glissement s'il y a inertie

5 afin de restituer les conditions initiales de l'assemblage en ayant contrôlé la force de tension existante dans l'élément de fixation, ou la force de traction subie par l'élément de fixation, ou encore la force de compression exercée par l'élément de fixation.

Selon un mode de mise en oeuvre du procédé selon l'invention, on
10 réalise un simple asservissement en approximations successives (procédé itératif). A cet effet, sur un élément de fixation déjà serré de façon quelconque, on exerce l'action précédemment définie, recommencée autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que le rapport de la force de tension nécessaire sur la force de tension existante soit égal à 1. De façon à limiter l'amplitude
15 de l'action de vissage/dévissage, la valeur de l'effort de vissage/dévissage peut être modérée par un coefficient (de minoration) propre à assurer la convergence de l'action vers la tension nécessaire en un nombre de coups définis par la précision recherchée dans l'asservissement de l'action.

On peut encore réaliser selon l'invention un "asservissement dynamique"
20 permettant, par l'utilisation d'un moyen moteur manuel, mécanique, pneumatique, hydraulique ou électrique capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté d'un assemblage, d'assurer un effort de rotation contrôlé et une mesure de la position effective de la rotation de l'élément de fixation.

25 Sur un élément de fixation non serré, on exerce à cet effet l'action de visser dans le but de prélever, à intervalles réguliers de position déterminés par la précision recherchée, les valeurs de l'effort de rotation, puis l'action de dévisser dans le but de prélever, à intervalles réguliers pour ces mêmes positions, les valeurs de l'effort de rotation, puis position par position, pour
30 des positions effectives, de différencier la valeur d'effort de rotation au vissage de la valeur d'effort au dévissage, pour les diviser par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir une liste de valeurs représentant, pour chacune des positions :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
 - 35 - soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
 - soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation
- suyant les relations directes et indirectes de la définition générale du

procédé selon l'invention, puis suivie par :

soit l'action de re-visser l'élément de fixation jusqu'à une position déterminée dont la valeur de la force observée est égale à la force nécessaire à l'assemblage,

5 soit l'action de re-visser l'élément de fixation jusqu'à l'effort de rotation au vissage correspondant à la position où l'on a observé une valeur de force égale à la force nécessaire à l'assemblage.

Cette action de re-visser pourra être modérée tant dans la position choisie, que dans la valeur de l'effort afin d'anticiper sur l'inertie du moyen
10 moteur utilisé. Cette modération pourra être une constante mémorisée correspondant à un effort de rotation donné, ou déduite des phases d'arrêt dudit moyen lorsque l'on échantillonne les différentes valeurs d'effort de rotation sur l'élément de fixation.

Cette action de re-visser pourra être corrigée tant dans la position
15 choisie, que dans la valeur de l'effort afin d'intégrer la torsion du moyen moteur notamment lorsque le capteur de position n'est pas solidaire de l'élément de fixation ou de l'organe d'accouplement. Cette correction pourra être issue d'une table de correction mémorisée déduite de la pente de torsion, c'est-à-dire du rapport de l'effort de rotation sur sa position effective.

20 La concordance des positions de vissage/dévissage peut être réalisée par corrélation de la position à l'effort maximum de vissage avec la position à l'effort maximum de dévissage, en faisant abstraction dans ce cas de la notion de pente de torsion.

Les actions de visser dans le but de prélever, à intervalles réguliers de
25 valeur d'effort de rotation déterminé par la précision recherchée, les positions successives de l'élément de fixation, puis de dévisser dans le but de prélever, à intervalles réguliers pour ces mêmes valeurs, les positions successives de l'élément de fixation, puis d'interpoler la liste entre le rang et le contenu, soit par permutation, soit par calcul, se rattachent au même mode de mise en
30 oeuvre du procédé.

Le fait d'établir une fonction relative de la force de rotation par rapport à la position de l'élément de fixation, au lieu d'établir une liste de valeurs, notamment lorsque l'asservissement est réalisé par un calculateur, un processeur ou un micro-contrôleur, afin de résoudre par le calcul la position
35 ou la force de rotation nécessaire à l'assemblage, se rattache au même mode de mise en oeuvre.

Un contrôle non destructif de l'assemblage est réalisable en utilisant un moyen moteur manuel, mécanique, pneumatique, hydraulique ou électrique capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté d'un assemblage, d'assurer un effort de rotation contrôlé et une
5 mesure de la position effective de la rotation de l'élément de fixation : Sur un élément de fixation déjà vissé de façon quelconque, on exerce l'action de dévisser dans le but de prélever, à une position déterminée, la valeur maximum de l'effort de rotation puis l'action de re-visser à la même position, pour une position effective, de différencier la valeur d'effort de rotation
10 au-revissage de la valeur d'effort maximum au dévissage, pour les diviser par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir pour cette position, une valeur représentant :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
 - soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
 - 15 - soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation
- suivant les relations directes du principe de l'invention.

Cette action de re-visser pourra être modérée tant dans la position choisie que dans la valeur de l'effort afin d'anticiper sur l'inertie du moyen moteur utilisé. Cette modération pourra être une constante mémorisée
20 correspondant à un effort de rotation donné, ou déduite de la phase d'arrêt dudit moyen lorsque l'on dévisse.

Cette action de re-visser pourra être corrigée tant dans la position choisie, que dans la valeur de l'effort afin d'intégrer la torsion du moyen moteur, notamment lorsque le capteur de position n'est pas solidaire de
25 l'élément de fixation ou de l'organe d'accouplement. Cette correction pourra être issue d'une table de correction mémorisée déduite de la pente de torsion, c'est-à-dire du rapport de l'effort de rotation sur sa position effective.

Lorsque dans ce qui précède, la correspondance des positions dans l'action de visser/dévisser, ou dévisser/visser, n'est pas effective du fait de la
30 torsion du moyen moteur utilisé et des différentes déformations dans la chaîne de réaction moteur/moteur/bâti/assemblage, notamment lorsque le capteur de position n'est pas solidaire de l'élément de fixation ou de l'organe d'accouplement par rapport à l'assemblage, et de l'empilement des jeux dans la transmission de l'effort de rotation, la concordance des positions de
35 vissage/dévissage est réalisée à partir de la "pente de torsion".

Le capteur de position voit la position de l'élément de fixation au travers d'un ensemble qui se déforme proportionnellement à l'effort de

rotation appliqué par le moyen moteur. Tant que couple résistant n'est pas dépassé par le couple moteur, l'élément de fixation n'a pas commencé sa rotation alors que le capteur de position enregistre un déplacement proportionnel au couple appliqué. La position effective est masquée par une position apparente due à la déformation de la chaîne de réaction. La pente de torsion est établie à partir du rapport de la valeur de l'effort de rotation sur la valeur de la position observée. La tangente à cette pente est établie par la variation de la valeur de l'effort de rotation sur la variation de la valeur de position. Le changement brusque du coefficient directeur de la tangente à cette pente, lors de la rotation effective de l'élément de fixation, donne la position précise où intervient cette rotation effective. Le couple résistant de l'élément de fixation résulte des différentes surfaces en contact, tête ou écrou, tige, filet. L'élément est soumis en permanence (lorsqu'il est tendu) à une torsion due à la force de tension sur l'hélicoïde de son filet. La modification de la force de tension sera réalisée pour l'essentiel lorsque le couple résistant dû au filet sera vaincu. La mise en rotation totale de l'élément de fixation n'est réalisée qu'à partir de l'instant où le filet avance. Il y a donc un différé d'action entre la mise en rotation de la tête ou de l'écrou et la mise en rotation réelle de l'élément de fixation. Ce différé d'action se traduit par une torsion supplémentaire ou une dé-torsion partielle de l'élément de fixation suivant que l'on visse ou que l'on dévisse. Cette variation de torsion de l'élément de fixation intervient sur la valeur de la position observée, notamment lorsque la longueur de l'élément de fixation est grande par rapport à sa section. Cette variation crée une différence de pente entre le vissage ou le dévissage.

Une analyse de la pente par le système d'asservissement et/ou de mesure permet une finesse importante, suivant la précision désirée, de la corrélation de positions effectives entre le vissage et le dévissage pour les synchroniser avec les efforts de rotation appliqués, à savoir :

L'action définie plus haut "asservissement dynamique" établit une liste de valeurs d'effort de rotation en fonction d'intervalles de position. Le rapport de la différence d'une valeur V et d'une valeur $V-1$ sur l'intervalle de position correspondant donne le coefficient directeur de la pente à un intervalle donné. La succession de différentiation de valeurs telle que $V+1$ et $V, V+2$ et $V+1... V(n)$ et $V(n-1)$ où n représente le rang de la valeur dans la liste, fournit une liste de coefficients directeurs qui sont utilisés dans la variation de leur valeur :

- pour fixer le point de départ de la montée de l'effort de rotation sur la position observée (rattrapage des jeux), par l'accroissement brusque de la valeur du coefficient directeur ;
- pour annuler le cumul des torsions de vissage/dévisage en soustrayant, pour chacune des actions, la valeur de position effective par rapport à la valeur de l'effort de rotation, de la valeur de la position observée ayant que l'élément de fixation n'entre en rotation, la position effective étant donnée par la régression brusque de la valeur du coefficient directeur ;
- 10 - pour annuler le cumul des torsions de dévissage/re-vissage en soustrayant, pour chacune des actions, la valeur de position effective par rapport à la valeur de l'effort de rotation, de la valeur de la position observée avant que l'élément de fixation n'entre en rotation. Cette valeur de position est calculée pour le re-vissage dans la proportion de l'effort de rotation appliqué, la position effective étant donnée par la régression brusque de la valeur du coefficient directeur ;
- 15 - pour évaluer à tout instant dans l'action de visser/dévisser ou dévisser/re-visser, la valeur d'une torsion par rapport à l'effort de rotation appliqué.
- 20 On peut encore réaliser selon l'invention un "asservissement flottant" permettant, par un moyen moteur manuel, mécanique, pneumatique, hydraulique ou électrique capable, et par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté d'un assemblage, d'assurer un effort de rotation contrôlé avec la succession d'actions de vissage/dévisage
- 25 suivante :
 - visser d'une valeur d'effort de rotation constituée d'une valeur variable et d'une valeur fixe "delta" ;
 - puis dévisser d'une valeur au maximum égale à cette valeur variable, le dévissage pouvant être partiel ;
- 30 - poursuivre l'action de vissage/dévisage, en faisant progresser cette valeur variable tant que le dévissage est possible, la progression de cette valeur variable pouvant être égale à la différence entre cette valeur variable et la valeur réalisée au dévissage ou une fraction de cette différence afin de modérer l'action en assurant une convergence rapide de cette action vers
- 35 l'impossibilité de dévisser ;
la valeur d'effort "delta" multipliée par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation représentant :

- soit la force de traction exercée par l'élément de fixation
- soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
- soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation

où, lorsque le moyen moteur est instrumenté par un couplemètre, la relation
5 directe de cette valeur d'effort de rotation est exprimée comme suit :

$$\Delta C = F_t \cdot K \quad \text{où } K = P/\pi$$

avec :

ΔC couple "delta" en Newton.mètre

F_t force de tension en Newton

10 π constante du cercle

P pas du filetage en mètre

où, lorsque le moyen moteur est instrumenté sur son énergie la relation
directe de cette valeur d'effort de rotation est exprimée comme suit :

$$\Delta E' = F_t \cdot K \quad \text{où } K = P/\tau$$

15 avec :

$\Delta E'$ élément représentatif de l'énergie

F_t force de tension en Newton

τ constante incluant la constante π du cercle par le rendement
moteur par le transformateur du type d'énergie

20 P pas du filetage en mètre

L'élément représentatif de l'énergie peut être n'importe quel élément
donnant l'image du couple du moyen moteur (intensité, voltage, pression, etc)
par une constante ou une fonction $f(x)$, mais aussi le moment d'un moyen
mécanique utilisant la flexion, la torsion ou le choc d'un organe pour lequel le
25 transformateur n'est pas obligatoirement une constante, mais peut être aussi
une fonction $f(x)$.

Le moyen moteur peut n'être contrôlé que dans une mesure ou une
action différentielle. Le contrôle de l'effort de rotation absolu n'étant pas
indispensable.

30 Enfin, le procédé objet de l'invention permet d'étudier les coefficients
de frottement et le rendement général de l'élément de fixation sur
l'assemblage :

Par le principe de l'invention et l'asservissement dynamique, on établit
une relation précise entre le couple appliqué au vissage/dévisage et la
35 tension existante dans l'élément de fixation. Cette tension permet à tout
instant de calculer le couple effectivement transformé pour produire cette
même tension. Le rapport de ce couple transformé sur le couple appliqué, fixe

le rendement de l'élément de fixation.

$$C_{tfr} = (F_t \cdot \mu) / 2P \quad \text{couple transformé}$$

$$\mu = C_{tfr} / C_{app} \quad \text{rendement général au vissage}$$

$$\mu' = C_{tfr} / C_{app'} \quad \text{rendement général au dévissage}$$

$$5 \quad C_s = 1 / \mu' \quad \text{coefficient de sécurité}$$

Le rendement de l'élément de fixation est la résultante des frottements des différentes surfaces en contact, tête ou écrou, tige, filet. La distribution en est inconnue. L'usage de la "pente de torsion" permet d'isoler chacun des couples dûs au frottement de chaque partie en contact, par la
10 mise en rotation différée de chacune des parties de l'élément de fixation, observée par la pente de torsion.

$$C_{app} = C_{tfr} + C_{tt} + C_{flt} + C_{tg} \quad \text{distribution générale de vissage}$$

$$C_{appO} = C_{tfr} + C_{tt} \quad \text{vissage (limite de repos)}$$

$$-C_{appO'} = C_{tfr} - C_{tt} \quad \text{dévissage (limite de repos)}$$

$$15 \quad C_{tt} = (C_{appO} + C_{appO'}) / 2 - C_{tfr} \quad \text{Couple frottement tête}$$

$$C_{appI} = C_{tfr} + C_{tt} + C_{flt} + C_{tg} \quad \text{vissage (rotation filet)}$$

$$-C_{appI'} = C_{tfr} - C_{tt} - C_{flt} - C_{tg} \quad \text{dévissage (rotation filet)}$$

$$C_{flt} = (C_{appI} + C_{appI'}) / 2 - C_{tt} \quad \text{Couple frottement filet}$$

$$20 \quad \text{avec frottement tige}$$

négligeable

$$C_{flt} = (C_{appI} + C_{appI'}) / 2 - C_{tt} - C_{tg} \quad \text{Couple frottement filet}$$

avec couple frottement
tige relevé hors tension

Dans l'étude des coefficients de frottement, lorsque la mesure du
25 différenciel de position n'est pas suffisamment démarquée (cas de vis courtes), on privilégie dans l'équation des frottements, le couple dû au frottement du filet, sans en changer sa valeur, par l'introduction sous la tête ou l'écrou d'un élément intermédiaire, tel qu'un roulement de butée ou tout autre élément à coefficient minime ou connu.

30 De la relation courante : $\mu_n = C_x / [F_t \cdot (d_1 + d_2)]$ pour des pièces de révolution, on déduit le coefficient de frottement à partir de la distribution des couples, pour chaque couple C_x , en fonction de la tension F_t et de la géométrie de l'élément de fixation, avec dans cette relation :

μ_n coefficient de frottement

35 C_x couple de frottement (C_{tt}, C_{flt} , etc...)

F_t force de tension du procédé

d_1 diamètre intérieur de la surface en contact

d2 diamètre extérieur de la surface en contact

Pour illustrer plus concrètement le procédé, objet de l'invention, on décrit ci-après deux exemples pratiques de mise en oeuvre de ce procédé par le contrôle et l'asservissement de la tension ou compression d'un organe
5 fileté, en se référant au dessin schématique annexé dans lequel :

Figure 1 montre une clé dynamométrique pour vissage avec contrôle de la tension par le procédé selon l'invention ;

Figure 2 est un schéma des circuits électriques et électroniques de la clé dynamométrique de figure 1 ;

10 Figure 3 montre une broche de vissage asservie, mettant en oeuvre le procédé selon la présente invention ;

Figure 4 est une vue de détail d'un assemblage vissé réalisable au moyen de la broche de figure 3 ;

15 Figure 5 est un diagramme de l'asservissement de la broche de vissage de figure 3.

La figure 1 montre l'aspect extérieur d'une clé dynamométrique pour vissage avec contrôle de la tension, les circuits électriques et électroniques internes de la clé étant illustrés par le schéma de la figure 2 dans lequel, pour la clarté du dessin, ne sont pas représentés certains composants discrets
20 non essentiels à la compréhension, ainsi que les alimentations à partir de batteries propres à assurer la portabilité et l'autonomie de cette clé dynamométrique.

Dans l'exemple ici considéré, il s'agit d'une clé dynamométrique d'une capacité de 300 Nm, dans laquelle un couplemètre 1 à jauges de contrainte,
25 recevant une tension d'alimentation notée VA d'une valeur de 10 volts, délivre une tension proportionnelle au couple appliqué. Un premier amplificateur 2 d'un gain de 1000 produit sur sa sortie une relation telle que pour chaque 1Nm de couple soit assuré un signal $-/+33,333$ mV suivant le sens du vissage effectué. La sortie de l'amplificateur 2 est reliée aux entrées de deux
30 échantillonneurs bloqueurs 3,4, ainsi qu'aux entrées de deux comparateurs 5,6. Le premier groupement échantillonneur-bloqueur 3 et comparateur 5 assure une mémorisation du couple de vissage à droite, négatif en signal, par le fait que le comparateur 5 compare la sortie de l'échantillonneur-bloqueur 3 avec son entrée et que lorsque l'entrée est supérieure à la sortie, ce comparateur 5
35 provoque le mode bloqueur de l'échantillonneur-bloqueur au travers d'une porte logique OU 7, mémorisant ainsi la valeur la plus haute du couple mesuré dans le sens du vissage à droite. Le deuxième groupement échantillonneur-bloqueur

4 et comparateur 6 assure une mémorisation du couple de vissage à gauche, positif en signal, par le fait que le comparateur 6 compare la sortie de l'échantillonneur-bloqueur 4 avec son entrée et que lorsque l'entrée est supérieure à la sortie, ce comparateur 6 provoque le mode bloqueur de l'échantillonneur-bloqueur 5 au travers d'une porte logique OU 8 mémorisant ainsi la valeur la plus haute du couple mesuré dans le sens du vissage à gauche. Chaque sortie de comparateur 5,6 est reliée à une porte logique OU 7,8 ayant en commun une entrée reliée à un bouton-poussoir 9 permettant la remise à zéro des mémoires des valeurs de couple acquises lors du vissage à droite et du vissage à gauche. Les sorties de chaque échantillonneur-bloqueur 3,4 sont reliées à l'entrée d'un amplificateur 10, câblé en mode sommateur de telle sorte que le gain ne s'applique que sur la différence des sorties des échantillonneurs-bloqueurs 3,4 par le fait que l'une est négative et l'autre positive, la somme algébrique produisant une soustraction. L'amplificateur 10 produit un gain proportionnel au pas de la vis choisi par un sélecteur 11 qui permet un choix de différents pas de vis dans la gamme de couples applicable par la clé. Le sélecteur 11 oriente une gamme de gain par l'affectation d'une résistance convenablement calculée dans la boucle de gain de l'amplificateur 10. La sortie de l'amplificateur 10 est reliée à l'entrée d'un convertisseur analogique-numérique pilotant un affichage numérique dans une fonction de voltmètre à affichage 12. L'affichage numérique est établi pour de 0 à -/+ 199,99, échelle qui traduit directement des KN (Kilo-newtons) pour des tensions qui vont de 0 à -/+ 5 volts.

En se référant maintenant aux figures 3 à 5, on décrira une broche de vissage asservie par un processeur, pour la mise en oeuvre de l'invention. Un moteur électrique sans balais 13 est alimenté par un module de contrôle de puissance 14 qui régule la fréquence de phase, la tension et l'intensité électrique, et de ce fait, permet d'asservir le rotor du moteur 13 en vitesse, en sens de rotation et en puissance. L'information de position du rotor est fournie par un synchro-résolveur 15 solidaire de l'arbre moteur supportant le rotor. La position du synchro-résolveur 15 déterminée par un déphasage sinus/cosinus est convertie en donnée numérique par un convertisseur 16. Le convertisseur 16 qui permet différentes précisions (10,12,14,16 bits) est réglé pour fournir 12 bits de précision sur un tour du synchro-résolveur soit une définition 1/4096 de tour ou 5,27 minutes d'arc. Un couplemètre à jauges de contrainte 17, pris en réaction de la fixation de la broche de vissage, mesure le couple effectif appliqué à un élément de fixation 18, tel que vis d'un

assemblage, fileté en 19 dont la pièce en prise 20 est comprimée entre la tête 21 de la vis et une pièce 22 servant d'écrou. La rotation de l'élément de fixation 18 est effectuée par un organe d'accouplement 23 tel qu'une douille qui coiffe la tête 21 de l'élément de fixation 18 et qui est entraînée par le carré 24 de l'axe 25 de la broche constituant l'arbre moteur. Les forces de compression F_c de la pièce 20 sont équilibrées par la force de tension F_t de l'élément de fixation 18. Le signal fourni par le couple-mètre 17 est amplifié par un amplificateur d'instrumentation 26 dont la sortie est reliée à l'entrée d'un convertisseur analogique/numérique 27, qui fournit 11 bits de résolution en mode bi-polaire, soit pour le couple-mètre 17 au nominal de 500 Newtons.mètre, une définition de 500/2048 ou 0,244 Nm/bit. Les données numériques des convertisseurs 27 et 16 transitent sur un bus 28 et sont traitées par un processeur 29 qui agit suivant un programme en mémoire en 30 et stocke ses données numériques dans une mémoire 31. Le processeur 29 gère le module de contrôle de puissance 14 pour les cycles nécessaires au vissage/dévisage/re-vissage. La mémoire 31 contient notamment les paramètres de vissage tels que tension désirée, couple maximum applicable à l'élément de fixation, pas de l'élément de fixation, vitesse de rotation du moteur 13, etc... Ces paramètres sont entrés sur un module interface de communication 32 par le moyen d'un terminal ou d'un réseau. La mémoire 31 contient aussi les mesures effectuées au vissage et au dévisage sous forme de tableaux (listes de valeurs) ainsi que les résultats de calcul permettant les prises de décision d'asservissement du moteur pour le serrage en tension et les résultats finaux à produire par le moyen de l'interface de communication 32 à destination du terminal et/ou de l'imprimante. Une interface d'entrée/sortie 33 assure l'environnement décisionnel pour qu'un opérateur ou un automate puisse, d'une part par les entrées, lancer le cycle, arrêter en urgence, etc, et d'autre part par les sorties visualiser des contrôles sur des voyants, etc... Lors de la phase de vissage, le processeur 29 prélève la position de rotor et affecte à cette position la valeur numérique du couple exercé par la broche dans un tableau stocké dans la mémoire 31, dimensionné par exemple à 16384 valeurs (4 tours de rotor), puis recommence l'opération chaque fois que la position évolue jusqu'à une valeur de couple déterminée par le paramétrage. Le processeur crée ainsi dans le tableau une première liste d'une succession de valeurs de couple en vissage. Le processeur renouvelle les mêmes opérations pour la phase de dévisage, pour les mêmes positions en sens inverse créant une deuxième liste d'une succession de valeurs de couple

en dévissage. Puis position par position, pour des mêmes positions dans chaque liste, le processeur soustrait la valeur de couple de la deuxième liste de la valeur de couple de la première liste, créant ainsi une troisième liste constituée des écarts de couple de vissage et de dévissage pour des positions
5 identiques. En appliquant la formulation précitée en fonction du pas de la vis 18 le processeur 29 calcule, position par position, la tension existante dans la vis. Puis en comparant la tension calculée avec la tension désirée, il détermine la position jusqu'à laquelle il re-visse. L'algorithmique du traitement est fortement accélérée, par un pré-calcul de la tension désirée
10 traduite sous forme d'écart de couple désiré, ne laissant plus que la comparaison à effectuer avec la troisième liste, et par la limitation du nombre de comparaisons à la première concordance réduisant ainsi l'excursion du programme. La vitesse de traitement des processeurs modernes (plusieurs millions d'instructions par seconde) rend les temps électroniques insignifiants
15 par rapport aux temps mécaniques. En effet, le temps de traitement de l'asservissement à la tension est tout simplement masqué par le temps mécanique du retournement effectif du sens du moteur.

Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas aux seuls modes de mise en oeuvre de ce procédé pour le contrôle et l'asservissement de la
20 tension ou compression d'un organe fileté qui ont été décrits ci-dessus à titre d'exemple. Elle embrasse, au contraire, toutes les variantes de mise en oeuvre utilisant le même principe dans le but de déterminer une valeur de force ou d'asservissement à une valeur de force représentant soit une force de traction subie par un élément de fixation, soit une force de compression
25 exercée par un élément de fixation, soit une force de tension résidante dans un élément de fixation. L'invention englobe aussi toutes les variantes d'application visant un but analogue et utilisant le même principe, et c'est ainsi, notamment, que le procédé qu'elle concerne peut être étendu à un organe fileté permettant la transformation d'un mouvement de rotation en un
30 mouvement linéaire, ou la transformation réciproque d'un mouvement linéaire en un mouvement de rotation, avec transmission de force, ceci en particulier dans des appareils de pesage, de levage ou de pressage.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour le contrôle et l'asservissement de la tension ou compression d'un organe fileté, et plus particulièrement d'un élément de fixation fileté, selon lequel la force de tension ou de compression (F_t) de
5 l'organe fileté (18) est déterminée par l'action de soustraire un couple appliqué au dévissage ($C_{app'}$) d'un couple appliqué au vissage (C_{app}), et de diviser cet écart de couples par un coefficient proportionnel au pas (P) du filetage (19) dudit organe, caractérisé en ce que le prélèvement de ces valeurs de couple est effectué soit statiquement à la limite de repos de
10 vissage et dévissage, soit dynamiquement en une succession de positions concordantes en vissage et dévissage.

2. Procédé selon la revendication 1, appliqué à une mesure de tension, avec utilisation d'un moyen moteur capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté, d'assurer un effort contrôlé
15 de mise en rotation de cet élément de fixation, caractérisé par l'action de prélever, à la limite de repos du glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation, lors du dévissage, puis par l'action de prélever, à la limite de repos du glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe
20 de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation au passage par son maximum, lors du dévissage, puis de différencier ces deux valeurs d'effort pour les diviser par un coefficient notamment proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir une valeur représentant, en ces limites précises :

- 25
- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
 - soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
 - soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation.

3. Procédé selon la revendication 1, appliqué à une mesure de tension, avec utilisation d'un moyen moteur capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté déjà vissé, d'assurer un effort contrôlé de mise en rotation de cet élément de fixation, caractérisé par l'action de prélever, au début du glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation, lors du vissage, puis par l'action de prélever, à la limite de repos
35 pendant le glissement de la partie mobile de l'élément de fixation sur la partie fixe de l'assemblage, la valeur de l'effort de rotation au passage par son maximum, lors du dévissage, puis de différencier ces deux valeurs d'effort

pour diviser ce résultat par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir une valeur représentant, pour ces valeurs particulières :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
- 5 - soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
- soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation au départ de l'action.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, appliqué à un contrôle non destructif d'un assemblage vissé, caractérisé par l'action précédemment
10 définie de mesure de tension, suivie de l'action de re-visser jusqu'à l'effort de vissage prélevé en premier, à savoir :

- soit celui de la limite du repos
- soit celui de début de glissement

afin de restituer les conditions initiales de l'assemblage en ayant contrôlé la
15 force de tension existante dans l'élément de fixation, ou la force de traction subie par l'élément de fixation, ou encore la force de compression exercée par l'élément de fixation.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'on réalise un simple asservissement en approximations successives, sur un élément de
20 fixation déjà serré de façon quelconque, en exerçant l'action précédemment définie autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que le rapport de la force de tension nécessaire sur la force de tension existante soit égal à 1, selon un procédé itératif, la valeur de l'effort de vissage/dévissage pouvant être modérée par un coefficient propre à assurer la convergence de l'action vers la
25 tension nécessaire en un nombre de coups définis par la précision recherchée dans l'asservissement de l'action.

6. Procédé selon la revendication 1, réalisant un asservissement dynamique, avec utilisation d'un moyen moteur capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté, d'assurer un
30 effort de rotation contrôlé et une mesure de la position effective de la rotation de l'élément de fixation, caractérisé en ce que, sur un élément de fixation non serré, on exerce l'action de prélever, à intervalles réguliers de position déterminés par la précision recherchée, les valeurs de l'effort de rotation, pendant le vissage, puis l'action de prélever, à intervalles réguliers
35 pour ces mêmes positions, les valeurs de l'effort de rotation, pendant le dévissage, puis position par position, pour des positions effectives et concordantes, de différencier la valeur d'effort de rotation au vissage de la

valeur d'effort au dévissage, pour les diviser par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir une liste de valeurs représentant, pour chacune des positions :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
- 5 - soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
- soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation

ces actions étant suivies par :

- soit l'action de re-visser l'élément de fixation jusqu'à une position déterminée dont la valeur de la force observée est égale à la force nécessaire
- 10 à l'assemblage,

soit l'action de re-visser l'élément de fixation jusqu'à l'effort de rotation au vissage correspondant à la position où l'on a observé une valeur de force égale à la force nécessaire à l'assemblage.

7. Procédé selon la revendication 1, appliqué à un contrôle non destructif d'un assemblage, avec utilisation d'un moyen moteur capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté, d'assurer un effort de rotation contrôlé et une mesure de la position effective de rotation de l'élément de fixation, caractérisé en ce que, sur un élément de fixation déjà vissé de façon quelconque, on exerce l'action de prélever, à une
- 15 position déterminée, la valeur maximum de l'effort de rotation pendant le dévissage puis l'action de re-visser à la même position, pour une position effective, de différencier la valeur d'effort de rotation au re-vissage de la valeur d'effort maximum au dévissage, pour les diviser par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation afin d'obtenir pour
- 20 cette position, une valeur représentant :

- soit la force de traction subie par l'élément de fixation
- soit la force de compression exercée par l'élément de fixation
- soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation.

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que, pour
- 30 tenir compte de la torsion du moyen moteur et d'autres déformations, on établit une liste de valeurs d'effort de rotation en fonctions d'intervalles de position, qui fournit une liste de coefficients directeurs qui sont utilisés dans la variation de leur valeur :

- pour fixer le point de départ de la montée de l'effort de rotation sur
- 35 la position observée, par l'accroissement brusque de la valeur du coefficient directeur ;

- pour annuler le cumul des torsions de vissage/dévissage en

soustrayant, pour chacune des actions, la valeur de position effective par rapport à la valeur de l'effort de rotation, de la valeur de la position observée avant que l'élément de fixation n'entre en rotation, la position effective étant donnée par la régression brusque de la valeur du coefficient directeur ;

5 - pour annuler le cumul des torsions de dévissage/re-vissage en soustrayant, pour chacune des actions, la valeur de position effective par rapport à la valeur de l'effort de rotation, de la valeur de la position observée avant que l'élément de fixation n'entre en rotation, cette valeur de position étant calculée pour le re-vissage dans la proportion de l'effort de rotation appliqué, la position effective étant donnée par la régression brusque de la valeur du coefficient directeur ;

10 - pour évaluer à tout instant dans l'action de visser/dévisser ou dévisser/re-visser, la valeur d'une torsion par rapport à l'effort de rotation appliqué.

15 9. Procédé selon la revendication 1, réalisant un "asservissement flottant", avec utilisation d'un moyen moteur capable, par l'intermédiaire d'un organe d'accouplement sur l'élément de fixation fileté, d'assurer un effort de rotation contrôlé, caractérisé par la succession d'actions de vissage/dévissage

20 suivante :

- visser d'une valeur d'effort de rotation constituée d'une valeur variable et d'une valeur fixe "delta" ;

- puis dévisser d'une valeur au maximum égale à cette valeur variable, le dévissage pouvant être partiel ;

25 - poursuivre l'action de vissage/dévissage, en faisant progresser cette valeur variable tant que le dévissage est possible, la progression de cette variable pouvant être égale à la différence entre cette valeur variable et la valeur réalisée au dévissage ou une fraction de cette différence afin de modérer l'action en assurant une convergence rapide de cette action vers

30 l'impossibilité de dévisser ;

la valeur d'effort "delta" multipliée par un coefficient proportionnel au pas du filetage de l'élément de fixation représentant :

- soit la force de traction exercée par l'élément de fixation

- soit la force de compression exercée par l'élément de fixation

35 - soit la force de tension résidante dans l'élément de fixation.

FIG.1

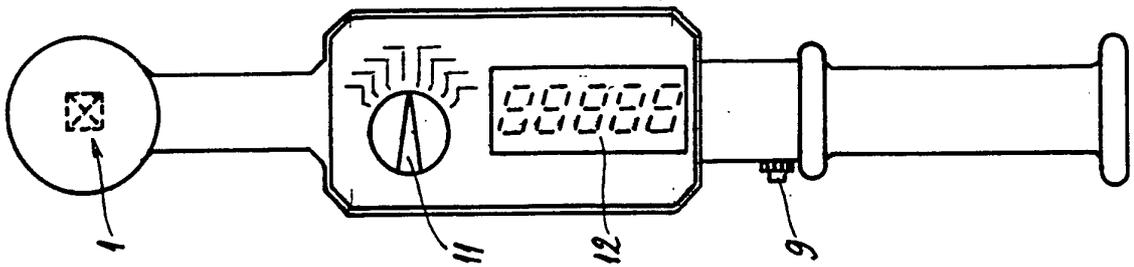


FIG.2

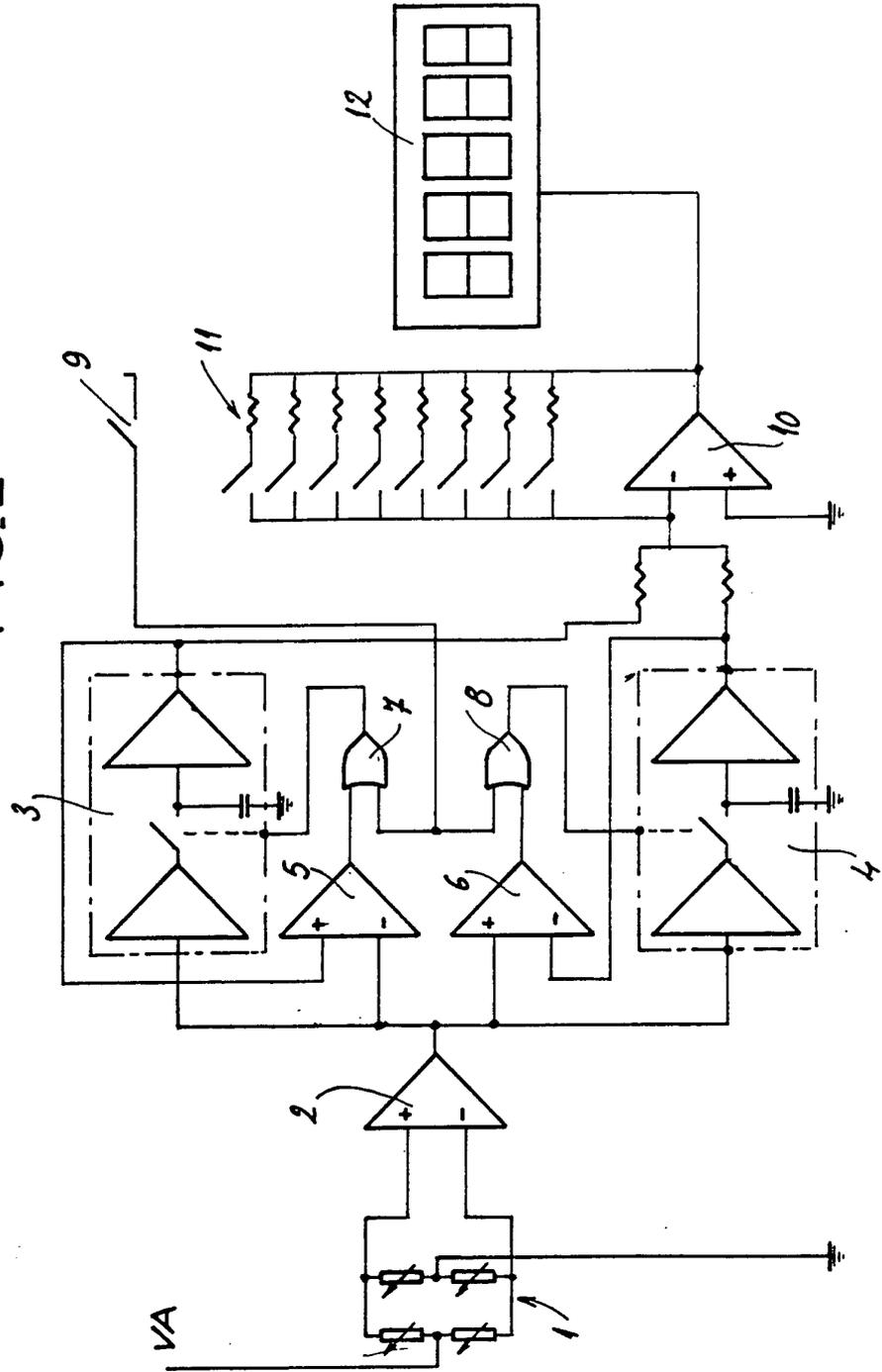


FIG.5

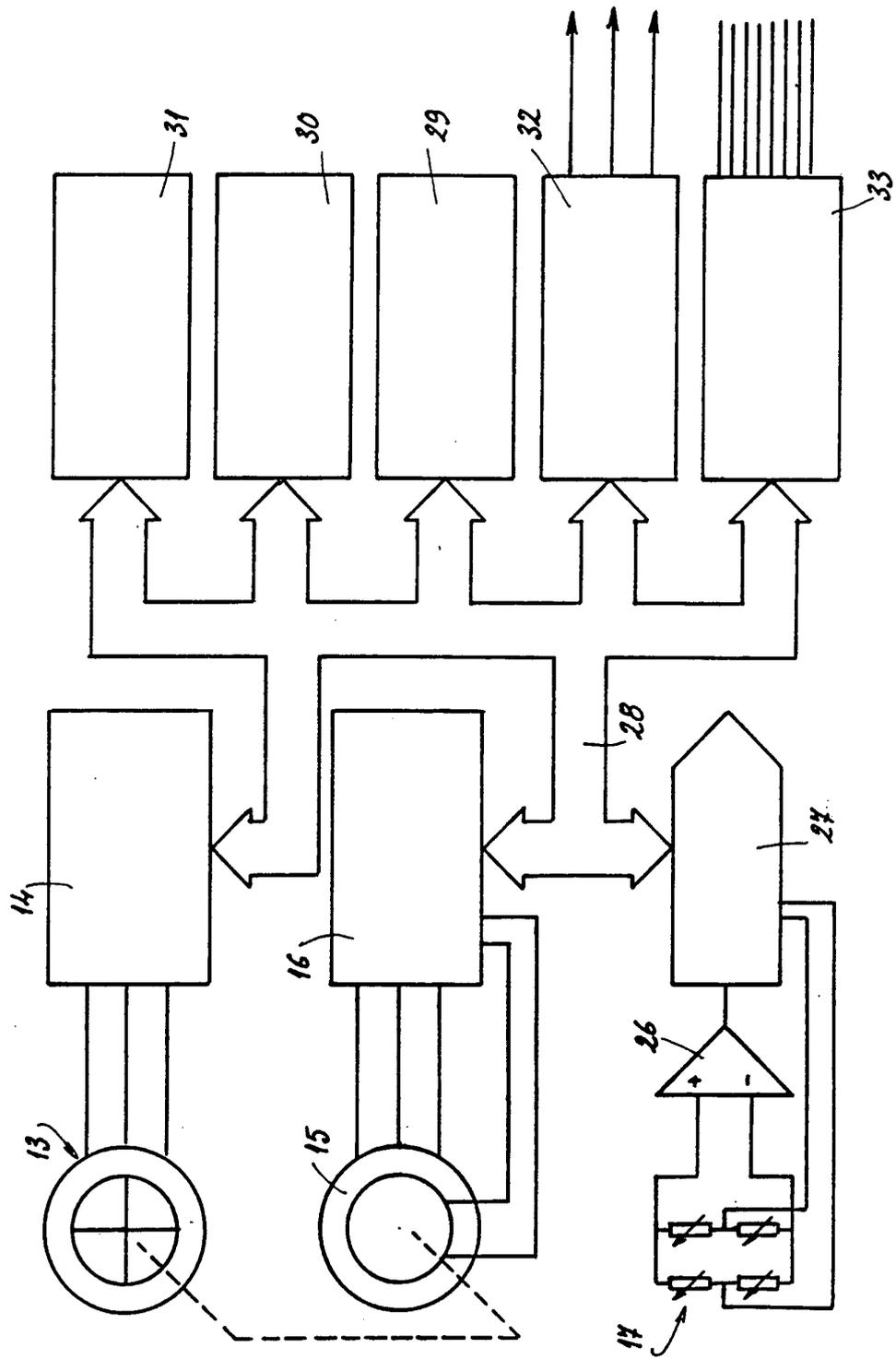
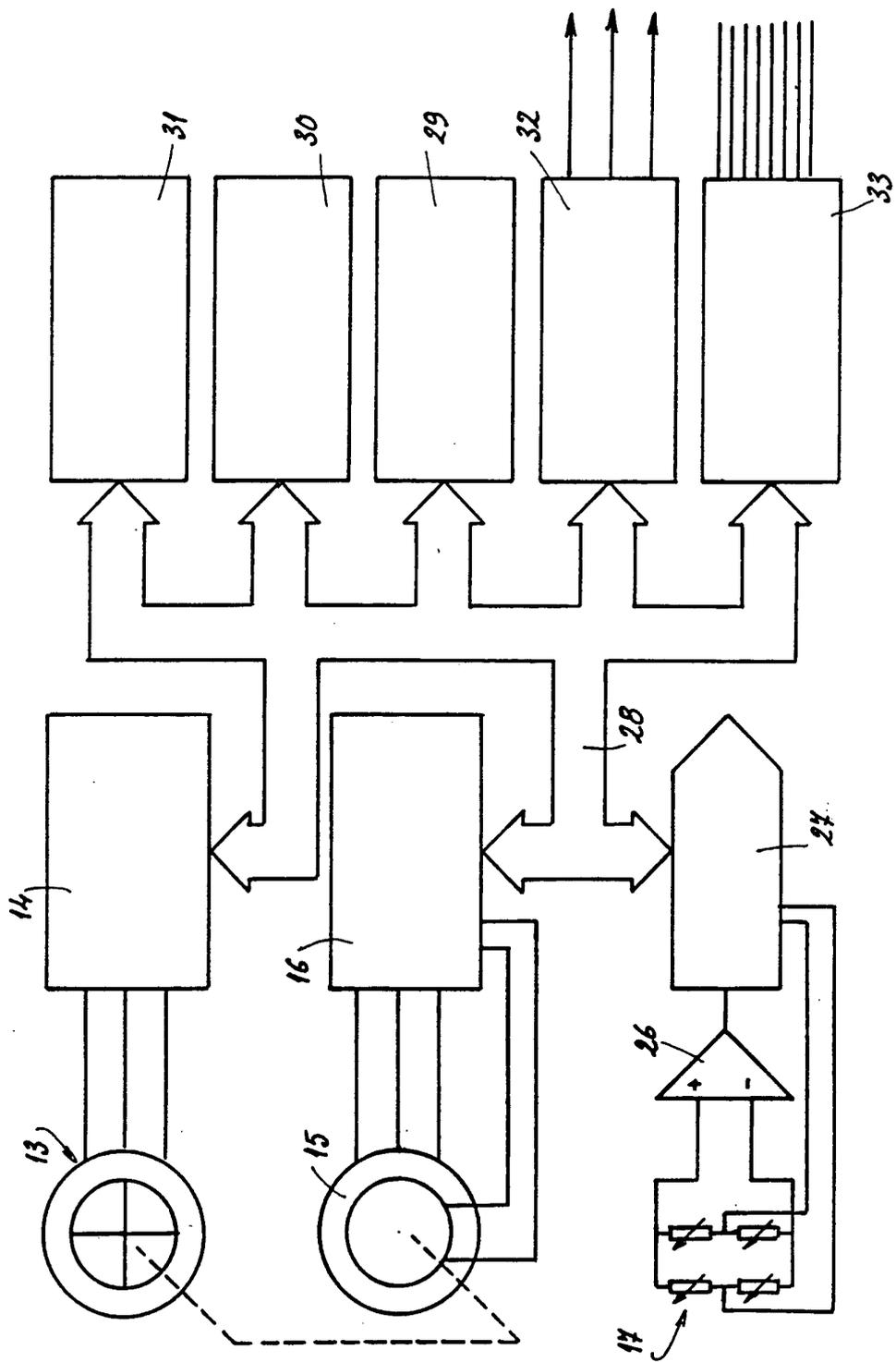


FIG.5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR 92/01192

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁵: B 25 B 23/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁵: B 25 B; B 23 P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE, A, 4 024 577 (M. BATORA) 6 Fevrier 1992 see column 3, line 6 - column 4, line 12	1-9
E	FR, A, 2 677 571 (CIANDAR) 18 December 1992 see claims 1-10	1-9
X	EP, A, 0 096 620 (RENAULT) 21 December 1983 cited in the application see page 3, line 1 - line 25	1-9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 July 1993 (28.07.93)

Date of mailing of the international search report

13 August 1993 (13.08.93)

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

FR 9201192
SA 69119

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 28/07/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-A-4024577	06-02-92	SE-A- 9102276	03-02-92
FR-A-2677571	18-12-92	None	
EP-A-0096620	21-12-83	FR-A- 2527714	02-12-83
		JP-A- 58217278	17-12-83
		US-A- 4488437	18-12-84

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE
RELATIF A LA DEMANDE INTERNATIONALE NO.**

FR 9201192
SA 69119

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche internationale visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

28/07/93

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE-A-4024577	06-02-92	SE-A- 9102276	03-02-92
FR-A-2677571	18-12-92	Aucun	
EP-A-0096620	21-12-83	FR-A- 2527714	02-12-83
		JP-A- 58217278	17-12-83
		US-A- 4488437	18-12-84

EPO FORM P0472

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 92/01192

I. CLASSEMENT DE L'INVENTION (si plusieurs symboles de classification sont applicables, les indiquer tous) ⁷		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB CIB 5 B25B23/14		
II. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée ⁸		
Système de classification	Symboles de classification	
CIB 5	B25B ; B23P	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où de tels documents font partie des domaines sur lesquels la recherche a porté ⁹		
III. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS ¹⁰		
Catégorie ^o	Identification des documents cités, avec indication, si nécessaire, ¹² des passages pertinents ¹³	No. des revendications visées ¹⁴
X	DE,A,4 024 577 (M. BATORA) 6 Février 1992 voir colonne 3, ligne 6 - colonne 4, ligne 12	1-9
E	FR,A,2 677 571 (CIANDAR) 18 Décembre 1992 voir revendications 1-10	1-9
X	EP,A,0 096 620 (RENAULT) 21 Décembre 1983 cité dans la demande voir page 3, ligne 1 - ligne 25	1-9
<p>^o Catégories spéciales de documents cités:¹¹</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> <p>"T" document ultérieur publié postérieurement à la date de dépôt international ou à la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier.</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>		
IV. CERTIFICATION		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
28 JUILLET 1993		13. 08. 93
Administration chargée de la recherche internationale		Signature du fonctionnaire autorisé
OFFICE EUROPEEN DES BREVETS		VIBERG S.O.