



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



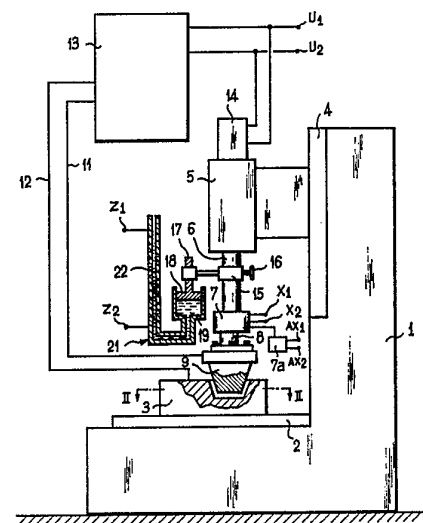
**FASCICULE DU BREVET A5**

**634 500**

<p>① Numéro de la demande: 4355/79</p> <p>② Date de dépôt: 31.08.1978</p> <p>③ Priorité(s): 01.09.1977 FR 77 26537 29.08.1978 FR 78 24868</p> <p>④ Brevet délivré le: 15.02.1983</p> <p>⑤ Fascicule du brevet publié le: 15.02.1983</p>	<p>⑥ Titulaire(s): Carel Fouché Languepin, Paris 8ème (FR)</p> <p>⑦ Inventeur(s): Pierre Braudeau, Paris (FR) Alfred Marie Aimé Maillet, Versailles (FR)</p> <p>⑧ Mandataire: Ritscher &amp; Seifert, Zürich</p> <p>⑨ Demande internationale: PCT/FR 78/00019 (Fr)</p> <p>⑩ Publication internationale: WO 79/00120 (Fr) 22.03.1979</p>
---	---

**⑪ Procédé d'usinage par électro-érosion et installation pour sa mise en oeuvre.**

⑫ Une électrode (9) usine une pièce (3). L'avance de la broche (6) est commandée par une servo-commande (13) en fonction de la tension électrode-pièce. Un mécanisme (7), qui donne à l'électrode un mouvement latéral pour l'usinage des flancs, reçoit des ordres d'augmentation d'excitation en fonction du niveau atteint par l'électrode. Ce niveau est mesuré dans un tube en U (21) rempli de liquide et muni de picots conducteurs définissant des échelons de niveau.



## RENDICATIONS

1. Procédé d'usinage par électro-érosion, dans lequel on déplace automatiquement une électrode en direction d'une pièce à usiner, de façon à maintenir une tension électrode-pièce sensiblement constante, et on donne à l'électrode, pour usiner les flancs d'une empreinte, un mouvement latéral dont on augmente automatiquement l'amplitude par échelons successifs au cours de l'opération d'usinage, caractérisé en ce que:

- a) on repère constamment le niveau de l'électrode,
- b) on effectue l'ensemble de l'usinage par stades successifs, chaque stade étant défini par une valeur fixe prédéterminée de l'amplitude du mouvement latéral et par un niveau de référence prédéterminé au-dessous duquel l'électrode ne descend pas,
- c) on déclenche automatiquement le passage d'un stade donné au stade suivant à un instant où l'électrode atteint le niveau de référence, en augmentant l'amplitude du mouvement latéral d'un échelon prédéterminé.

2. Procédé conforme à la revendication 1, caractérisé en ce qu'on déclenche le passage d'un stade donné au stade suivant la première fois que l'électrode atteint le niveau de référence.

3. Procédé conforme à la revendication 1, caractérisé en ce qu'on empêche l'électrode, à chaque fois qu'elle atteint le niveau de référence, de provoquer la remise en cause de ce niveau et l'augmentation de l'amplitude du mouvement latéral tant qu'un degré de précision prédéterminé de l'usinage latéral, relatif aux distances latérales électrode-pièce, n'a pas été obtenu.

4. Procédé conforme à la revendication 3, caractérisé en ce qu'on empêche toute détermination du niveau de référence et toute augmentation d'amplitude du mouvement latéral de l'électrode jusqu'à ce que la tension électrode-pièce sur les flancs latéraux soit restée constamment supérieure à une tension critique prédéterminée pendant au moins la durée d'un périple complet de l'électrode.

5. Procédé conforme à l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce qu'on empêche le fonctionnement d'une servocommande d'avance de l'électrode quand l'électrode, en descendant, atteint le niveau de référence, et en ce qu'on remet cette servocommande en marche quand la tension électrode-pièce devient inférieure à une tension de référence de la servocommande.

6. Procédé conforme à l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on maintient constant le niveau de référence prédéterminé.

7. Procédé conforme à l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on fait descendre progressivement le niveau de référence prédéterminé.

8. Procédé conforme à la revendication 7, caractérisé en ce qu'on effectue la descente progressive du niveau de référence par échelons de valeur prédéterminée.

9. Procédé conforme à la revendication 8, caractérisé en ce qu'on donne une valeur prédéterminée au rapport entre les échelons d'augmentation de l'amplitude du mouvement latéral et les échelons de variations du niveau de référence.

10. Procédé conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on vérifie constamment l'uniformité de l'usinage sur l'ensemble des flancs de l'empreinte, et en ce qu'on retarde l'augmentation d'amplitude du mouvement latéral tant qu'une uniformité prédéterminée n'est pas obtenue.

11. Procédé conforme à la revendication 10, caractérisé en ce que, pour vérifier l'uniformité de l'usinage des flancs, on mesure l'amplitude des oscillations de l'électrode dans la direction de son mouvement d'avance.

12. Procédé conforme à l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que, pour accélérer l'uniformisation de l'usinage des flancs de l'empreinte, on arrête le mouvement latéral de l'électrode à un instant où l'électrode est la plus rapprochée de la partie des flancs dont l'usinage est le moins avancé, et en ce qu'on reprend le mouvement latéral quand la mesure de l'amplitude des oscillations du mouvement d'avance montre que l'uniformisation désirée a été obtenue.

13. Procédé conforme à la revendication 12, caractérisé en ce que

l'on arrête le mouvement latéral de l'électrode quand cette électrode atteint un point haut dans son mouvement d'avance automatique.

14. Procédé conforme à l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le mouvement latéral de l'électrode s'effectue suivant une translation circulaire.

15. Installation d'usinage par électro-érosion pour la mise en œuvre du procédé conforme à la revendication 1, comprenant une électrode, une servocommande pour donner à cette électrode un mouvement d'avance automatique en faisant varier le niveau de l'électrode de manière à maintenir sensiblement constante la tension entre l'électrode et la pièce, un dispositif pour donner à l'électrode un mouvement latéral en vue de réaliser l'usinage des flancs de l'empreinte, et des moyens pour augmenter automatiquement l'amplitude de ce mouvement latéral par échelons successifs au cours de l'opération d'usinage, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour repérer constamment le niveau de l'électrode et des moyens sensibles à ce niveau pour permettre une augmentation automatique de l'amplitude du mouvement latéral quand ce niveau atteint un niveau de référence prédéterminé.

16. Installation conforme à la revendication 15, caractérisée en ce qu'elle comprend un étage de comparaison pour comparer un signal constant prédéterminé avec un signal représentant le niveau de l'électrode et pour délivrer un signal appliqué aux moyens augmentant l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode.

17. Installation conforme à la revendication 16, caractérisée en ce que l'étage de comparaison comprend des moyens pour décaler automatiquement d'une quantité prédéterminée l'un par rapport à l'autre le signal constant et le signal représentant le niveau de l'électrode à chaque opération d'augmentation d'amplitude du mouvement latéral, de manière à faire descendre d'autant le niveau de référence.

18. Installation conforme à l'une des revendications 15 à 17, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens sensibles à un signal de fin d'un stade d'usinage pour fermer un circuit de commande de variation du niveau de référence et d'augmentation d'amplitude du mouvement latéral.

19. Installation conforme à la revendication 18, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour délivrer le signal de fin d'un stade d'usinage quand la tension électrode-pièce sur les flancs de l'empreinte est restée constamment supérieure à une tension critique prédéterminée pendant au moins la durée d'un périple complet de l'électrode.

20. Installation conforme à l'une des revendications 18 ou 19, caractérisée en ce qu'elle comprend un circuit électrique pour inhiber le fonctionnement de la servocommande d'avance, ce circuit comprenant un interrupteur se fermant automatiquement quand l'électrode atteint le niveau de référence.

21. Installation conforme à la revendication 20, caractérisée en ce que le circuit électrique d'inhibition de la servocommande comprend un second interrupteur sensible au signal de sortie d'un comparateur de la tension électrode-pièce et de la tension de référence de la servocommande pour se fermer quand la tension électrode-pièce est supérieure à la tension de référence, et pour s'ouvrir dans le cas contraire.

22. Installation conforme à l'une des revendications 15 à 21, caractérisée en ce qu'elle comprend un étage de retard interposé entre la sortie de l'étage de comparaison et l'entrée des moyens augmentant l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode et des moyens sensibles au niveau de l'électrode pour remettre et maintenir à zéro l'étage de retard tant que l'électrode est située au-dessus d'un second niveau de référence prédéterminé, lui-même situé au-dessus du premier niveau de référence.

23. Installation conforme à l'une des revendications 15 à 22, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour mettre à l'arrêt le dispositif assurant le mouvement latéral de l'électrode quand l'électrode dépasse un niveau supérieur de référence prédéterminé, et pour maintenir ce dispositif à l'arrêt tant que l'électrode n'est pas redescendue au-dessous dudit niveau supérieur de référence.

24. Installation conforme à la revendication 23, caractérisée en ce que les moyens pour mettre à l'arrêt le dispositif assurant le mouve-

ment latéral de l'électrode sont sensibles à l'action de la servocommande pour provoquer cet arrêt quand la servocommande immobilise axialement l'électrode en un point haut de son oscillation, ce point haut étant situé au-dessus du niveau supérieur de référence.

La présente invention concerne un procédé d'usinage par électro-érosion. Elle concerne également une installation d'usinage pour la mise en œuvre de ce procédé.

On connaît des procédés d'usinage par électro-érosion qui consistent à effectuer un mouvement d'avance de l'électrode dans une pièce à usiner, suivant une opération de défonçage, puis à opérer la finition de l'usinage, en particulier de l'usinage des flancs, à niveau constant de l'électrode, par un mouvement latéral de l'électrode. Ce mouvement latéral s'effectue le plus souvent suivant une translation circulaire, mais il pourrait s'effectuer suivant d'autres lois, par exemple suivant des trajectoires d'aller-retour rayonnant autour d'un point fixe, la seule condition imposée étant que, finalement, ces déplacements latéraux présentent une enveloppe reproduisant, uniformément élargie, celle de l'électrode, quelle que soit la forme de cette dernière.

Lors de l'opération de défonçage, il est connu de contrôler le mouvement d'avance au moyen d'une servocommande automatique, sensible à la tension entre l'électrode et la pièce qui est l'image, moyennant certaines hypothèses simplificatrices, de l'intervalle électrode-pièce. On parvient ainsi à maintenir, pendant l'opération de défonçage, une distance électrode-pièce sensiblement constante.

Il est également connu au cours de l'opération de finition par mouvement latéral à niveau constant, d'augmenter par échelons l'amplitude de ce mouvement, et même de rendre automatiques ces augmentations successives au moyen d'une servocommande distincte qui mesure, sur un cycle complet du mouvement latéral, la tension électrode-pièce.

On sait aussi, d'après le FR-A N° 2316041, déplacer l'électrode selon deux composantes, dont l'une est une composante axiale d'avance et dont l'autre est une composante latérale, ce qui conduit finalement à des déplacements généralement obliques de l'électrode qui peuvent permettre à celle-ci d'effectuer simultanément l'usinage du fond et des flancs de l'empreinte.

L'angle d'obliquité peut être variable, jusqu'à devenir nul si le déplacement latéral est effectué à une valeur constante de l'amplitude. L'électrode s'enfonce alors progressivement dans l'empreinte selon le déplacement axial linéaire d'avance. Un tel déplacement est fréquemment utilisé lorsqu'on cherche à éviter toute usure sensible de l'électrode.

Un procédé faisant intervenir de tels déplacements obliques peut être réalisé en utilisant une servocommande unique sensible à la distance électrode-pièce dans une direction quelconque, axiale ou latérale. Il est alors facile de se rendre compte que, au cours des successions d'approches et d'éloignements obliques de l'électrode par rapport à la pièce, sous l'effet de la servocommande, l'électrode et la pièce ne restent que pendant de très courts instants à distance convenable d'usinage latéral. En effet, au lieu de coulisser l'une dans l'autre (à l'angle de dépouille près) sous l'action d'une servocommande à action uniquement axiale, elles s'éloignent immédiatement l'une de l'autre en biais dès que la servocommande agit en provoquant des déplacements de recul oblique. De même, dans les déplacements provoquant un rapprochement, l'usinage ne s'amorce que tout à fait en fin de déplacement. La durée relative de l'usinage des flancs de l'empreinte est donc fortement minimisée par les procédés connus faisant intervenir un déplacement oblique de l'électrode.

Dans ce qui suit, on pourra employer le mot descente pour désigner un mouvement axial de l'électrode tendant à l'enfoncer dans la pièce, ou le mot remontée pour désigner le mouvement inverse, mais ces expressions ne préjugent nullement de la position réelle de la machine d'usinage dans l'espace.

La présente invention vise à réaliser un procédé d'usinage qui permette de contrôler et de régulariser la qualité de cet usinage et, en outre, de remédier aux inconvénients cités plus haut, notamment en ce qui concerne l'efficacité de l'usinage des flancs.

Selon l'invention, le procédé d'usinage par électro-érosion consiste, d'une part, à déplacer automatiquement une électrode en direction d'une pièce à usiner, de façon à maintenir une tension électrode-pièce sensiblement constante et, d'autre part, à donner à l'électrode, pour usiner les flancs d'une empreinte, un mouvement latéral dont on augmente automatiquement l'amplitude par échelons successifs au cours de l'opération d'usinage. Il est caractérisé en ce que :

- a) on repère constamment le niveau de l'électrode,
- b) on effectue l'ensemble de l'usinage par stades successifs, chaque stade étant défini par une valeur fixe prédéterminée de l'amplitude du mouvement latéral et par un niveau de référence prédéterminé au-dessous duquel l'électrode ne descend pas,
- c) on déclenche automatiquement le passage d'un stade donné au stade suivant à un instant où l'électrode atteint le niveau de référence, en augmentant l'amplitude du mouvement latéral d'un échelon prédéterminé.

De cette manière, la servocommande automatique ne s'applique qu'au mouvement axial d'avance (ou de recul) par rapport à la pièce, pour donner à ce mouvement un caractère continu et, en général, oscillant. Au contraire, le mouvement latéral n'est affecté que par des variations d'amplitude discontinues, en principe dans le sens d'une augmentation de l'excentration, définissant des phases successives d'usinage des flancs.

Chaque augmentation d'amplitude du mouvement latéral est commandée automatiquement au fur et à mesure que l'usinage des flancs de l'empreinte, engagé à la suite de la précédente augmentation d'amplitude, a été convenablement réalisé. Le processus d'usinage consécutif à une quelconque augmentation d'amplitude du déplacement latéral de l'électrode se déroule comme suit. Le rapprochement électrode-pièce qui en résulte conduit la servocommande automatique d'avance de l'électrode à réagir immédiatement en faisant remonter l'électrode le long de son axe d'avance. Cette remontée axiale provoque par elle-même un premier effet d'éloignement entre l'électrode et les flancs de l'empreinte dû à la dépouille normalement présentée par ces flancs. Elle peut s'accompagner d'un second effet d'éloignement dû au mouvement latéral de l'électrode qui peut, à certains moments, se rapprocher d'une partie de l'empreinte dont l'usinage est fortement avancé, suivant ce qui sera dit plus loin, en référence à la fig. 2. La remontée axiale maintient l'électrode à distance convenable d'usinage pendant le temps maximal compatible, avec ces effets d'éloignement. A ces deux effets vient s'ajouter un troisième effet résultant de l'érosion, qui provoque la descente de l'électrode. L'usinage tend à reprendre très tôt au cours de cette descente qui se prolonge jusqu'à ce que l'électrode ait atteint un niveau de référence prédéterminé.

Suivant un premier mode de réalisation du procédé, on déclenche le passage d'un stade donné au stade suivant la première fois que l'électrode atteint le niveau de référence.

Aucune autre condition n'est imposée, pour passer au stade suivant, et par conséquent pour augmenter l'amplitude du mouvement latéral, que le seul fait que l'électrode ait atteint le niveau de référence.

Comme on l'a vu plus haut, la remontée de l'électrode qui suit normalement l'augmentation d'amplitude du mouvement latéral a pour effet d'éloigner l'électrode de la pièce, principalement dans le cas des empreintes présentant une dépouille. Cet avantage important ne se retrouve pas dans l'usinage des empreintes cylindriques où l'éloignement électrode-pièce ne peut résulter que de l'usinage latéral se produisant au cours de la remontée. Dans le cas de telles empreintes, on est donc moins bien protégé contre les risques d'arc.

Suivant un second mode de réalisation du procédé, au cours de chaque stade d'usinage affecté d'un niveau de référence donné de l'électrode, on empêche l'électrode, à chaque fois qu'elle atteint ce niveau, de provoquer la remise en cause de ce niveau et l'augmentation

de l'amplitude du mouvement latéral tant qu'un degré de précision prédéterminé de l'usinage latéral, relatif aux distances latérales électrode-pièce, n'a pas été obtenu.

Le fait pour l'électrode d'atteindre le niveau de référence n'est donc pas par lui-même et à lui seul générateur du passage à un autre stade avec, notamment, augmentation de l'amplitude du mouvement latéral. Un tel déclenchement ne peut, en effet, se produire que si une condition précise est satisfaite, relativement à la distance latérale électrode-pièce, cette distance étant choisie de manière à éviter les courts-circuits lors de l'augmentation d'amplitude qui doit suivre.

Cette disposition permet d'éviter efficacement les courts-circuits, même dans le cas évoqué plus haut des empreintes cylindriques.

De façon plus précise, on empêche toute détermination du niveau de référence et toute augmentation d'amplitude du mouvement latéral de l'électrode jusqu'à ce que la tension électrode-pièce sur les flancs latéraux soit restée constamment supérieure à une tension critique prédéterminée pendant au moins la durée d'un périple complet de l'électrode, cette tension critique correspondant à la distance de sécurité suffisante pour éviter les courts-circuits malgré une augmentation de l'amplitude du mouvement latéral.

A cet effet, à l'intérieur de chaque stade, après avoir empêché le fonctionnement de la servocommande d'avance de l'électrode quand l'électrode, en descendant, atteint le niveau de référence précité, on remet en marche cette servocommande quand la tension électrode-pièce devient inférieure à la tension de référence de la servocommande: à partir du moment où l'électrode a atteint le niveau de référence, elle travaille, au moins pour un certain temps, à niveau constant, la servocommande étant bloquée. Si, au cours de son périple, l'électrode vient à se rapprocher de la pièce à un point tel que la tension électrode-pièce devienne inférieure à la tension de référence, alors la servocommande se débloquent et fait immédiatement remonter l'électrode. On voit donc que le blocage de la servocommande intervient quand l'électrode, en train de descendre, atteint le niveau de référence et que son déblocage intervient quand la servocommande tend à faire remonter l'électrode. Un tel résultat est particulièrement favorable à l'élimination des courts-circuits. De tels blocages et déblocages successifs peuvent intervenir à plusieurs reprises au cours d'un même stade d'usinage, jusqu'à ce que les conditions de bon usinage latéral aient été remplies.

Suivant une première variante de l'un quelconque des deux modes précités de réalisation du procédé, le niveau de référence est maintenu constant, de sorte que l'avance moyenne de l'électrode est nulle et que l'opération se réduit à un usinage des flancs, tant que cette référence est maintenue.

Suivant une seconde variante, en même temps qu'on augmente l'amplitude du mouvement latéral, on abaisse d'une quantité prédéterminée le niveau de référence, de sorte que, à la phase suivante, l'électrode peut s'enfoncer dans la pièce. On peut alterner et combiner ainsi l'usinage des flancs avec une continuation de l'usinage du fond de l'empreinte et réaliser un enfoncement résultant de l'électrode qui soit oblique par rapport à l'axe d'avance, selon l'angle d'obliquité désiré.

Quand l'électrode présente, en section transversale, une forme oblongue accentuée (fig. 2), il est évident que les grandes faces A sont usinées beaucoup moins vite que les petites faces B, si le mouvement latéral s'exécute de façon uniforme, par exemple suivant une translation circulaire à vitesse constante. Le manque d'uniformité de l'usinage des flancs est normalement destiné à s'accroître. En effet, quand les faces B sont en usinage, le niveau de l'électrode peut descendre au-dessous du niveau de référence et déclencher une nouvelle phase de l'usinage latéral, alors que les faces A sont encore insuffisamment usinées.

C'est pourquoi on prévoit de vérifier constamment l'uniformité de l'usinage latéral et d'inhiber le déclenchement d'une phase ultérieure tant que l'uniformité souhaitée n'est pas obtenue.

Suivant une particularité de l'invention, on vérifie l'uniformité d'usinage en mesurant l'amplitude des oscillations axiales de l'électrode provoquées par la servocommande. En effet, l'usinage d'une

face insuffisamment usinée A provoque une remontée de l'électrode par rapport au niveau de référence supérieure à celle que provoque l'usinage plus avancé d'une face B.

Suivant une réalisation préférée du procédé, on accélère l'usinage des flancs de l'empreinte en arrêtant le mouvement latéral de l'électrode à un instant où l'électrode est en face du flanc, ou même est la plus rapprochée de la partie du flanc dont l'usinage est le moins avancé, et on reprend le mouvement latéral quand la mesure de l'amplitude des oscillations du mouvement d'avance montre que l'uniformisation désirée a été obtenue.

Dans l'exemple de la fig. 2, on arrête le mouvement latéral quand l'électrode vient au plus près d'une face A. Tant que cet arrêt persiste, l'électrode usine exclusivement ladite face A. Pendant ce temps, l'électrode est toujours soumise à la servocommande d'avance.

Quand le repérage du niveau de l'électrode montre que le retard d'usinage de la face A a été rattrapé, on reprend le mouvement latéral.

On prévoit de définir l'instant où l'électrode est au plus près de la face dont l'usinage est le moins avancé comme l'instant où cette électrode atteint un point haut dans un mouvement de recul axial.

La présente invention vise également à réaliser une installation d'usinage pour mettre en œuvre le procédé qui vient d'être exposé.

Suivant l'invention, l'installation d'usinage par électro-érosion comprend une électrode, une servocommande pour donner à cette électrode un mouvement d'avance automatique en faisant varier le niveau de l'électrode de manière à maintenir sensiblement constante la tension entre l'électrode et la pièce, un dispositif pour donner à l'électrode un mouvement latéral en vue de réaliser l'usinage des flancs de l'empreinte, et des moyens pour augmenter automatiquement l'amplitude de ce mouvement latéral par échelons successifs au cours de l'opération d'usinage. Cette installation est caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour repérer constamment le niveau de l'électrode et des moyens sensibles à ce niveau pour permettre une augmentation automatique de l'amplitude du mouvement latéral quand ce niveau atteint un niveau de référence prédéterminée.

Suivant une forme de réalisation particulière, l'installation comprend un étage de comparaison pour comparer un signal constant prédéterminé avec un signal représentant le niveau de l'extrémité de l'électrode et pour délivrer un signal appliqué aux moyens augmentant l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode.

L'étage de comparaison étant réglé sur le niveau de référence, son basculement provoque le passage à un stade ultérieur d'usinage des flancs.

Suivant une forme particulière de réalisation de l'installation, pour la mise en œuvre de second mode de réalisation du procédé mentionné plus haut, cette installation comprend des moyens sensibles à un signal de fin d'un stade d'usinage pour fermer un circuit de commande de remise en cause du niveau de référence et d'augmentation d'amplitude du mouvement latéral.

En particulier, cette installation comprend des moyens pour délivrer le signal de fin d'un stade d'usinage quand la tension électrode-pièce sur les flancs de l'empreinte est restée constamment supérieure à une tension critique prédéterminée pendant au moins la durée d'un périple complet de l'électrode. Il comprend également un circuit électrique pour inhiber le fonctionnement de la servocommande d'avance, ce circuit comprenant un interrupteur se fermant automatiquement quand l'électrode atteint le niveau de référence.

Ce circuit électrique d'inhibition de la servocommande comprend en outre un second interrupteur sensible au signal de sortie d'un comparateur de la tension électrode-pièce et de la tension de référence de la servocommande pour se fermer quand la tension électrode-pièce est supérieure à la tension de référence, et pour s'ouvrir dans le cas contraire. Ces dispositions permettent les blocages et déblocages successifs de la servocommande évoqués plus haut.

Suivant une forme de réalisation avantageuse de l'invention, l'étage de comparaison comprend des moyens pour décaler automatiquement d'une quantité prédéterminée l'un par rapport à l'autre le signal constant et le signal représentant le niveau de l'électrode à cha-

que opération d'augmentation d'amplitude du mouvement latéral, afin de faire descendre d'autant le niveau de référence.

On obtient ainsi la descente progressive du niveau de référence permettant de combiner l'usinage des flancs avec l'usinage du fond.

L'installation selon l'invention comporte avantageusement un étage de retard interposé entre la sortie de l'étage de comparaison et l'entrée des moyens augmentant l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode, et des moyens sensibles au niveau de l'extrémité de l'électrode pour remettre et maintenir à zéro l'étage de retard tant que l'extrémité de l'électrode est située au-dessus d'un second niveau de référence, lui-même situé au-dessus du niveau de référence précité.

L'ordre d'augmenter l'amplitude du mouvement latéral n'est pas exécuté immédiatement, mais après un délai prédéterminé imposé par l'étage de retard. Si, pendant l'écoulement de ce délai, l'électrode remonte sous l'effet de la servocommande, par suite d'un usinage latéral non uniforme, jusqu'à un niveau prédéterminé, l'étage de retard est ramené à son état initial, empêchant l'augmentation d'amplitude de se produire. L'étage de retard recommence à faire courir le délai quand l'électrode franchit, en avançant à nouveau vers la pièce, le niveau précité.

Suivant une forme de réalisation préférée, l'installation comprend des moyens pour mettre à l'arrêt le dispositif assurant le mouvement latéral de l'électrode quand l'électrode dépasse un niveau supérieur de référence prédéterminé, et pour maintenir ce dispositif à l'arrêt tant que l'électrode n'est pas redescendue au-dessous dudit niveau de référence. On utilise avantageusement le signal de sortie de la servocommande d'avance pour provoquer l'arrêt précité quand l'électrode passe par un point haut de ses oscillations.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront encore de la description détaillée qui va suivre.

Aux dessins annexés, donnés à titre d'exemples :

— la fig. 1 est une vue d'ensemble, semi-schématique, d'une installation d'électro-érosion conforme à l'invention, cette installation n'étant que partiellement représentée;

— la fig. 2 est une vue en coupe suivant II-II de la fig. 1, dans un cas particulier de forme d'électrode;

— la fig. 3 est une vue schématique partielle d'une installation conforme à l'invention, venant compléter la fig. 1, pour la mise en œuvre du premier mode de réalisation du procédé;

— la fig. 4 est une vue de détail agrandie d'une partie de la fig. 3;

— la fig. 5 est un diagramme destiné à expliquer le fonctionnement de l'invention;

— les fig. 6 à 8 sont des vues de variantes de certains dispositifs partiels de l'invention;

— la fig. 9 est un schéma électrique analogue à celui de la fig. 3, mais pour la mise en œuvre du second mode de réalisation du procédé;

— la fig. 10 est un schéma électrique correspondant à une variante de celui de la fig. 9.

En référence à la fig. 1, une installation d'électro-érosion comporte un bâti 1 portant une table de travail 2 immergée dans un bac de liquide diélectrique non représenté, et sur laquelle est montrée une pièce à usiner 3. Le bâti 1 porte également, par l'intermédiaire d'une glissière de réglage 4, une tête d'usinage 5 animant axialement une broche 6.

La broche 6 est reliée, par l'intermédiaire d'un dispositif 7 de mouvement latéral, à un porte-électrode 8 sur lequel est fixée une électrode d'usinage 9 venant attaquer la pièce 3.

Le dispositif 7 peut être de n'importe quel type connu, par exemple un mécanisme de translation circulaire. De façon connue, ce dispositif comporte deux bornes  $X_1$ ,  $X_2$  pour son alimentation électrique et un dispositif annexe 7a (représenté symboliquement) pour provoquer une augmentation prédéterminée de l'amplitude du mouvement transversal imparti par ce dispositif à l'électrode 9. Le dispositif annexe 7a fonctionne sur la fermeture d'un circuit électrique qui sera décrit plus loin, aboutissant à deux bornes  $AX_1$ ,  $AX_2$ .

Deux conducteurs 11, 12 permettent de mesurer la tension électrique entre l'électrode 9 et la pièce 3 et sont reliés à une servo-

commande 13 d'un type connu, elle-même reliée à un moteur 14 commandant la tête d'usinage 5. De façon connue, le rôle de la servocommande 13 est de maintenir sensiblement constante la tension électrode-pièce au cours de l'usinage, en provoquant les déplacements axiaux nécessaires d'avance ou de recul de la broche 6 et, par conséquent, de l'électrode 9.

De son côté, le dispositif 7 donne à l'électrode des déplacements latéraux s'effectuant suivant un cycle coaxial à la direction d'avance. Ces déplacements peuvent être rayonnants ou suivant une translation circulaire ou autre, et ils sont suffisamment faibles pour définir, par leur enveloppe, une forme correspondant à celle, légèrement agrandie, de l'électrode.

Un collier 15 est fixé, dans une position réglable, sur la broche 6 grâce à une vis 16. Le collier 15 est solidaire de la tige 17 d'un piston 18 coopérant avec un cylindre 19 qui communique avec un tube en U 21. Le cylindre et le tube 21 sont remplis d'un liquide bon conducteur de l'électricité qui peut être, par exemple, du mercure.

On comprend que les déplacements du ménisque 22 (fig. 3) à la surface du liquide dans le tube 21 représentent, convenablement amplifiés, les déplacements axiaux de la broche 6. Par conséquent, le niveau du ménisque 22 constitue une image du niveau de l'extrémité inférieure de l'électrode 9.

Dans l'exemple décrit, la section du cylindre 19 est d'environ 1 dm<sup>2</sup> et celle du tube 21 d'environ 0,5 cm<sup>2</sup>, ce qui donne un taux d'amplification d'environ 200.

L'installation suivant l'invention comprend encore un étage de comparaison 23 (fig. 3). Cet étage se compose d'une première boucle 24 et d'une seconde boucle 25 ayant en commun une ligne 26. La première boucle 24 comprend, en série, une source de force électromotrice continue 27, de valeur  $e$ , et un rhéostat 28 réglable manuellement. La seconde boucle 25 comprend, également en série, une source de force électromotrice continue 29, également de valeur  $e$ , montée par rapport à la source 27, de manière que ces sources tendent à faire passer dans la ligne 26 des courants de sens contraires, un rhéostat 31 réglable automatiquement par un moteur 32 muni de deux bornes d'alimentation  $Y_1$ ,  $Y_2$ , et une ligne constituée par un conducteur relativement résistant enroulé en hélice autour du tube 21, suivant un nombre  $N$  de spires. A chaque spire de l'hélice est soudé un picot conducteur 34 (fig. 4) qui traverse la paroi du tube 21 et vient déboucher à l'intérieur du tube, de façon à pouvoir venir en contact avec la colonne de liquide située dans ce tube. La ligne en hélice 33 s'intercale, dans la boucle 25, entre le point  $Z_1$  commun à la boucle 24 et à la ligne 26 et une borne  $Z_2$  de la source 29.

On comprend que la montée du liquide dans le tube 21 court-circuite un nombre variable de spires de la ligne 33, de sorte que la résistance de la portion  $Z_1Z_2$  de la boucle 25 est une image du niveau de l'extrémité inférieure de l'électrode d'usinage 9 que l'on peut ainsi repérer. La distance entre deux picots 34 consécutifs est, dans l'exemple décrit, d'environ 4 mm, ce qui correspond à une définition d'environ 2/100 mm sur le niveau de l'électrode 9.

Sur la ligne 26 commune aux deux boucles 24 et 25 sont montées en dérivation les bobines de trois relais 35, 36, 37. Chaque bobine est montée en parallèle sur une résistance de manière que dans chaque bobine circule une fraction prédéterminée du courant passant dans la ligne 26. En outre, des diodes 35a, 36a, 37a, sont montées en série avec les bobines comme indiqué sur la fig. 3, de manière que le relais 35 ne soit sensible qu'au courant venant de la borne  $Z_1$  et que les relais 36 et 37 ne soient sensibles qu'au courant allant vers  $Z_1$ .

Les contacts des relais 35 et 36 sont en série sur le circuit d'activation 38 d'une minuterie 39, et ces contacts sont tels que, en position d'excitation, le relais 35 ferme le circuit 38 et que le relais 36 ouvre ce circuit, le contact du relais 35 étant en outre maintenu verrouillé par auto-alimentation. Les conditions de déverrouillage, réalisé par des moyens connus non représentés, seront indiquées plus loin.

La minuterie 39 est d'un type connu et telle, dans l'exemple décrit, qu'elle provoque, environ 15 s après son activation par le circuit 38, l'excitation d'un relais 41 qui ferme deux contacts 42, 43, respectivement en série avec les bornes  $AX_1$ ,  $AX_2$  du dispositif 7a provo-

quant l'augmentation de l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode, et avec un circuit 44 assurant, par l'intermédiaire des bornes  $Y_1, Y_2$ , l'alimentation (par une source non représentée) du moteur 32 commandant le rhéostat 31.

Dans l'exemple décrit, le temps pendant lequel la minuterie 39 maintient excité le relais 41 est tel que la résistance du rhéostat 31 soit augmentée d'une quantité égale à la résistance  $r$  d'une spire de la ligne 33, et que l'amplitude du mouvement latéral soit augmentée d'une quantité prédéterminée. Il est évident que d'autres dispositions connues, telles que l'utilisation de moteurs pas à pas permettraient d'obtenir également des incréments réguliers et seraient acceptables.

On notera que le circuit 44 comporte un interrupteur 44a permettant sa mise hors service.

Le relais 37, également en série sur la ligne 26, comporte des contacts 45, 46 travaillant à la fermeture. Le contact 45 est en série dans un circuit 47 monté en parallèle, par deux bornes  $U_1, U_2$ , sur la sortie de la servocommande d'usinage 13 (fig. 1). Le circuit 47 comporte encore une source de force électromotrice 48, de valeur prédéterminée  $e_1$ , et de sens opposé à celle s'exerçant entre les bornes  $U_1$  et  $U_2$  quand la servocommande 13 provoque un mouvement de recul de l'électrode 9, et il comporte également une bobine d'un relais 49 dont le contact 51 en position de travail, ferme un circuit intermédiaire 52 qui comprend, outre une alimentation non représentée, le contact 46 et la bobine d'un relais 53 dont le contact 54, en position de travail, ouvre un circuit 55 relié aux bornes  $X_1, X_2$  d'alimentation du dispositif 7 assurant le mouvement latéral, et comprenant une source 56 d'alimentation de ce dispositif.

Le contact 51 est verrouillé par auto-alimentation de manière que le circuit intermédiaire 52 reste fermé, même si le courant dans le circuit 47 diminue notablement. Le circuit 52 ne peut donc être ouvert que par l'ouverture du contact 46. Cette ouverture déverrouille alors le contact 51 par des moyens connus non représentés.

L'explication du fonctionnement de cette installation, qui va suivre maintenant, servira de description du procédé d'usinage conforme à l'invention.

Après une première opération d'ébauche de l'empreinte, consistant en un simple défonçage axial sous forte puissance électrique laissant subsister des cratères importants, on met en œuvre le premier régime de puissance réduite qui sera utilisé pour la finition. Sous l'action de la servocommande d'avance, l'électrode descend alors au niveau qui lui permet d'usiner le fond de l'empreinte à ce premier régime. Dès que l'on constate l'amorçage de l'usinage, on arrête la servocommande et l'on coupe le générateur pour procéder aux réglages initiaux :

a) on donne au dispositif assurant le mouvement latéral une amplitude un peu inférieure à celle qui permettrait d'amorcer l'usinage des flancs de l'empreinte;

b) on règle le niveau du collier à vis 15 sur la broche 6 de manière que, sous l'effet du piston 18, le liquide conducteur monte jusqu'à un niveau se situant dans la partie basse du tube 21, soit entre les deux picots 34 numérotés  $n$  et  $n+1$  (comptés à partir du haut, en  $Z_1$ ), de sorte que la résistance de la ligne  $Z_1 Z_2$  est  $nr$ ;

c) on met en action les sources de force électromotrice 27 et 29 et l'on règle le rhéostat 28 à une valeur  $Rh_2 = Nr$ ;

d) des courants  $i_1$  et  $i_2$  (fig. 3) circulant dans les boucles 24 et 25 respectivement (dans le sens des flèches), on règle à la main le rhéostat 31 à une valeur  $Rh_1$  telle que le courant  $i_1 - i_2$  dans la branche 26 soit nul.

Dans ces conditions, on a :

$$Rh_1 + nr = Rh_2 = Nr$$

et : 
$$i_1 = \frac{e}{Nr}$$

Dans l'exemple décrit :

$$N = 24 \text{ spires}$$

$$e = 12 \text{ V}$$

$$r = 0,5 \text{ } \Omega$$

de sorte que, sensiblement :

$$i_1 = i_2 = 1 \text{ A.}$$

On considère comme négligeables la résistance des câblages et celle de la colonne de liquide.

Une fois ces réglages effectués, on met en action le générateur d'usinage et la servocommande d'avance. Comme indiqué plus haut, l'électrode n'usine pas encore les flancs de l'empreinte mais seulement le fond, en s'enfonçant progressivement et en faisant monter le liquide dans le tube 21.

Quand le ménisque 22 atteint le picot de rang  $n$ , l'électrode 9 ayant atteint un certain niveau de référence, la résistance de la ligne  $Z_1 Z_2$  tombe brusquement à la valeur  $(n-1)r$ . Le courant  $i_1$  vaut alors

$$\frac{e}{(N-1)r},$$

le courant  $i_2$  restant inchangé.

On a alors, dans la ligne 26, un courant :

$$i = i_1 - i_2 = \frac{e}{N(N-1)r}$$

soit, avec les valeurs indiquées plus haut, un courant d'environ 40 mA provenant de  $Z_1$  qui excite le relais 35 (réglé pour une valeur un peu inférieure) et ferme le circuit 38 d'activation de la minuterie 39.

On remarquera que les conditions de ce fonctionnement sont indépendantes du niveau du ménisque 22, puisque la valeur du courant  $i$  est indépendante de  $n$ .

Normalement, après environ 15 s dans l'exemple décrit, la minuterie 39 excite le relais 41 qui ferme les contacts 42 et 43. Le circuit refermé sur les bornes  $X_1, X_2$  provoque l'augmentation d'un échelon prédéterminé de l'amplitude du mouvement latéral pour passer à une phase suivante de l'usinage des flancs. De même, si l'interrupteur manuel 44a est fermé, le circuit refermé sur les bornes  $Y_1, Y_2$  actionne, par le moteur 32, le rhéostat 31 pour augmenter sa résistance de la valeur  $r$ . Il s'ensuit que, dans l'étage de comparaison 23, le signal de niveau, représenté par la résistance de la ligne  $Z_1 Z_2$ , se trouve décalé de  $r$  et que l'intervention suivante du relais 35 et de la minuterie s'effectuera quand le ménisque 22 atteindra le picot  $n-1$ , donc quand l'extrémité de l'électrode 9 aura atteint un niveau de référence situé plus profondément que le précédent. Dans ces conditions, l'usinage des flancs s'accompagne donc d'un usinage du fond.

Si, au contraire, l'interrupteur 44a est ouvert, la résistance du rhéostat 31 n'est pas modifiée et le niveau de référence de l'électrode 9 déclenchant l'augmentation d'amplitude du mouvement latéral reste le même. L'usinage se limite alors à un simple élargissement des flancs à un niveau constant du fond.

Il est à noter que, dès que la minuterie 39 actionne le relais 41, elle déverrouille du même coup le relais 35 qui redevient prêt pour une nouvelle opération.

Le fonctionnement s'effectue de la manière qui vient d'être décrite si l'usinage des flancs est relativement uniforme. Une mesure de cette uniformité peut consister dans l'amplitude des oscillations axiales de l'électrode sous l'effet de la servocommande d'avance. En effet, en référence à la fig. 3, où il est manifeste que, comme indiqué plus haut, l'usinage des faces B s'effectue beaucoup plus vite que celui des faces A, l'électrode, dans son mouvement latéral, par exemple de translation circulaire, s'approchera beaucoup plus des faces A peu érodées que des faces B. Au cours d'un cycle du mouvement latéral de l'électrode, ces variations de la distance électrode-pièce entraînent, par le jeu de la servocommande d'avance, des oscillations axiales de l'électrode dont l'amplitude est en rapport avec le degré de non-uniformité de l'usinage des flancs.

Comme il a été dit plus haut, il est pratiquement indispensable de ne donner un accroissement de l'amplitude du mouvement latéral qu'une fois qu'une uniformité suffisante aura été constatée, c'est-à-dire que les oscillations axiales de l'électrode ne dépasseront pas une amplitude  $h$  prédéterminée. Cette amplitude  $h$  est en général de 4 à 6/100 mm, ce qui se traduit, suivant ce qui a été dit plus haut, par un

déplacement du ménisque 22 de 2 à 3 divisions, soit plus généralement  $p$  divisions.

Mais une telle remontée de l'électrode entraîne cette fois une descente du ménisque, dont une augmentation par de la résistance de la ligne  $Z_1Z_2$ . Le courant  $i_2$  dans la boucle 24 demeurant encore inchangé, le courant  $i_1$  diminue dans la boucle 25, de sorte que le courant différentiel  $i = i_1 - i_2$  dans la ligne 26 change de signe et se dirige vers  $Z_1$ . On a alors :

$$i_1 = \frac{e}{r} \times \frac{1}{N + p}$$

$$i = i_1 - i_2 = \frac{e}{r} \times \frac{1}{N(N + p)}$$

En choisissant  $p=3$ , on voit que, étant donné le sens de  $i$  et la présence des diodes, c'est le relais 36 qui va être excité pour  $i = 37$  mA environ.

Cette excitation provoque l'ouverture du circuit d'activation 38 et l'arrêt et la remise à zéro de la minuterie 39. Il en résulte que, dans les conditions de non-uniformité ainsi constatées, l'augmentation d'amplitude du mouvement latéral est interdite.

Comme il a été dit, le relais 35 demeure verrouillé tant que la minuterie n'est pas parvenue au bout de son délai de retard, de sorte que, dès que le relais 36 est désexcité, la minuterie repart. Mais elle ne pourra finalement attaquer le relais 41 que lorsque le relais 36 n'aura pas fonctionné pendant tout le délai de retard, soit ici environ 15 s. Bien entendu, ce délai est toujours pris au moins égal à la durée d'un périple complet du mouvement latéral de l'électrode.

Le fonctionnement complet du cycle de la minuterie 39 indique que l'uniformité souhaitée a été obtenue et que l'on peut passer sans inconvénient à une étape suivante de l'usinage latéral, avec ou sans approfondissement de l'empreinte, mais avec élargissement du mouvement latéral.

Toutefois, en procédant ainsi qu'il vient d'être décrit, l'obtention d'une uniformité satisfaisante peut être relativement longue à obtenir, surtout si la forme à reproduire est particulièrement irrégulière. En effet, la partie des flancs dont l'usinage est en retard n'est attaquée que pendant une faible partie du périple de l'électrode qui, pendant le reste de ce périple, continue l'usinage à des niveaux plus profonds. Le perfectionnement du procédé, que l'on va maintenant décrire, permet d'accélérer l'usinage dans ce genre de cas particuliers.

Dans un fonctionnement analogue à celui du relais 36 précédemment décrit, le relais 37 ferme, par ses contacts 45 et 46, le circuit 47 et le circuit intermédiaire 52 lorsque l'électrode effectue un mouvement de recul qui l'élève au-dessus d'une hauteur prédéterminée  $h_1$  au-dessus de son point bas.

Dans le circuit 47 maintenant fermé, la force électromotrice qui s'applique aux bornes de la bobine du relais 49 est :

$$V_2 = V_1 - e_1$$

en appelant  $V_1$  la force électromotrice entre les bornes  $U_1$  et  $U_2$ , qui est celle développée par la servocommande d'avance dans le sens du recul de l'électrode. Quand l'électrode atteint son point haut, cette force électromotrice  $V_1$  tombe à zéro (fig. 5), de sorte que la force électromotrice  $V_2$  passe alors par un maximum en valeur absolue, qui correspond au seuil de déclenchement du relais 49. Ce déclenchement ferme le contact 51, ce qui entraîne l'excitation du relais 53 et l'ouverture du contact 54, arrêtant ainsi le mouvement latéral.

Du fait de la position haute de l'électrode, cette dernière se trouve au plus près de la partie des flancs dont l'usinage est le plus en retard, et, puisque le mouvement latéral est interrompu, elle va y rester pour rattraper ce retard d'usinage. Cependant, l'électrode est toujours soumise à la servocommande d'avance, de sorte qu'elle s'enfoncé progressivement à mesure que cet usinage progresse.

Dès que l'électrode quitte son point haut, la force électromotrice dans le circuit 47 cesse d'être suffisante, mais le contact 51, verrouillé par auto-alimentation, maintient fermé le circuit intermédiaire 52 jusqu'au moment où l'électrode repasse, en descendant, par le niveau  $h_1$  qui avait provoqué l'arrêt du mouvement latéral. Le relais 37 se

désexcite alors, le contact 46 ouvre le circuit 52 et le mouvement latéral est remis en service.

On a ainsi rattrapé le retard d'usinage le plus rapidement possible.

En pratique, les diverses options du procédé décrites plus haut peuvent être mises en œuvre sélectivement, suivant la nature de l'usinage à effectuer, par un simple jeu de commutations électriques dans le dispositif. Ces commutations, qui sont du ressort de l'homme de l'art, n'ont pas été décrites, mais elles peuvent conduire à certaines simplifications de l'appareillage.

Le procédé objet de l'invention permet un gain de temps important dans l'opération d'usinage de plusieurs façons :

a) On combine de façon optimale l'usinage des flancs et l'usinage des fonds sans être tributaire des inconvénients de l'usinage oblique non contrôlé. On notera à ce sujet que la possibilité d'augmenter l'amplitude du mouvement latéral en maintenant l'électrode au même niveau n'est pratiquement utilisée qu'au début de l'opération, jusqu'à l'amorçage de l'usinage latéral, au plus jusqu'à la correction de certains défauts de parallélisme entre les flancs de l'électrode et ceux de l'empreinte résultant du caractère rapide du défonçage préalable.

b) On effectue toujours, en priorité et avec le maximum d'efficacité, l'opération d'usinage qui est la plus en retard dans le cycle. Outre un gain de temps appréciable, on évite ainsi que les irrégularités d'usinage ne persistent et ne s'amplifient au cours de l'opération.

On va maintenant décrire, en référence à la fig. 9, une variante de réalisation de l'installation conforme à l'invention, spécialement destinée à la mise en œuvre du second mode de réalisation du procédé évoqué plus haut.

Cette variante reprend une partie des éléments essentiels de l'installation décrite précédemment. Ces éléments seront donc décrits ici brièvement et on leur affectera les mêmes numéros de référence que dans la fig. 3, ce qui permettra de se référer plus facilement au texte pour tout éclaircissement, les numéros de référence spécifiques de la présente réalisation étant supérieurs à 100.

En outre, on aura avantage à se référer également à la fig. 1, dont les éléments sont reliés à ceux de la fig. 9.

En référence à la fig. 9, l'installation conforme à l'invention comprend essentiellement un étage de comparaison 23 composé de deux boucles 24 et 25 ayant en commun une ligne 26 et alimentées respectivement par des sources de force électromotrice continue 27 et 29 disposées pour faire passer dans la ligne 26 des courants de sens contraire.

La boucle 24 comporte un rhéostat 28 à commande manuelle, et la boucle 25 comporte un rhéostat 31 commandé par un moteur 32 alimenté par des bornes  $Y_1, Y_2$ . La boucle 25 comporte également une résistance variable 122 dont la valeur ohmique est à chaque instant représentative du niveau de l'électrode. Cette résistance peut avantageusement être constituée par une colonne de mercure comme la résistance 22 décrite plus haut.

La ligne 26 alimente la bobine d'un relais 174 à deux contacts 174a et 174b. Le contact 174a est en série sur une boucle 144 mise sous tension par une source continue 178 et se refermant en parallèle d'une part sur les bornes  $Y_1, Y_2$  précitées et d'autre part sur deux bornes  $AX_1, AX_2$  situées à l'entrée du dispositif de commande 7a de l'augmentation d'amplitude du mouvement latéral.

Ainsi qu'il a été expliqué plus haut en détail, quand la boucle 144 est fermée, notamment par fermeture du contact 174a, l'excitation des bornes  $Y_1, Y_2$  commande, par le rhéostat 31, une modification du niveau de référence, et l'excitation des bornes  $AX_1, AX_2$  commande une augmentation de l'amplitude du mouvement latéral. Un interrupteur manuel 44a permet, à volonté, d'empêcher la modification du niveau de référence en coupant le circuit des bornes  $Y_1, Y_2$ .

La boucle 144 est interrompue par un contact 170a d'un relais 170 dont la bobine est alimentée par une boucle 176 munie d'une alimentation continue 177 et comportant elle-même un contact 181a d'un relais 181 dont la bobine reçoit un signal FU d'un dispositif de détection de fin d'usinage 182. Ce dispositif de détection de fin d'usi-

nage peut être avantageusement conforme à l'un de ceux décrits dans le brevet français N° 75.09252 au nom de la titulaire. On se contentera de rappeler ici que ce dispositif mesure constamment la tension électrode-pièce et la compare à une tension critique prédéterminée. Si la tension électrode-pièce demeure supérieure à la tension critique pendant au moins la durée d'un périple de l'électrode, le dispositif émet un signal FU signifiant que, dans toutes les positions de ce périple, la distance électrode-pièce est suffisante pour permettre l'augmentation d'un pas prédéterminé de l'amplitude du mouvement latéral sans risque de court-circuit.

On comprend que la boucle 144 ne se trouve effectivement fermée que sur l'émission du signal FU. Le relais 170 est temporisé de manière que le contact 170a reste fermé pendant environ 1 ou 2 min après l'émission du signal FU, de façon à donner à l'électrode le temps de descendre jusqu'au niveau de référence si elle est située au-dessus de ce niveau au moment de l'émission du signal, puis de donner le temps d'agir au moteur 32 et au système qui provoque l'accroissement de l'amplitude du déplacement latéral de l'électrode.

L'autre contact 174b du relais 174 est monté en série sur une boucle 171 alimentée par une source continue 173. La boucle 171 alimente la bobine d'un relais 172 dont le contact 172a est en série sur une ligne 183 alimentant la servocommande d'usinage 14. On rappelle que cette servocommande a pour rôle de faire descendre l'électrode quand la tension électrode-pièce est supérieure à une tension de référence  $U_0$ , et de la faire remonter dans le cas contraire.

Sur la boucle 171 est intercalé en série un contact 175a d'un relais 175 dont la bobine est reliée à un comparateur 184 recevant, d'une part, la tension entre l'électrode 9 et la pièce à usiner 3 et, d'autre part, la tension de référence  $U_0$ . Le comparateur 184 est agencé pour émettre un signal non nul quand la tension électrode-pièce est supérieure à la tension  $U_0$ , et pour émettre un signal nul dans le cas contraire.

Le contact 174b étant supposé fermé, on comprend que la boucle 171 sera fermée seulement si la tension électrode-pièce est supérieure à la tension  $U_0$ , par fermeture du contact 175a. La fermeture de cette boucle entraîne l'ouverture du contact 172a et la coupure de l'alimentation de la servocommande 14 qui se trouve ainsi bloquée.

La description du fonctionnement de l'installation servira de description du procédé d'usinage.

Les réglages préliminaires ayant été effectués comme indiqué précédemment, et un niveau de référence ayant été défini au moyen des rhéostats 28 et 31, l'usinage s'exécute normalement, l'électrode ayant été appelée par la servocommande d'usinage vers le haut du fait de la diminution de distance électrode-pièce précédente.

Comme décrit plus haut, l'intensité résultante du courant passant dans la ligne 26 est sensiblement nulle et le relais 174 n'est pas excité. La boucle 144 est donc coupée et les bornes  $Y_1$ ,  $Y_2$ , et  $AX_1$ ,  $AX_2$  sont isolées, de sorte qu'aucune remise en cause du niveau de référence ne peut se produire, non plus qu'aucune augmentation de l'amplitude du mouvement latéral.

L'usinage se poursuivant, la distance électrode-pièce alternativement croît et décroît jusqu'à ce que, du fait de la progression de l'usinage, ladite distance électrode-pièce tende à augmenter, ce qui augmente la tension électrode-pièce, et la servo-commande 14 tend normalement à faire descendre l'électrode. En effet, le contact 174b étant ouvert, la boucle 171 est coupée et la servocommande 14 est alimentée.

Quand l'électrode, dans son mouvement de descente, atteint le niveau de référence, la variation de la valeur de la résistance 122 provoque, dans la ligne 26, l'apparition d'un courant suffisant pour exciter le relais 174 et fermer les contacts 174a et 174b.

La fermeture du contact 174a contribue à fermer la boucle 144, mais cette fermeture n'est effective que si le contact 170a est fermé, c'est-à-dire si le signal de fin d'usinage FU vient d'être émis. Or, ce n'est en général pas le cas la première fois que l'électrode atteint le niveau de référence. Les bornes  $Y_1$ ,  $Y_2$  et  $AX_1$ ,  $AX_2$  demeurent donc désexcitées et aucune remise en cause du niveau de référence ne se

produit, non plus qu'aucune augmentation de l'amplitude du mouvement latéral.

D'autre part, la fermeture du contact 174b provoque la fermeture de la boucle 171 car, à cet instant, le contact 175a est également fermé. En effet, l'électrode étant en mouvement de descente, cela implique que la tension électrode-pièce est supérieure à la tension  $U_0$ . Par conséquent, le comparateur 184 émet un signal non nul et le relais 172 est excité.

La fermeture de la boucle 171 a pour effet de couper l'alimentation de la servocommande 14 et, dès lors, l'électrode 9 va travailler à niveau constant, animée de son seul mouvement latéral qui peut être, par exemple, une translation circulaire.

Au cours de ce mouvement, l'électrode vient au voisinage des parties de l'empreinte dont l'usinage est en retard. Il en résulte un rapprochement qui peut faire tomber la tension électrode-pièce au-dessous de la tension  $U_0$ . Le comparateur 184 provoque alors l'ouverture de la boucle 171 et la remise en fonctionnement de la servocommande 14 qui a pour effet, à cet instant, de faire remonter immédiatement l'électrode, étant donné la valeur de la tension électrode-pièce par rapport à  $U_0$ . Cette remontée constitue notamment une protection contre les courts-circuits.

Du fait de la remontée de l'électrode, le relais 174 est désexcité et l'usinage se poursuit sous la conduite de la servocommande 14 qui peut faire alterner des montées et des descentes, le contact 175a pouvant éventuellement se fermer et se rouvrir sans produire d'effet, puisque le contact 174b reste ouvert.

Lorsque l'électrode atteint de nouveau le niveau de référence, les mêmes phénomènes se reproduisent, à moins que le signal FU n'ait été émis depuis un temps inférieur à la durée de temporisation du relais 170, cette durée étant d'ailleurs choisie pour, entre autres, donner le temps à l'électrode de descendre de son point le plus haut jusqu'au niveau de référence. S'il en est ainsi, le courant apparaissant sur les bornes  $Y_1$ ,  $Y_2$  définit un nouveau niveau de référence, et celui apparaissant sur les bornes  $AX_1$ ,  $AX_2$  provoque une augmentation de l'amplitude du mouvement latéral de l'électrode. Ces phénomènes marquent la fin du stade d'usinage en cours et le début d'un nouveau stade.

Il est à noter que la tension critique qui conditionne l'apparition du signal FU n'est pas nécessairement la tension de référence  $U_0$  de la servocommande. Cette tension critique est liée à la tension latérale électrode-pièce au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre (qui est en général nettement inférieure à la tension de référence de la servocommande) et à la valeur du pas d'augmentation de l'amplitude du mouvement latéral. Pour ces raisons pratiques, elle est en général un peu supérieure à  $U_0$ , mais peut être inférieure à  $U_0$ .

Les divers perfectionnements du premier mode de réalisation du procédé et de l'installation correspondante peuvent s'appliquer au second mode de réalisation du procédé et à la dernière installation décrite.

Ainsi, sur la fig. 10, on a représenté l'adjonction de la minuterie 39 décrite en référence à la fig. 3, commandée à la fois par le relais 174 et par le relais 36. On a vu que cette minuterie avait pour fonction de permettre une certaine uniformisation de l'usinage, en particulier dans l'usinage d'empreintes de formes très irrégulières.

On pourrait également, dans une réalisation non représentée, adjoindre le relais 37 de la fig. 3 et les étages qu'il commande de la même manière que décrit plus haut.

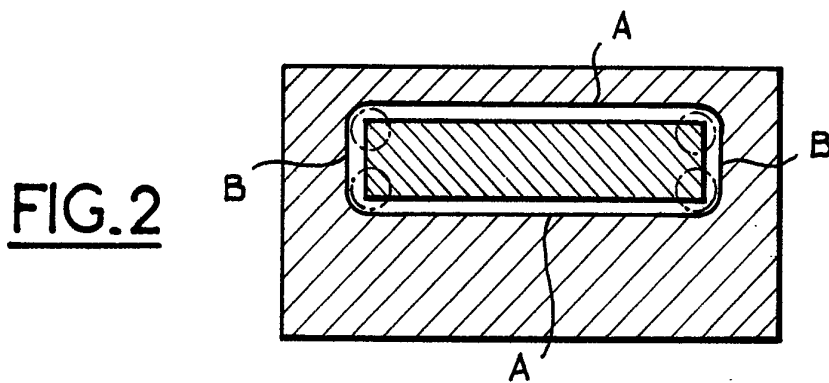
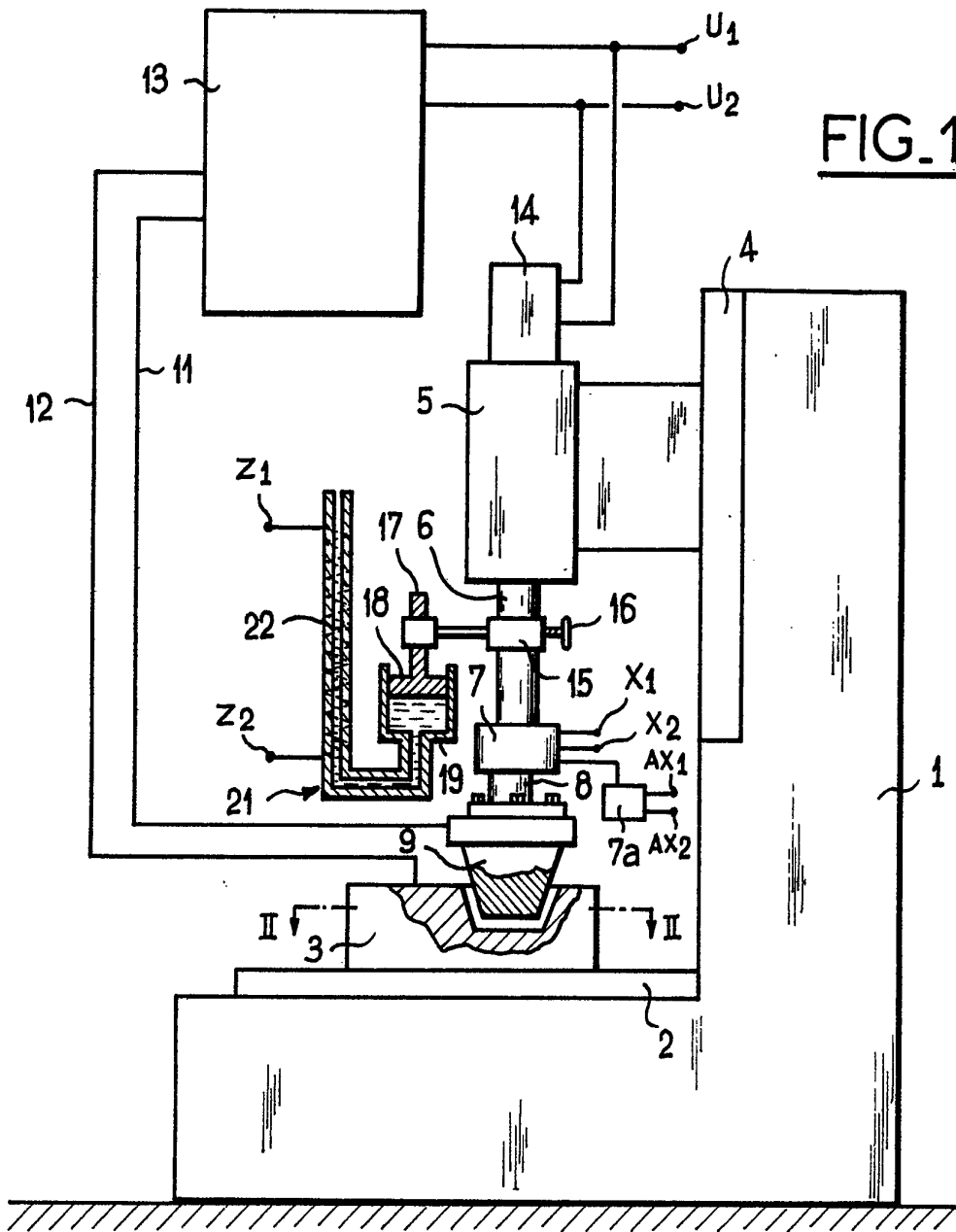
Comme indiqué plus haut, les installations décrites ne constituent que des exemples de réalisation permettant la mise en œuvre du procédé. On pourrait concevoir bien d'autres dispositifs pour accomplir les fonctions en vue. La fonction de repérage et de transmission du niveau de l'électrode, au lieu de faire appel à un dispositif hydraulique, peut être purement mécanique et comporter, par exemple, une vis 61 calée sur la broche 6 (fig. 6) et coopérant avec un pignon 62 dont l'angle de rotation peut être facilement amplifié.

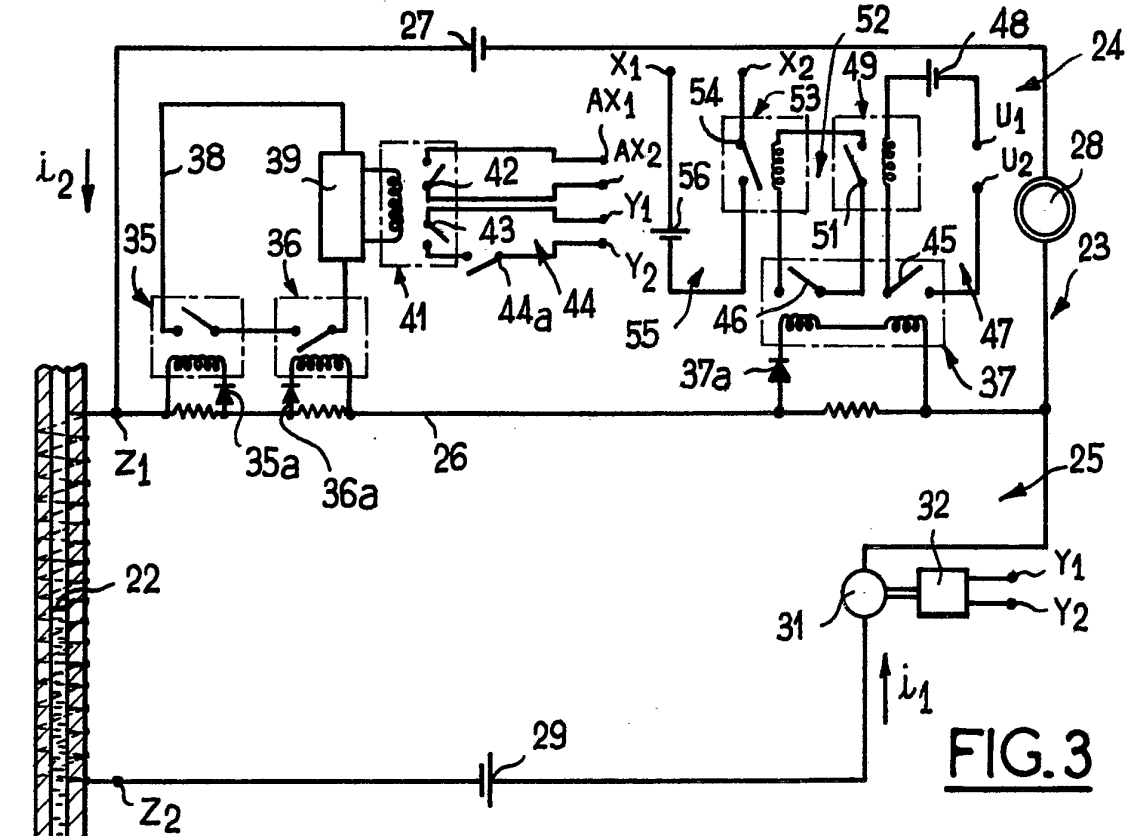
Le dispositif de déclenchement par valeurs discrètes du niveau peut être réalisé par une aiguille souple rotative 63 (fig. 7) pouvant

venir en butée sur des dents 64 disposées sur le bord interne d'une rondelle 65. L'aiguille peut échapper des dents dans les deux sens et le résultat obtenu est le même qu'avec les picots 34 du tube 21.

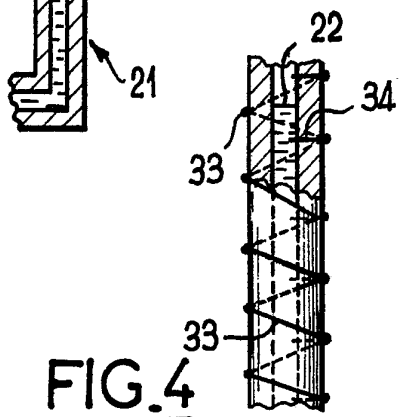
Pour s'en tenir aux dispositifs hydrauliques, on peut utiliser tout élément flottant sur le ménisque 22 et susceptible d'exercer une action

en fonction de son niveau. Cet élément pourrait être, par exemple un noyau magnétique, ou une cellule photoélectrique 66 (fig. 8) fixée sur une pastille flottante 67 dans un tube transparent 68 comportant des caches équidistants 69 qui perturberaient le fonctionnement de la cellule.

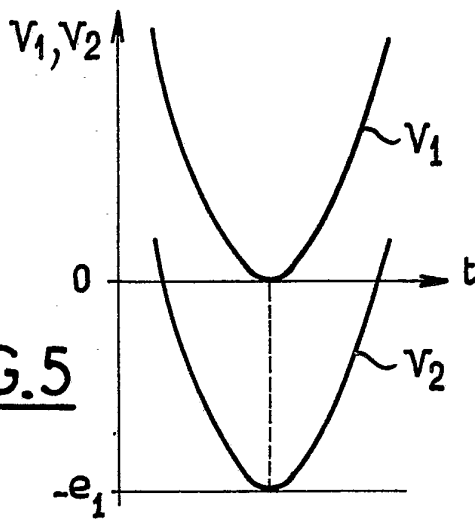




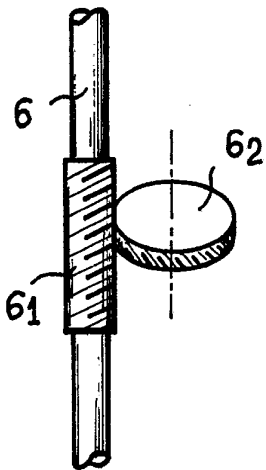
**FIG. 3**



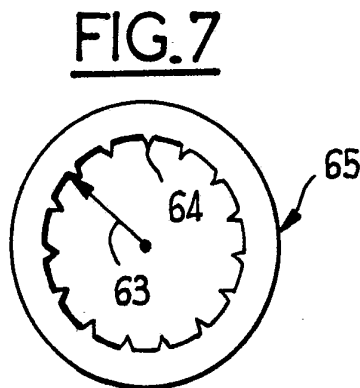
**FIG. 4**



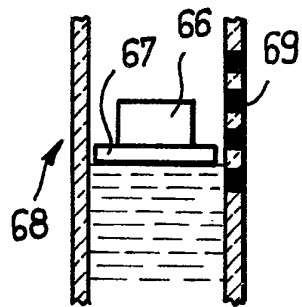
**FIG. 5**



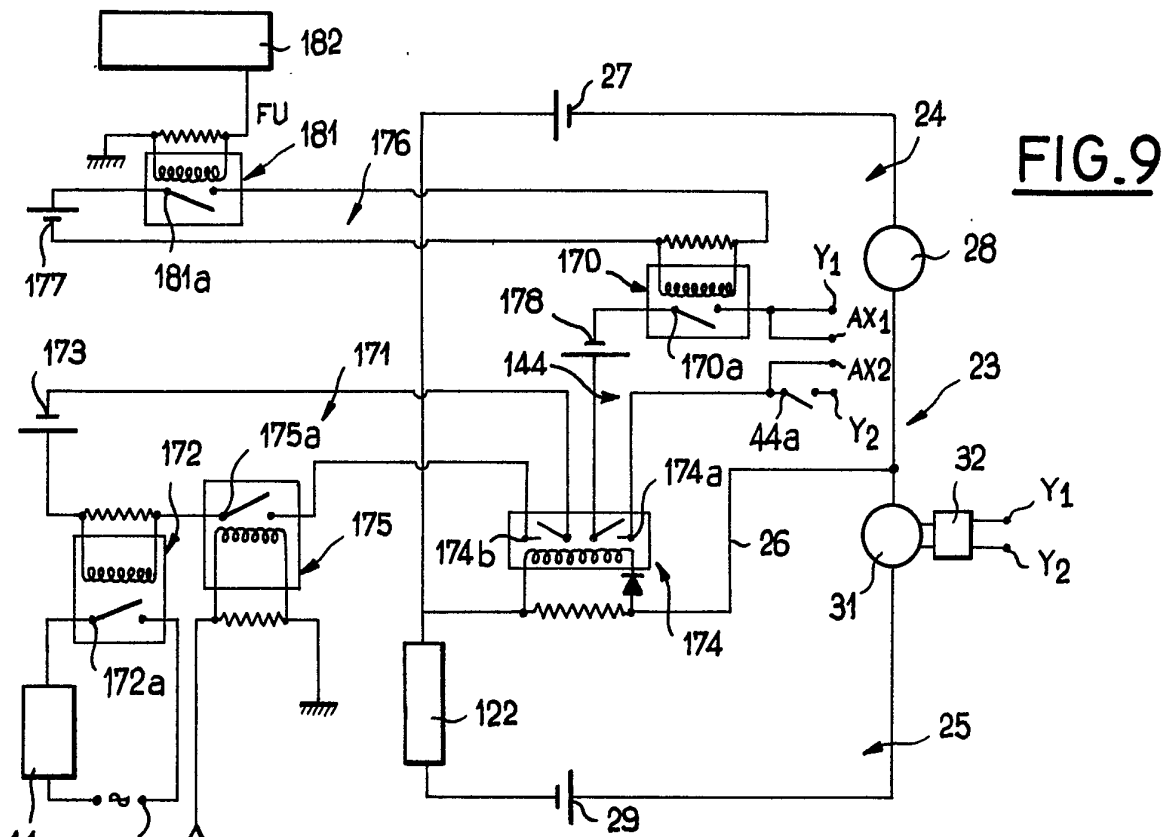
**FIG. 6**



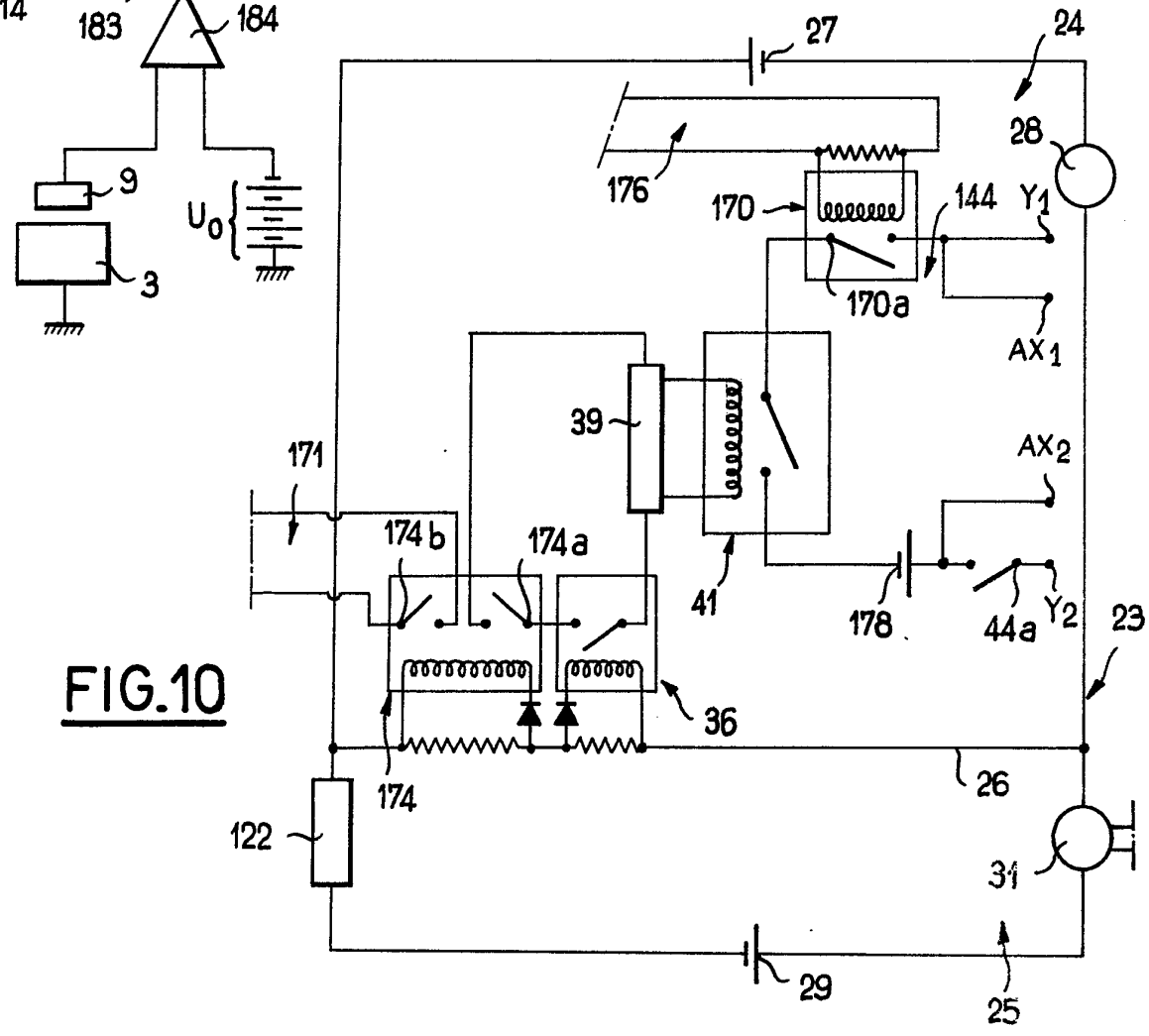
**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**