

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 05909**

(54) Procédé de positionnement d'un organe par rapport à une surface métallique et à une discontinuité formée sur cette surface et dispositif de mise en œuvre de ce procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). B 23 Q 3/18; B 23 K 37/04.

(22) Date de dépôt..... 17 mars 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 38 du 18-9-1981.

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Denis Bosquain, Jean Cornu, Jean-Marie Detriche et Paul Marchal.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Brevatome,  
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention due à la collaboration de Messieurs CORNU et DETRICHE de la Société OTA, Monsieur BOSQUAIN de l'E.S.I.E.E. et de Monsieur MARCHAL du Commissariat à l'Energie Atomique a pour objet un procédé de  
5 positionnement d'un organe par rapport à une surface métallique et par rapport à une discontinuité formée sur cette surface, ainsi qu'un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

De façon plus précise, l'invention se rapporte  
10 au problème du positionnement automatique d'un organe tel qu'une tête de soudage par rapport à la surface des pièces à souder et à la discontinuité que constitue le joint séparant ces pièces. Cependant, cette application n'est pas limitative et l'invention peut être utilisée pour résoudre  
15 tout problème de positionnement d'un organe par rapport à une surface métallique en vis-à-vis et/ou à une discontinuité formée sur cette surface.

Par positionnement d'un organe au moyen du procédé selon l'invention, il faut entendre que l'on réalise la  
20 mesure de l'une ou plusieurs des trois grandeurs géométriques suivantes et éventuellement le calage automatique de cet organe sur une valeur prédéterminée de la ou des grandeurs considérées.

- la distance  $h$  séparant ledit organe de la surface,
- 25 - l'angle d'inclinaison  $\alpha$  dudit organe par rapport à la normale à cette surface, en un point donné,
- le décalage latéral  $d$  dudit organe par rapport à une discontinuité formée sur cette surface.

Selon l'invention, dans l'application à une tête  
30 de soudage, il est ainsi possible de positionner la torche en hauteur et en angle par rapport à la surface sur laquelle se situe le joint à souder et de placer la torche dans l'alignement de ce joint. Cependant, ces trois fonctions ne sont pas nécessairement réalisées simultanément sur une  
35 même machine. Ainsi, l'invention se rapporte également, d'une part, à une machine utilisant un dispositif permettant

de positionner un organe par rapport à une discontinuité de surface sans que l'organe soit réglable en hauteur ou angulairement et, d'autre part, à une machine équipée à l'inverse d'un dispositif permettant de positionner un organe à une certaine distance et avec une orientation donnée par rapport à une surface.

Dans cet esprit, l'invention peut équiper tous les robots industriels qui exigent un positionnement précis en hauteur et en angle par rapport à une surface et selon une direction latérale par rapport à une discontinuité présentée par cette surface.

Le développement de la robotique correspond à la nécessité d'augmenter la production dans tous les domaines industriels où l'utilisation de machines spéciales n'est pas nécessaire. Ce développement correspond aussi à la réduction des contraintes d'organisation et de planification des fabrications de petites et moyennes séries. La robotique permet également de réduire les investissements en utilisant des machines adaptatives qui remplacent des machines spéciales destinées au traitement d'un même produit en grande série. Enfin, la robotique permet de résoudre des problèmes engendrés par des difficultés techniques ou par des travaux insalubres ou dangereux.

L'industrie a un grand besoin de ces moyens évolués de manutention, manipulation ou fabrication. En particulier, le soudage à l'arc, avec ou sans métal d'apport, soulève aujourd'hui de nombreux problèmes spécifiques qui rendent nécessaire le développement de robots adaptés à cette technique. Dans le domaine du soudage, il est souvent nécessaire de réaliser le suivi du joint à souder entre deux tôles avec une très grande précision, de façon rapide et reproductible. On sait en effet que l'assemblage par soudage d'un grand nombre d'éléments, avec une grande précision, sans possibilité

de reprise ou d'erreur, nécessite une main-d'oeuvre très qualifiée et rare. Il est souvent impossible d'assurer une production intensive en raison de la fatigue et de la contrainte physique résultant de la précision demandée.

- 5 Lorsque les pièces à souder sont de très grande dimension, il est souvent nécessaire qu'elles soient préchauffées avant soudage, ce qui oblige le soudeur à revêtir une protection spéciale pour les approcher. Il en résulte des conditions de travail insalubres et dangereuses. Lorsque
- 10 le soudage est effectué entre des éléments déformables à la chaleur, toute machine spéciale de soudure programmée sur une trajectoire très précise ne peut s'adapter à ces déformations qui peuvent atteindre plusieurs centimètres dans certains cas.

- 15 Il résulte de ces observations que dans de nombreux domaines industriels utilisant la robotique, il est nécessaire de disposer de systèmes de positionnement par rapport à une surface et par rapport à une discontinuité formée sur cette surface, permettant la commande de robots
- 20 qui doivent déterminer leur position par rapport à cette discontinuité ou cette surface avec une bonne précision et éventuellement se caler en position par ce moyen.

- Afin de répondre à ce besoin, l'invention a pour objet un procédé de positionnement d'un organe par
- 25 rapport à une surface métallique au moyen d'un détecteur à courant de Foucault, selon l'une au moins des trois grandeurs géométriques que sont la distance  $h$  à cette surface, l'angle d'inclinaison  $\alpha$  par rapport à la normale à cette surface et le décalage latéral  $d$  par rapport à une discontinuité formée
- 30 sur cette surface, le détecteur comprenant au moins une sonde à courant de Foucault comportant deux bobines incorporées dans un pont de mesure alimenté par un premier signal, ce procédé étant caractérisé en ce que l'on dispose les bobines symétriquement par rapport à la normale à la surface
- 35 et en ce que l'on traite les signaux aux bornes des bobines afin d'obtenir au moins un second signal qui varie avec

l'une desdites grandeurs géométriques en s'annulant pour une valeur donnée de cette grandeur,

Dans un autre mode de mise en oeuvre du procédé, on commande le déplacement dudit organe en fonction de la  
5 valeur du ou des seconds signaux, de façon à donner à la grandeur géométrique sur laquelle on veut se positionner la valeur souhaitée.

Selon une première variante de réalisation de l'invention, le second signal s'annule et change de signe  
10 lorsque la grandeur géométrique correspondante atteint ladite valeur donnée qui correspond à la valeur de cette grandeur sur laquelle on souhaite positionner ledit organe, la distance et le sens du déplacement dudit organe étant déterminés par l'intensité et le signe du second signal.  
15 Cette première variante peut être utilisée pratiquement dans tous les cas d'asservissement qui commandent le déplacement du détecteur.

Lorsque ce procédé est appliqué au positionnement dudit organe par rapport à une discontinuité formant une  
20 ligne sur ladite surface, le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et un signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde et le déplacement dudit organe s'effectue selon une  
25 direction transversale par rapport à la discontinuité, le second signal s'annulant lorsque l'axe de la sonde est à une distance prédéterminée ( $d_0$ ) du centre de la discontinuité (symétrie des courants de Foucault induits).

Lorsque ce procédé est appliqué au positionnement de l'organe par rapport à la normale en un point  
30 donné à la surface, le second signal est également un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et un signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la  
35 sonde et le déplacement dudit organe est un pivotement autour d'un axe contenu dans le plan perpendiculaire au plan des bobines ou à leur plan de symétrie et perpendiculaire à l'axe de la sonde, le second signal s'annulant lorsque l'axe

de la sonde forme un angle prédéterminé ( $\alpha_0$ ) avec la normale à la surface.

Enfin, lorsque le procédé selon l'invention est appliqué au positionnement dudit organe à une distance  $h_0$  donnée de la surface, le second signal est un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde et le déplacement dudit organe s'effectue selon une direction longitudinale par rapport à son axe, le second signal s'annulant lorsque le détecteur se trouve à ladite distance  $h_0$  donnée de la surface.

Conformément à une seconde variante de réalisation de l'invention, qui peut notamment être utilisée lorsque les moyens d'asservissement commandant le déplacement de l'organe fonctionnent en numérique, on mémorise la courbe de variation du ou des seconds signaux en fonction de la grandeur correspondante, ou une courbe dérivée, on mesure la valeur instantanée de la grandeur géométrique sur laquelle on désire se positionner en déterminant la valeur correspondante du ou des seconds signaux et en reportant cette valeur sur la courbe mémorisée. Selon le deuxième mode de mise en oeuvre du procédé, on commande le déplacement dudit organe en fonction de la différence entre cette valeur mesurée et une valeur de consigne.

Dans ce cas, lorsque le procédé est appliqué au positionnement latéral d dudit organe par rapport à une discontinuité formée sur la surface, le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde.

Lorsque le procédé selon l'invention est appliqué au positionnement angulaire  $\alpha$  dudit organe par rapport à la normale à la surface, le second signal comprend un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec l'angle d'inclinaison  $\alpha$ , et

un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec la distance  $h$  séparant ledit organe de la surface, et on mémorise la courbe de variation du signal représentatif de la différence de phase en fonction du signal représentatif de la somme des signaux pour différentes valeurs de l'angle  $\alpha$ . Ce double traitement des signaux est justifié par le fait qu'il est nécessaire pour déterminer l'angle d'inclinaison  $\alpha$  de tenir compte de la distance  $h$  séparant l'organe positionné de la surface en vis-à-vis.

Enfin, lorsque le procédé selon l'invention est appliqué au réglage de la distance  $h$  séparant ledit organe de la surface, le second signal est un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde.

Selon une troisième variante de réalisation de l'invention, le second signal s'annule lorsque la grandeur géométrique correspondante est atteinte, on mémorise la valeur d'un troisième signal représentatif de la position de la sonde en fonction de la grandeur que l'on souhaite régler, pour laquelle le second signal s'annule, et on mesure cette grandeur géométrique en comparant la valeur réelle du troisième signal à la valeur mémorisée avant de commander le déplacement dudit organe en fonction de cette valeur mesurée.

Lorsque cette troisième variante s'applique au positionnement angulaire  $\alpha$  dudit organe par rapport à la normale en un point donné à la surface, le second est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec l'angle d'inclinaison  $\alpha$ . On mémorise alors le signal représentatif de la position de la sonde correspondant à un angle  $\alpha_0$  connu que fait son axe avec la normale à la surface pour laquelle le second signal est nul, et on mesure l'angle d'inclinaison  $\alpha$  en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée de ce signal.

Lorsque cette troisième variante s'applique au positionnement dudit organe par rapport à une discontinuité formant une ligne sur la surface, le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre  
5 le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec la distance  $d$ . On mémorise alors le signal représentatif de la position de la sonde correspondant à une distance  $d_0$  connue de l'axe de la sonde par  
10 rapport au milieu de la discontinuité pour laquelle le second signal est nul, et on mesure la distance  $d$  en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée de ce signal.

Lorsque cette troisième variante s'applique au  
15 positionnement dudit organe à une distance  $h$  séparant ledit organe de la surface, le second signal est un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec la distance  $h$ . On mémorise alors le signal représentatif de la position de la sonde correspondant à une distance  $h_0$  connue séparant ledit organe de  
20 la surface, pour laquelle le second signal est nul, et on mesure la distance  $h$  en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée de ce signal.

L'invention a également pour objet un dispositif  
25 de positionnement d'un organe par rapport à une surface au moyen d'un détecteur à courant de Foucault, notamment selon l'une au moins des trois grandeurs géométriques que sont la distance  $h$  à cette surface, l'angle d'inclinaison  $\alpha$  par rapport à la normale à cette surface et le  
30 décalage latéral  $d$  par rapport à une discontinuité formée sur cette surface (ou selon deux ou trois de ces grandeurs géométriques combinées).

On décrira maintenant, à titre d'exemple non limitatif, différentes variantes de réalisation de l'in-  
35 vention qui peuvent être soit réalisées isolément, soit en combinaison dans un même dispositif comme on le verra par la suite, en se référant aux dessins annexés dans lesquels :



- la figure 1 est une vue schématique, en perspective, qui représente un dispositif selon l'invention permettant à la fois de régler la hauteur et l'inclinaison du détecteur par rapport à deux tôles à souder, et de  
5 disposer celui-ci en vis-à-vis du joint entre les deux tôles, la torche de soudage associée au détecteur n'étant pas représentée,

- la figure 2 représente un premier circuit de traitement par différence de phase du signal délivré  
10 par le détecteur,

- la figure 3 représente le circuit déphaseur logique utilisé dans le circuit de traitement représenté sur la figure 2,

- la figure 4 représente le circuit discriminateur de phase utilisé dans le circuit de traitement  
15 de la figure 2,

- la figure 5 montre la courbe de variation du signal de sortie  $V_{ph}$  du circuit de traitement représenté sur la figure 2 en fonction du décalage latéral  $d$  de la  
20 sonde par rapport à une discontinuité de surface telle que le joint sur la figure 1,

- la figure 6 montre la courbe de variation du signal de sortie  $V_{ph}$  du circuit de traitement de la figure 2 en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  du  
25 détecteur par rapport à la normale à la surface de la pièce,

- la figure 7 représente un circuit de traitement par sommation des signaux délivrés par le détecteur, qui peut être utilisé isolément ou en combinaison avec  
30 le circuit de traitement par mesure différentielle représenté sur la figure 2,

- les figures 8a et 8b montrent la courbe de variation du signal de sortie  $V_s$  du circuit de traitement représenté sur la figure 7 en fonction de la distance  $h$   
35 séparant le détecteur de la surface, pour deux réglages du circuit de traitement correspondant à l'annulation

du signal  $V_s$  lorsque la hauteur  $h$  est nulle et lorsque la hauteur  $h$  est égale à une valeur  $h_0$  donnée,

- la figure 9 représente le circuit d'asservissement de l'un des moteurs du dispositif représenté sur la figure 1 en fonction du signal délivré par l'un ou l'autre des circuits de traitement représentés sur les figures 2 et 7,

- la figure 10 représente le circuit d'asservissement du détecteur qui doit notamment être utilisé lorsque l'asservissement fait appel à des courbes d'étalonnage préenregistrées,

- la figure 11 montre la courbe de variation du signal de sortie  $V_{ph}$  du circuit de la figure 2 en fonction du signal de sortie  $V_s$  du circuit de la figure 7 pour différentes valeurs de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  du détecteur, et

- la figure 12 représente un circuit d'asservissement particulier pouvant être utilisé pour le positionnement d'un organe. Ce circuit comprend une partie permettant une mémorisation d'information de position de référence et un circuit d'asservissement.

Pour faciliter l'exposé, le dispositif de positionnement représenté schématiquement et à titre d'exemple non limitatif sur la figure 1 permet de remplir simultanément les trois fonctions que sont le positionnement en hauteur d'un organe par rapport à une surface, l'orientation angulaire de cet organe par rapport à la normale à la surface et le positionnement latéral de cet organe par rapport à une discontinuité formée sur cette surface. Cependant, on comprendra que l'invention n'est pas limitée à un dispositif permettant de réaliser simultanément ces trois fonctions et s'applique également à tous dispositifs permettant de réaliser une ou deux quelconques de ces fonctions.

Toujours dans le but de simplifier l'exposé, on a représenté sur la figure 1, un détecteur comprenant

une seule sonde à courant de Foucault. Cependant, comme on le verra par la suite, le détecteur peut comprendre en réalité deux sondes disposées par exemple à angle droit, notamment si l'on souhaite pouvoir positionner angulairement un organe dans deux plans orthogonaux.

Enfin, et toujours dans le but de simplifier l'exposé, le dispositif représenté sur la figure 1 ne comprend pas l'organe à positionner qui peut être notamment, comme on l'a vu, une torche de soudage. En réalité, on comprendra que cet organe peut être soit directement solidaire du détecteur, soit relié au détecteur par un mécanisme lui permettant de suivre le positionnement et l'orientation imposés au détecteur.

Comme on l'a déjà indiqué, le dispositif selon l'invention comprend un détecteur à courant de Foucault qui se compose dans le cas le plus simple d'une sonde à courant de Foucault comme l'illustre la figure 1.

Rappelons que le principe d'une telle sonde consiste à alimenter une bobine par un courant électrique sinusoïdal haute fréquence, de manière à créer un champ alternatif qui induit dans une pièce en matériau conducteur de l'électricité disposée en vis-à-vis de la sonde des courants de Foucault créant en retour un champ qui s'oppose au champ initial et modifie l'impédance de la bobine.

Les variations de l'impédance de la bobine donnent donc une indication de la disposition de la bobine par rapport à la pièce en vis-à-vis et de la présence éventuelle d'une discontinuité sur cette pièce.

Conformément à l'invention, et afin de pouvoir effectuer une mesure différentielle permettant notamment de déterminer l'orientation angulaire de la sonde et son positionnement par rapport à une discontinuité formée sur la surface, la sonde comprend deux bobines  $B_1$  et  $B_2$  dont les axes sont disposés dans un même plan et qui sont disposés de façon symétrique par rapport à un axe  $\vec{Oa}$  définissant l'axe de la sonde. Dans la variante de réalisation représentée sur la figure 1, les axes des deux

bobines  $B_1$  et  $B_2$  sont parallèles, de telle sorte qu'elles sont disposées toutes deux à égale distance par rapport à l'axe  $\vec{Oa}$ .

Bien entendu, d'autres variantes de réalisation peuvent être envisagées. D'une façon générale, toute disposition des bobines  $B_1$  et  $B_2$  conduisant à une symétrie de courants de Foucault induits peut être utilisée. En pratique, cela signifie que les bobines  $B_1$  et  $B_2$  sont symétriques par rapport à l'axe  $\vec{Oa}$ . Ainsi, les axes des bobines  $B_1$  et  $B_2$  peuvent être parallèles et disposés dans un plan normal à la discontinuité 18 comme l'illustre la figure 1, ou encore inclinées dans ce plan de façon à se couper selon l'axe  $\vec{Oa}$  et à former avec ce dernier un angle  $\beta$  donné. Les bobines  $B_1$  et  $B_2$  peuvent aussi être disposées dans un même plan selon l'une ou l'autre des dispositions précédentes, ce plan étant incliné par rapport à la normale à la surface 14 et coupant cette surface selon une ligne perpendiculaire à la discontinuité 18. Ces bobines  $B_1$  et  $B_2$  peuvent encore être disposées dans des plans symétriques par rapport au plan normal à la surface et perpendiculaire à la discontinuité, ces plans coupant la surface selon une ligne perpendiculaire à la discontinuité.

Enfin, les bobines peuvent être parallèles, mais décalées et disposées dans le plan normal à la surface et perpendiculaire à la discontinuité, de façon à ce que la distance  $h$  de chaque bobine à la surface soit la même lorsque les deux pièces 16 sont décalées l'une par rapport à l'autre.

On a représenté à titre d'exemple sur la figure 1, l'ensemble des moyens mécaniques permettant de positionner et d'orienter le détecteur 10 par rapport à une pièce 14 constituée sur la figure par deux tôles à souder 16 définissant entre elles un joint 18 qui doit être suivie par la torche de soudage (non représentée). Bien que les tôles 16 soient planes et que le joint 18 soit rectiligne sur la figure, on comprendra que l'invention peut être utilisée

quelles que soient les formes de tôles et de la discontinuité.

Dans l'exemple de réalisation représenté, le détecteur 10 est porté par un mécanisme 20 permettant à la fois d'assurer son positionnement en hauteur et son orientation angulaire par rapport à la pièce 14 et d'assurer son positionnement latéral par rapport à la ligne de soudure 18.

Le mécanisme de positionnement 20 du détecteur comprend un bras de supportage 22 qui peut être soit fixe, soit mobile, afin de permettre le déplacement de la sonde par rapport à la pièce 14. Le bras 22 supporte un moteur électrique  $M_1$  dont l'arbre de sortie est solidaire d'un pignon 24 qui s'engrène dans une crémaillère 26 formée sur une colonne verticale 28 guidée par un manchon 30 solidaire du bras 22, de façon à pouvoir se déplacer de bas en haut et de haut en bas sous l'action du moteur  $M_1$ . Ce premier ensemble permet de positionner le détecteur 10 en hauteur par rapport à la pièce 14.

La colonne 28 porte à son extrémité inférieure une plaque horizontale 32 qui supporte un deuxième moteur  $M_2$  dont l'arbre de sortie entraîne en rotation un secteur circulaire denté 34 qui s'engrène sur un autre secteur denté 36 monté pivotant ainsi que le secteur 34 en-dessous de la plaque 32. Ce deuxième ensemble permet de déplacer latéralement le détecteur 10 par rapport à la ligne de soudure 18.

Une plaque 37 solidaire du secteur denté 36 et s'étendant verticalement porte un troisième moteur  $M_3$  dont l'arbre de sortie horizontal est solidaire d'un pignon 38 qui s'engrène sur un secteur circulaire denté 40 monté pivotant sur la plaque 37. Un axe horizontal 42 matérialisant l'axe de rotation du secteur 40 traverse la plaque 37 pour porter par son extrémité libre un détecteur dont les bobines sont disposées dans le plan orthogonal du plan de la sonde 10, l'axe 42 étant contenu dans le plan perpendiculaire au plan défini par les bobines  $B_1$  et  $B_2$  et coupant l'axe  $\vec{Oa}$  au point O définissant l'extrémité

inférieure de la sonde. Ce dernier mécanisme permet ainsi, par la mise en oeuvre du moteur  $M_3$ , l'orientation angulaire du détecteur 10 autour de l'axe 42.

5 Dans une variante non représentée, lorsque l'on souhaite réaliser également une orientation angulaire de la sonde selon un axe horizontal perpendiculaire à l'axe 42, il est nécessaire de prévoir une sonde dont les bobines sont disposées dans le plan de la sonde 10 et définissent un axe confondu avec l'axe  $\vec{Oa}$ , et d'ajouter au mécanisme 20 une  
10 partie comparable à la partie actionnée par le moteur  $M_3$ , permettant de faire pivoter le détecteur autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe 42 donc autour du point O, dans le plan des bobines. Dans ce cas, la partie du mécanisme 20 actionnée par le moteur  $M_3$  peut aussi être sup-  
15 primée, le bras de supportage 22 étant alors fixé à un bras (de manipulateur) autorisant l'orientation angulaire du détecteur dans toutes les directions. Le détecteur 10 est alors fixé directement sur le secteur 36.

Comme on l'a déjà mentionné, les trois parties  
20 du mécanisme de positionnement 20 peuvent être dissociées. De plus, les fonctions de positionnement peuvent être remplies par des moyens différents de ceux qui viennent d'être décrits et selon un agencement qui peut être modifié ou même inversé.

25 En plus du détecteur 10 et du mécanisme de positionnement 20 représentés sur la figure 1, le dispositif de positionnement et d'orientation selon l'invention comprend des moyens de traitement électroniques des signaux délivrés par le détecteur et des moyens pour asservir  
30 le mécanisme 20 à l'aide de la réponse fournie par les moyens de traitement, ces moyens d'asservissement agissant sur les moteurs  $M_1$ ,  $M_2$  ou  $M_3$  selon le cas.

On a représenté sur la figure 2 un circuit de traitement électronique des signaux délivrés par une sonde à  
35 courant de Foucault à deux bobines  $B_1$  et  $B_2$  permettant d'effectuer une mesure différentielle utilisable en particulier pour le positionnement latéral de la sonde sur la

ligne de soudure 18 et pour l'orientation angulaire de la sonde par rapport à la normale à la pièce 14 comme on le verra par la suite.

Afin de permettre la détection des variations de l'impédance de chacune des bobines  $B_1$  et  $B_2$  de la sonde, celles-ci sont placées dans un pont de mesure symétrique dont les deux branches  $R_1$  et  $R_2$  servent à assurer l'équilibre. Le pont de mesure ainsi constitué est alimenté entre le point haut défini par la jonction des bobines  $B_1$  et  $B_2$  et le point bas défini par la jonction des branches  $R_1$  et  $R_2$  par un signal sinusoïdal haute fréquence (par exemple 240 kHz) provenant d'un oscillateur H.F. 44. Les signaux de sortie sinusoïdaux  $V_{b1}$  et  $V_{b2}$  pris respectivement aux bornes communes des branches  $B_1$  et  $R_1$  et  $B_2$  et  $R_2$  sont transmis respectivement à la borne + et à la borne - d'un amplificateur différentiel 46 qui délivre un signal sinusoïdal  $V_b$ . Le signal  $V_b$  est injecté dans un sommateur 48 avec un signal  $V_0$  qui correspond au signal injecté dans le pont de mesure par l'oscillateur 44 et déphasé de  $\frac{\pi}{2}$  par un déphaseur 50. Le signal sinusoïdal  $V_c$  délivré par le sommateur 48 est injecté à la borne + d'un comparateur 52 dont la borne - est connectée à la terre. De même, le signal sinusoïdal délivré par l'oscillateur 44 est injecté à la borne + d'un autre comparateur 54 dont la borne - est également reliée à la terre. Les comparateurs 52 et 54 délivrent des signaux logiques positifs pour les alternances positives des signaux sinusoïdaux qui leur sont injectés. Le signal logique délivré par le comparateur 54 est représentatif des alternances du signal sinusoïdal délivré par l'oscillateur 44. Il est injecté dans un déphaseur logique 56 délivrant un signal déphasé d'une valeur donnée par rapport au signal d'entrée. Ce signal déphasé est à son tour injecté dans un discriminateur de phase 58 en même temps que le signal délivré par le comparateur 52, ce dernier

étant représentatif de la valeur des signaux aux bornes des bobines  $B_1$  et  $B_2$ . Le discriminateur de phase 58 délivre un signal  $V_{ph}$  représentatif de la différence de phase entre le signal injecté dans le pont et celui aux bornes des bobines.

Comme le montre la figure 3, le déphaseur logique 56 comprend un inverseur 60 et deux circuits RC permettant de retarder le signal injecté en E dans le déphaseur et le signal sortant de l'inverseur 60. Le signal injecté dans le déphaseur et retardé par l'un des circuits RC, ainsi que le signal sortant de l'inverseur 60 sont injectés dans une première porte NON/OU 62. De même, le signal injecté en E dans le déphaseur 56 ainsi que le signal sortant de l'inverseur 60 et retardé par le second circuit RC sont injectés dans une seconde porte NON/OU 64. Les signaux délivrés par chacune des portes NON/OU 62 et 64 sont injectés dans une porte OU 66 qui délivre en S un signal logique dont chaque impulsion correspond au début et à la fin d'un créneau du signal injecté à l'entrée E du déphaseur 56. Ce signal logique est injecté à l'entrée d'un monostable 68, à l'entrée J d'une bascule JK 70 et, par l'intermédiaire d'un inverseur 72, à l'entrée K de cette dernière. Le signal de sortie du monostable 68, qui correspond à une suite de créneaux de durée déterminée débutant avec un retard déterminé par rapport à chaque impulsion du signal délivré en S, est injecté à l'entrée H de la bascule JK dont le signal de sortie délivré en Q est identique au signal injecté à l'entrée E du déphaseur mais déphasé selon une valeur déterminée par le retard imposé par le monostable 68. Ce signal de sortie est injecté dans le discriminateur de phase 58.

Comme le montre la figure 4, les deux entrées du discriminateur de phase 58 sont reliées, d'une part, à une porte OU EXCLUSIF 74 et, d'autre part, à une porte OU EXCLUSIF 76 après passage dans un inverseur 78 du signal provenant du déphaseur logique 56. La sortie de chacune des portes OU EXCLUSIF 74, 76 est reliée à un intégrateur 78, 80



dont les signaux de sortie, représentant la composante continue de chacun des signaux injectés à l'entrée du discriminateur de phases, sont injectés dans un soustracteur 82 délivrant un signal de sortie continu  $V_{ph}$  dont la valeur correspond à la différence de phase entre le signal délivré par le déphaseur 56 et le signal issu du comparateur 52.

Les variations du signal  $V_{ph}$  délivré par le premier circuit de traitement qui vient d'être décrit en se référant aux figures 2 à 4 en fonction du décalage latéral  $d$  de l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde par rapport au milieu de la discontinuité 18 sont représentées sur la figure 5. Rappelons que le déplacement correspondant de la sonde 10 est obtenu au moyen du moteur  $M_2$  sur la figure 1. La courbe de la figure 5 est remarquable, d'une part, par le fait que le signal  $V_{ph}$  devient nul lorsque le décalage  $d$  est nul et, d'autre part, par le fait que le signal  $V_{ph}$  est positif lorsque la sonde est décalée d'un côté par rapport à la discontinuité et négatif lorsque la sonde est décalée de l'autre côté par rapport à cette discontinuité. Ces deux particularités de la courbe de la figure 5 permettent de réaliser un repérage de la position et du sens de déplacement de la sonde par rapport à la discontinuité. Ainsi, quand la sonde se déplace transversalement par rapport à la discontinuité 18, et de la gauche vers la droite en considérant la figure 1, le signal  $V_{ph}$  passera d'une tension négative à une tension positive.

On remarquera que la courbe de la figure 5 est tracée dans le cas où le déphasage des deux signaux appliqués au discriminateur de phase 58 est réglé de telle sorte que la tension  $V_{ph}$  soit nulle lorsque le centre de la discontinuité 18 est placé exactement dans le prolongement de l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde 10. Le réglage de ce déphasage s'effectue au moyen du déphaseur logique 56 en réglant de façon appropriée les impulsions délivrées par le monostable 68 et notamment le retard de ces impulsions par rapport aux impulsions délivrées en S par la porte OU 66. En effet, le déphasage du signal délivré par l'oscillateur

au moyen du déphaseur logique 56 permet de mettre ce signal en quadrature de phase avec le signal délivré par le comparateur 52 lorsque l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde passe par le milieu de la discontinuité 18, ce qui conduit à un signal de sortie  $V_{ph}$  du discriminateur de phase 58 nul dans cette position. On comprendra qu'il est possible en réglant le déphaseur 56 de façon appropriée de décaler la courbe de la figure 5 afin d'annuler le signal  $V_{ph}$  pour une valeur différente du décalage  $d$ , lorsqu'il est nécessaire de positionner un organe avec un décalage latéral  $d_0$  donné par rapport à une discontinuité de surface.

On remarquera également que la courbe de la figure 5 est plus ou moins aplatie selon la valeur de la distance  $h$  qui sépare la sonde 10 de la surface 18. Ainsi, la sensibilité et donc la précision de la localisation de la discontinuité augmentent lorsque la sonde est plus proche de la surface des tôles. A l'inverse, la mesure n'est plus significative au-delà d'une certaine distance qui varie avec la nature de la pièce et par exemple la fréquence de travail (dans des conditions d'expérimentation particulières, cette distance a été d'environ 20 mm). En revanche, la largeur de la discontinuité à détecter est pratiquement sans incidence sur le positionnement de la sonde, dans la limite de la compatibilité avec la dimension du détecteur (écart entre les bobines).

De façon comparable, on a représenté sur la figure 6, les variations du signal  $V_{ph}$  délivré par le circuit de traitement de la figure 2 en fonction de l'angle  $\alpha$  défini entre l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde et la normale  $\vec{On}$  à la surface de la pièce 18 (voir figure 12). Le déplacement correspondant de la sonde est obtenu au moyen du moteur  $M_3$  sur la figure 1. Comme la courbe de la figure 5, la courbe de la figure 6 est remarquable par le fait que le signal  $V_{ph}$  s'annule (pour un réglage donné du monostable 68) lorsque l'angle  $\alpha$  atteint une valeur prédéterminée  $\alpha_0$ , et par le fait que ce signal change de signe de

part et d'autre de cette valeur. Cette courbe permet donc d'envisager les mêmes possibilités d'asservissement que la courbe de la figure 5.

On remarquera que la courbe de la figure 6 s'aplatit lorsque la distance  $h$  entre la sonde et la surface de la pièce augmente. Il existe donc une hauteur limite au-delà de laquelle la mesure n'est plus significative, qui correspond à la position où l'angulation de la sonde rend l'une au moins des bobines inefficace.

Avant de décrire l'application du circuit de traitement de la figure 2 à la commande d'un asservissement du mécanisme 20 représenté sur la figure 1, on décrira en se référant à la figure 7 un second circuit de traitement qui est utilisé conformément à l'invention alternativement ou conjointement avec le circuit précédent selon l'asservissement que l'on désire réaliser, comme on le verra par la suite.

Le circuit de traitement représenté sur la figure 7 est un circuit sommateur qui effectue la somme des signaux délivrés par la sonde 10. Comme dans le circuit précédent, les bobines  $B_1$  et  $B_2$  sont montées dans un pont de mesure dont les deux autres branches  $R_1$  et  $R_2$  sont constituées d'éléments permettant son équilibre, et ce pont est alimenté par un signal haute fréquence en provenance d'un oscillateur 44'. Les signaux de sortie pris aux bornes communes des branches  $B_1$  et  $R_1$  et  $B_2$  et  $R_2$  respectivement du pont de mesure sont injectés dans un sommateur 84 qui délivre un signal sinusoïdal dont la composante continue est récupérée au moyen d'un intégrateur 86. Le signal de tension continu délivré par l'intégrateur 86 est ajusté au moyen d'un sommateur 87 en lui ajoutant une tension de référence  $V_{ref}$  qui conduit à l'obtention d'un signal de sortie  $V_s$  représentatif de la somme des signaux aux bornes de la sonde.

On a représenté sur les figures 8a et 8b la

variation de ce signal  $V_s$  en fonction de la distance  $h$  séparant l'extrémité de la sonde de la surface de la pièce en vis-à-vis 14 pour deux valeurs différentes de la tension de référence  $V_{ref}$ . Ainsi, sur la figure 8a, la tension de référence a été réglée de telle sorte que le signal de sortie  $V_s$  soit nul lorsque la distance  $h$  est nulle. Comme on le verra par la suite, ce réglage est particulièrement adapté au cas où le positionnement de la sonde nécessite un calcul préalable de la valeur de la distance  $h$ .

10 Dans le cas de la figure 8b, le réglage de la tension de référence  $V_{ref}$  a été effectué de telle sorte que le signal de sortie  $V_s$  s'annule pour une valeur  $h_0$  de la distance  $h$ , de telle sorte que le signal  $V_s$  soit négatif lorsque la distance  $h$  est inférieure à  $h_0$  et positif lorsque la distance  $h$  est supérieure à  $h_0$ . Comme on le verra, ce réglage est particulièrement adapté au cas où l'on désire positionner directement la sonde sur la distance  $h_0$ , la valeur et le signe du signal  $V_s$  donnant alors une indication directe de l'intensité et du sens de l'asservissement de position à réaliser, comme dans le cas des courbes des figures 5 et 6 pour le signal  $V_{ph}$ .

Avant de décrire la réalisation des asservissements du mécanisme 20 au moyen des deux circuits de la figure 2 et de la figure 7, on remarquera que le circuit de traitement de la figure 7 présente également certaines limites qu'il est nécessaire de respecter. En effet, comme le montrent clairement les figures 8a et 8b, il existe une limite à la distance  $h$  au-delà de laquelle les variations du signal de sortie  $V_s$  deviennent pratiquement nulles. Pour une tôle donnée, cette distance est pratiquement identique à celle pour laquelle la mesure de phase n'est plus significative, c'est-à-dire à partir d'environ 20 mm dans l'exemple cité précédemment.

Conformément à un premier mode de réalisation de l'invention qui peut pratiquement être mis en oeuvre à chaque fois qu'il n'est pas nécessaire de faire fonc-

tionner les asservissements du mécanisme 20 en ayant recours aux courbes d'étalonnage du détecteur, le circuit d'asservissement de la sonde 10 permettant de positionner celle-ci en hauteur ou angulairement par rapport à une surface ou latéralement par rapport à une discontinuité de cette surface est réalisé selon le circuit représenté schématiquement sur la figure 9. Les trois mesures peuvent aussi être faites l'une après l'autre au moyen du circuit de la figure 9 qui commande alors de façon cyclique les moteurs  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  à partir des informations fournies par les circuits des figures 2 et 6.

Sur la figure 9, on voit la sonde 10 comprenant les bobines  $B_1$  et  $B_2$  et un moteur M qui peut être l'un quelconque des moteurs  $M_1$ ,  $M_2$  ou  $M_3$ . Les signaux en provenance de la sonde 10 sont injectés dans un circuit de traitement 88 constitué selon le cas par le circuit de la figure 2 ou par le circuit de la figure 6. Le signal  $V_{ph}$  ou  $V_s$  délivré par le circuit de traitement 88 parvient à un étage d'adaptation 89 avant d'être injecté à l'entrée - d'un soustracteur 90 dont l'entrée + est raccordée à la terre. Le soustracteur 90, qui pourrait éventuellement être remplacé par un inverseur, délivre un signal  $\varepsilon$  qui alimente un amplificateur de puissance 92 commandant le moteur M.

Dans le cas où le moteur M est constitué par le moteur  $M_2$  permettant de régler le décalage latéral  $\underline{d}$  de la sonde 10 par rapport à la discontinuité 18, le circuit de traitement 88 est constitué par le circuit de traitement par différence de phase représenté sur la figure 2 et délivre le signal  $V_{ph}$  dont les variations en fonction de l'écart latéral  $\underline{d}$  sont représentées sur la figure 5. Le monostable 68 du déphaseur logique 56 est alors réglé de façon à annuler le signal  $V_{ph}$  lorsque l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde 10 passe par le milieu de la discontinuité 18. Le circuit de la figure 9 permet alors de caler l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde 10 sur la discontinuité 18. En effet, si le signal  $V_{ph}$  délivré par le circuit de

traitement est positif, le soustracteur 90 délivre un signal  $\epsilon$  négatif dont la valeur est fonction de l'amplitude du signal  $V_{ph}$  et inversement. L'étage d'adaptation  $\alpha$  89 a pour fonction de doser les variations de  $V_{ph}$  de façon compatible avec l'asservissement de position, c'est-à-dire qu'il permet de doser la valeur du signal  $\epsilon$  qui doit être injecté dans l'amplificateur 92 afin de commander au moyen du moteur  $M_2$  le déplacement latéral de la sonde 10 nécessaire et suffisant pour placer l'axe de celle-ci au milieu de la discontinuité.

Dans le cas où le moteur  $M$  est le moteur  $M_3$  commandant l'orientation de la sonde par rapport à la normale à la surface en vis-à-vis, le circuit de traitement 88 est également constitué par le circuit de traitement par différence de phases de la figure 2 qui délivre le signal de sortie  $V_{ph}$  dont les variations en fonction de l'angle  $\alpha$  d'inclinaison de l'axe de la sonde par rapport à la normale à la surface sont représentées sur la figure 6. Dans le cas du réglage du déphaseur logique 56 correspondant à la variation du signal  $V_{ph}$  représentée sur la figure 6, le fonctionnement du circuit d'asservissement représenté sur la figure 9 permet d'effectuer le calage de l'axe de la sonde sur la normale à la surface.

Dans les deux cas qui viennent d'être exposés, il est bien entendu possible en modifiant le réglage du monostable 68 du déphaseur logique 56 ou en décalant la courbe de la figure 5 en lui ajoutant une tension positive ou négative d'effectuer un positionnement différent de la sonde par rapport à la discontinuité 18 et par rapport à la normale à la surface lorsque cela est nécessaire.

Enfin, lorsque le circuit d'asservissement représenté sur la figure 9 est utilisé pour mettre en oeuvre le moteur  $M_1$  du mécanisme 20 assurant le positionnement en hauteur de la sonde par rapport à la surface de la pièce, le circuit de traitement 88 est

constitué par le circuit de traitement sommateur représenté sur la figure 7. On règle alors ce circuit en agissant sur la tension de référence  $V_{ref}$  de façon à donner au signal de sortie  $V_s$  une allure comparable à celle qui est représentée sur la figure 8b. Ainsi, il est possible grâce au circuit de la figure 9 de caler la sonde 10 en hauteur à une distance  $h_0$  de la surface en vis-à-vis, le circuit de la figure 9 fonctionnant de la même manière qu'on l'a expliqué précédemment pour la mise en oeuvre du moteur  $M_2$ .

Conformément à une deuxième variante de réalisation de l'invention, utilisable notamment lorsque les asservissements du mécanisme 20 doivent fonctionner en numérique, le circuit d'asservissement est réalisé conformément à la représentation schématique de la figure 10. Ainsi, les signaux délivrés par les bobines  $B_1$  et  $B_2$  de la sonde 10 alimentent un circuit de traitement 94 qui peut être l'un et/ou l'autre des circuits de traitement que l'on a décrits précédemment en se référant aux figures 2 et 7. Le circuit de traitement 94 délivre au moins un signal  $V_{ph}$  et/ou  $V_s$  qui est transmis à une mémoire 96 dans laquelle on a mémorisé au préalable l'une des courbes représentées sur les figures 5, 6 et 8a, ou une famille de courbes dérivée de la combinaison de deux de ces courbes (figure 11). L'injection dans la mémoire 96 du ou des signaux émis par le circuit de traitement 94, ces signaux étant représentatifs de la position instantanée de la sonde, permet par comparaison avec les courbes mémorisées de déterminer au moyen d'un organe de calcul 98 la valeur et le signe de la correction qui doit être effectuée au moyen d'une commande d'asservissement 100 agissant sur le moteur M (qui peut être l'un quelconque des moteurs  $M_1$ ,  $M_2$  ou  $M_3$ ) pour réaliser le positionnement souhaité.

Lorsque le moteur M est constitué par le moteur  $M_2$  permettant de régler le décalage latéral  $d$  de la sonde

par rapport à la discontinuité 18, on enregistre au préalable dans la mémoire 96, la courbe de la figure 5 représentant la variation du signal  $V_{ph}$  en fonction de ce décalage  $d$  dans les mêmes conditions que celles qui vont donner lieu à la mesure. Le circuit de traitement 94 est alors constitué par le circuit de traitement de la figure 2 et délivre un signal  $V_{ph}$  dont la valeur est représentative de la position instantanée de la sonde. La comparaison de ce signal instantané avec la courbe mémorisée permet au moyen de l'organe de calcul 98 de déterminer la correction à effectuer au moyen de la commande d'asservissement 100 sur le moteur  $M_2$ .

Dans le cas où le moteur M du circuit de la figure 10 est constitué par le moteur  $M_1$  permettant de commander le positionnement en hauteur  $h$  de la sonde 10, la courbe enregistrée dans la mémoire 96 est celle de la figure 8a et le circuit de traitement 94 est constitué par le circuit de traitement sommateur de la figure 7 qui délivre un signal de sortie  $V_s$ . Comme dans le cas précédent, le signal  $V_s$  délivré par le circuit de traitement 94 est représentatif de la position instantanée de la sonde 10. La comparaison de ce signal  $V_s$  avec la courbe de variation de  $V_s$  par rapport à la hauteur  $h$  enregistrée au préalable dans la mémoire 96 permet donc de déterminer au moyen de l'organe de calcul 98 la correction qui doit être effectuée par la commande d'asservissement 100 sur le moteur  $M_1$  afin que la sonde 10 se cale sur la valeur souhaitée de la hauteur  $h$ .

Enfin, dans le cas où le circuit de la figure 10 commande le moteur  $M_3$  assurant le positionnement angulaire de la sonde par rapport à la normale à la surface de la pièce 14, il est nécessaire de tenir compte du fait que les variations du signal  $V_{ph}$  délivré par le circuit de traitement de la figure 2 par rapport à l'angle  $\alpha$  dépendent de la distance  $h$  en même temps que des conditions de mesure telles que la nature du métal, la fréquence



de travail, etc... Pour cette raison, le circuit de traitement 94 comprend à la fois le circuit de traitement par différence de phase de la figure 2 et le circuit de traitement sommateur de la figure 7. Pour la même raison, la courbe enregistrée dans la mémoire 96 est constituée par une combinaison de la courbe de la figure 6 représentant les variations du signal  $V_{ph}$  en fonction de l'angle  $\alpha$  avec la courbe de la figure 8a représentant les variations du signal  $V_s$  en fonction de la hauteur  $h$ . Plus précisément, on a enregistré au préalable dans la mémoire 96 une famille de courbes représentant les variations du signal  $V_{ph}$  en fonction du signal  $V_s$  pour différentes valeurs de l'angle  $\alpha$ . L'allure de cette famille de courbes apparaît sur la figure 11.

Le circuit de la figure 10 fonctionne de la même manière que dans les cas précédents lorsqu'il assure la commande du moteur  $M_3$ . Ainsi, les circuits de traitement de la figure 2 et de la figure 7 délivrent les signaux de sortie  $V_{ph}$  et  $V_s$ , respectivement, représentatifs de la position instantanée de la sonde 10. Les signaux  $V_{ph}$  et  $V_s$  sont comparés à la famille de courbes enregistrée dans la mémoire 96 et permettent de déterminer au moyen de l'organe de calcul 98 la correction qu'il est nécessaire d'effectuer sur le moteur  $M_3$  au moyen de la commande d'asservissement 100 pour caler la sonde sur l'orientation angulaire  $\alpha$  souhaitée.

Dans les trois cas qui viennent d'être exposés, l'entrée en mémoire des courbes des figures 5, 8a et 11 respectivement est effectuée au moyen d'un circuit d'apprentissage (non représenté) qui comprend le ou les mêmes circuits de traitement que le circuit de la figure 10 injectant les signaux  $V_{ph}$  et/ou  $V_s$  dans la mémoire, ainsi qu'une commande de mémorisation sensible à des signaux délivrés par des capteurs potentiométriques associés à la ou aux parties correspondantes du mécanisme 20 de la

figure 1, afin de donner l'indication directe des mouvements du capteur dans les trois mouvements concernées. Ainsi, lorsque le moteur M est constitué par le moteur  $M_2$  commandant le déplacement transversal de la sonde 10 par rapport à la discontinuité 18, le capteur potentiométrique agissant sur la commande de mémorisation peut être, par exemple, solidaire du secteur denté 36. Lorsque le moteur M est constitué par le moteur  $M_1$ , le capteur potentiométrique peut être disposé entre le bras fixe 22 et la colonne 28.

10 Enfin, lorsque le circuit de la figure 10 est destiné à commander le moteur  $M_3$ , la mémorisation de la courbe de la figure 11 nécessite l'utilisation de deux capteurs potentiométriques, l'un étant disposé entre le secteur denté 40 et la plaque 36 afin de détecter les variations

15 de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  du capteur, alors que l'autre est disposé entre la plaque support 22 et la colonne 28 afin de détecter les variations de la hauteur  $h$ . Grâce à ces circuits d'apprentissage, les courbes des figures 5, 8a et 11 sont enregistrées dans la mémoire 96 en déplaçant

20 régulièrement la sonde 10 latéralement, en hauteur, ou à la fois angulairement et en hauteur selon le moteur M que l'on désire commander au moyen du circuit 10.

On a représenté sur la figure 12 une troisième variante d'un circuit d'asservissement selon l'invention.

25 On retrouve sur la figure 12 la sonde 10 et ses deux bobines  $B_1$  et  $B_2$ . La sonde 10 délivre des signaux qui sont injectés dans un circuit de traitement 102 constitué par le circuit de traitement de la figure 2 ou de la figure 7 qui délivre le signal  $V_{ph}$  ou  $V_s$ . Ce signal

30 parvient à une commande de mémorisation 104 agissant sur une mémoire 106. D'autre part, le moteur M commandant le mouvement de la sonde 10 est associé à un capteur potentiométrique R qui peut être disposé comme on l'a vu sur la figure 1.

35 Si le moteur M est le moteur  $M_1$ , le potentiomètre associé à son mouvement peut être disposé, comme on l'a

vu entre le bras 22 et la colonne verticale 28 sur la figure 1. Le signal  $V_p$  délivré par ce capteur est directement proportionnel au déplacement  $h$  entre la sonde et la surface de la pièce 14. Ce signal  $V_p$  est acheminé jusqu'à la

5 mémoire 106 reliée à un organe de calcul 108 permettant d'agir par une commande d'asservissement 110 sur le moteur  $M_1$ , pour corriger la position  $h$  de la sonde 10 afin de caler celle-ci sur la distance  $h$  souhaitée.

Si le moteur  $M$  est le moteur  $M_3$ , le potentiomètre

10 associé à son mouvement peut être disposé, comme on l'a vu entre le secteur denté 40 et la plaque 36 sur la figure 1. Le signal  $V_p$  délivré par ce capteur est directement proportionnel à l'angle  $\alpha$  défini entre l'axe  $\vec{On}$  et la normale  $\vec{On}$  à la surface de la pièce 14. Ce signal  $V_p$  est acheminé

15 jusqu'à la mémoire 106 reliée à un organe de calcul 108 permettant d'agir par une commande d'asservissement 110 sur le moteur  $M_3$ , pour corriger l'inclinaison de la sonde 10 afin de caler celle-ci sur l'inclinaison souhaitée.

Si le moteur  $M$  est le moteur  $M_2$ , le potentiomètre

20 associé à son mouvement peut être disposé, comme on l'a vu entre le secteur denté 34 et la plaque 32 sur la figure 1. Le signal  $V_p$  délivré par ce capteur est directement proportionnel au déplacement  $d$  de la sonde par rapport à la discontinuité 18 sur la surface de la pièce 14. Ce signal  $V_p$

25 est acheminé jusqu'à la mémoire 106 reliée à un organe de calcul 108 permettant d'agir par une commande d'asservissement 110 sur le moteur  $M_2$ , pour corriger la position  $d$  de la sonde 10 afin de caler celle-ci sur la distance  $d$  souhaitée.

30 La mise en oeuvre de ce circuit s'effectue en deux temps. Dans un premier temps (repérage de référence), on mobilise la sonde selon le mouvement désiré, en agissant sur le moteur  $M$ , de façon à détecter au moyen du circuit de traitement 102 le passage par zéro de la caractéristique

35  $V_{ph} = f(\alpha)$  représentée sur la figure 6,  $V_{ph} = f(\alpha)$  représentée sur la figure 5 ou  $V_s = f(h)$  représentée sur la

figure 8 selon le mouvement considéré. Le signal  $V_{p0}$  correspondant délivré par le capteur potentiométrique R est alors enregistré dans la mémoire 106. Au cours de la deuxième étape du fonctionnement du circuit de la

5 figure 12 qui correspond au fonctionnement normal de ce circuit permettant d'asservir en position la sonde 10 en agissant sur le moteur M, c'est la tension mémorisée  $V_{p0}$  qui sert de référence pour mesurer l'angle  $\alpha$ , le décalage  $d$  ou la distance  $h$  à partir de la valeur instantanée du

10 signal  $V_p$  donnée par le potentiomètre R. La comparaison du signal  $V_p$  avec le signal mémorisé  $V_{p0}$  permet en effet de déterminer au moyen de l'organe de calcul 108 la correction qu'il est nécessaire d'effectuer en agissant sur le moteur M au moyen de la commande d'asservissement 110.

15 Bien entendu, si l'on se réfère à nouveau à la figure 1, on comprendra à la lecture de ce qui précède que le détecteur 10 peut comprendre une ou plusieurs sondes à courant de Foucault selon le nombre et la nature des fonctions de positionnement que l'on souhaite réaliser.

20 Ainsi, si l'une seulement des trois fonctions de positionnement doit être remplie dans les dispositifs de fonctionnement à réaliser, le détecteur est constitué par une seule sonde à courant de Foucault comme le montre la figure. Cette sonde est reliée au circuit de traitement

25 de la figure 2 ou à celui de la figure 7, ou à ces deux circuits, selon le positionnement à réaliser et selon le circuit d'asservissement utilisé. Ainsi, par exemple, le circuit d'asservissement de la figure 9 appliqué au positionnement latéral par rapport à une discontinuité, inclut

30 seulement comme on l'a vu, le circuit de traitement de la figure 2. Le mécanisme 20 peut alors être constitué seulement de la partie associée au moteur  $M_2$ . Au contraire, s'il s'agit d'un positionnement angulaire utilisant le circuit de la figure 10, ce circuit comprend à la fois

35 les circuits de traitement des figures 2 et 7 et le mécanisme 20 est alors constitué au minimum par les parties associées aux moteurs  $M_1$  et  $M_3$ .

- Le détecteur 10 peut aussi être constitué par une seule sonde comme l'illustre la figure 1 lorsqu'on souhaite réaliser à la fois un positionnement latéral par rapport à une discontinuité, un positionnement en
- 5 hauteur par rapport au plan des tôles et un positionnement angulaire autour d'un axe horizontal transversal par rapport à la discontinuité. Si l'on désire effectuer en plus un positionnement angulaire autour d'un axe perpendiculaire au premier, afin de permettre une orientation
- 10 angulaire dans toutes les directions, il est nécessaire d'utiliser une seconde sonde à courant de Foucault dont les bobines sont disposées dans un plan perpendiculaire à celui des bobines  $B_1$  et  $B_2$  de la première sonde représentée sur la figure 1.
- 15 La ou les sondes constituant le détecteur 10 comprennent toujours deux bobines  $B_1$  et  $B_2$  dont les axes sont symétriques par rapport à un axe définissant l'axe de la sonde, ce dernier étant soit confondu avec la normale en un point à la surface en vis-à-vis soit,
- 20 de façon plus générale, disposé dans un plan normal à la surface et tangent à la discontinuité au point considéré.
- Grâce au dispositif de positionnement qui vient d'être décrit à titre d'exemple, il est donc possible d'effectuer séparément ou en toute combinaison opérante
- 25 le positionnement d'un détecteur et d'un organe à positionner qui lui est associé en hauteur ou angulairement par rapport à une surface d'une pièce en vis-à-vis, ou transversalement par rapport à une discontinuité formée sur cette surface.

REVENDICATIONS

1. Procédé de positionnement d'un organe par rapport à une surface métallique au moyen d'un détecteur à courant de Foucault, selon l'une au moins des trois grandeurs géométriques que sont la distance (h) à cette surface, 5 l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) par rapport à la normale à cette surface et le décalage latéral (d) par rapport à une discontinuité formée sur cette surface, le détecteur comprenant au moins une sonde à courant de Foucault comportant deux bobines et incorporées dans un pont de mesure alimenté par un premier 10 signal, caractérisé en ce que l'on dispose les bobines symétriquement par rapport à un axe contenu dans un plan normal à la surface et passant par la discontinuité, et en ce que l'on traite les signaux aux bornes des bobines afin d'obtenir au moins un second signal qui varie avec l'une 15 desdites grandeurs géométriques en s'annulant pour une valeur donnée de cette grandeur.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on commande le déplacement dudit organe en fonction de la valeur du ou des seconds signaux, de façon 20 à donner à la grandeur géométrique, sur laquelle on veut se positionner, la valeur souhaitée.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le second signal s'annule et change de signe lorsque la grandeur géométrique correspondante atteint 25 ladite valeur donnée qui correspond à la valeur de cette grandeur sur laquelle on souhaite positionner ledit organe, et en ce que la distance et le sens du déplacement dudit organe sont déterminés par l'intensité et le signe du second signal.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on mémorise la courbe de variation du ou des seconds signaux en fonction de la grandeur correspondante, ou une courbe dérivée, et en ce que 30 l'on mesure la valeur instantanée de la grandeur géométrique sur laquelle on désire se positionner en déterminant la

valeur correspondante du ou des seconds signaux et en reportant cette valeur sur la courbe de variation mémorisée.

5 5. Procédé selon la revendication 4, prise en combinaison avec la revendication 2, caractérisé en ce que l'on commande le déplacement dudit organe en fonction de la différence entre cette valeur mesurée et une valeur de consigne.

10 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le second signal s'annule lorsque la grandeur géométrique correspondante est atteinte, en ce qu'on mémorise la valeur d'un troisième signal représentatif de la position de la sonde en fonction de la grandeur que l'on souhaite régler, pour laquelle le second signal s'annule et en ce qu'on mesure cette grandeur géométrique en comparant la  
15 valeur réelle du troisième signal à la valeur mémorisée avant de commander le déplacement dudit organe en fonction de cette valeur mesurée.

20 7. Procédé selon la revendication 3, appliqué au positionnement dudit organe par rapport à une discontinuité formant une ligne sur ladite surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et un signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, le déplacement dudit  
25 organe s'effectuant selon une direction transversale par rapport à la discontinuité et le second signal s'annulant lorsque l'axe de la sonde est à une distance prédéterminée (do) du centre de la discontinuité.

30 8. Procédé selon la revendication 3, appliqué au positionnement dudit organe par rapport à la normale en un point donné à la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et un signal résultant du traitement des signaux aux bornes  
35 des bobines de la sonde, le déplacement dudit organe étant un pivotement autour d'un axe contenu dans le plan perpen-

diculaire au plan des bobines ou à leur plan de symétrie, et perpendiculaire à l'axe de la sonde, le second signal s'annulant lorsque l'axe de la sonde forme un angle prédéterminé ( $\alpha_0$ ) avec la normale à la surface.

5                   9. Procédé selon la revendication 3, appliqué au positionnement dudit organe à une distance ( $h_0$ ) donnée de la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde, le déplacement dudit organe  
10 s'effectuant selon une direction longitudinale par rapport à son axe, le second signal s'annulant lorsque le détecteur se trouve à ladite distance ( $h_0$ ) donnée de la surface.

                  10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, appliqué au positionnement latéral ( $d$ ) dudit  
15 organe par rapport à une discontinuité formée sur ladite surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines  
20 de la sonde.

                  11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, appliqué au positionnement angulaire ( $\alpha$ ) dudit organe par rapport à la normale à la surface, caractérisé en ce que le second signal comprend un signal représentatif  
25 de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) et un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde,  
30 qui varie avec la distance ( $h$ ) séparant ledit organe de la surface, et en ce qu'on mémorise la courbe de variation du signal représentatif de la différence de phase en fonction du signal représentatif de la somme des signaux pour différentes valeurs de l'angle ( $\alpha$ ).

35                   12. Procédé selon la revendication 6, appliqué au positionnement angulaire ( $\alpha$ ) dudit organe par rapport



à la normale en un point donné à la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ), en ce qu'on mémorise un signal ( $V_p$ ) représentatif de la position de la sonde correspondant à un angle ( $\alpha_0$ ) connu que fait son axe avec la normale à la surface, pour laquelle le second signal est nul, et en ce qu'on mesure l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée ( $V_p$ ) de ce signal.

13. Procédé selon la revendication 6, appliqué au positionnement dudit organe par rapport à une discontinuité formant une ligne sur la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la différence de phase entre le premier signal alimentant le pont de mesure et le signal résultant du traitement des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec l'écart latéral ( $d$ ) dudit organe par rapport à la discontinuité, en ce qu'on mémorise un signal représentatif de la position de la sonde correspondant à un écart ( $d_0$ ) connu de l'axe de la sonde par rapport au milieu de la discontinuité pour laquelle le second signal est nul, et en ce qu'on mesure l'écart ( $d$ ) en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée de ce signal.

14. Procédé selon la revendication 6, appliqué au positionnement dudit organe à une distance ( $h$ ) donnée de la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la somme des signaux aux bornes des bobines de la sonde, qui varie avec la distance ( $h$ ), en ce qu'on mémorise le signal représentatif de la position de la sonde correspondant à une distance ( $h_0$ ) comme séparant ledit organe de la surface, pour laquelle le second signal est nul, et en ce qu'on mesure la distance ( $h$ ) en comparant le signal représentatif de la position de la sonde à la valeur mémorisée de ce signal.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, appliqué au réglage de la distance (h) séparant ledit organe de la surface, caractérisé en ce que le second signal est un signal représentatif de la somme  
5 des signaux aux bornes des bobines de la sonde.

16. Dispositif de positionnement d'un organe par rapport à une surface (14) au moyen d'un détecteur à courant de Foucault (10), notamment selon l'une au moins des trois grandeurs géométriques que sont la distance (h)  
10 à cette surface, l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) par rapport à la normale à cette surface et le décalage latéral (d) par rapport à une discontinuité formée sur cette surface, le détecteur (10) comprenant au moins une sonde à courant de Foucault comportant deux bobines ( $B_1$ ,  $B_2$ ) incorporées  
15 dans un pont de mesure alimenté par un premier signal, caractérisé en ce que les bobines ( $B_1$ ,  $B_2$ ) sont disposées symétriquement par rapport à un axe contenu dans un plan normal à la surface et passant par la discontinuité, le dispositif comprenant des moyens de traitement (88, 94, 102)  
20 des signaux aux bornes des bobines de la sonde délivrant au moins un deuxième signal ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) qui varie avec l'une desdites grandeurs géométriques (h,  $\alpha$ , d) en s'annulant pour une valeur donnée de cette grandeur.

17. Dispositif selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend de plus des moyens (92, M - 100, M - 110,  $M_3$ ) pour commander le déplacement dudit organe en fonction de la valeur du second signal ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ).

18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que les moyens de traitement (88) délivrent un  
30 ou des deuxièmes signaux ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) qui varient avec la grandeur géométrique correspondante (h,  $\alpha$ , d) en changeant de signe lorsque cette grandeur atteint la valeur ( $h_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $d_0$ ) sur laquelle on souhaite positionner ledit organe et en ce que les moyens de commande (92, M) déplacent le  
35 détecteur sur une distance et dans un sens déterminés par l'intensité et le signe du second signal ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ).

19. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que les moyens de traitement (94) délivrent un ou des deuxièmes signaux ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) qui varient avec la grandeur géométrique correspondante ( $h$ ,  $\alpha$ ,  $d$ ) en s'annulant lorsque cette grandeur atteint une grandeur prédéterminée des moyens (96) étant prévus pour mémoriser la courbe de variation de ce ou de ces seconds signaux ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) en fonction de la grandeur géométrique ( $h$ ,  $\alpha$ ,  $d$ ) que l'on désire régler et des moyens (98) étant prévus pour calculer la correction à effectuer à l'aide des moyens de commande (100, M) par comparaison de la valeur instantanée du ou des seconds signaux ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) déterminée par les moyens de traitement (94) avec la courbe de variation mémorisée.

20. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que les moyens de traitement (102) délivrent un deuxième signal ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) qui varie avec l'une des grandeurs géométriques ( $h$ ,  $\alpha$ ,  $d$ ) en s'annulant lorsque cette grandeur s'annule, des moyens (R) étant prévus pour délivrer un troisième signal ( $V_p$ ) représentatif de la position de la sonde (10) par rapport à la grandeur géométrique ( $h$ ,  $\alpha$ ,  $d$ ) que l'on désire régler, des moyens (104, 106) étant prévus pour mémoriser la valeur ( $V_{p0}$ ) de ce troisième signal pour laquelle le deuxième signal ( $V_{ph}$ ,  $V_s$ ) s'annule, et des moyens (108) étant prévus pour calculer la correction à effectuer à l'aide des moyens de commande (110, M<sub>3</sub>) par comparaison de la valeur instantanée du troisième signal ( $V_p$ ) avec la valeur mémorisée ( $V_{p0}$ ).

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 16 à 20, caractérisé en ce que les moyens de traitement (88, 94, 102) comprennent des moyens (46) délivrant un signal ( $V_b$ ) représentatif des signaux ( $V_{b1}$ ,  $V_{b2}$ ) aux bornes des bobines ( $B_1$ ,  $B_2$ ) de la sonde (10), des moyens (48) pour ajouter à ce signal ( $V_b$ ) un signal ( $V_o$ ) correspondant au signal injecté dans le pont, déphasé de  $\frac{\pi}{2}$ , des moyens (52, 54) pour transformer la somme ( $V_c$ ) ainsi obtenue ainsi que le signal injecté dans le pont de mesure en signaux logiques, et un discriminateur de phases (58)

sensible aux signaux logiques représentatifs de la somme  $(V_c)$  et du signal injecté dans le pont de mesure pour délivrer un signal de sortie  $(V_{ph})$  qui s'annule lorsque la grandeur à mesurer  $(\alpha, d)$  atteint ladite valeur donnée.

5           22. Dispositif selon la revendication 21, caractérisé en ce que des moyens (56) sont prévus pour déphaser le signal logique représentatif du signal injecté dans le pont de mesure avant qu'il ne parvienne dans le discriminateur de phases (58), afin de régler la valeur de la  
10 grandeur à mesurer  $(\alpha, d)$  pour laquelle le signal de sortie  $(V_{ph})$  s'annule.

          23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 ou 22, appliqué au positionnement latéral  $(d)$  dudit organe par rapport à une discontinuité (18) formant  
15 une ligne sur ladite surface (14), caractérisé en ce que les moyens (92, M - 100, M - 110, M) pour commander le déplacement dudit organe comprennent des moyens  $(M_2, 34, 36)$  pour déplacer ledit organe selon une direction transversale par rapport à ladite ligne, le signal de sortie  $(V_{ph})$   
20 du discriminateur de phases (58) s'annulant lorsque l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde passé par le centre de la discontinuité.

          24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 ou 22, appliqué au positionnement angulaire  $(\alpha)$  dudit organe par rapport à la normale  $(\vec{On})$  à la surface, caractérisé en ce que les moyens (92, M - 100, M - 110, M)  
25 pour commander le déplacement dudit organe comprennent des moyens  $(M_3, 38, 40)$  pour faire pivoter ledit organe autour d'un axe (42) perpendiculaire à l'axe de la sonde, le signal de sortie  $(V_{ph})$  du discriminateur de phases (58)  
30 s'annulant lorsque l'axe  $\vec{Oa}$  de la sonde est confondu avec la normale  $\vec{On}$  à la surface.

          25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 16 à 20, caractérisé en ce que les moyens de traitement (88, 94, 102) comprennent des moyens (84) pour  
35 effectuer la somme des tensions aux bornes des bobines  $(B_1, B_2)$  de la sonde (10) et des moyens (86) pour intégrer

cette somme, délivrant un signal de sortie ( $V_s$ ) qui s'annule lorsque la grandeur à mesurer ( $h$ ) atteint ladite valeur donnée.

26. Dispositif selon la revendication 25, caractérisé en ce que des moyens (87) sont prévus pour ajouter au signal de sortie délivré par les moyens d'intégration (86) une tension de référence ( $V_{ref}$ ) afin de régler la valeur de la grandeur à mesurer ( $h$ ) pour laquelle le signal de sortie ( $V_s$ ) s'annule.

27. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 25 ou 26, appliqué au positionnement dudit organe à une distance ( $h_0$ ) donnée de la surface, caractérisé en ce que les moyens (92, M - 100, M - 110, M) pour commander le déplacement dudit organe comprennent des moyens ( $M_1$ , 24, 26) pour déplacer ledit organe selon une direction verticale, le signal de sortie ( $V_s$ ) des moyens d'intégration (86) s'annulant lorsque la distance entre le détecteur et la surface atteint la valeur ( $h_0$ ) donnée.

28. Dispositif selon la revendication 19, appliqué au positionnement angulaire ( $\alpha$ ) dudit organe par rapport à la normale ( $\vec{On}$ ) à la surface (14); caractérisé en ce que les moyens de traitement (94) comprennent les moyens de traitement selon l'une des revendications 21 ou 22 et les moyens de traitement selon l'une des revendications 25 ou 26, et en ce que les moyens pour commander le déplacement dudit organe comprennent les moyens de commande ( $M_3$ , 38, 40) selon la revendication 24 et les moyens de commande ( $M_1$ , 24, 26) selon la revendication 27.

1/5



FIG. 1

2/5

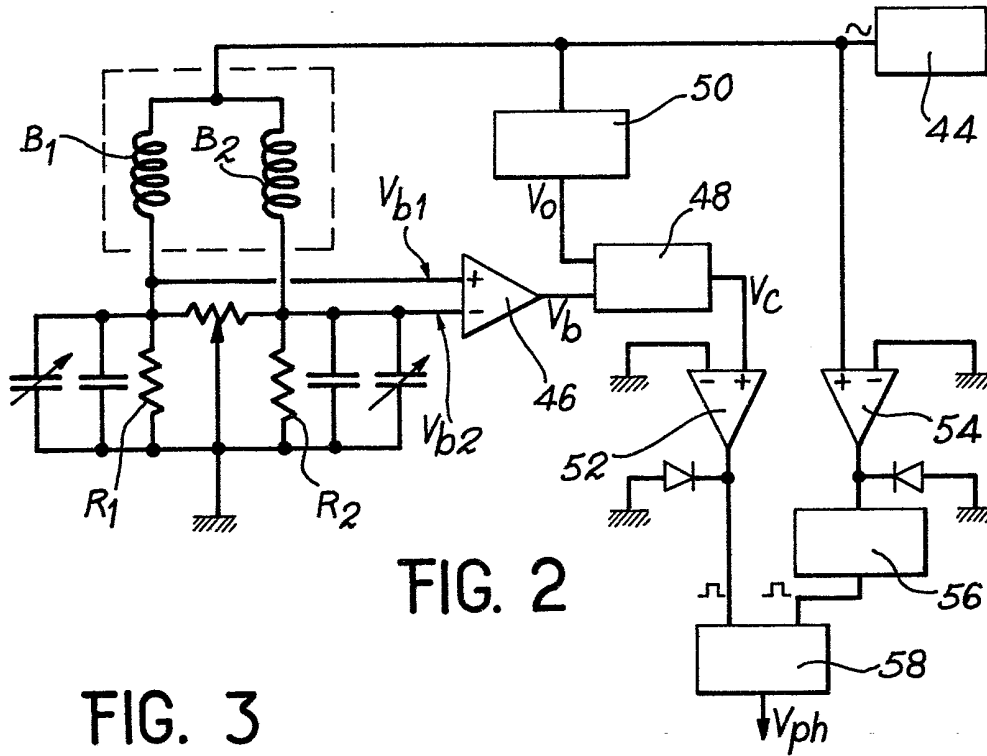


FIG. 2

FIG. 3

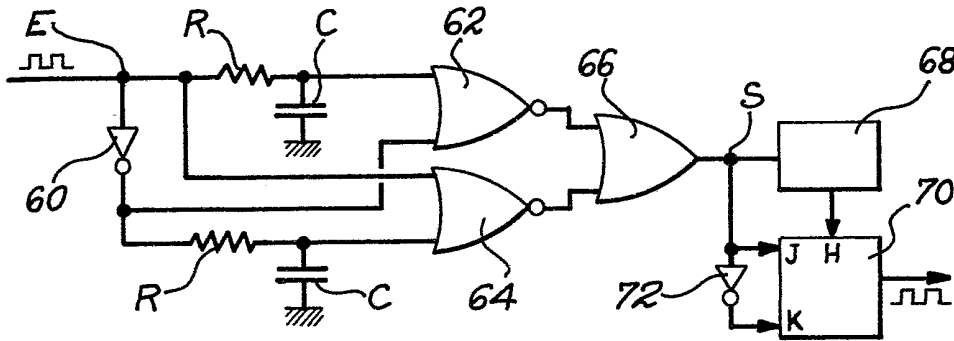
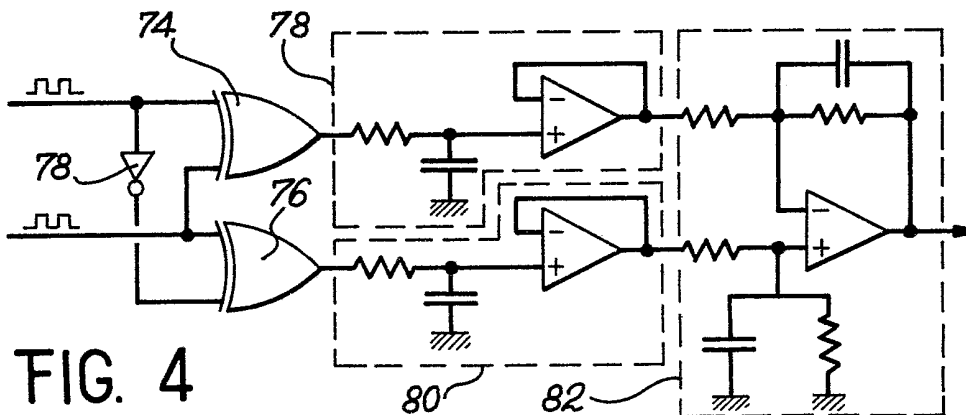


FIG. 4



3/5

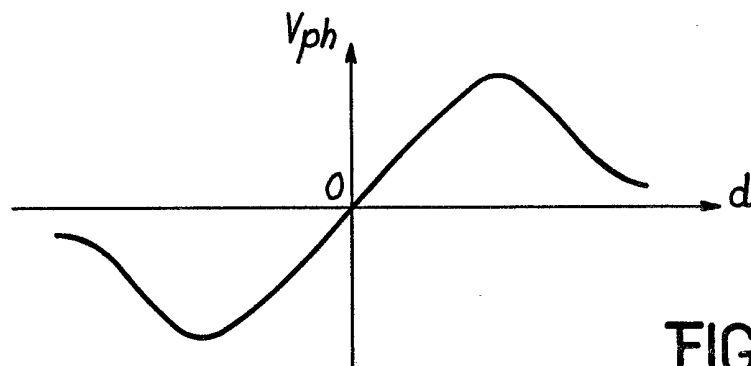


FIG. 5

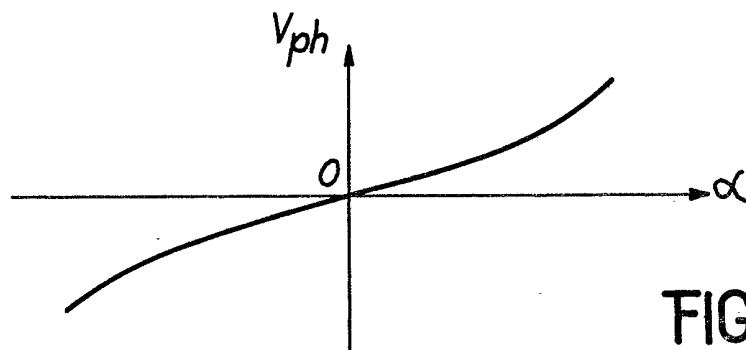


FIG. 6

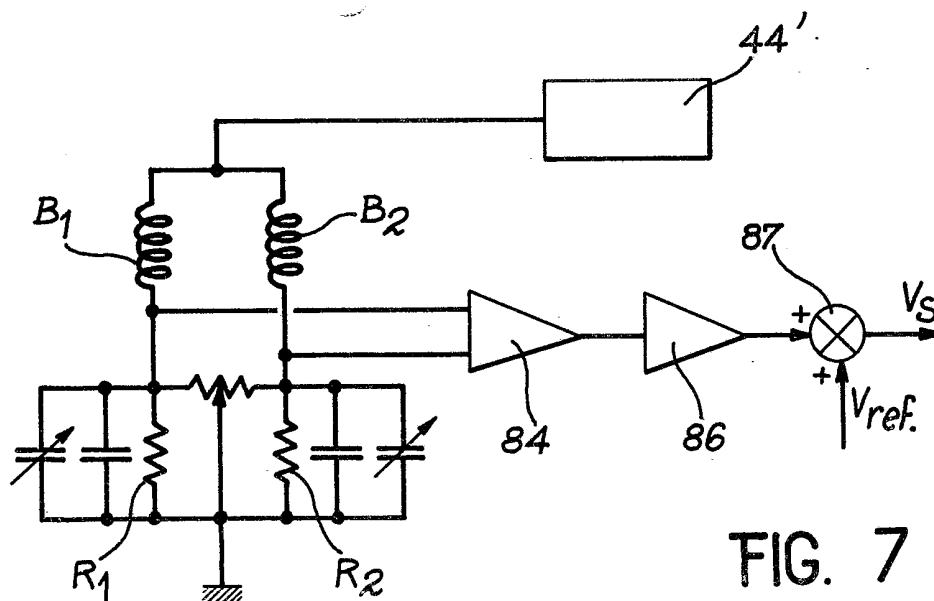


FIG. 7



4/5

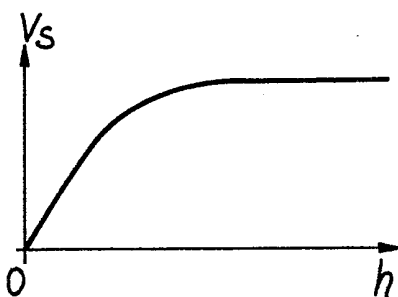
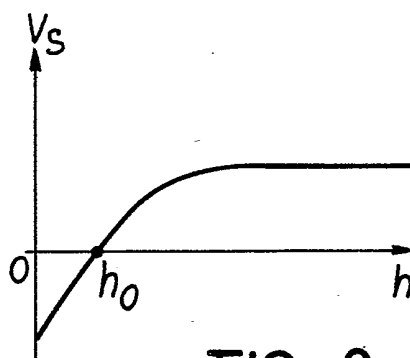
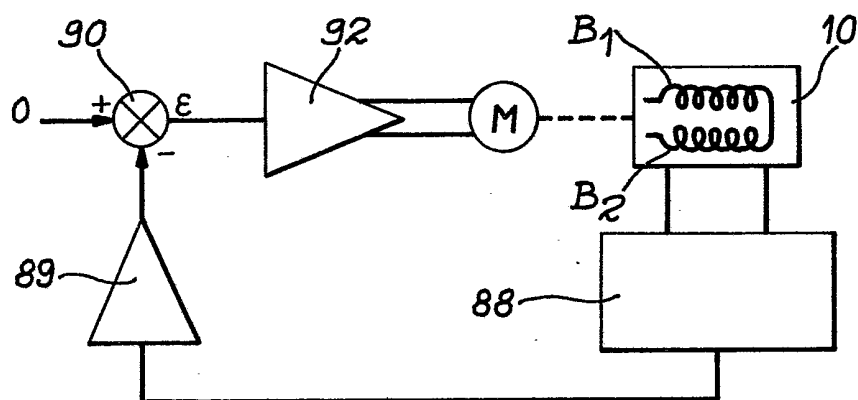
FIG. 8<sub>a</sub>FIG. 8<sub>b</sub>

FIG. 9

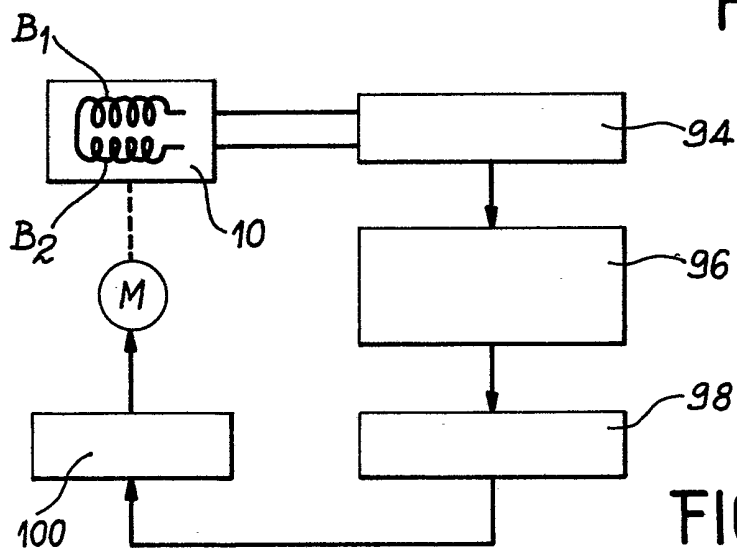


FIG. 10

5 / 5

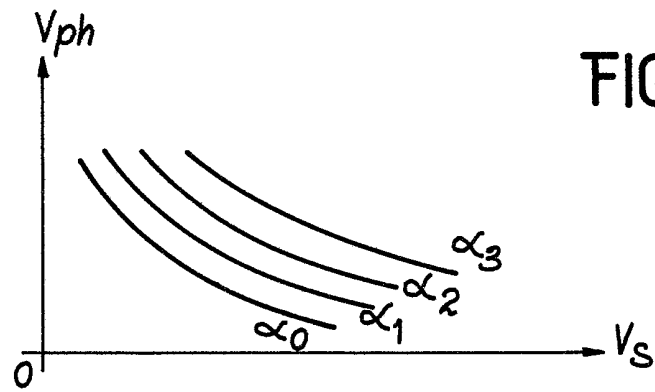


FIG. 11

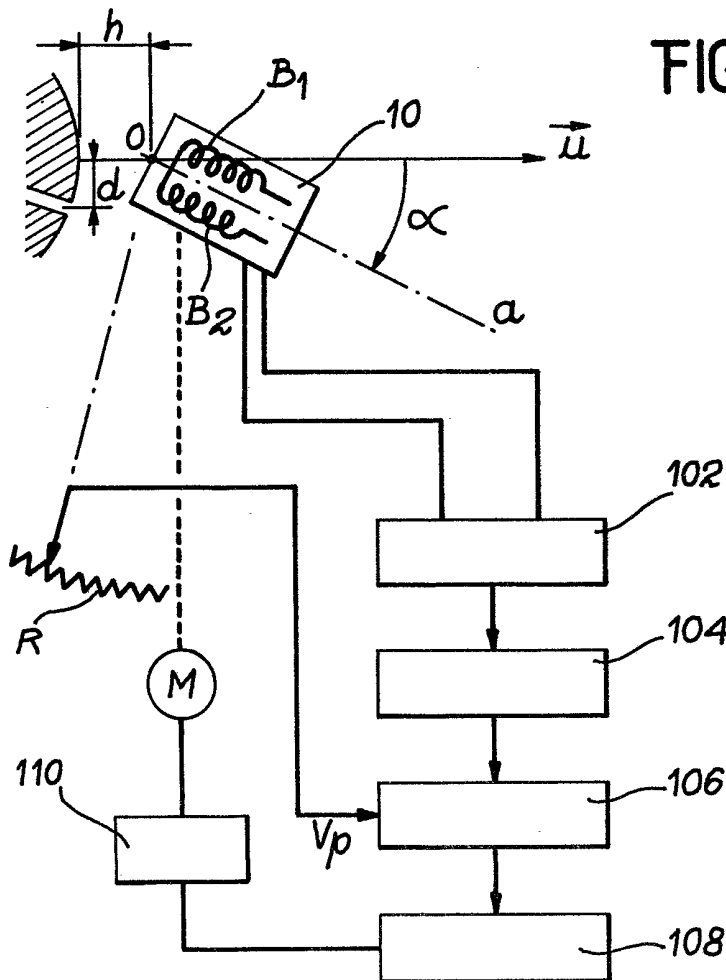


FIG. 12