

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②①

N° 83 07997

⑤④ Appareil, du type manipulateur programmable, pour déplacer un outil associé à un élément fonctionnel en fonction de signaux d'entrée.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). B 25 J 9/00; B 23 Q 15/12.

②② Date de dépôt..... 13 mai 1983.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : US, 13 mai 1982, n° 06/377 925.

④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 46 du 18-11-1983.

⑦① Déposant : Société dite : CINCINNATI MILACRON INC. — US.

⑦② Invention de : Malcolm Frederick Davis, Charles Miles Linser et Brian John Resnick.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Rinuy, Santarelli,
14, av. de la Grande-Armée, 75017 Paris.

L'invention concerne d'une manière générale des manipulateurs commandés par un programme, et plus particulièrement l'adaptation de l'activité programmée d'un manipulateur à des variations non programmées de paramètres concernant un travail à effectuer.

A la différence des machines-outils classiques dans lesquelles les axes principaux de mouvement sont des axes de translation correspondant aux axes de coordonnées d'un système de coordonnées rectangulaires à trois dimensions, les manipulateurs présentent une plus grande souplesse en utilisant des axes de rotation pour effectuer l'orientation d'un outil ou d'une pièce qu'ils portent. Grâce à cette plus grande souplesse, qui est particulièrement le cas des machines articulées ou anthropomorphiques, des manipulateurs programmables sont utilisés pour des travaux exigeant un mouvement commandé et qui étaient jusqu'à présent exécutés manuellement, quand bien même le milieu de travail soulevait de graves dangers pour la santé. Des exemples d'un tel travail comprennent le soudage à la molette, l'enduction par pulvérisation et le nettoyage de pièces brutes de fonderie. L'obstacle principal à toute application de ce type réside en l'adaptation interne de la commande de mouvement à des variations non programmées de paramètres de traitement tels que des variations du bain de soudure dans le cas de joints soudés, des variations de viscosité des fluides de revêtement en fonction de la température et de l'humidité, et des variations du couple de coupe au passage de bavures et de carottes de fonderie. Bien qu'il existe un certain nombre de procédés modifiant une branche de programme pour tenir compte de conditions détectées et exigeant des écarts, il est inconnu, jusqu'à présent, de faire varier automatiquement la vitesse du mouvement du manipulateur commandé par programme pour tenir compte de paramètres de processus tels que ceux mentionnés. Néanmoins, ces actions, ainsi que de nombreuses autres, peuvent être aisément adaptées à des variations paramétriques non programmées en

permettant au mouvement programmé d'être soumis à des variations de vitesse définies conformément à une fonction convenable concernant un paramètre de processus mesuré et la vitesse de parcours.

5 L'invention a donc pour objet un manipulateur et une commande destinés à déplacer un élément fonctionnel en fonction de signaux d'entrée programmés décrivant le mouvement et réagissant à des variations non programmées d'un paramètre de processus pour faire varier la vitesse
10 du mouvement.

L'invention a également pour objet un manipulateur et une commande destinés à déplacer un élément fonctionnel en fonction d'une description préprogrammée du mouvement et réagissant sélectivement à des variations
15 non programmées d'un paramètre de processus de travail pour faire varier la vitesse du mouvement.

L'invention a pour autre objet un manipulateur et une commande destinés à déplacer un élément fonctionnel en fonction d'une description préalablement programmée
20 du mouvement et réagissant à des valeurs fonctionnelles d'un paramètre de processus mesuré pour faire varier la vitesse du mouvement.

L'invention a également pour objet un manipulateur et une commande destinés à déplacer un élément fonctionnel en fonction de signaux d'entrée définissant des positions par rapport à un système de coordonnées rectangulaires et des vitesses de course entre ces positions, et réagissant à des valeurs mesurées du paramètre de processus de travail pour faire varier la vitesse réelle de
30 parcours pendant un mode de fonctionnement automatique.

L'invention concerne donc un manipulateur et une commande qui, en fonction de signaux d'entrée définissant des positions d'un point associé à un élément fonctionnel et des vitesses de parcours entre ces positions,
35 commandent un mouvement du point le long d'un trajet préalablement défini. Les positions sont décrites en référence aux axes d'un système de coordonnées

tridimensionnelles et le manipulateur comporte des axes de rotation reliant des éléments de la machine et définissant le système de coordonnées de la machine. Un mouvement est réalisé par interpolation de points intermédiaires

5 correspondant à des points extrêmes de segments incrémentiels situés le long du parcours et par transformation des coordonnées des points intermédiaires en coordonnées machine pour commander les mouvements des axes de coordonnées de la machine. A chaque incrément est associée une

10 vitesse de parcours incrémentielle, utilisée pour calculer une longueur de segment incrémentielle. Des moyens sont prévus pour contrôler en continu un paramètre de processus de travail et la commande exécute sélectivement un procédé pour évaluer une fonction mettant en relation une valeur

15 paramétrique avec la vitesse d'entrée. Une valeur de vitesse incrémentielle, dérivée de la fonction de vitesse de processus de travail, est produite sélectivement et utilisée par le processus d'interpolation de points intermédiaires pour faire varier effectivement la vitesse du

20 point le long du parcours.

L'invention sera décrite plus en détail en regard des dessins annexés à titre d'exemple nullement limitatif et sur lesquels:

. la figure 1 est une élévation d'un manipulateur articulé, cette vue représentant également schématiquement le raccordement de ce manipulateur à la commande;

25

. la figure 2 est un schéma simplifié de la commande et de ses modules associés d'interface d'entrée et de sortie;

30 . la figure 3 est une représentation géométrique de systèmes de coordonnées généralisées, définis par la machine;

. les figures 4A à 4C sont des représentations géométriques de la commande du mouvement effectuée sur l'outil porté par le manipulateur;

35

. les figures 5A et 5B sont des organigrammes des deux programmes principaux de commande de mouvement;

. les figures 6A à 6D sont des organigrammes de sous-programmes et de parties principales de l'organigramme de la figure 5A; et

5 . la figure 7 est un organigramme du programme de sélection de vitesse utilisé par le programme d'interpolation de la figure 5A.

A titre illustratif de l'invention, l'association d'un manipulateur et de sa commande, constituant une forme préférée de réalisation, sera décrite ci-après. Le manipulateur et la commande correspondent à des produits de la firme Cincinnati Milacron Inc. Il convient de noter que la structure particulière du manipulateur de la forme préférée de réalisation n'est pas limitée à la forme décrite, mais que toute machine comportant des axes de rotation reliés en série, commandés par interpolation de points intermédiaires le long d'un trajet prédéterminé, défini en référence à un système de coordonnées rectangulaires ou à tout autre système de coordonnées, défini indépendamment des axes de la machine, convient pour la mise en oeuvre de la présente invention.

La figure 1 représente un manipulateur articulé relié à une commande 35 et portant un outil 122 de rectification et son moteur 120. Le manipulateur comprend une embase 12 sur laquelle est montée de façon à pouvoir tourner une plaque épaulée 18 au-dessous de laquelle sont disposés un actionneur tournant 14 et un accouplement intermédiaire 16. L'actionneur 14, l'accouplement 16 et la plaque 18 de montage coopèrent pour faire tourner la structure du manipulateur autour d'un axe vertical passant par le centre de la plaque 18. Un bras supérieur 22 est monté de façon à pouvoir tourner sur la plaque 18, par une articulation 23 d'épaule, et il peut tourner autour d'un axe horizontal coupant l'axe vertical au centre de l'articulation 23. Un actionneur commande la rotation du bras supérieur 22 autour de cet axe. Un avant-bras 26 est relié au bras supérieur 22, par une articulation de coude 25, et il peut être mis en

rotation autour de cette articulation au moyen d'un actionneur 24 qui peut être un actionneur linéaire tel qu'un groupe à piston et cylindre, ou bien un ensemble à vis et écrou. Les actionneurs 14, 20 et 24 sont suffisamment dimensionnés pour déplacer l'avant-bras 26 afin d'en placer l'extrémité dans toute position située à l'intérieur d'un volume défini par les limitations mécaniques de la structure.

Pour donner une souplesse maximale aux mouvements réalisés par la commande du manipulateur, trois axes supplémentaires de mouvement sont situés en aval de l'avant-bras 26. Ces trois axes supplémentaires sont destinés à commander l'orientation par rapport à un point de référence de l'outil porté par le manipulateur, ce point de référence pouvant être changé de position. Le premier de ces trois axes d'orientation correspond à une rotation autour d'un axe horizontal situé à l'extrémité de l'avant-bras 26 et commandé par un actionneur 28 afin de modifier l'angle de tangage d'un outil porté par le manipulateur. Le deuxième axe d'orientation est perpendiculaire au premier et il fait varier l'angle de lacet de l'outil porté par le manipulateur, ce deuxième axe étant commandé par un actionneur 30. Le troisième axe d'orientation, destiné à la commande de roulis, est perpendiculaire aux premier et deuxième axe et il est commandé par un actionneur 32. Ces trois axes d'orientation constituent le poignet 27 du manipulateur 10.

L'extrémité du poignet 27 porte un plateau 33 sur lequel est monté le moteur 120 portant l'outil 122 de rectification. Un transducteur 24, fixé au moteur 120 de l'outil, est destiné à renvoyer un paramètre mesuré du processus de travail. Le moteur 120 et l'outil 122 constituent un élément fonctionnel 31 porté par le manipulateur 10. Il existe une large gamme d'outils ou de dispositifs de préhension de pièces pouvant être utilisés suivant le travail à effectuer. Le programme mémorisé pour la commande du mouvement de l'élément fonctionnel 31

indique les positions d'un centre 34 de l'outil et les orientations de l'élément fonctionnel 31 par rapport à ce centre 34 d'outil.

La commande 35 comprend une console 36 permettant une communication entre un opérateur et le manipulateur 10, un dispositif 38 de commande destiné à traiter un programme mémorisé dirigeant les mouvements du manipulateur 10, et un circuit 39 de servocommande qui réagit au dispositif 38 de façon à commander les actionneurs 14, 20, 24, 28, 30 et 32 de la machine. Etant donné que le type particulier d'actionneurs et de circuits de commande n'entre pas dans le cadre de l'invention, ces dispositifs ne seront pas décrits plus en détail.

La figure 2 est une vue schématique détaillée de la commande décrite ci-après. La commande 35 comprend un calculateur numérique programmable 40 d'usage général comprenant une mémoire 42, une unité centrale de traitement 46 et une interface d'entrée/sortie 44. Ces trois éléments sont interconnectés par un bus 48. Les interactions entre le calculateur 40, le manipulateur 10 et un opérateur sont transmises par des signaux passant par un bus extérieur 50 qui est connecté à un certain nombre de périphériques. Les périphériques les mieux adaptés à une utilisation par un opérateur comprennent un dispositif 52 de formation en bout de fil destiné à la production manuelle d'instructions de mouvements pour former un programme mémorisé, un clavier 64 destiné à l'introduction d'informations dans la mémoire 42 du calculateur, et un tube à rayon cathodique 62 destiné à l'affichage de données concernant l'activité en cours du manipulateur et de son programme mémorisé.

Les périphériques utilisés pour l'interface entre le manipulateur 10 et la commande 35 comprennent: une interface 54 d'entrée/sortie de commande qui échange un certain nombre de signaux de dispositifs discrets entre le manipulateur et la commande, nécessaires à la manoeuvre du manipulateur 10; l'interface 56 d'entrée/

sortie d'utilisateur qui échange des signaux entre les dispositifs spécialisés à une tâche et associés au manipulateur 10, cette interface étant représentée dans ce cas comme comprenant un convertisseur analogique/numérique
5 connecté au transducteur 124; et l'interface 56 de commande d'axe qui commande directement le mouvement des actionneurs. Le dispositif 68 d'entraînement d'axes accepte des données sous forme numérique et exécute une conversion numérique/analogique afin de transmettre un
10 signal analogique à un dispositif servoamplificateur et compensateur d'axes 68. Les signaux analogiques compensés sont ensuite appliqués à l'entrée d'un actionneur 70 qui entraîne un élément 71 de robot qui lui est relié mécaniquement. Un dispositif 72 de réaction, relié mécaniquement
15 à l'actionneur 70 ou à l'élément 71 de robot, produit un signal de réaction représentant le mouvement réel de l'élément mené du bras de robot. Bien qu'il existe plusieurs configurations pour la commande de la boucle d'asservissement de chaque élément du bras de robot, dans la forme
20 préférée de réalisation, le dispositif 66 d'entraînement d'axes, le servoamplificateur 68, l'actionneur 70 et l'élément 72 de réaction sont utilisés en nombres égaux au nombre d'axes commandés sur le manipulateur.

Deux autres dispositifs périphériques permettent
25 un échange de données de programme. Tout d'abord, une interface 58 de transmission de données extérieure en ligne représente un dispositif qui permet l'introduction de données dans le calculateur 40, à partir d'une mémoire extérieure de données, tandis que le manipulateur exécute
30 un cycle de fonctionnement. Ensuite, une interface 60 de mémorisation de données hors ligne permet à des données de programme d'être introduites dans le calculateur au moyen de dispositifs tels qu'un lecteur de bande perforée, un lecteur de cassette, etc.

35 La mémoire 42 du calculateur 40 comprend deux parties principales, la première étant une mémoire 74 de données qui mémorise toutes les données numériques,

et la seconde constituant le système d'exploitation du manipulateur. Le système d'exploitation est un groupe de programmes de commande dirigeant la marche du calculateur 40 afin d'assurer la génération du programme de l'utilisateur et l'exécution du programme mémorisé de l'utilisateur. A des fins d'illustration, les programmes du système d'exploitation sont représentés par l'ensemble en relation fonctionnelle, comprenant l'ensemble 76 d'entrée/sortie, l'ensemble 92 de mode de formation et l'ensemble 94 de mode automatique.

L'ensemble 76 d'entrée/sortie comprend un programme 78 d'entrée/sortie de données, un programme 80 d'entrée/sortie du dispositif de formation en bout de fil, un programme 82 d'entrée/sortie du tube à rayon cathodique et du clavier, un programme 84 d'entrée/sortie de commande, un programme 85 d'entrée/sortie d'entraînement d'axes, un programme 86 de transmission de données extérieures et un programme 88 d'entrée/sortie d'utilisateur. Chacun de ces programmes d'entrée/sortie correspond à un type différent de périphériques en interface avec la commande et a pour effet de commander l'échange de signaux entre le périphérique particulier et le calculateur 40.

Le système d'exploitation contient également un programme 90 de commande de mode destiné à commuter la commande du calculateur entre les divers modes de fonctionnement, par exemple le mode manuel, le mode en formation, le mode automatique, etc. Etant donné que seul le mode automatique est nécessaire dans le cas de la présente invention, seul ce mode sera décrit en détail.

Le système 92 à mode de formation comprend un programme 96 d'édition de données et un programme fonctionnel 98 de formation. Ces deux programmes commandent le fonctionnement du manipulateur pendant le mode en formation, et les particularités de ces programmes sont décrites dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 920 972 ou sont disponibles auprès de la firme Cincinnati Milacron Inc. L'ensemble 94 à mode automatique comprend un programme

102 d'extraction de données, un programme 104 de calcul de trajet ou de parcours, un programme 106 de transformation, un programme 108 d'entraînement ou de manoeuvre d'axes, un programme 110 de commande de fonction, un
5 programme 111 de service périphérique et un programme 112 de modification de vitesse. Les détails des programmes de calcul de parcours et de modification de vitesse seront décrits ci-après et des détails des autres programmes sont décrits
10 notamment dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 909 600 ou sont disponibles auprès de la firme Cincinnati Milacron Inc.

Le système de coordonnées machine du manipulateur 10 sera décrit en regard du schéma de la figure 3. Comme indiqué précédemment, chaque axe de mouvement du
15 manipulateur 10 est un axe de rotation. On suppose que le système de coordonnées rectangulaires de la figure 3 a son origine située en un point légèrement au-dessus de la plaque 18 de montage et coïncidant avec l'axe de rotation de l'actionneur 20. L'axe Z de coordonnées coïncide
20 avec le centre de rotation de la plaque 18 de montage. Par conséquent, la rotation de la plaque 18 de montage correspond à un mouvement sur l'angle "d". Le segment de droite 130 correspond au bras supérieur 22 et une rotation autour du centre de l'actionneur 20 correspond
25 à une rotation du segment 130 sur l'angle "a" mesuré positivement par rapport à l'axe Z, dans le sens indiqué par la flèche. Le segment de droite 132 correspond à l'avant-bras 26 et des rotations de cet avant-bras 26 autour de l'articulation 25 du coude correspondent à des
30 rotations du segment 132 sur l'angle "b" mesuré positivement dans le sens indiqué par la flèche sur la figure 3. Le premier axe de flexion du poignet 27, sous l'action de l'actionneur 28, correspond à une rotation d'un segment de droite 134 sur un angle "c" mesuré dans le
35 sens négatif à partir du prolongement du segment 132, comme indiqué par la flèche. Le deuxième axe de flexion du poignet 27 correspondant à une rotation de l'actionneur 30

est illustré par la rotation d'un segment de droite 136 sur un angle "E" mesuré par rapport à l'axe X et représenté par une projection dans le plan X-Y. Le roulis du poignet 27 correspond à la rotation du segment 136 indiquée par l'angle "R". Le centre 34 de l'outil est défini comme étant un point situé à l'extrémité du segment de droite 136. La longueur du segment 136 est égale à la longueur de l'outil, spécifiée par l'utilisateur, et à la longueur des éléments du poignet 27 situés au-delà de l'axe de lacet. Le programme mémorisé comprend les coordonnées sur les axes X, Y et Z du centre 34 de l'outil, ainsi que les angles d'orientation D, E et R. L'angle d'orientation D est égal à la somme des angles "a", "b" et "c". Comme montré sur la figure 3, le centre 34 de l'outil est situé sur l'axe du segment 136; cependant, un centre d'outil déporté peut également être toléré. Il apparaît à présent que, connaissant les longueurs des segments 130 à 136 et pourvu que le programme spécifie les angles d'orientation D, E et R du tangage, du lacet et du roulis, respectivement, et pourvu que les coordonnées X, Y et Z du centre 34 de l'outil soient spécifiées, la combinaison particulière des angles a, b, c et d des actionneurs peut être déterminée. Ces angles des actionneurs, ainsi que les angles des actionneurs des axes d'orientation E et R constituent le système de coordonnées machine. Les détails du procédé de transformation des coordonnées de programme en coordonnées machine sont décrits dans le brevet n° 3 909 600 précité, sauf en ce qui concerne l'axe de roulis pour lequel le système de coordonnées généralisées correspond au système de coordonnées machine tel que décrit ci-dessus.

Le principe de commande de trajet ou de parcours selon l'invention sera à présent décrit en regard des schémas géométriques des figures 4A à 4C. Sur la figure 4A, le segment de droite 140 représente le trajet suivi par le centre de l'outil pour passer d'un point programmé P0 à un point programmé P1. La commande détermine par

interpolation des points intermédiaires P_i le long de ce trajet en ligne droite. D'autres trajets prédéterminés, par exemple circulaires ou paraboliques, peuvent être choisis pour l'interpolation. Les coordonnées des points P_0 , P_1 et des points intermédiaires P_i sont toutes définies par rapport au système de coordonnées X, Y, Z . Si on suppose que le centre de l'outil doit partir, au repos, du point P_0 et s'arrêter de nouveau au point P_1 , le processus de commande de trajet établit une accélération et un ralentissement automatiques vers et à partir d'une vitesse programmée. Bien que les points intermédiaires P_i soient produits conformément à une période Δt d'intervalle d'incrément fixe, la distance incrémentielle réelle entre les points P_i varie lorsque la vitesse du centre de l'outil varie. Ainsi, la distance incrémentielle ΔS , qui correspond à la distance parcourue pendant un intervalle incrémentiel constant ΔT , apparaît comme variant entre la partie à vitesse constante du mouvement et les phases d'accélération et de ralentissement du mouvement demandé.

Conformément au processus fondamental de commande de trajet utilisé, les variations de vitesse entre les points P_0 et P_1 sont effectuées afin de ne pas introduire de discontinuité de vitesse entre les phases d'accélération et de ralentissement.

La figure 4B représente la caractéristique de vitesse d'un intervalle typique tel que l'intervalle 140. On part, au début de l'intervalle, à une vitesse initiale V_i qui peut être, mais sans que cela soit nécessaire, égale à zéro, et une fonction continue d'accélération donne la courbe 142 pour amener le centre de l'outil à la vitesse programmée V_p au cours d'une période d'accélération T_A . Après une période à vitesse constante, la commande amorce une phase de ralentissement pour réduire la vitesse du centre jusqu'à une vitesse finale V_f qui suit une fonction continue de ralentissement pour donner une courbe 144. Le ralentissement de la vitesse programmée à la vitesse finale, cette dernière pouvant, comme

précédemment, être égale à zéro, sans que cela soit nécessaire, s'effectue au cours d'une période de ralentissement T_d . La transition progressive vers la phase à vitesse constante et à partir de cette phase correspond
5 au comportement réel à prévoir d'après la structure physique du manipulateur en tenant compte de l'inertie des actionneurs et des éléments.

La figure 4C représente l'écart par rapport à la caractéristique de vitesse typique établie par la
10 fonction de vitesse sélective de l'invention. Initialement, la vitesse suit la courbe caractéristique 142 jusqu'à atteindre une valeur minimale V_{\min} au-dessous de laquelle aucune variation sélective de vitesse n'est permise. Une fois que la vitesse réelle a dépassé la vitesse minimale
15 V_{\min} et en supposant qu'une valeur paramétrique du processus de commande exige une réduction de vitesse, la commande de vitesse s'écarte de la fonction d'accélération normale et la vitesse est modifiée conformément à la fonction de vitesse sélective ou adaptative. Des valeurs incré-
20 mentielles de vitesse sont produites conformément à une fonction préalablement définie concernant la vitesse et un paramètre de processus de travail, et elles sont utilisées par l'algorithme de commande de trajet pour déterminer par interpolation des points intermédiaires le long du trajet.
25 Tant que les vitesses incrémentielles adaptatives calculées sont inférieures à la vitesse non adaptative V_{ia} , qui est effective lorsque la fonction de vitesse adaptative produit en premier une valeur réduite, la commande est assurée par les valeurs calculées. Une fois que la
30 valeur adaptative est égale ou supérieure à la valeur non adaptative initiale V_{ia} , la valeur initiale V_{ia} est remplacée et la phase non adaptative se poursuit. Cet effet est illustré par le tronçon de courbe 146 compris entre T_i et T_r . Au cours de cette phase adaptative, on
35 voit que la vitesse atteint une valeur minimale V_{\min} au-dessous de laquelle toute autre réduction est impossible. Après T_r , la vitesse augmente conformément à la

fonction d'accélération non adaptative, jusqu'à la vitesse programmée V_p . Au cours d'une période suivante de phase de vitesse adaptative, il est déterminé que l'accélération doit être amorcée pour amener le centre de l'outil à la vitesse finale demandée. Pendant la période de ralentissement T_d , la phase adaptative n'est pas permise et la vitesse diminue en suivant la fonction de ralentissement non adaptatif, illustrée par la courbe 144 de la figure 4B. Les détails du processus de la commande de vitesse adaptative seront décrits ci-après.

Le cycle global de fonctionnement du manipulateur 10 en mode automatique est illustré par l'organigramme de la figure 5A. A une étape 150 de traitement, la commande initialise la donnée d'intervalle nécessaire pour l'interpolation des mouvements entre les points programmés P_0 et P_1 , à la vitesse programmée V_p . Des valeurs de la longueur programmée S_p d'intervalle, des rapports N_{cc} de composantes de coordonnées et d'une accélération nominale sont produits à l'étape 150. A l'étape 152 de traitement, un incrément le long du trajet ΔS et la distance interpolée cumulée S_K sont calculés. L'étape 156 de traitement appelle le sous-programme destiné à effectuer une transformation du point intermédiaire interpolé en coordonnées généralisées afin de produire un ensemble de signaux de coordonnées machine représentant des valeurs de coordonnées concernant les systèmes de coordonnées généralisées. A l'étape 154 de décision, l'indicateur, signifiant qu'aucun ralentissement ne doit avoir lieu, est testé. Lorsque le mouvement du centre 34 de l'outil doit se poursuivre de façon continue au-delà d'une position programmée, une caractéristique de fonction indiquant ceci est programmée. Il peut alors se produire qu'aucun ralentissement n'est nécessaire dans l'intervalle présent et que l'indicateur d'absence de ralentissement est positionné comme décrit ci-après. Dans ce cas, le processus se poursuit par la branche "OUI" de l'étape de décision 154 jusqu'à une étape de décision 155 où il

est déterminé si l'incrément en cours est le dernier
incrément de l'intervalle en cours. Si tel n'est pas le
cas, un autre incrément est établi par interpolation,
par l'intermédiaire du renvoi L-2. Finalement, l'incrément
5 ment final de l'intervalle en cours est interpolé et
le cycle global de fonctionnement continue de l'étape 155
de décision à une étape 168 de traitement par l'intermé-
diaire d'un renvoi L3. L'étape 168 de traitement provoque
l'exécution de la fonction programmée à la position P1
10 lorsque les axes de la machine ont atteint la fin de
l'intervalle. Ensuite, une étape 170 de décision détermine
si la position programmée P1 correspond à la fin du pro-
gramme. Si tel n'est pas le cas, le cycle est répété par
accès des données suivantes programmées, à l'étape 150 de
15 traitement, par l'intermédiaire du renvoi L-1. Si la posi-
tion est la dernière position du programme, l'ensemble du
programme est alors recyclé en commençant à une position
programmée choisie à l'avance, comme indiqué par le dernier
pavé 172 de l'organigramme.

20 Si l'on suppose que l'indicateur d'absence de
ralentissement n'a pas été positionné, le cycle global de
fonctionnement se poursuit à partir de l'étape 154 de
décision par l'étape 158 de traitement. Cette étape 158
calcule la distance restant dans l'intervalle en cours
25 avant le point auquel un ralentissement jusqu'à l'arrêt
doit commencer. Lorsque la distance S_{RD} , restant avant le
commencement de la phase de ralentissement, est supérieure
à l'incrément de distance en cours ΔS , le cycle se pour-
suit par une étape 162 de traitement qui appelle le sous-
30 programme de variation de vitesse pour modifier instan-
tément la valeur de vitesse incrémentielle conformément
à des variations non programmées d'un paramètre de pro-
cessus de travail. A la fin de ce sous-programme, le pro-
cessus se poursuit par la boucle revenant à l'étape 152 de traitement
35 où l'incrément d'intervalle est interpolé au moyen de la
valeur de vitesse incrémentielle la plus récemment établie.
Une fois que la distance restant dans l'intervalle avant

le point d'amorce du ralentissement est inférieure à l'incrément de distance en cours, la branche "OUI" de l'étape 160 de décision aboutit au test portant sur l'indication, dans le programme mémorisé, que le point

5 suivant P1 est un point continu. Etant donné qu'à chaque point programmé peut être associé un signal de fonction désignant une fonction particulière associée au processus de travail à exécuter en ce point, des points continus sont marqués par la présence d'un caractère continu

10 associé à un signal de fonction spécifique. Si l'on suppose que le code continu n'a pas été détecté par l'étape de décision 164, le processus de ralentissement est appelé par l'étape de traitement 166. Le processus de ralentissement réalise le ralentissement interpolé

15 jusqu'au point d'arrêt P1. Ensuite, l'étape 168 de traitement provoque l'exécution d'une fonction programmée et associée au point P1. Une étape 170 de décision détermine alors si le point en cours représente ou non la fin du programme du robot et, si tel n'est pas le cas, le

20 processus se poursuit par le renvoi L-1 pour reprendre à l'étape 150 de traitement des données de la position programmée suivante. Si la position en cours est la fin du programme mémorisé, le programme est alors répété par sélection d'une entrée de programme désignée en tant que

25 position de recyclage telle qu'indiquée par le dernier pavé 172 de l'organigramme.

Si, au point de commencement du ralentissement, il a été déterminé que le point suivant est un point continu par l'étape de décision 164, le processus se

30 poursuit par une étape 180 de traitement où une nouvelle valeur de la longueur de l'intervalle en cours est produite. Etant donné que les positions intermédiaires interpolées sont espacées d'une distance incrémentielle définie par la période d'intervalle incrémentiel et

35 par la vitesse incrémentielle effective, on peut prévoir que, lorsque le mouvement doit se poursuivre en passant par une position programmée, la distance restant dans

l'intervalle à partir de la position de décision de
ralentissement, jusqu'à la position extrême programmée,
n'est pas toujours égale à un multiple entier de la dis-
tance incrémentielle en cours. Pour tenir compte de cette
5 discordance, l'intervalle en cours est effectivement
arrêté au multiple entier de la distance incrémentielle
en cours, le plus proche de la position extrême programmée.
A cet effet, la distance restante ($S_p - S_k$) est divisée par
la distance incrémentielle ΔS pour donner le multiple
10 entier I et un reste R. La longueur de l'intervalle en
cours est ensuite réduite du reste R pour donner la lon-
gueur de l'intervalle continu S_{CP} . Cette distance redéfinit
alors la position extrême de l'intervalle en cours et la
position de départ de l'intervalle suivant.

15 A l'étape de décision 174, il est déterminé si
l'angle formé entre l'intervalle en cours et l'intervalle
suivant est inférieur à 120° . Cette détermination est
réalisée par le calcul de deux valeurs S_T^2 et $S_{T(120)}^2$
20 donnant le carré de la distance totale entre la position
de départ P0 de l'intervalle en cours et la position
extrême P2 de l'intervalle suivant. La première valeur
 S_T^2 est calculée comme étant la somme des carrés des
différences de composantes de coordonnées entre les deux
positions. La seconde valeur $S_{T(120)}^2$ est calculée confor-
25 mément à l'équation donnant la longueur du troisième
côté d'un triangle dont les longueurs des deux autres
côtés sont connues, ainsi que l'angle formé entre eux:

$$W^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos \gamma$$

ce qui se réduit à:

30

$$W = A^2 + B^2 + AB \text{ lorsque } \gamma = 120 \text{ degrés}$$

Etant donné que le résultat de l'étape de
traitement 180 est d'établir une nouvelle position
extrême pour l'intervalle en cours, la longueur des
35 intervalles a été modifiée par rapport aux longueurs
programmées.

La longueur de l'intervalle en cours est S_{CP} et la longueur de l'intervalle suivant S_N est définie par la nouvelle position de départ de l'étape 180 et par la position extrême programmée P2 de cet intervalle. Si

5 l'angle formé entre les intervalles est inférieur à 120° , il est alors nécessaire d'arrêter le mouvement avant le traitement, et le procédé se poursuit de nouveau par l'appel du processus de ralentissement à l'étape 166 de traitement. Si l'angle est de 120° ou plus, le processus se poursuit

10 alors par l'étape 176 de décision pour déterminer si la vitesse programmée de l'intervalle suivant V_{PN} est supérieure ou égale, ou non, à la vitesse programmée en cours V_p . Si la vitesse programmée de l'intervalle suivant V_{PN} est inférieure à la vitesse programmée V_p de l'intervalle

15 en cours, il est alors nécessaire d'effectuer un ralentissement dans l'intervalle en cours afin que le mouvement dans l'intervalle suivant commence à la vitesse programmée pour cet intervalle. Après le processus de ralentissement appelé par l'étape 178 de traitement, le cycle global se

20 poursuit par l'étape 168 de traitement à laquelle on passe par le renvoi L-3. Si la vitesse programmée de l'intervalle suivant est supérieure ou égale à la vitesse programmée de l'intervalle en cours, le processus se poursuit alors de l'étape 176 de décision par l'étape

25 177 de traitement où l'indicateur d'absence de ralentissement est positionné, puis, par l'intermédiaire du renvoi L-2, par l'étape 152 de traitement. Il ressort à présent de la description précédente que le cycle global de fonctionnement consiste en une interpolation répétée des

30 points intermédiaires définissant les intervalles entre les points programmés, par des opérations de traitement de commande, répétées de façon itérative, et par l'exécution des fonctions associées aux positions programmées.

La figure 5B représente le sous-programme de

35 servitude des servomécanismes des actionneurs. Pendant l'exécution du cycle d'ensemble de fonctionnement, un sous-programme indépendant de service de servo-interruption

est traité. Des signaux d'horloge d'asservissement du système, générés par l'unité centrale de traitement 46, interrompent périodiquement le traitement d'ensemble du système pour transmettre aux servomécanismes des actionneurs les données de coordonnées des actionneurs, nouvellement établies. Une étape de décision 192 détermine si la zone de mémoire tampon des données de commande des actionneurs est actuellement vide ou non. Si la zone tampon est vide, l'intervalle en cours est achevé et l'indicateur de fin d'intervalle est positionné par une étape 194 de traitement. Cependant, si la zone tampon contient des données, une étape 196 de traitement transfère alors les données de cette zone au système d'asservissement. Dans tous les cas, l'exécution de l'interruption d'asservissement est menée à bien et le traitement d'ensemble du système, sous la commande de l'organigramme de la figure 5A, se poursuit par le retour effectué par le dernier pavé 198 de l'organigramme.

Les organigrammes des figures 6A à 6E correspondent aux segments principaux ou programmes de l'organigramme de la figure 5A. En particulier, l'organigramme de la figure 6A correspond à l'étape de traitement 150 de la figure 5A. A une étape 200 de traitement, une donnée d'intervalle programmé, correspondant à des signaux d'entrée, est rappelée de la partie 74 d'enregistrement de données de la mémoire 42. Le point de départ P_0 , le point extrême P_1 et la vitesse programmée V_p définissent le mouvement à exécuter ensuite par le centre 34 de l'outil. Les données programmées de coordonnées rappelées de la mémoire sont placées en indice, en correspondance avec le désignation du point de programme. A l'étape 202 de traitement, la longueur d'intervalle totale S_p est calculée à l'aide des coordonnées rectangulaires des deux points programmés et par extraction de la racine carrée de la somme des carrés des éléments de coordonnées. A une étape 204 de traitement, les rapports des éléments sur axe N_{cc} du système de coordonnées programmées sont calculés

par division des éléments de coordonnées par la longueur de l'intervalle. Ces rapports sont désignés N_{11} à N_{16} . Des rapports d'éléments d'axe pour les angles d'orientation sont calculés de la même manière que les rapports d'éléments pour les axes de coordonnées rectangulaires. A l'étape 206 de traitement, une accélération nominale A_p d'intervalle est calculée par division de la vitesse programmée V_p par un intervalle choisi arbitrairement d'un quart de seconde. Une fois ce calcul préliminaire de variables d'intervalle achevé, le cycle global de fonctionnement se poursuit par le pavé 208 de fin d'organigramme pour passer à l'étape 152 de traitement de la figure 5A.

Comme représenté sur la figure 6B, l'étape de traitement consistant à l'interpolation d'un incrément d'intervalle correspondant au bloc 152 de la figure 5A est décomposée en un organigramme plus détaillé. En commençant à l'étape de décision 210, il est déterminé si un indicateur de vitesse adaptative ou non programmée a été positionné ou non par le sous-programme appelé par l'étape 162 de traitement de la figure 5A. Si aucune fonction de vitesse adaptative n'est programmée pour l'intervalle en cours, ou bien si la fonction de vitesse adaptative n'a pas eu pour résultat une variation de la valeur de vitesse incrémentielle, l'indicateur de vitesse adaptative n'est alors pas positionné, et le processus se poursuit par l'étape 212 de décision qui teste la valeur en cours du signal de vitesse incrémentielle V_K , c'est-à-dire la vitesse incrémentielle de l'itération en cours, par rapport à la valeur de la vitesse programmée V_p , afin de déterminer si la vitesse incrémentielle en cours V_K est inférieure ou non à la vitesse programmée. Si la réponse est "OUI", le processus se poursuit par une étape 216 de traitement qui appelle le sous-programme d'accélération. L'effet du sous-programme d'accélération est de produire une nouvelle valeur pour le signal de vitesse incrémentielle V_K , conformément à une fonction

continue d'accélération décrite en regard de la figure 4B. Ainsi, au début d'un mouvement au cours duquel le centre de l'outil part de l'arrêt, la valeur initiale de la vitesse incrémentielle est zéro, la vitesse programmée prend évidemment une valeur non nulle et l'appel du sous-programme d'accélération à l'étape 216 de processus commence à faire varier les valeurs de la vitesse incrémentielle conformément à la fonction continue d'accélération. Lorsque le sous-programme d'accélération est achevé, le processus se poursuit par une étape 218 de traitement où une distance incrémentielle ΔS est calculée conformément à la formule indiquée à droite de cette étape de traitement sur la figure 6B. Cette formule donne une valeur du signal de distance incrémentielle ΔS par calcul de la moyenne de la valeur de vitesse incrémentielle nouvelle V_K et de la valeur de vitesse incrémentielle précédente et en supposant que la moyenne est effective pendant la période d'intervalle incrémentiel représentée par le signal d'intervalle incrémentiel Δt . Lorsque l'indicateur de fonction de vitesse adaptative est positionné, la distance incrémentielle est calculée à l'aide de la valeur de vitesse produite par le sous-programme de vitesse adaptative. Lorsque la vitesse incrémentielle n'est pas inférieure à la vitesse programmée V_P , il n'est pas nécessaire de calculer une nouvelle valeur pour le signal de distance incrémentielle et il suffit d'incrémenter le compteur d'itérations comme indiqué par l'étape de traitement 214. Dans tous les cas, le processus reprend finalement à l'étape 220 de traitement où une valeur du signal de distance incrémentielle cumulée S_K est calculée conformément à l'équation donnée à droite de cette étape 220 de processus. Le cycle global de fonctionnement se poursuit ensuite en passant par le pavé 221 de fin d'organigramme. Le cycle global de fonctionnement continue par l'appel du sous-programme de transformation illustré par l'organigramme de la figure 6C.

Comme représenté sur la figure 6C, à une étape 222 de traitement, les coordonnées de parcours de la

distance incrémentielle cumulée sont calculées pour produire des signaux de coordonnées de point extrême. Ceci consiste à additionner les éléments sur axe de la distance incrémentielle interpolée aux coordonnées du point extrême

5 incrémentiel précédent. Ensuite, les coordonnées, en référence au système de coordonnées programmées du point extrême, sont transformées en coordonnées du système de coordonnées généralisées ou coordonnées machine, par

10 l'étape de traitement 224, de façon à produire un groupe de signaux de coordonnées machine représentant des valeurs de coordonnées du point extrême par rapport au système de coordonnées machine. Pour éviter des fonctions trigonométriques inverses, on utilise un algorithme d'approximation itératif qui produit une fonction d'erreur

15 sur la base des valeurs de coordonnées machine en cours. Des détails de ce procédé sont donnés dans le brevet n° 3 909 600 précité auquel on peut se reporter si cela est nécessaire pour la compréhension de l'algorithme de transformation. A l'étape 226 de processus, on calcule

20 le changement des coordonnées généralisées et à l'étape 228, les différences incrémentielles des coordonnées généralisées sont enregistrées dans la mémoire tampon afin que le sous-programme de prise en charge de servo-interruption puisse y accéder. Lorsque le sous-programme

25 de transformation est achevé, le traitement du cycle global de fonctionnement est repris par retour par le pavé 230 de fin d'organigramme. Ceci amène alors le processus à l'étape 154 de décision de la figure 5A. Si l'on suppose que le cycle global passe à l'étape 158

30 de traitement où est calculée la distance restant à parcourir jusqu'au début de l'intervalle de ralentissement, le cycle global exécute alors l'organigramme détaillé de la figure 6D.

Comme représenté sur la figure 6D, une étape

35 232 de traitement calcule le temps nécessaire pour ralentir, en supposant que la valeur nominale de l'accélération A_p , calculée pendant la préparation des variables

de l'intervalle, est efficace pendant la période de
ralentissement, et que la vitesse finale est nulle. Ainsi,
le temps approximatif demandé pour le ralentissement est
égal au quotient de la vitesse incrémentielle en cours et
de cette accélération nominale constante. A l'étape 234
5 de processus, la distance demandée pour le ralentissement
 S_D est calculée en supposant que la moyenne de la vitesse
incrémentielle en cours et d'une vitesse nulle est effec-
tive pendant l'intervalle calculé dans l'étape de traite-
10 ment 232. Enfin, à l'étape 236 de traitement, la distance
 S_{RD} , restant dans la longueur de l'intervalle de la posi-
tion interpolée en cours jusqu'au point auquel la distance
 S_D de ralentissement, venant d'être calculée, doit commen-
cer, est calculée. Ainsi, la distance restante S_{RD} est
15 égale à la longueur d'intervalle totale S_p , diminuée du
tronçon de l'intervalle représenté par la distance inter-
polée cumulée S_K et du tronçon S_D de l'intervalle néces-
saire pour ralentir. Après ce calcul, le cycle global de
fonctionnement se poursuit par l'étape 160 de décision de
20 la figure 5A où il est déterminé si la distance restante
 S_{RD} est inférieure ou non à la distance incrémentielle
effective en cours ΔS . Si la distance restante S_{RD} n'est
pas inférieure à la distance incrémentielle effective en
cours ΔS , un autre incrément de cette distance peut être
25 interpolé. Cependant, si la distance incrémentielle
effective en cours est supérieure à la distance restante
calculée, il est nécessaire de commencer immédiatement le
ralentissement.

Le sous-programme de ralentissement produit de
30 façon itérative des valeurs décroissantes de la variable
de vitesse incrémentielle V_K , conformément à une fonction
continué d'accélération. Au début du sous-programme de
ralentissement, la vitesse incrémentielle est recalculée
pour effectuer un ajustement corrigeant les erreurs
35 d'arrondi de l'arithmétique exécutées sur des nombres
entiers par le calculateur utilisé. Ensuite, le sous-
programme de ralentissement détermine par interpolation

des points intermédiaires en suivant une fonction continue de ralentissement pour ramener la vitesse du centre de l'outil à une valeur finale. Le processus d'interpolation correspond à celui décrit en regard de la figure 6B, aucun sous-programme d'accélération n'étant alors appelé. En outre, le sous-programme de ralentissement effectue une transformation en coordonnées machine généralisées en appelant le sous-programme de transformation de la figure 6C après le calcul de la distance interpolée cumulée.

Il convient de noter que, bien que la plupart des intervalles programmés comprennent des phases ou des tronçons d'accélération, de vitesse constante et de ralentissement, l'exécution du sous-programme de ralentissement peut être amorcée avant que la vitesse du centre de l'outil atteigne la vitesse programmée. Ceci se produit si la longueur d'intervalle programmée est insuffisante pour permettre une accélération jusqu'à la vitesse programmée avant que l'étape 160 de décision de la figure 5A détermine qu'il faut amorcer le ralentissement. Il apparaît à présent que, étant donné que l'effet du sous-programme de ralentissement est de continuer une interpolation le long du trajet pour amener le centre de l'outil à une vitesse finale associée à l'intervalle programmé, le processus de vitesse adaptative n'est pas suivi pendant la phase de ralentissement.

Bien que l'algorithme fondamental de commande du trajet permette des variations de vitesse continues pendant les phases d'accélération et de ralentissement du mouvement, une variation supplémentaire de vitesse est aisément tolérée comme indiqué précédemment en regard de l'étape 162 de traitement de la figure 5A. Bien que la forme préférée de réalisation porte sur des variations de vitesse produites automatiquement conformément aux variations non programmées d'un paramètre de processus de travail, des variations paramétriques introduites manuellement peuvent tout aussi bien être tolérées pour permettre à un opérateur d'exercer une action prépondérante sur la vitesse.

Au moyen d'un transducteur 124, une valeur d'un signal paramétrique d'entrée de processus de travail, par exemple le couple du moteur 120 d'entraînement de l'outil, peut être contrôlée en continu. Cette valeur de couple peut
5 ensuite être convertie en une valeur numérique par le convertisseur analogique/numérique 56 d'entrée/sortie de l'utilisateur, et, pourvu qu'une fonction d'erreur convenable soit établie, des variations de vitesse peuvent être produites en réponse au couple mesuré. Ces variations
10 de vitesse sont ensuite introduites dans le cycle global de fonctionnement par le sous-programme appelé par l'étape 162 de processus de la figure 5A.

Dans le convertisseur analogique/numérique 56, la valeur du signal paramétrique d'entrée de processus
15 est convertie en un nombre binaire à 5 bits définissant la valeur d'un signal paramétrique de processus. Il est évident à l'homme de l'art que l'étendue de la variable mesurée et la précision nécessaires à une intervention suffisante sur le processus imposent la résolution de
20 la conversion de la valeur analogique à la valeur numérique. Ainsi, un nombre supérieur ou inférieur de bits peut être approprié, dans des applications particulières, pour le signal paramétrique de processus.

La figure 7 représente le sous-programme destiné à l'exécution de la commande de vitesse adaptative.
25 L'invention permet la spécification d'intervalles programmés comme intervalles de vitesse adaptative par l'incorporation du signal de fonction de vitesse adaptative dans les groupes de signaux d'entrée décrivant un intervalle
30 programmé particulier. Par conséquent, à l'étape de décision 240, on détermine si l'intervalle programmé en cours possède une fonction de vitesse adaptative programmée. Si tel n'est pas le cas, un retour est effectué par le pavé 244 de fin d'organigramme, ce qui permet la poursuite
35 du cycle global de fonctionnement à l'étape 152 de processus de la figure 5A. Si la fonction de vitesse adaptative a été programmée pour l'intervalle en cours, l'étape

242 de décision détermine alors si la vitesse incrémentielle en cours V_k est inférieure à la vitesse minimale V_{min} au-dessous de laquelle aucune réduction supplémentaire n'est possible. Si la vitesse incrémentielle en cours V_k est inférieure à la vitesse minimale V_{min} , un retour est réalisé par l'intermédiaire du pavé 244 de fin d'organigramme. Par contre, si la vitesse incrémentielle en cours V_k n'est pas inférieure à la vitesse minimale V_{min} , le processus de vitesse adaptative se poursuit par l'étape de décision 246 qui détermine l'état en cours du signal de condition d'état de la fonction de commande adaptative.

Lorsque le sous-programme de commande adaptative produit une valeur de vitesse incrémentielle qui est efficace pour commander l'interpolation sur l'incrément en cours, l'indicateur de vitesse adaptative ou le signal d'état est alors positionné pour indiquer que le processus de vitesse adaptative commande la vitesse. Ainsi, à l'étape de décision 246, si l'indicateur de vitesse adaptative est positionné, le processus se poursuit par l'étape 252 de traitement. Cependant, si l'indicateur de vitesse adaptative n'est pas positionné, le processus se poursuit par l'étape 248 de traitement où l'indicateur de vitesse adaptative est positionné. A l'étape 250 de traitement, la valeur en cours du signal de vitesse incrémentielle est sauvegardée ou enregistrée en une position dénommée OLD. Cette valeur de vitesse incrémentielle sauvegardée correspond à la valeur de vitesse V_{ia} de la figure 4C. Après l'étape 250 de processus, le traitement de la vitesse adaptative se poursuit par l'étape 252 où la valeur en cours du signal paramétrique de processus est introduite à partir du convertisseur 56. A l'étape 253 de processus, une valeur de vitesse minimale adaptative est calculée par multiplication de la valeur de vitesse sauvegardée à l'emplacement OLD, par le rapport de la valeur du signal paramétrique de processus à la valeur d'un signal de référence de paramètre de processus

qui est programmé avec les signaux d'entrée définissant le mouvement du manipulateur. A l'étape 254 de décision, il est déterminé si la valeur de paramètre de processus en cours est égale ou non à la valeur de référence du paramètre de processus.

Pour permettre la plus large gamme d'applications d'un traitement de vitesse adaptative relativement simple, on a choisi d'autoriser la spécification d'une valeur d'un signal de référence de paramètre de processus, à laquelle la valeur réelle ou mesurée d'un paramètre de processus doit être comparée. Ainsi, dans l'exemple particulier de la rectification d'une pièce brute de fonderie, où divers outils d'enlèvement de métal peuvent être portés par le moteur 120, des valeurs de couple différentes peuvent être choisies comme valeur de référence au-dessus de laquelle une diminution de vitesse est nécessaire. Il est évident à l'homme de l'art que pour commander la vitesse du centre de l'outil en fonction d'un paramètre de processus mesuré, il n'est pas nécessaire de spécifier une valeur de référence et, en fait, une commande convenable peut être réalisée lorsque la vitesse est modifiée d'une façon directement proportionnelle à un paramètre de processus mesuré. Dans ce cas, on suppose une valeur de référence de paramètre de processus égale à zéro.

S'il a été déterminé à l'étape 254 de décision que la valeur mesurée en cours du signal paramétrique de processus est égale à la valeur du signal de référence de paramètre de processus, aucune réduction de vitesse n'est alors nécessaire et le processus de traitement adaptatif se poursuit par l'étape 261 de traitement où la vitesse V_{AK} de traitement adaptatif est posée comme étant égale à la vitesse incrémentielle précédente V_{K-1} . Par ailleurs, s'il a été déterminé à l'étape de décision 254 que la valeur réelle du signal de paramètre de processus n'est pas égale à la valeur de référence, le processus se poursuit par l'étape 256 de traitement où une nouvelle valeur du signal V_{AK} de vitesse de paramètre de processus est

calculée conformément aux expressions indiquées à côté de cette étape 256. Cette formule calcule une valeur en cours pour le signal de vitesse de paramètre de processus en multipliant la valeur précédente du signal de vitesse de paramètre de processus par la valeur d'un signal de facteur paramétrique représentant un pourcentage sur la base de la différence entre le paramètre de processus mesuré et la valeur de référence du paramètre. A l'étape 258 de décision, il est déterminé si cette valeur calculée du signal de vitesse de paramètre de processus est inférieure à la valeur de la vitesse minimale adaptative V_{AM} et, si tel n'est pas le cas, le processus se poursuit par une étape 262 de décision. Si la valeur calculée de V_{AK} est inférieure à la vitesse minimale adaptative V_{AM} , un autre test est effectué à l'étape 259 de décision pour déterminer si la valeur en cours du signal de vitesse incrémentielle V_K est inférieure à la valeur du signal de vitesse de paramètre de processus V_{AK} . Si V_K est inférieur à V_{AK} , le facteur de paramètre de processus a pour résultat un accroissement de la vitesse et le processus se poursuit par l'étape 262 de décision. Que le traitement effectué à partir de l'étape 254 de décision nécessite un calcul d'une valeur de vitesse adaptative ou la valeur forcée de l'étape 261 de traitement, il convient de noter que le processus peut finalement reprendre à l'étape de décision 262. Il est alors déterminé si la valeur de vitesse adaptative effective est inférieure à la valeur mise de côté à la position OLD. Si tel n'est pas le cas, à l'étape 266 de traitement, la valeur en cours du signal de vitesse incrémentielle est posée comme étant égale à la valeur mise de côté à la position OLD et, à l'étape 268 de traitement, l'indicateur de vitesse adaptative est repositionné. Ensuite, le cycle global de fonctionnement est repris par retour par le pavé 272 de fin d'organigramme. Si, à l'étape 262 de décision, il a été déterminé que la valeur en cours du signal de vitesse de paramètre de processus est inférieure à la valeur

mise de côté à la position OLD, à l'étape 264 de traitement, la valeur de vitesse incrémentielle est alors posée comme étant égale à la valeur en cours du signal de vitesse de paramètre de processus. Ensuite, le cycle global de fonctionnement est repris par retour par le pavé 270 de fin d'organigramme. Il convient de noter que l'effet de l'étape 262 de décision est de provoquer la reprise de la commande de vitesse non adaptative comme indiqué par la courbe 146 de la figure 4C, après le point T_r . Si, à l'étape 258 de décision, il a été déterminé que la valeur calculée du signal de vitesse de paramètre de traitement est inférieure à la valeur minimale V_{AM} , le processus se poursuit par l'étape de décision 259. S'il est alors déterminé que la valeur en cours de V_K est inférieure à V_{AK} , une autre diminution de vitesse est nécessaire et la valeur de l'incrément est rendue égale à la valeur de la vitesse minimale adaptative V_{AM} . Après l'étape de traitement 260, le cycle global de fonctionnement se poursuit par retour par le pavé 270 de fin d'organigramme.

Si l'on se réfère de nouveau à la figure 6B, on voit que le test effectué à l'étape 210 de décision, portant sur l'état de l'indicateur de vitesse adaptative, constitue un moyen permettant à la valeur de la vitesse déterminée par le traitement de la vitesse adaptative de commander lorsque la valeur de la vitesse de paramètre de processus est déterminée comme étant inférieure à la valeur de vitesse incrémentielle mise de côté à la position OLD. Autrement dit, la boucle sautant l'étape 212 de décision et l'étape 216 de traitement provoque l'utilisation de la valeur de vitesse de paramètre de traitement, produite par le traitement de la vitesse adaptative, dans le calcul de l'incrément de distance effectué à l'étape 218 de traitement. Lorsque la fonction de vitesse adaptative est active, mais que la mesure du paramètre de traitement produit une valeur ne nécessitant pas une diminution de la valeur de vitesse incrémentielle en cours, l'état de l'indicateur de vitesse adaptative provoque le

déclenchement du processus d'interpolation après l'étape 212 de décision et l'étape de traitement 216 ou 214 pour produire le signal de vitesse incrémentielle suivant.

La commande de vitesse adaptative est ainsi rendue sélec-
5 tive selon qu'il est associé ou non, à l'intervalle en cours, la fonction de vitesse adaptative et selon que la valeur mesurée en cours du signal de paramètre de traitement exige ou non une réduction de la vitesse incrémentielle effective pour produire le résultat souhaité. En parti-
10 culier, si l'on considère l'opération de rectification de pièce brute de fonderie, des valeurs convenables pour le signal de référence de paramètre de traitement peuvent être choisies afin que le couple mesuré par le transduc-
15 teur 124 produise des valeurs réelles à la fois supérieures et inférieures à la valeur de référence de paramètre. Lorsque le couple mesuré est inférieur à la valeur de référence paramétrique, le résultat de l'étape de déci-
20 sion 254 de la figure 7 est de produire une valeur calculée de la vitesse de paramètre de traitement. Cependant, à l'étape de décision 262, la valeur calculée s'avère dépasser la valeur de vitesse incrémentielle mémorisée ou mise de côté, et aucune diminution de vitesse n'en résulte. Par ailleurs, une fois que le couple mesuré a dépassé la valeur de référence de paramètre, la valeur
25 de vitesse adaptative calculée est inférieure à la valeur mise de côté à la position OLD et la valeur de vitesse réduite assume la commande.

Il va de soi que de nombreuses modifications
peuvent être apportées à l'appareil décrit et représenté
30 sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Appareil pour déplacer un élément fonctionnel (31) en fonction de signaux d'entrée définissant, par rapport à un premier système de coordonnées, les positions d'un centre (34) d'outil associé à l'élément fonctionnel, le centre suivant un trajet prédéterminé entre deux positions quelconques, et d'autres signaux d'entrée définissant un paramètre de traitement de travail soumis à des variations non programmées, l'appareil étant caractérisé en ce qu'il comporte un manipulateur (10) sur lequel est monté l'élément fonctionnel et qui comprend plusieurs éléments (18,22,26,27) décrivant plusieurs axes de mouvement, au moins certains de ces éléments étant reliés par des axes de rotation, les éléments et les axes de mouvement définissant un système de coordonnées généralisées, le manipulateur comportant également plusieurs actionneurs (14,20,24,28,30,32), au moins un actionneur étant associé à chaque élément afin d'en commander les mouvements, l'appareil comportant en outre une commande (35) de manipulateur qui comprend une mémoire (42) destinée à mémoriser des signaux d'entrée définissant des positions, et un servomécanisme connecté aux actionneurs pour commander le mouvement des éléments, la commande exécutant les opérations qui consistent:

(1) à produire, en réponse au signal d'entrée de paramètre de traitement de travail, un signal de paramètre de traitement représentant la valeur du paramètre de traitement de travail;

(2) à produire un signal d'intervalle incrémentiel représentant une période de déplacement du centre de l'outil sur un incrément de déplacement, le long du trajet;

(3) à produire, en réponse au signal de paramètre de traitement, un signal de vitesse de paramètre de traitement représentant la vitesse effective du centre de l'outil pendant la période;

(4) à produire, en réponse au signal d'intervalle d'incrément et au signal de vitesse de paramètre

de traitement, un signal d'incrément de distance représentant un incrément de déplacement le long du trajet;

5 (5) à produire des signaux de coordonnées de point extrême représentant les coordonnées, par rapport au premier système de coordonnées, d'un point extrême de l'incrément;

10 (6) à produire, en réponse aux signaux de coordonnées de point extrême, un ensemble de signaux de coordonnées machine représentant des valeurs de coordonnées du point extrême par rapport au système de coordonnées généralisées;

15 (7) à appliquer l'ensemble de signaux de coordonnées machine au servomécanisme pour effectuer un mouvement coordonné des éléments afin de déplacer le centre de l'outil vers la position définie par les signaux de coordonnées de point extrême; et

20 (8) à répéter les étapes (1) à (7) pour déplacer le centre de l'outil sur une série d'incréments le long du trajet entre les positions définies par les signaux d'entrée, à une vitesse déterminée conformément aux variations non programmées du paramètre de traitement de travail.

25 2. Appareil pour déplacer un élément fonctionnel (31) en fonction de signaux d'entrée définissant, par rapport à un premier système de coordonnées, des positions et des vitesses de parcours entre ces positions d'un centre (34) d'outil associé à l'élément fonctionnel, le centre d'outil suivant un trajet prédéterminé entre deux positions quelconques et d'autres signaux d'entrée définissant un paramètre variable soumis à des variations
30 non programmées, l'appareil étant caractérisé en ce qu'il comporte un manipulateur (10) sur lequel est monté l'élément fonctionnel et qui comprend plusieurs éléments (18,22,26,27) décrivant plusieurs axes de mouvement, au moins certains des éléments étant reliés par des axes de
35 rotation, les éléments et les axes de mouvement définissant un système de coordonnées généralisées, et plusieurs actionneurs (14,20,24,28,30,32), au moins un actionneur

étant associé à chaque élément pour en commander les mouvements, l'appareil comportant également une commande (35) de manipulateur qui comprend une mémoire (42) destinée à mémoriser les signaux d'entrée définissant des positions et des vitesses de parcours, et un servoméca-

5 nisme relié aux actionneurs pour commander le mouvement des éléments, la commande exécutant les opérations qui consistent:

- 10 (1) à produire, en réponse à un signal d'entrée de paramètre variable, un signal de paramètre de traitement représentant la valeur du paramètre variable;
- (2) à produire un signal d'intervalle d'incrément représentant une période pour déplacer le centre de l'outil sur un incrément de déplacement le long du trajet;
- 15 (3) à produire, en réponse aux signaux d'entrée définissant des positions et des vitesses de parcours, un signal de vitesse incrémentielle représentant la vitesse effective du centre de l'outil pendant la période;
- (4) à produire, en réponse au signal de paramètre de traitement, un signal de vitesse de paramètre de traitement représentant la vitesse effective du centre de l'outil pendant la période;
- 20 (5) à produire un signal d'incrément de distance en réponse au signal d'intervalle d'incrément et au plus petit des signaux de vitesse incrémentielle et de vitesse de paramètre de traitement, le signal d'incrément de distance représentant la distance à parcourir pendant la période;
- 25 (6) à produire des signaux de coordonnées de point extrême représentant les coordonnées, par rapport au premier système de coordonnées, d'un point extrême de l'incrément;
- 30 (7) à produire, en réponse aux signaux de coordonnées de point extrême, un ensemble de signaux de coordonnées machine représentant des valeurs de coordonnées du point extrême par rapport au système de coordonnées généralisées;
- 35

(8) à appliquer l'ensemble de signaux de coordonnées machine au servomécanisme afin d'effectuer un mouvement coordonné des éléments pour déplacer le centre de l'outil vers les positions définies par les coordonnées du point extrême; et

(9) à répéter les étapes (1) à (8) pour déplacer le centre de l'outil sur une série d'incréments entre les positions définies par les signaux d'entrée, à une vitesse définie sélectivement par les signaux d'entrée et par les variations non programmées du paramètre variable.

3. Appareil selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'étape consistant à produire un signal de vitesse de paramètre de traitement comprend en outre les opérations qui consistent à produire, en réponse au signal de paramètre de traitement, un signal de facteur paramétrique représentant une démultiplication choisie arbitrairement du paramètre de traitement; et à multiplier le signal de vitesse de paramètre de traitement précédent par le signal de facteur paramétrique pour produire le signal de vitesse de paramètre de traitement.

4. Appareil selon la revendication 3 prise avec la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape consistant à produire des signaux de coordonnées de point extrême consiste en outre à produire un signal d'incréments cumulés de distance représentant la somme des signaux d'incréments de distance parcourus depuis la dernière position définie par les signaux d'entrée.

5. Appareil pour déplacer un élément fonctionnel (31) en fonction de signaux d'entrée préalablement programmés, définissant, par rapport à un premier système de coordonnées, des positions et des vitesses de parcours entre ces positions d'un centre (34) d'outil associé à l'élément fonctionnel, le centre d'outil suivant un trajet prédéterminé entre deux positions quelconques, et d'autres signaux d'entrée, préalablement programmés, définissant une valeur de référence de paramètre de traitement, alors que d'autres signaux d'entrée définissent

un paramètre de traitement de travail soumis à des variations non programmées, l'appareil étant caractérisé en ce qu'il comporte un manipulateur (10) sur lequel est monté l'élément fonctionnel et qui comprend plusieurs éléments (18,22,26,27) décrivant plusieurs axes de mouvement, au moins certains des éléments étant reliés par des axes de rotation, les éléments et les axes de mouvement définissant un système de coordonnées généralisées, le manipulateur comportant également plusieurs actionneurs (14,20,24, 28,30,32), au moins un actionneur étant associé à chaque élément pour en commander les mouvements, et l'appareil comportant en outre une commande (35) de manipulateur qui comporte une mémoire (42) destinée à mémoriser des signaux d'entrée préalablement programmés, et un servomécanisme relié aux actionneurs pour commander les mouvements des éléments, la commande exécutant les opérations qui consistent:

- (1) à produire, en réponse au signal d'entrée de paramètre de traitement de travail, un signal de paramètre de traitement représentant la valeur d'un paramètre de traitement de travail;
- (2) à produire un signal de vitesse de paramètre de traitement en réponse à la valeur du signal de paramètre de traitement différant de la valeur du signal d'entrée de paramètre de traitement, le signal de vitesse de paramètre de traitement représentant la valeur d'une fonction de vitesse dépendant de la différence;
- (3) à produire un signal d'intervalle d'incrément représentant une période de déplacement du centre de l'outil sur un incrément le long du trajet;
- (4) à produire un signal de vitesse incrémentielle en réponse aux signaux d'entrée préalablement programmés, définissant des positions et des vitesses de parcours, le signal de vitesse incrémentielle représentant la vitesse du centre de l'outil pendant la période;
- (5) à produire, en réponse au signal d'intervalle d'incrément et sélectivement au signal de vitesse de paramètre de traitement et au signal de vitesse

incrémentielle, un signal d'incrément de distance représentant un incrément de déplacement le long du parcours ;

(6) à produire des signaux de coordonnées d'un point extrême représentant les coordonnées, par rapport au premier système de coordonnées d'un point extrême de l'incrément;

(7) à produire, en réponse aux signaux de coordonnées de point extrême, un ensemble de signaux de coordonnées machine représentant des valeurs de coordonnées du point extrême par rapport au système de coordonnées généralisées;

(8) à appliquer les ensembles de signaux de coordonnées machine au servomécanisme pour provoquer un mouvement coordonné des éléments afin de déplacer le centre de l'outil vers la position définie par les coordonnées de point extrême; et

(9) à répéter les étapes (1) à (8) pour déplacer le centre de l'outil sur une série d'incréments entre deux positions définies par les signaux d'entrée.

6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que la commande effectuée en outre les opérations qui consistent à produire un signal d'état de commande adaptative représentant une condition pour laquelle un signal de vitesse de paramètre de traitement est effectif sur un incrément, à mémoriser le signal de vitesse incrémentielle lorsque le signal d'état représentant la condition est faux, à comparer le signal de vitesse de paramètre de traitement au signal de vitesse incrémentielle mémorisé, à donner au signal d'état une valeur reflétant que la condition est fautive, en réponse au fait que le signal de vitesse de paramètre de traitement n'est pas inférieur au signal mémorisé, et à sélectionner, pour le signal de vitesse effective, le plus petit du signal de vitesse de paramètre de traitement et du signal de vitesse incrémentielle mémorisé.

7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que la production d'un signal de vitesse

incrémentielle consiste en outre à tester l'état du signal d'état de commande adaptative, et empêcher la production du signal de vitesse incrémentielle lorsque le signal d'état représente une condition vraie.

5 8. Appareil selon la revendication 7, caracté-
risé en ce que la production d'un signal de vitesse de
paramètre de traitement consiste en outre à produire, en
réponse à une différence entre le signal de paramètre de
10 traitement préalablement programmé, un signal de facteur para-
métrique représentant une démultiplication arbitrairement
choisie de la différence, et à multiplier le signal précé-
dent de vitesse de paramètre de traitement par le signal
de facteur paramétrique pour produire le signal de vitesse
15 de paramètre de traitement.

9. Appareil pour déplacer un élément fonctionnel
(31) en fonction de signaux d'entrée préalablement program-
més, définissant, par rapport à un premier système de coor-
données, des positions et des vitesses de parcours entre
20 ces positions d'un centre (34) d'outil associé à l'élément
fonctionnel, le centre d'outil suivant un trajet prédé-
terminé entre deux positions quelconques, et d'autres
signaux d'entrée préalablement programmés définissant une
fonction de vitesse adaptative et une valeur de paramètre
25 de traitement de travail, tandis que d'autres signaux
d'entrée définissent un paramètre de traitement de travail
soumis à des variations non programmées, l'appareil étant
caractérisé en ce qu'il comporte un manipulateur (10) sur
lequel l'élément fonctionnel est monté et qui comporte
30 plusieurs éléments (18,22,26,27) décrivant plusieurs
axes de mouvement, au moins certains des éléments étant
reliés par des axes de rotation, les éléments et les axes
de mouvement définissant un système de coordonnées géné-
ralisées, le manipulateur comprenant également plusieurs
35 actionneurs (14,20,24,28,30,32), au moins un actionneur
étant associé à chaque élément pour en commander les
mouvements, l'appareil comportant en outre une commande

(35) de manipulateur comprenant une mémoire (42) destinée à mémoriser des signaux d'entrée préalablement programmés, et un servomécanisme relié aux actionneurs pour commander le mouvement des éléments, la commande exécutant les opérations qui consistent:

(1) à produire un signal de paramètre de traitement représentant la valeur d'un paramètre de traitement de travail;

(2) à produire, en réponse au signal de fonction de vitesse adaptative, au signal de paramètre de traitement et au signal de référence de paramètre de traitement, un signal de vitesse de paramètre de traitement représentant la valeur d'une fonction de vitesse dépendant de la valeur du paramètre de traitement de travail;

(3) à produire un signal d'intervalle d'incrément représentant une période pour déplacer le centre de l'outil sur un incrément le long du trajet;

(4) à produire un signal de vitesse incrémentielle en réponse aux signaux d'entrée préalablement programmés, définissant des positions et une vitesse de parcours entre elles, le signal de vitesse incrémentielle représentant la vitesse du centre de l'outil pendant la période;

(5) à produire, en réponse au signal d'intervalle d'incrément et sélectivement au signal de vitesse de paramètre de traitement et au signal de vitesse incrémentielle, un signal d'incrément de distance représentant un incrément de déplacement le long du trajet;

(6) à produire des coordonnées de point extrême représentant les coordonnées, par rapport à un premier système de coordonnées, d'un point extrême de l'incrément;

(7) à produire, en réponse aux signaux de coordonnées du point extrême de l'incrément, un ensemble de signaux de coordonnées machine représentant les valeurs de coordonnées du point extrême par rapport au système de coordonnées généralisées;

(8) à appliquer l'ensemble de signaux de coordonnées machine au servomécanisme pour provoquer un mouvement coordonné des éléments afin de déplacer le centre de l'outil jusqu'à la position définie par les coordonnées du point extrême; et

(9) à répéter les étapes (1) à (8) pour déplacer le centre de l'outil sur une série d'incréments entre les positions définies par les signaux d'entrée préalablement programmés.

10 10. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que la production d'un signal de vitesse de paramètre de traitement consiste en outre à produire, en réponse à une différence entre le signal de référence de paramètre de traitement et le signal de paramètre de traitement, un signal de facteur paramétrique représentant une démultiplication arbitrairement choisie de la différence, et à multiplier le signal précédent de vitesse de paramètre de traitement par le signal de facteur paramétrique pour produire le signal de vitesse de paramètre de traitement.

25 11. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce que la production du signal d'incrément de distance consiste en outre à comparer le signal de vitesse incrémentielle au signal de vitesse de paramètre de traitement, à sélectionner le signal de vitesse incrémentielle lorsqu'il s'avère être inférieur au signal de vitesse de paramètre de traitement, et à sélectionner le signal de vitesse de paramètre de traitement lorsqu'il s'avère être inférieur au signal de vitesse incrémentielle.

30 12. Appareil selon l'une quelconque des revendications 3, 4, 8 et 11, caractérisé en ce que le paramètre de traitement de travail est un couple relatif entre un outil de coupe (122) et une pièce.

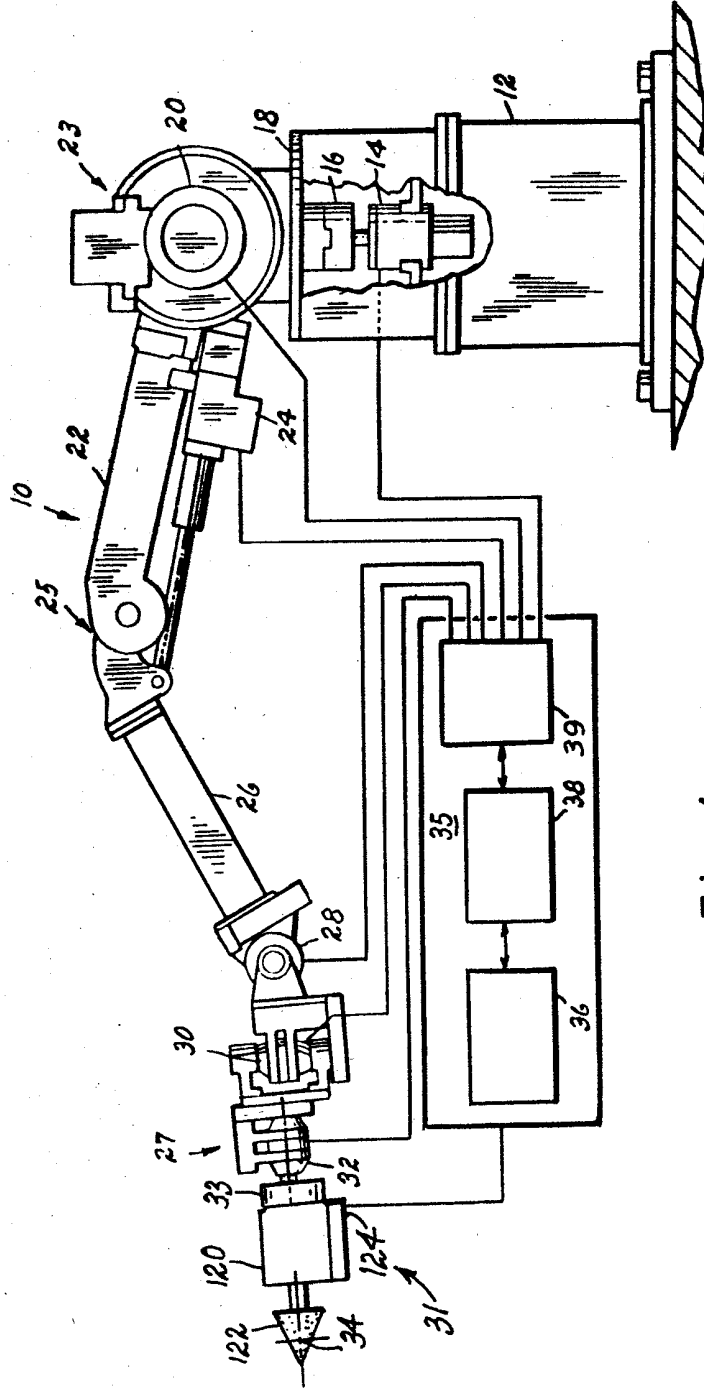
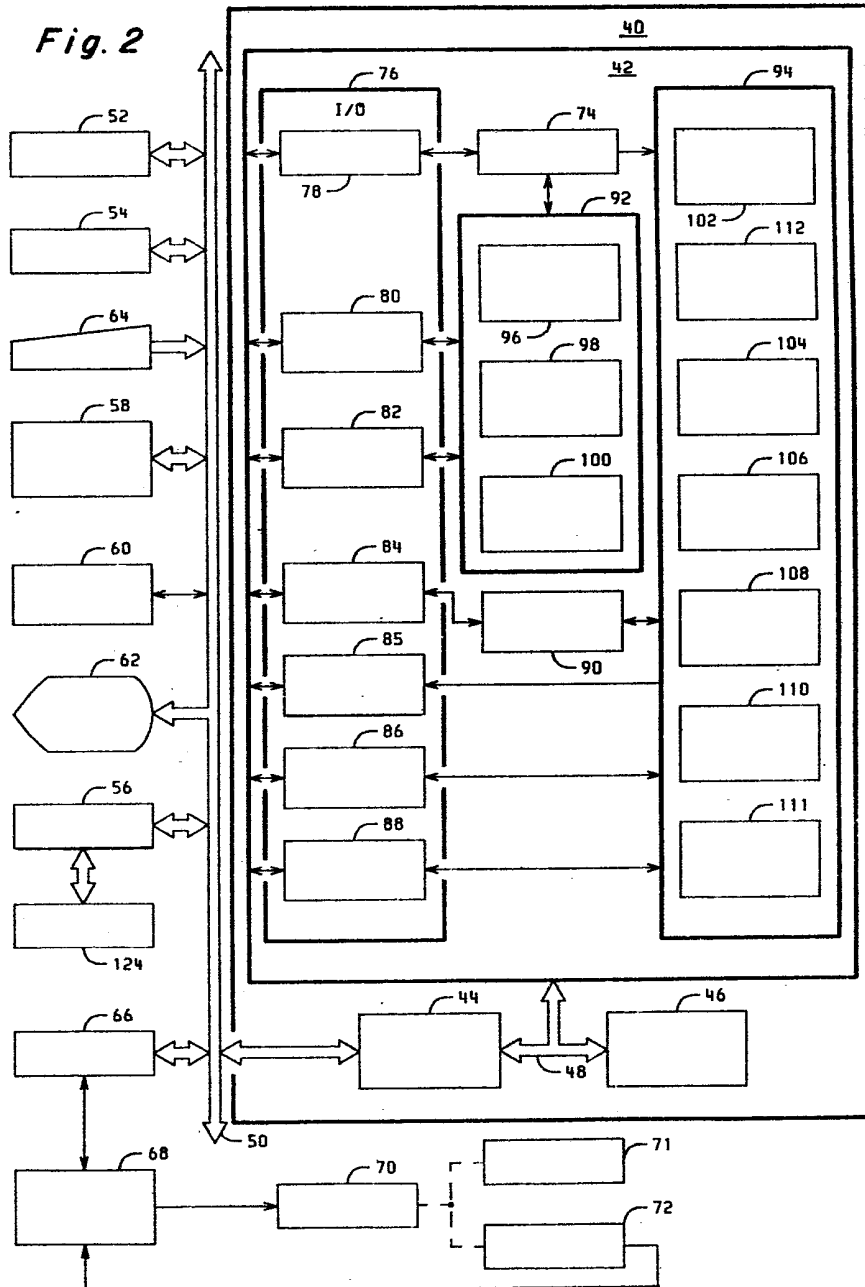


Fig. 1



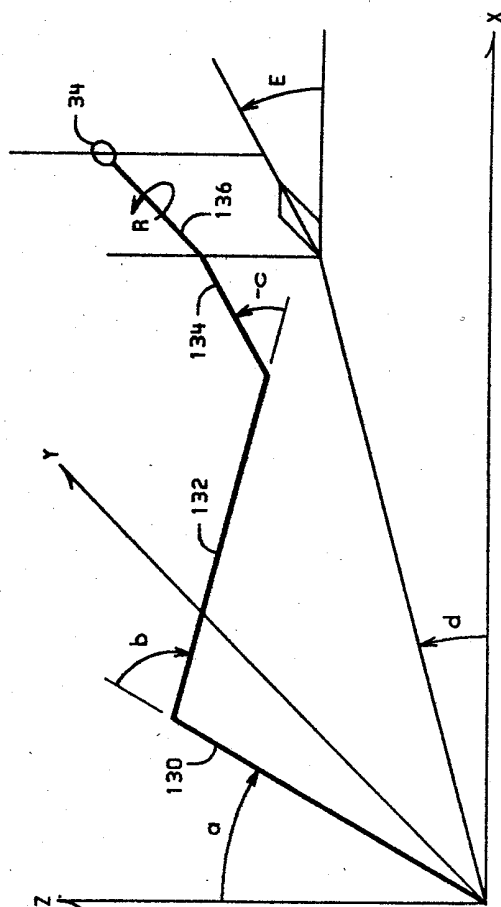
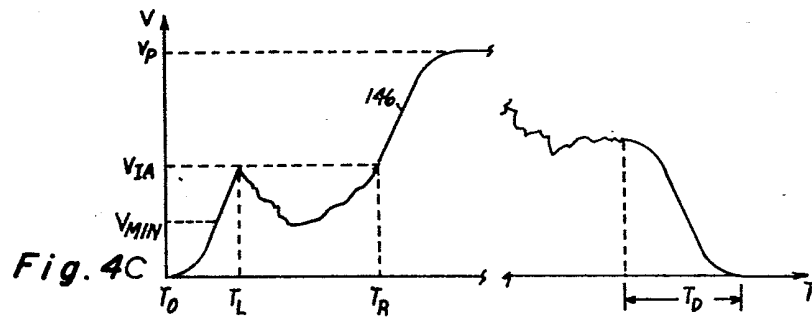
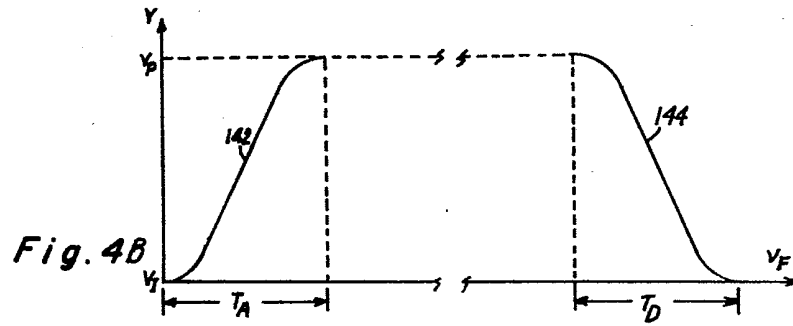
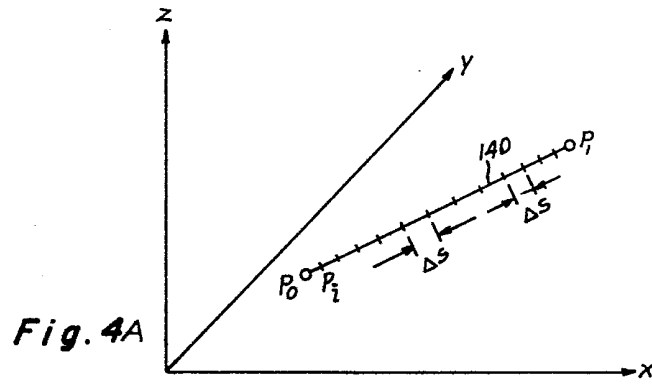


Fig. 3



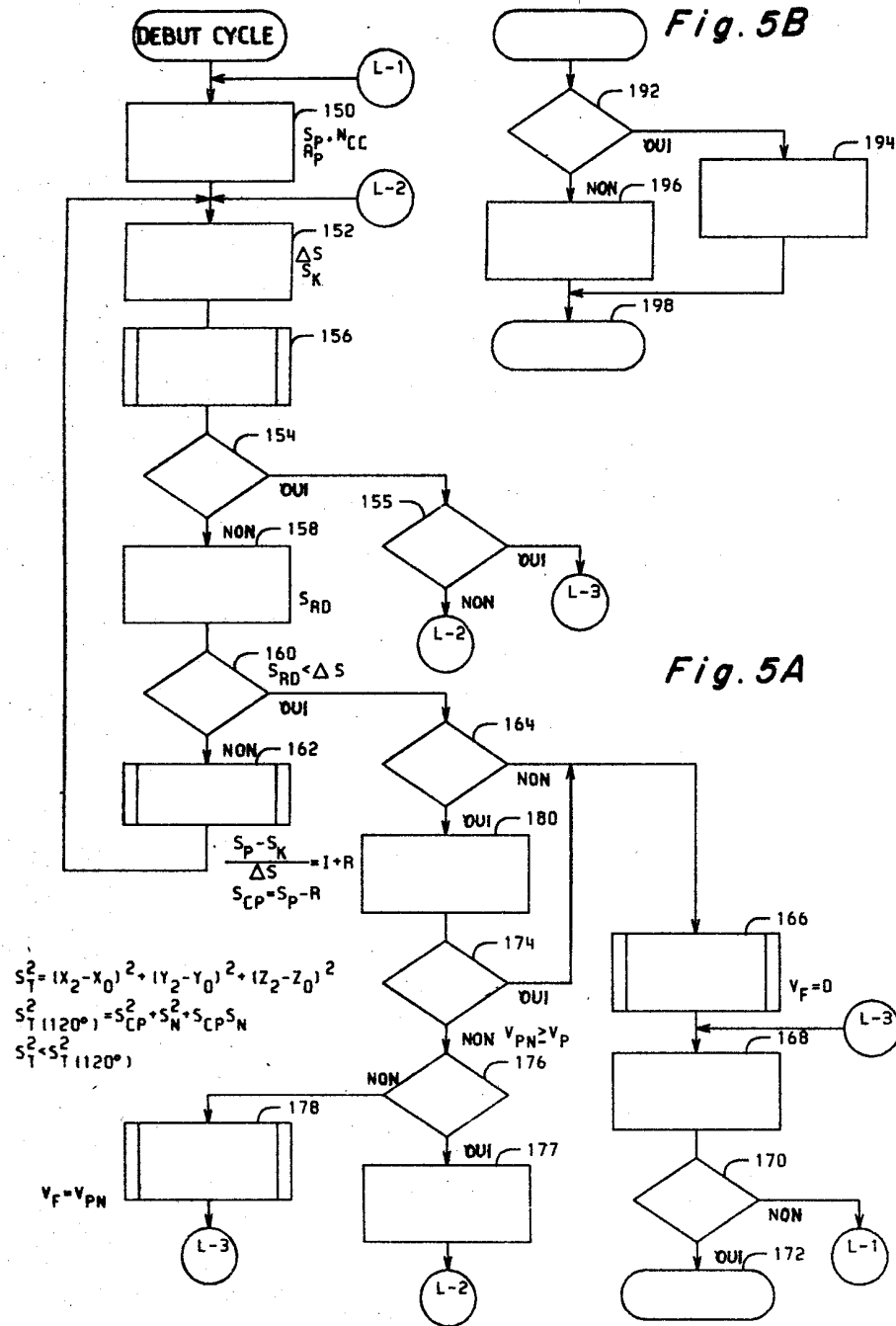


Fig. 6A

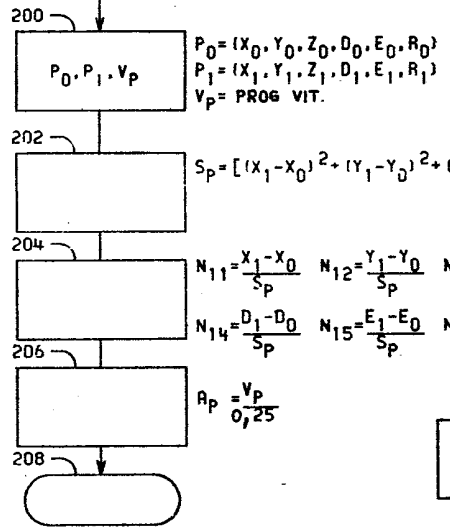


Fig. 6B

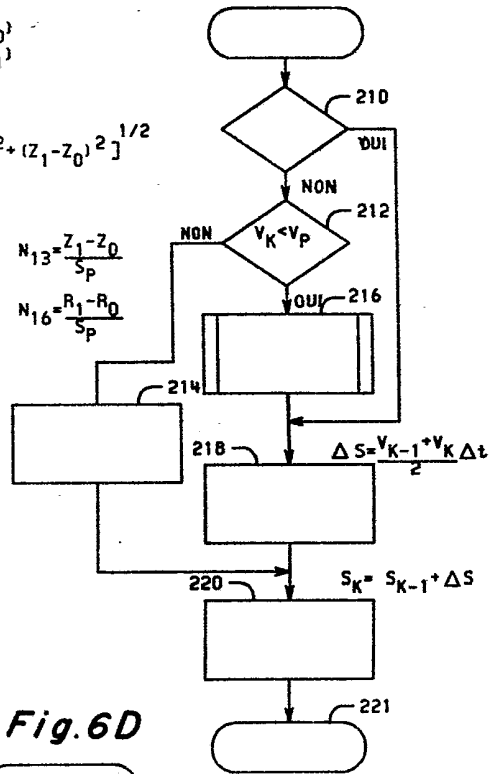


Fig. 6C

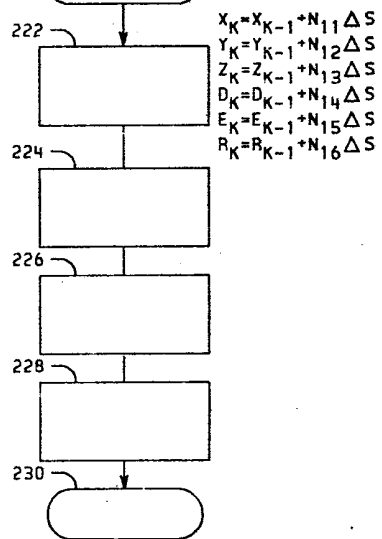


Fig. 6D

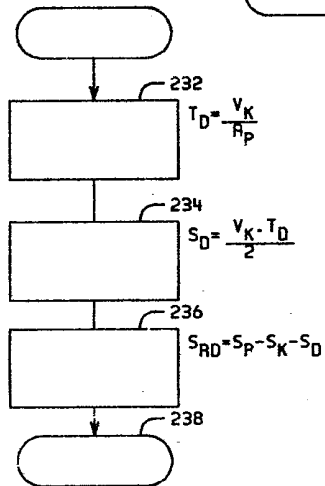


Fig.7

