

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 17593**

---

(54) Appareil et procédé pour modifier la marche d'une machine-outil en fonction du couple.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). G 05 B 15/02 // B 23 Q 15/06.

(22) Date de dépôt..... 8 août 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *EUA, 10 août 1979, n° 065 583.*

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 8 du 20-2-1981.

---

(71) Déposant : Société dite : CINCINNATI MILACRON INC., résidant aux EUA.

(72) Invention de : Thomas Raymond Frecka.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

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

L'invention concerne d'une manière générale le domaine des machines-outils à commande numérique, et plus particulièrement un procédé et un appareil de commande de la marche d'une machine-outil en fonction du couple résistant exercé par l'action de coupe sur une broche en rotation. Il existe un grand nombre de dispositifs de commande de machines-outils dans l'art antérieur. L'invention a trait plus particulièrement aux dispositifs dans lesquels un couple constitue la variable de commande mesurée. Cependant, le concept de l'invention peut être appliqué à de nombreux autres dispositifs.

Le couple constitue généralement une variable de commande valable dans l'opération de perçage. Il existe trois variables principales dans l'opération de perçage, et la valeur d'un dispositif de commande réside dans son aptitude à réaliser un réglage pour ces trois variables. Premièrement, des variations apparaissent dans la matière à percer. Elles sont dues aux variations de dureté de la matière et aux variations de son aptitude à l'usinage. Deuxièmement, le dispositif de commande doit pouvoir accepter des variations affectant le foret et réagir à ces variations. Des variations de couple résultent d'une obturation des cannelures du foret par des copeaux, et le couple varie en fonction de l'aiguisage relatif des forets. Troisièmement, le dispositif de commande doit pouvoir commander la marche de la machine lorsque le foret débouche à l'air libre de l'autre côté de la pièce. Non seulement ceci se produit lors du perçage de trous réalisés de part en part, mais également lorsque le foret rencontre des trous transversaux ménagés dans la pièce. Le dispositif de commande de couple doit détecter l'augmentation du couple provoquée par l'une quelconque ou plusieurs des variables précitées et il doit diminuer la vitesse d'avance afin de maintenir le couple dans les limites souhaitées. Lors de la mise en oeuvre d'une machine dépourvue d'un dispositif de commande de couple, l'opérateur doit s'assurer que le couple ne s'élève pas excessivement dans le pire des cas. Par conséquent, la machine doit travailler d'une manière prudente. Etant donné que le dispositif de commande de couple

règle la vitesse d'avance en fonction de conditions de coupe changeantes, la machine peut en général être mise en oeuvre avec une vitesse moyenne d'avance plus élevée.

Il est bien connu que le couple peut être mesuré  
5 par détection du courant et de la tension du moteur de  
commande de la broche afin de déterminer la puissance  
développée par le moteur, et également par détection de la  
vitesse angulaire de l'outil de coupe pour déterminer le  
couple. Un certain nombre de dispositifs de commande  
10 sensibles au couple ont été commercialisés, ces dispositifs  
utilisant la relation générale précitée pour déterminer le  
couple et modifier, en fonction de ce dernier, la marche de  
la machine. Il existe d'une manière générale plusieurs  
dispositifs classiques totalement analogues, présentant  
15 plusieurs inconvénients qui leur sont propres.

L'inconvénient le plus important est qu'une  
échelle linéaire unique doit être utilisée pour définir la  
gamme complète de la variable du couple mesurée. Une plage  
linéaire classique pour des dispositifs analogiques s'étend  
20 sur 10 volts. Une plage typique de courant d'un moteur de  
broche s'étend de 100 milli-ampères à 120 ampères, c'est-à-  
dire une plage de quatre ordres de grandeur ou décades. Par  
conséquent, les transducteurs analogiques doivent avoir une  
sensibilité de l'ordre du millivolt sans aucune perte de  
25 résolution, ce qui constitue une exigence coûteuse à  
satisfaire.

Le problème est compliqué en outre par la  
nécessité de multiplier entre elles les variables du courant  
et de la tension pour obtenir la puissance. Pour les ordres  
30 de grandeur indiqués précédemment, le multiplicateur  
analogique doit avoir une plage de sept ordres de grandeur  
ou décades. Ceci constitue une impossibilité pratique pour  
les composants commercialisés que l'on peut utiliser de  
manière économique. Il est facilement évident que la gamme  
35 dynamique d'un dispositif linéaire doit être limitée à moins  
de trois ordres de grandeur ou décades, et un tel dispositif  
présente donc, de par sa nature, des limitations très  
gênantes dans ce domaine d'application.

Pour améliorer les possibilités et la souplesse du dispositif de commande, il est souhaitable de mettre en oeuvre un système basé sur un microprocesseur. Cependant, il se pose de nouveaux problèmes qui n'existaient pas dans le système analogique. Ces problèmes concernent les opérations de diagnostic, les communications avec d'autres éléments du système et la détermination du couple lui-même. Chaque mesure de couple exige que les variables définissant le couple soient mesurées, que la valeur du couple soit calculée, que la quantité de couple en excès soit déterminée et qu'une intervention soit effectuée à temps pour protéger l'outil.

Contrairement à un système analogique dans lequel les variables peuvent être mesurées à tout instant ou sur une base continue, dans un système numérique, les variables ne peuvent être échantillonnées qu'à un instant particulier dans le temps. Ceci pose un problème difficile pour déterminer le couple en roue libre ou à vide. Le couple à vide peut varier sur une plage de 2 à 1 au cours d'un seul tour de la broche. Par conséquent, un seul échantillon des variables ne convient pas. Les variables définissant le couple doivent donc être échantillonnées plusieurs fois au cours d'un seul tour de la broche. A partir de ces échantillons du couple à vide, il est possible de déterminer et de mémoriser un couple à vide moyen raisonnable.

Le problème général posé par la détermination du couple et le problème particulier posé par la détection du couple à vide sont en outre compliqués par la plage nécessaire au fonctionnement du système. Par exemple, une vitesse maximale typique de broche est de 6000 tr/min ; pour obtenir un nombre raisonnable d'échantillons de couple à vide, par exemple 10 échantillons par tour, le système doit pouvoir effectuer une détermination de couple à chaque milliseconde. En une milliseconde, le système doit mesurer le courant, la tension et la vitesse du moteur de la broche ; multiplier le courant par la tension ; diviser le produit par la vitesse ; et mémoriser le quotient obtenu. Par conséquent, même si la décision d'utiliser un système basé sur un microprocesseur peut, en principe, supprimer les limitations

imposées par les systèmes à base analogique, de nouveaux problèmes concernant la détection et la détermination du couple doivent être résolus.

5 L'invention concerne un système de commande de couple pouvant mesurer un couple sur cinq ordres de grandeur, fournissant les valeurs d'échantillonnage à vide nécessaires et offrant une plus grande souplesse dans le domaine de la commande des machines.

10 Une forme de réalisation de l'invention comprend donc un procédé et un appareil de commande de la marche d'une machine-outil en fonction du couple appliqué à un outil rotatif de coupe par suite de son contact avec une pièce. La machine comporte un moteur de broche destiné à faire tourner l'outil de coupe et un moteur d'avance destiné à produire le  
15 mouvement relatif entre l'outil et la pièce. L'appareil selon l'invention comporte un premier dispositif destiné à détecter un signal de courant représentant le courant du moteur de la broche pouvant apparaître sur une gamme de quatre décades. On détecte également un signal de tension représentant une  
20 tension appliquée au moteur de la broche et pouvant s'étendre sur une gamme de deux décades. On détecte un signal de vitesse représentant une vitesse angulaire de l'outil qui peut s'étendre sur une gamme de trois décades. L'appareil selon l'invention comporte un dispositif destiné à convertir  
25 les signaux de courant, de tension et de vitesse en signaux logarithmiques correspondants de courant, de tension et de vitesse représentant les valeurs logarithmiques des signaux de courant, de tension et de vitesse, respectivement. L'appareil comporte également un dispositif destiné à  
30 produire un signal de couple représentant un couple résistant exercé sur l'outil de coupe et pouvant s'étendre sur une gamme de cinq décades. Le signal de couple est comparé à un signal prédéterminé de couple de référence, et un dispositif est destiné à modifier la marche de la machine suivant que le  
35 signal de couple dépasse le signal de couple de référence.

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 un schéma général simplifié montrant comment le système de commande de couple peut être intégré à un appareil de commande numérique classique à calculateur ;

5 les figures 2a et 2b, lorsqu'elles sont jointes suivant la ligne de jonction indiquée, représentent le procédé mis en oeuvre par l'appareil montré sur la figure 1 ;

la figure 3 est un organigramme d'un programme destiné à déterminer la valeur du couple ;

10 la figure 4 est un organigramme détaillé d'un programme destiné à vérifier la valeur calculée pour le couple en fonction d'un certain nombre de valeurs prédéterminées de couple de référence ;

15 la figure 5 est un graphique montrant le mode de fonctionnement en limitation de couple ; et

la figure 6 est un organigramme d'un programme destiné à déterminer la valeur de modification de la vitesse d'avance en fonction de la valeur calculée pour le couple au-dessus de l'une des valeurs prédéterminées de couple de référence.

20 La figure 1 est une vue schématique simplifiée montrant comment l'appareil de commande de couple selon l'invention peut être utilisé avec une commande numérique classique 10 à calculateur. Un décodeur 14 de données  
25 d'entrée, un clavier 12 et un tube 16 à rayons cathodiques peuvent être utilisés pour transférer une information de commande de programme et de processus vers la commande 10 et à partir de cette commande. La commande 10 réagit à l'information provenant de l'interface 18 de commande en  
30 produisant des signaux de sortie transmis à la machine par l'intermédiaire d'une interface 20. La commande 10 distribue l'information de processus entre des éléments spécifiques 22 réalisant une fonction-machine, par exemple des voyants lumineux, des interrupteurs de fin de course, des boutons-poussoirs, des bobines, etc., et reçoit des informations  
35 d'entrée de ces éléments. Un élément d'une information de fonction-machine détermine la marche du dispositif 24 qui commande le fonctionnement du moteur 26 de la broche. Le

moteur 26 est relié mécaniquement à une broche 28 qui porte un outil rotatif 30 de coupe.

La commande 10 produit également une information de chariot sous la forme de signaux de commande transmis à un  
5 servo-amplificateur 32 qui applique un signal de commande à une commande 34 de chariot. La commande 34 est reliée mécaniquement à un chariot 36 de la machine supportant une pièce 38 et permettant de produire un mouvement relatif entre l'outil 30 de coupe et la pièce 38. Un élément 40 de réaction  
10 détecte le mouvement réel du chariot afin de permettre au servo-amplificateur d'arrêter le mouvement du chariot de la machine lorsque la position demandée est atteinte. Il convient de noter que seul le mouvement relatif entre l'outil de coupe et la pièce 20 est important et que la façon selon  
15 laquelle ce mouvement relatif est produit n'entre pas dans le cadre de l'invention.

Les éléments décrits jusqu'à présent sont des éléments classiques d'une commande numérique et ils sont utilisés, par exemple, dans la commande numérique à  
20 calculateur du type "ACRAMATIC" produite par la firme Cincinnati Milacron Inc. Les détails exacts de l'assemblage des éléments montrés sur la figure 1 peuvent évidemment varier d'une commande à l'autre et il ne doit pas être considéré comme limitatif de la présente invention.

25 Un dispositif 42 de contrôle de couple contient un microprocesseur 44 qui est connecté par une ligne commune 46 de données à une mémoire 48 de données et à une mémoire 50 de programmes. Une interface périphérique programmable 54 commande le transfert de toutes les informations vers le  
30 dispositif 42 de contrôle de couple et à partir de ce dispositif 42. Une interface 56 d'entrée-sortie transmet des ordres au dispositif 42 de commande et arrête les demandes transmises à la commande 10. Le dispositif 42 de contrôle ou de commande de couple reçoit des données des périphériques 12  
35 et 14 et de la commande 10 par l'intermédiaire d'un décodeur 58, et il renvoie des données à l'interface 18 de commande au moyen d'un multiplexeur 60 de sortie.

A la réception d'un ordre provenant de la commande 10, l'interface périphérique 54 agit sur le multiplexeur 62 afin qu'il échantillonne un signal d'entrée provenant de la machine. Lorsque le multiplexage porte sur le

5 canal 2, un transducteur 64 de tension détecte la tension du moteur de la broche sur une plage comprise entre 10 et 1000 volts. Le signal de sortie du transducteur 64 est transmis par l'interface 20 de la machine et l'interface 52 de la commande de couple à un amplificateur 66 qui assume des

10 fonctions de mémoire tampon et de démultiplication. Après le transfert par l'intermédiaire du multiplexeur 62 d'entrée, un amplificateur logarithmique 68 produit un signal de tension logarithmique représentant la valeur logarithmique du signal de tension. Un convertisseur analogique/numérique 70 produit

15 un signal logarithmique numérique de tension qui est mémorisé dans la mémoire 48 de données. Ensuite, le microprocesseur 44 agit sur le multiplexeur 62 d'entrée pour échantillonner le canal 1, et le transducteur 72 de courant détecte le courant du moteur de la broche sur une plage s'étendant de 100 milli-

20 ampères à 1000 ampères. Un signal de sortie du transducteur 72 de courant est appliqué au dispositif 42 de commande et démultiplié par l'amplificateur 74. Comme indiqué précédemment, un signal logarithmique numérique de courant est produit et mémorisé. D'une manière analogue, le multi-

25 plexeur 62 d'entrée réalise un multiplexage sur le canal zéro, et un transducteur 76 de vitesse détecte une vitesse de broche comprise entre 10 et 10 000 tr/min. Le signal de sortie du transducteur de vitesse est transmis à un amplificateur 78 et un signal logarithmique numérique de vitesse est produit

30 et mémorisé.

Comme décrit ci-après, ces signaux d'entrée sont utilisés pour produire un signal de couple compris dans la gamme de 0,135 à 1355 m.N, ce signal étant comparé à une

35 référence prédéterminée de couple. Si le couple réel dépasse le signal de référence, un signal de changement de vitesse d'avance est produit. Ce signal est transmis sous une forme analogique par le convertisseur numérique/analogique 80 à un tableau 82 de commande de couple qui porte des boutons-



poussoirs, des voyants lumineux et un indicateur de mesure afin de permettre un contrôle sélectif du couple de coupe ou de la vitesse d'avance contrôlée, généralement sous la forme d'un pourcentage de la valeur programmée de la vitesse d'avance. Un autre convertisseur numérique/analogique 84 renvoie un signal de modification de vitesse d'avance à la commande 10.

Les figures 2a et 2b, lorsqu'elles sont reliées suivant la ligne indiquée de jonction, montrent le procédé général mis en oeuvre par l'appareil représenté sur la figure 1. De même que dans tout système numérique, lors de la mise sous tension, le système doit être repositionné et initialisé. Cette opération est indiquée par le sous-programme 100. Immédiatement après, le système exécute une opération d'auto-contrôle pour vérifier le fonctionnement convenable des divers éléments. Bien que cette opération ne soit pas absolument nécessaire, un test de diagnostic du système est communément effectué. Etant donné que cette caractéristique d'auto-contrôle n'entre pas dans le cadre de l'invention, elle ne sera pas décrite plus en détail. Le système recherche ensuite une interruption à partir de la commande 10. Comme mentionné précédemment, la commande 10 définit le mode de fonctionnement du dispositif de commande de couple. Il existe trois modes fondamentaux de fonctionnement, à savoir le mode hors fonction, le mode en équilibre et le mode en transfert par blocs.

Dans le bloc 105 de décision, le système vérifie si la commande 10 est prête pour le fonctionnement en couple contrôlé. Le dispositif de commande de couple fonctionne en continu jusqu'à ce qu'il soit arrêté par la commande 10. Il existe de nombreuses opérations autres que l'usinage au cours desquelles le dispositif de commande ou de contrôle de couple n'est pas nécessaire, par exemple la mise en marche de la machine, le retour de la broche, etc. Dans ces situations, la commande 10 place le dispositif de contrôle de couple en mode de repos et le procédé passe à l'opération ou étape 156 qui établit la vitesse d'avance à la valeur programmée.

Dans un bloc 106 de décision, le système réalise une vérification pour déterminer si la commande 10 a demandé un mode d'équilibre. Le but du mode d'équilibre est d'établir le couple à vide ou sans charge exercé sur le moteur de la broche. Une opération 108 positionne un indicateur de mode d'équilibre et efface les bits d'état correspondants. L'opération 110 déclenche une minuterie d'équilibre. Comme mentionné précédemment, la détermination du couple à vide exige que le couple soit échantillonné plusieurs fois au cours d'un seul tour effectué par la broche. Pour plus de commodité, on suppose que l'appareil décrit exécute huit échantillonnages au cours d'un seul tour. Etant donné que huit échantillons sont nécessaires et connaissant la vitesse angulaire de la broche, il est possible de déterminer le temps demandé à la broche pour effectuer  $1/8$  de tour, et ce temps est défini pour la minuterie d'équilibrage. Par conséquent, la minuterie d'équilibrage produit des échantillons de couple espacés régulièrement pendant que la broche effectue un tour. L'opération 112 a pour effet de positionner un compteur d'équilibrage sur le nombre d'échantillonnages de couple effectués pendant un tour de la broche, c'est-à-dire huit.

Le procédé passe au sous-programme 116 qui demande la détermination du couple. Après qu'une valeur de couple a été produite, un bloc 120 de décision reconnaît le mode de fonctionnement en équilibre et fait passer le procédé à l'opération 122 qui demande que la valeur du couple soit additionnée à d'autres mesures de couple effectuées pendant le procédé d'équilibrage. Le bloc 124 de décision détermine si la minuterie d'équilibrage a atteint ou non la fin de son intervalle de temps. Lorsque cet intervalle de temps est achevé, l'opération 126 consiste à réaliser une soustraction sur le compteur d'équilibrage et si le compteur d'équilibrage contient encore un compte supérieur à zéro, le procédé revient à l'opération 116 qui exige d'effectuer une autre détermination de couple. La mesure suivante de couple, telle que déterminée par la minuterie 110 d'équilibrage, se produit  $1/8$  de tour après que la première détermination de couple a été réalisée.

Le procédé se poursuit comme décrit précédemment et se répète par les blocs 116 à 128 jusqu'à ce que huit déterminations de couple aient été réalisées. Après la huitième détermination de couple, le total des couples  
5 provenant de l'opération 122 représente la somme des huit mesures de couple. Le compteur d'équilibrage est alors remis à zéro et le procédé passe au sous-programme 130 qui demande le calcul du couple moyen. Il est évident que ce calcul  
10 consiste à diviser la somme des couples provenant de l'opération 122 par le nombre de mesures de couple réalisées, c'est-à-dire huit dans la forme préférée de réalisation. L'opération 132 consiste à mémoriser la valeur moyenne du couple et l'opération 134 consiste à transmettre une interruption à la commande 10, cette interruption indiquant  
15 que le processus d'équilibrage est achevé et que le dispositif de contrôle de couple a déterminé une valeur pour le couple à vide ou sans charge.

En revenant au bloc 106, si la commande n'a pas défini un mode d'équilibrage, elle peut définir un mode de  
20 transfert par blocs. Ce mode est détecté par l'opération 144. Dans ce mode de fonctionnement, une donnée est transmise de la commande 10 au dispositif de contrôle de couple. La donnée définit les valeurs de couple de référence qui seront décrites ci-après. Chaque bloc de données est constitué d'un  
25 certain nombre de multiplets qui sont transmis en série. Un bloc 146 de décision vérifie si le transfert d'un multiplet de données à la mémoire tampon du dispositif de contrôle est achevé. Si le transfert n'est pas achevé, le procédé tourne sur une boucle autour de l'opération 146. Lorsque le  
30 transfert est complet, l'opération 148 du procédé consiste à lire les données contenues dans la mémoire tampon et à les transférer vers la mémoire de données. L'opération 150 consiste à extraire de la mémoire de données la limite de retenue du couple, à produire la valeur logarithmique de la  
35 limite et à renvoyer cette valeur logarithmique vers la mémoire de données. Les valeurs logarithmiques et anti-logarithmiques peuvent être déterminées par un certain nombre de techniques. Cependant, un procédé simple consiste à

mémoriser des tables logarithmiques et anti-logarithmiques dans la mémoire de programmes. Par conséquent, seule une simple recherche sur une table suffit. Le procédé revient ensuite au bloc 104 pour attendre une autre instruction du  
5 calculateur.

Avant l'usinage, le couple à vide est déterminé par l'exécution du processus comprenant les opérations 106 à 134. Après l'achèvement du mode en équilibrage, un bloc 120 de décision dirige le processus vers l'étape 152 qui consiste  
10 à vérifier la valeur actuelle du couple en fonction de limites prédéterminées de référence de couple. Si cela est nécessaire, l'étape 158 détermine une modification à apporter à la vitesse d'avance, et une étape 160 modifie la vitesse d'avance. Cette vitesse d'avance modifiée est transmise à la  
15 commande 10 par l'étape 162 du processus. Ce dernier revient ensuite à l'étape 116, et une nouvelle valeur de couple est déterminée. Le processus continue dans ce mode de fonctionnement jusqu'à ce que la valeur du couple de la commande 10 descende au-dessous de la limite de référence, ce  
20 qui déclenche le mode en limitation.

La figure 3 est un organigramme illustrant les opérations nécessaires pour déterminer le couple. Comme décrit précédemment, pour échantillonner les variables d'entrée afin de déterminer le couple, le multiplexeur 62  
25 d'entrée réalise un multiplexage entre ses canaux d'entrée 0 à 2. Par conséquent, l'étape 170 du processus demande au multiplexeur d'ouvrir le canal 2. Ceci permet à la tension provenant du transducteur 64 de tension d'être transmise par l'amplificateur 66, le multiplexeur 62 d'entrée, l'amplifi-  
30 cateur logarithmique 68 et le convertisseur analogique/numérique 70. Ainsi que cela est demandé par l'étape 172, le signal logarithmique numérique de tension est lu et mémorisé dans la mémoire 48 de données. Ensuite, l'étape 174 commande au multiplexeur d'entrée d'ouvrir le  
35 canal 1. L'étape 176 consiste à lire le signal de courant provenant du transducteur 72 sur le canal 1, ce signal étant le signal logarithmique numérique de courant représentant le logarithme de la valeur de courant détectée par le

transducteur 72. Le signal logarithmique numérique de courant est ajouté au signal logarithmique numérique de tension dans l'étape 178. Cette somme constitue un signal logarithmique numérique de puissance représentant la puissance développée par le moteur de la broche. Ensuite, le microprocesseur 44 commande au multiplexeur d'entrée 62 de réaliser un multiplexage sur le canal 0, comme décrit dans l'étape 184 du processus. On obtient ainsi un signal logarithmique numérique de vitesse représentant la valeur logarithmique de la vitesse angulaire qui est détectée par le transducteur 76 et qui est lue dans l'étape 186 du processus. Le signal logarithmique numérique de vitesse est soustrait du signal logarithmique numérique de puissance au cours de l'étape 188 afin que l'on obtienne un signal logarithmique numérique de couple. Dans l'étape 190 du processus, une consultation de table est réalisée afin de déterminer le signal numérique de couple au moyen d'une table anti-logarithmique mémorisée dans la mémoire 50 de programme.

Comme mentionné précédemment, en mémorisant les valeurs logarithmiques des variables d'entrée constituées par la tension, le courant et la vitesse, le système peut travailler sur une gamme de décades ou d'ordres de grandeur des variables d'entrée qu'il était impossible d'atteindre jusqu'à présent. De même, une gamme de valeurs de couple de plus de cinq décades est à présent possible. L'état logarithmique des variables d'entrée présente l'avantage supplémentaire de permettre la réalisation du calcul complexe de couple, demandant une multiplication et une division, par une simple addition et une simple soustraction des valeurs logarithmiques. Ainsi qu'il apparaît à l'homme de l'art, en utilisant des microprocesseurs plus perfectionnés, il est possible d'obtenir les valeurs anti-logarithmiques des variables d'entrée mémorisées, et le couple peut être calculé par exécution de la multiplication, entre elles, des variables de tension et de courant, et de la division de ce produit par la variable de vitesse.

La figure 4 est un organigramme illustrant les opérations nécessaires pour contrôler le signal de couple en

fonction de certaines valeurs prédéterminées de couple de référence. Les valeurs de couple de référence citées ci-après ne constituent que des exemples montrant la souplesse de fonctionnement du dispositif de contrôle de couple, et elles  
5 ne constituent en aucune manière une limitation du domaine d'application de l'invention.

Une première valeur de couple désignée arbitrairement par le terme "valeur M" représente une limite de couple extrême par rapport à la structure de la machine.  
10 L'étape 200 du processus détermine si le signal de couple est supérieur à la limite de référence M. Si tel est le cas, l'étape 202 du processus établit l'état limite M ; l'étape 204 interrompt la commande 10 ; et le processus attend la suppression de l'interruption par l'intermédiaire de l'étape  
15 206. Il convient de noter que la comparaison effectuée dans l'étape 200 représente le couple brut. L'étape 208 du processus soustrait le couple à vide, précédemment déterminé, de la valeur déterminée pour le couple brut afin de produire un signal de couple net représentant les forces réelles de  
20 coupe exercées sur l'outil de coupe.

L'étape 210 du processus compare le signal du couple réel à une référence de couple prédéterminée et identifiée arbitrairement par le terme "limite I". La limite I représente une limite du couple réel pouvant avoir des  
25 conséquences catastrophiques pour un outil particulier. Si ce couple limite est dépassé, le processus d'usinage doit être immédiatement arrêté. Si l'étape 210 de processus détecte une limite de couple excessive, l'étape 211 positionne le bit d'état de limite I. L'étape 204 du processus interrompt la  
30 commande 10 et le processus se place en attente d'interruption conformément à l'étape 206.

Si l'étape 210 du processus ne détecte pas une limite de couple excessive, l'étape 212 du processus vérifie si le signal du couple réel dépasse une autre limite de  
35 couple identifiée arbitrairement par le terme "limite B". La limite B représente un couple minimal devant être présent si un outil de coupe est en contact avec la pièce. Si ce couple minimal n'existe pas, il est très probable que l'outil de

couple est brisé. Si cette limite minimale de couple est détectée, l'étape 214 du procédé positionne le bit d'état de limite B.

5 L'étape 216 du processus détermine si le couple  
réel est supérieur à une autre limite de couple identifiée  
arbitrairement par le terme "limite C". La limite C  
représente une valeur de couple représentative du contact  
d'un outil avec la pièce. La limite C est utilisée pour  
commander le déclenchement de l'écoulement du fluide de  
10 refroidissement lorsqu'on utilise un dispositif au moyen  
duquel le fluide de refroidissement s'écoule à l'intérieur de  
l'outil. Lorsque la valeur du couple de coupe dépasse la  
limite C, l'étape 218 du processus déclenche l'écoulement du  
fluide de refroidissement. Lorsque la valeur du couple  
15 descend au-dessous de la limite C, cette dernière a pour  
effet d'arrêter l'écoulement du fluide de refroidissement.

L'étape 220 du processus détermine le moment où  
la limite du couple de coupe dépasse la moitié de la limite  
A. La limite A représente le couple pour lequel la vitesse  
20 d'avance est amenée à zéro. La valeur zéro représente  
l'extrémité inférieure d'un mode de fonctionnement en  
limitation de couple. Le mode en limitation est établi par un  
bloc 222 lorsque le couple dépasse la moitié de la limite A,  
et l'indicateur de mode de limitation est positionné par le  
25 bloc 223 du processus. A ce moment, la vitesse d'avance est  
ramenée à zéro, en proportion directe avec l'accroissement du  
couple de manière que la vitesse d'avance soit réduite à zéro  
lorsque le couple est égal à la limite A. Si le couple mesuré  
est inférieur à la moitié de la limite A, l'étape 225 du  
30 processus remet en place l'indicateur de limitation et le  
mode en limitation s'achève.

La figure 4 montre la souplesse d'utilisation du  
système de commande décrit. Contrairement aux systèmes de  
commande de l'art antérieur dans lesquels seul un mode en  
35 limitation est utilisé, le système selon l'invention commande  
ou contrôle le couple suivant un mode totalement différent,  
c'est-à-dire suivant un contrôle de limite du couple.  
Contrairement au mode de contrôle en limitation dans lequel

la vitesse d'avance est réduite automatiquement en fonction de l'accroissement du couple, le contrôle de limite de couple fournit à la commande numérique à calculateur un signal définissant un couple particulier suivant les conditions de l'usinage. La commande numérique à calculateur peut alors intervenir pour exécuter des étapes de processus qui sont compatibles avec la limite de couple détectée.

La figure 5 est un graphique montrant le mode de fonctionnement en limitation de couple. Une valeur maximale A de couple est prédéterminée et est une fonction de la valeur de couple provoquant une rupture de l'outil. Normalement, la vitesse d'avance est égale à 100 % de sa valeur programmée, cette vitesse d'avance étant indiquée en ordonnées et le couple étant indiqué en abscisses. Cependant, lorsque le signal de couple dépasse la moitié de la valeur A, le système entre en mode de fonctionnement en limitation, et la vitesse d'avance est réduite d'une manière directement proportionnelle à l'accroissement du couple. Par conséquent, lorsque le couple atteint la valeur A, la vitesse d'avance prend une valeur zéro et on empêche l'outil de se briser. Par conséquent, connaissant la valeur A et la pente de la courbe 230 de limitation de couple, le pourcentage souhaité de la vitesse d'avance programmée peut être calculé pour des valeurs de couple dépassant la moitié de la valeur A.

Dans l'étape 152 de processus indiquée sur la figure 2b, le système vérifie le couple mesuré en fonction des limites de couple. En particulier, dans l'étape 220 de décision de la figure 4, le couple mesuré est comparé à la moitié de la valeur A. Si le couple mesuré est supérieur, le mode en limitation est établi dans l'étape 222, et l'indicateur de limitation est positionné dans l'étape 223. Comme montré sur la figure 2b, étant donné que le mode en limitation est établi, le bloc 154 de décision dirige le processus vers l'étape 158 pour calculer la modification de la vitesse d'avance.

La figure 6 est un organigramme montrant les étapes nécessaires pour déterminer une nouvelle modification de la vitesse d'avance. Conformément au graphique de la



figure 5, la modification de la vitesse d'avance peut être déterminée par la formule :  $\%F = 2(1-T/A)$ . Par conséquent, dans l'étape 240 du processus, le rapport du couple à la limite A est déterminé. Dans l'étape 242, ce rapport est soustrait de l'unité, et dans l'étape 244, la différence précédente est multipliée par deux. Le processus revient ensuite au bloc 160 de la figure 2b qui demande que la modification de la vitesse d'avance soit multipliée par la vitesse d'avance programmée, afin de produire une nouvelle valeur de limitation de la vitesse d'avance.

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

REVENDICATIONS

1. Appareil pour modifier la marche d'une machine-outil en fonction du couple exercé sur un outil rotatif de coupe (30) par suite du contact de cet outil (30) avec une pièce (38), la machine-outil comportant un moteur (26) de broche destiné à faire tourner l'outil de coupe (30), et un moteur (34) d'avance destiné à produire un mouvement relatif entre l'outil (30) et la pièce (38) en réponse à des signaux de commande provenant d'une commande numérique (10), l'appareil étant caractérisé en ce qu'il comporte un transducteur (64) de tension qui réagit aux conditions de fonctionnement du moteur (26) de la broche pour produire un signal de tension représentant une tension du moteur comprise dans une gamme de deux décades, un transducteur (72) de courant qui réagit aux conditions de fonctionnement du moteur (26) de la broche pour produire un signal de courant représentant le courant du moteur dans une gamme de quatre décades, un transducteur (76) de vitesse qui réagit aux conditions de fonctionnement du moteur (26) de la broche pour produire un signal de vitesse représentant une vitesse du moteur dans une gamme de trois décades, un circuit amplificateur (70, 68, 66, 74, 78) qui, en fonction des signaux de tension, de courant et de vitesse, produit des signaux logarithmiques correspondants de tension, de courant et de vitesse représentant les valeurs logarithmiques des signaux de tension, de courant et de vitesse, respectivement, une mémoire (48) de données destinée à mémoriser les signaux logarithmiques de tension, de courant et de vitesse, et un calculateur (44, 50, 54, 62, 45, 56, 58, 60, 84) comprenant un processeur (44, 45, 46, 48), une mémoire (50) de programmes et une interface (54, 56, 58, 60, 62, 80, 84) pour commander la détection, la conversion et la mémorisation des signaux représentant la tension, le courant et la vitesse du moteur (26) de la broche, et pour déterminer un signal de couple en fonction des signaux logarithmiques mémorisés de tension, de courant et de vitesse, ce signal de couple représentant un couple du moteur de la broche produit dans une gamme de cinq décades, et pour produire un signal de commande transmis à la

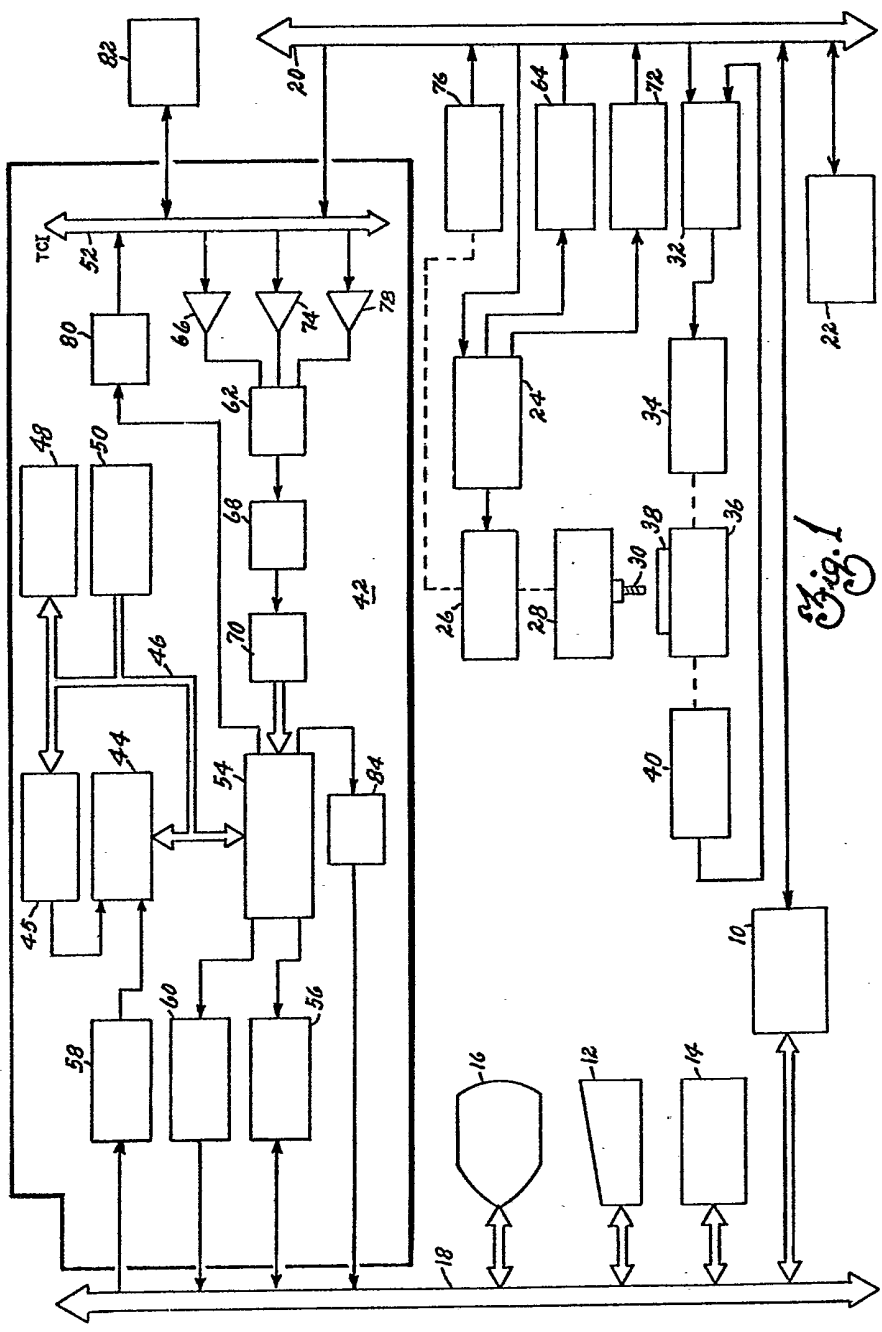
commande numérique (10) lorsque le signal de couple dépasse un signal de couple prédéterminé de référence.

2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que les signaux de tension, de courant et de vitesse représentent des valeurs analogiques de la tension, du courant et de la vitesse, respectivement, du moteur de la broche, l'appareil comprenant également un convertisseur analogique/numérique (70) qui, en réponse aux signaux logarithmiques de tension, de courant et de vitesse, produit des signaux logarithmiques numériques de tension, de courant et de vitesse, respectivement, représentant les valeurs numériques correspondant aux signaux analogiques détectés.

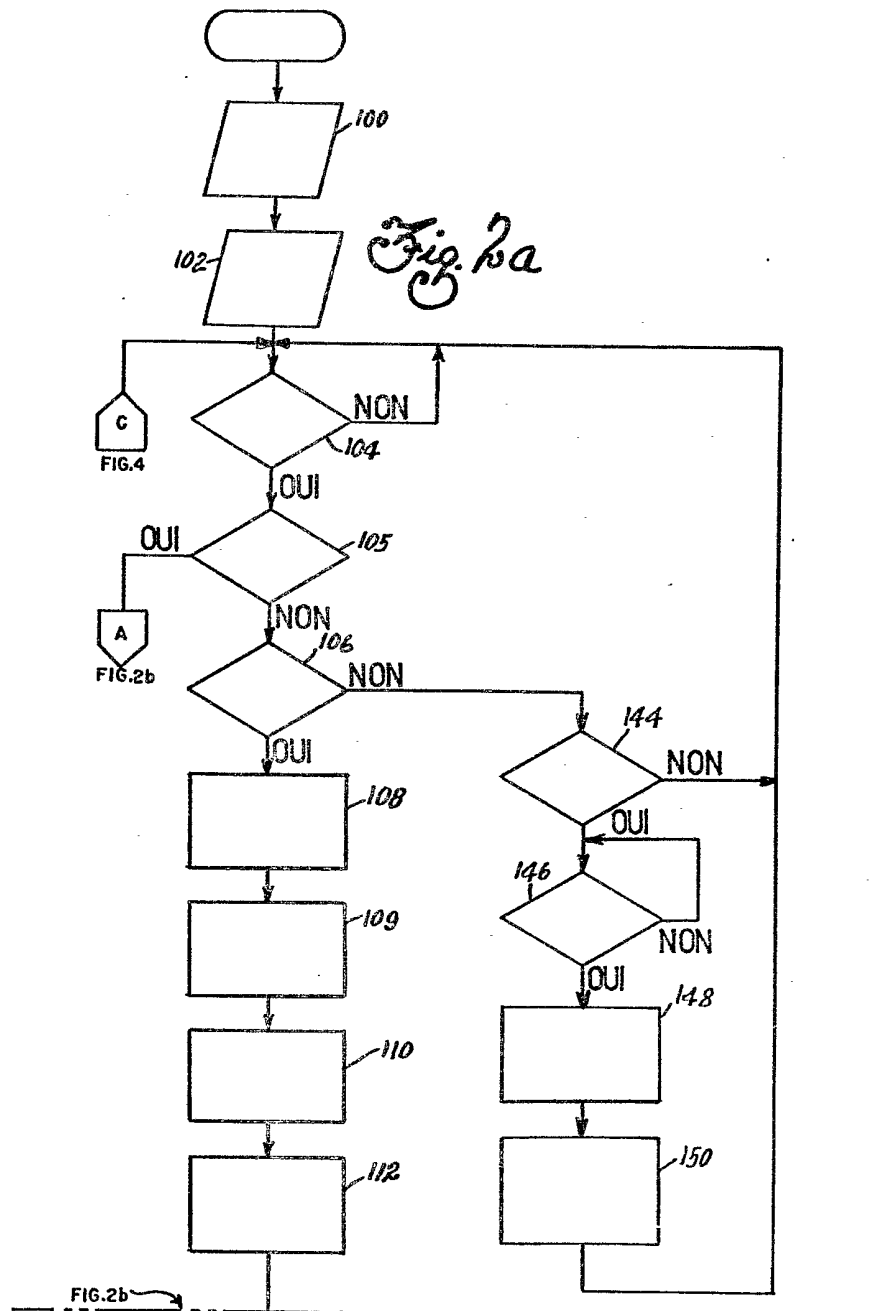
3. Appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce que le calculateur comprend également une interface périphérique (54) en communication électrique avec la commande numérique (10) et réagissant à des signaux de commande produits par la commande numérique (10) en déclenchant l'un de plusieurs modes de fonctionnement de l'appareil.

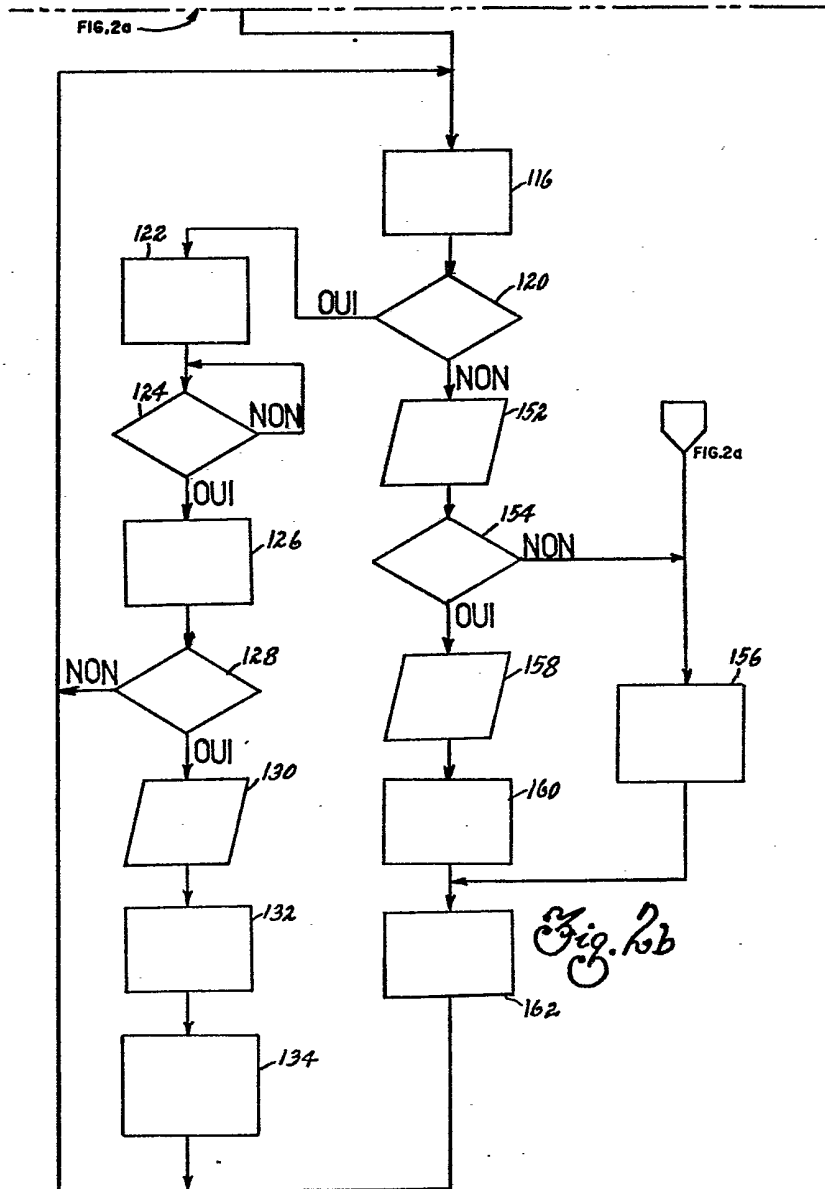
4. Procédé de commande de la marche d'une machine-outil en fonction du couple exercé sur un outil rotatif de coupe par suite du contact de cet outil (30) avec une pièce (38), la machine-outil comportant un moteur (26) de broche destiné à faire tourner l'outil de coupe, et un moteur (34) d'avance destiné à produire un mouvement relatif entre l'outil de coupe et la pièce en réponse à des signaux de commande provenant d'une commande numérique (10), le procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste à détecter un signal de courant représentant un courant du moteur de la broche dans une gamme de quatre décades, un signal de tension représentant une tension appliquée au moteur de la broche dans une gamme de deux décades, et un signal de vitesse représentant une vitesse angulaire de l'outil de coupe dans une gamme de trois décades, à convertir les signaux de courant, de tension et de vitesse en signaux logarithmiques correspondants de courant, de tension et de vitesse représentant, respectivement, les valeurs logarithmiques des

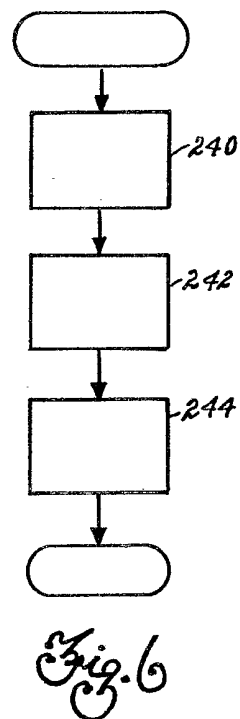
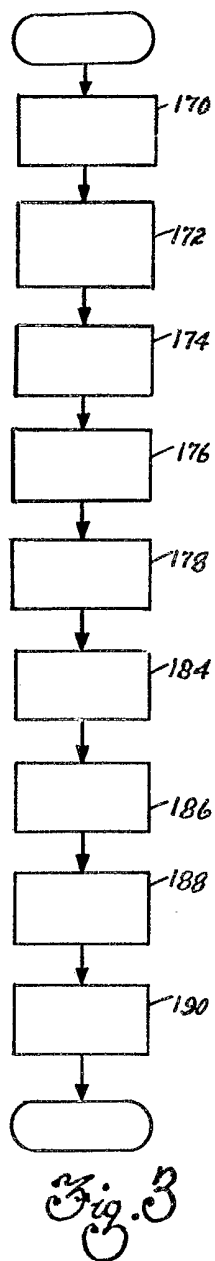
5 signaux de courant, de tension et de vitesse, à mémoriser les signaux logarithmiques de courant, de tension et de vitesse, à produire, en réponse aux signaux mémorisés, un signal de couple représentant un couple du moteur de la broche apparaissant dans une gamme de cinq décades, à comparer le signal de couple à un signal prédéterminé de référence de couple, et à produire un signal de commande lorsque le signal de couple dépasse le signal prédéterminé de référence de couple, afin de modifier la marche de la machine-outil.



2/5









5/5

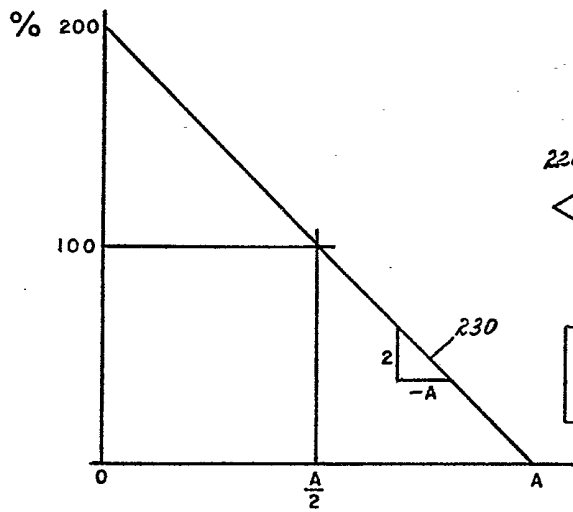
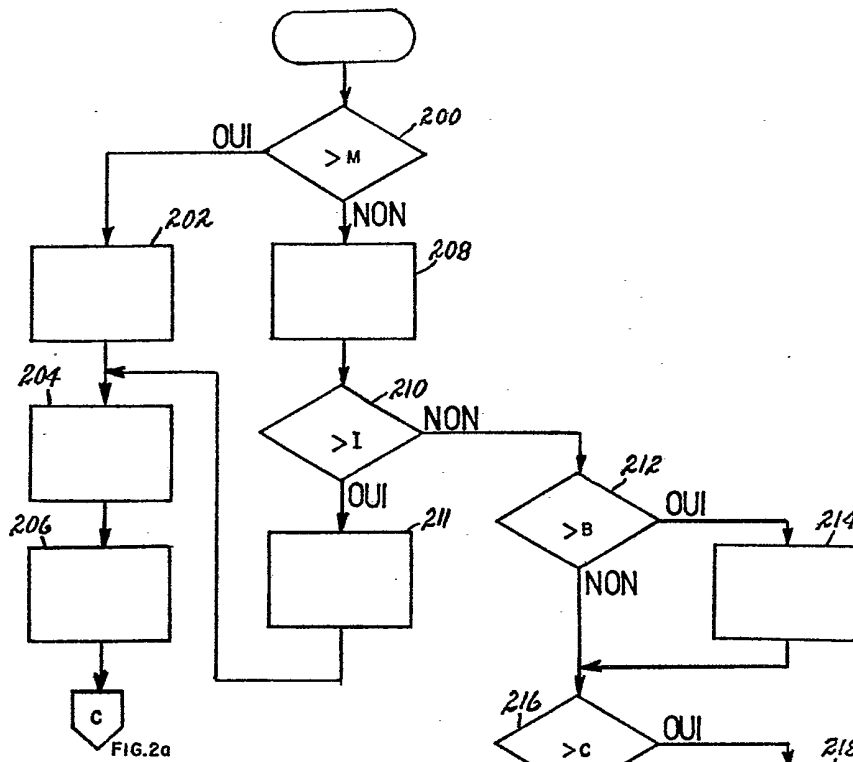


Fig. 5

