

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

2 479 459

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 06164**

(54) Procédé et appareil d'étalonnage d'un codeur de dispositif de contrôle de compteur de fluide.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 F 25/00.

(22) Date de dépôt..... 27 mars 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : EUA, 28 mars 1980, n° 135,191 et 136,077.

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 40 du 2-10-1981.

(71) Déposant : Société dite : ROCKWELL INTERNATIONAL CORPORATION, résidant aux EUA.

(72) Invention de : William W. Ho, William F. Hall, Harry W. Fisher et Eugene B. Perrine.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix,  
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention se rapporte d'une façon générale aux dispositifs de contrôle d'appareils de mesure et concerne, plus particulièrement, un dispositif de contrôle de la précision de compteurs de fluide, et particulièrement de gaz.

Dans la technique antérieure, le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 185 319 est un exemple ancien de l'utilisation d'un dispositif de contrôle de compteur du type à cloche, comprenant un récipient en forme de cloche qui est déplacé de façon rectiligne à l'intérieur ou à partir d'un réservoir rempli d'un liquide tel que de l'huile. En général, un système à poulie est utilisé, une poulie étant située au-dessus de la cloche et un câble passant autour de la poulie étant accroché à la cloche par une extrémité et portant un jeu de poids à son autre extrémité. Une conduite est prévue à partir de la cloche jusqu'au compteur à contrôler de manière que, lorsque la cloche s'élève, un fluide, par exemple du gaz, est aspiré par le compteur dans la cloche. Une vanne est disposée dans la conduite et, lorsqu'elle est placée en position fermée, elle interdit le passage du fluide à partir du compteur jusqu'au réservoir, inhibant ainsi le mouvement de la cloche et des poids qui y sont suspendus par l'intermédiaire de la poulie. A l'ouverture de la vanne, le fluide pénètre dans la cloche, permettant aux poids d'exercer leur force sur cette cloche qui est ainsi soulevée. Quand les poids sont libérés, le câble et par conséquent la cloche sont tirés vers le haut, créant ainsi une dépression dans la cloche, l'huile formant un joint qui évite toute fuite d'air dans la cloche.

Dans le but de déterminer le volume de fluide aspiré par le compteur, la pratique antérieure consistait à contrôler l'étendue du mouvement de la cloche, à mettre en corrélation ce mouvement avec une quantité donnée de fluide qui pouvait avoir été aspiré par le compteur et à comparer la quantité connue de fluide aspiré dans le compteur et dans le dispositif de contrôle, avec le fluide aspiré par le compteur.

de mesuré par le compteur, généralement indiqué par les positions des cadrans. Les procédés courants imposent des mesures physiques des dimensions de la cloche, qui sont mal commodes et qui sont sujettes à un certain nombre 5 d'erreurs possibles résultant du calcul de moyenne des diamètres géométriques non uniformes et des épaisseurs non uniformes des parois de la cloche, et de l'interpolation visuelle des marquages sur une échelle. La précision admise de ces procédés courants est de l'ordre de 10 0,3 % au mieux. Il apparaît ainsi qu'un tel dispositif de contrôle de compteur du type à cloche, qui a été le standard d'étalonnage des compteurs de fluide, manque de par sa nature d'un haut degré de précision en raison des erreurs introduites par : 1) l'observation visuelle des 15 points de départ et de fin du mouvement de la cloche ; 2) l'observation visuelle des indications de volume initial et final par les cadrans du compteur ; et 3) l'imprécision inhérente de la détermination du volume de la cloche. La cause d'erreur la plus importante dans cette 20 technique est la difficulté de mesurer et de déterminer exactement le volume de la cloche. Cette dernière était réalisée avec la plus grande précision possible mais des variations de son diamètre et, par conséquent, de sa circonférence se produisaient inévitablement. La mesure de 25 la circonférence, par mesure de périmètre, était la meilleure méthode pour obtenir la circonférence moyenne de la cloche et, par conséquent, le volume de sa partie cylindrique.

L'utilisation des dispositifs de contrôle à cloche 30 a persisté pendant de nombreuses années, des perfectionnements étant apportés principalement à la nature de la détermination du mouvement de la cloche et à la détermination du volume de fluide traversant le compteur. L'un des exemples les plus anciens d'un dispositif automatique de contrôle est décrit dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 050 980 et comporte une cloche avec 35 un capteur optique qui en détecte le mouvement lorsqu'elle est entraînée vers le haut par son moteur. Une con-

duite est dirigée depuis la cloche vers le compteur et contient une première électrovanne qui commande le passage du fluide depuis le compteur vers la cloche ainsi qu'une seconde électrovanne branchée sur la conduite et 5 permettant l'évacuation du fluide de la cloche lorsqu'elle revient à sa position basse. En fonctionnement, la cloche initialement remplie d'air est abaissée dans son réservoir, tendant à chasser l'air par le compteur. Une aiguille de cadran sur l'enregistreur du compteur, connue 10 sous le nom de "aiguille de contrôle", est détectée par un capteur optique pour déclencher l'essai, afin que la première vanne soit ouverte, tout en maintenant la seconde fermée, pour permettre un passage de fluide depuis la cloche par le compteur. Un essai automatique d'étanchéité à l'air est décrit, au cours duquel la première 15 vanne d'entrée et la seconde vanne de décharge sont fermées et une pression est établie, puis les fuites dans l'ensemble et dans les vannes sont contrôlées en mesurant la pression établie dans la cloche.

20 Par ailleurs, le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 2 987 911 décrit un dispositif de contrôle dans lequel les premier et second capteurs de température sont disposés respectivement aux sorties du compteur et du dispositif de contrôle, de manière que la différence de température soit calculée pour développer un facteur  $T_c$  de compensation de température utilisé pour effectuer une correction du volume calculé.

25 Comme le suggère le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 933 027, des efforts ont été faits pour améliorer le dispositif de contrôle du type à cloche en automatisant son fonctionnement. Ce brevet suggère de positionner une série d'indicateurs de détection par rapport à la cloche, de manière qu'un codeur optique détecte le mouvement de ces indicateurs et fournisse des indications sur les volumes correspondants d'air aspiré par le dispositif de contrôle à cloche, en passant par le compteur branché. 30 En outre, un second codeur optique est couplé avec les cadrans du compteur et délivre un signal de sortie sous

la forme d'un train d'impulsions indiquant le volume passant dans le compteur. Au déclenchement de l'essai du compteur, une porte est ouverte par le premier codeur optique pour déclencher une procédure de comptage ou de 5 temporisation pendant laquelle un signal d'horloge est appliqué à un compteur d'horloge de cloche et à un compteur d'horloge de compteur. La porte laissant passer les signaux d'horloge vers le compteur de cloche est fermée lorsqu'un comptage donné est atteint, correspondant à une 10 quantité connue de fluide aspiré par le compteur. Si une quantité similaire de fluide a été mesurée par le compteur, ce qu'indique le second codeur optique, un signal est appliqué par ce dernier à une porte pour interrompre 15 l'application des signaux d'horloge au dispositif de comptage d'horloge du compteur. A la fin, des premier et second comptages ont été accumulés dans les dispositifs de comptage d'horloge de cloche et de compteur, de sorte que leur rapport peut être facilement calculé et affiché sur un écran d'affichage numérique approprié. Il est entendu 20 que ce rapport est l'étalonnage du compteur, c'est-à-dire le rapport entre le volume réel ou étalonné de fluide ayant traversé le compteur et celui qu'il a mesuré.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 937 048 décrit une technique similaire selon laquelle un dispositif de contrôle automatique de compteur du type à cloche comporte en outre un dispositif de détection d'une série d'impulsions produites par le compteur pendant un cycle de son fonctionnement. Le volume réellement passé dans le compteur est mesuré par un codeur qui délivre un train 30 d'impulsions indiquant le mouvement linéaire de la cloche et, par conséquent, le volume déplacé, entrant ou sortant dans la cloche pendant un essai. Le codeur délivre un train d'impulsions indiquant le volume déplacé par la cloche ; les impulsions du codeur sont accumulées pendant 35 un nombre donné de cycles de fonctionnement du compteur pour étalonner l'indication de volume de ce dernier avec un volume donné de fluide déplacé par la cloche.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 877 287

suggère une structure nettement différente dans laquelle, au lieu d'un récipient du type en cloche, un cylindre est utilisé pour recevoir un piston entraîné dans le cylindre à une vitesse contrôlée, au moyen d'un moteur accouplé par 5 une tige filetée avec le piston pour l'entraîner dans le cylindre quand le moteur tourne. Il en résulte que le piston est entraîné avec une vitesse constante dans l'a-lésage de précision d'un tube ou d'un cylindre pour y entraîner un fluide et le faire passer dans le compteur à 10 contrôler. Ce brevet suggère deux moyens de mesurer le débit de fluide, le premier consistant à placer une série de trous dans une tige de piston reliant le piston et la tige filetée et à détecter le mouvement des trous devant un photodétecteur. Un second procédé utilise un codeur 15 optique couplé avec le moteur d'entraînement et produisant un train d'impulsions de sortie indiquant le déplacement du piston et, par conséquent, le volume réel de fluide déplacé à partir du cylindre.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 631 709 décrit également un dispositif de contrôle de compteur comportant un piston et un cylindre, le piston étant entraîné par une tige filetée au moyen d'un moteur commandé par programme. A sa mise en marche, le moteur entraîne par la tige filetée le piston dans le cylindre de manière qu'un volume connu de fluide (d'eau) passe par une série de compteurs disposés en série. Le programme de commande du moteur entraîne le fonctionnement du piston à des vitesses différentes, correspondant à des débits de fluide établis dans les compteurs pendant une 20 seule course du piston dans le cylindre. Un aimant est fixé sur une tige reliant la tige filetée et le piston et il actionne un contact magnétique quand le piston est tiré dans le cylindre pour déclencher le comptage d'impulsions 25 produites par un premier générateur d'impulsions 30 54 accouplé avec le moteur. Le signal de sortie du générateur 54 est un train d'impulsions qui est appliqué à un registre pour donner une indication sur le volume réel dans les compteurs. Des codeurs optiques sont égale- 35

ment couplés avec chacun des compteurs et délivrent des signaux pulsés à un second groupe de registres, de sorte que les valeurs mesurées par les compteurs peuvent être accumulées et affichées. Le volume réel ou standard est 5 défini par un nombre spécifique de comptages du premier pulseur et il est comparé avec la sortie de chaque compteur individuel. La commande par programme du moteur permet de l'accélérer avec son piston jusqu'à un état permanent avant le débit de la mesure de volume de fluide 10 dans le compteur, permettant ainsi la stabilisation des transitoires dans le fluide.

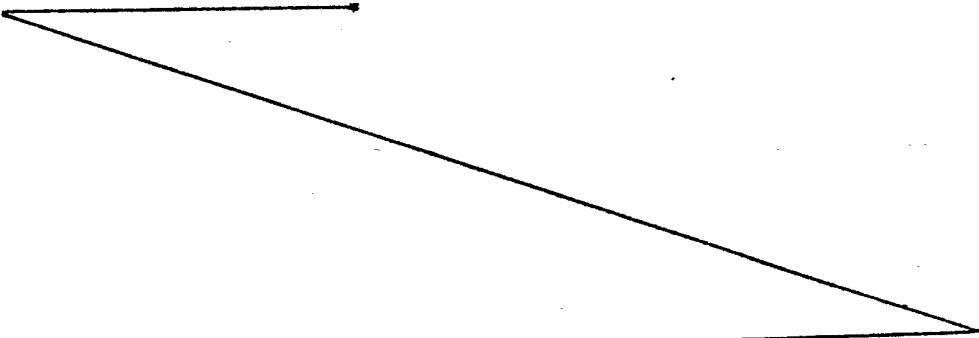
Comme cela a été indiqué ci-dessus, la technique antérieure tend à automatiser l'opération de contrôle des compteurs en déclenchant et en interrompant automatiquement 15 le comptage d'impulsions provenant d'un premier compteur indiquant le volume standard de fluide attiré par le compteur ainsi que le comptage d'impulsions provenant d'un second codeur indiquant le volume de fluide mesuré par le compteur en essai.

20 Mais cette technique antérieure n'a pas résolu le problème de l'amélioration de la précision de base des dispositifs de contrôle de compteur, c'est-à-dire d'un dispositif d'étalonnage de compteur. Dans l'état actuel du développement de la technique, les dispositifs de contrôle de compteur, particulièrement ceux du type à cloche, ne peuvent atteindre qu'une précision de  $\pm 0,2\%$  dans des conditions optimales. Il est donc évident que 25 les compteurs de fluide étalonnés ou contrôlés avec ces dispositifs ne peuvent eux-mêmes atteindre une plus grande précision. L'une des raisons principales de ce manque de 30 précision finale des dispositifs de contrôle existants est l'absence de procédé des appareils précis pour mesurer avec une grande précision le volume déplacé dans la cloche ou dans le cylindre tels qu'ils sont décrits dans 35 les brevets précités.

Il faut noter que l'invention apporte un procédé et un appareil de mesure du volume de la chambre d'essai du dispositif de contrôle de compteur avec une précision

d'une fraction de  $10^6$ . Quand le volume peut être obtenu avec cette précision, il est alors nécessaire d'assurer, comme le permet l'invention, que la structure comprenant la chambre est rigide et indéformable. Dans le passé, les 5 enceintes en cloche ne comportaient pas cette structure rigide de sorte que si elles étaient heurtées accidentellement, le volume intérieur pouvait être modifié jusqu'à un degré modifiant la précision de la lecture du dispositif de contrôle à cloche. Comme cela sera expliqué, l'invention apporte une technique de mesure du volume de déplacement dans la chambre du dispositif de contrôle consistant à produire des ondes électromagnétiques et à déterminer la fréquence à laquelle une résonance est établie pour des première et seconde positions d'un piston 10 entraîné dans l'enceinte. Selon l'invention, ce procédé de mesure du volume de l'enceinte impose l'utilisation d'une enceinte ayant la forme d'un cylindre circulaire parfaitement droit, de manière que les fréquences auxquelles des résonances sont établies puissent être déterminées exactement afin de connaître le volume de déplacement dans le cylindre rigide. En outre, il apparaîtra de façon évidente au cours de la description de l'invention qu'une fois que le volume du dispositif de contrôle a été déterminé avec une grande précision, il est 15 nécessaire de déterminer d'autres paramètres pouvant affecter l'indication d'enregistrement du compteur ou de volume de fluide aspiré dans ce compteur en essai avec une précision similaire. A cet égard, l'invention concerne des procédés et des appareils de mesure avec une haute 20 précision de la température et de la pression du fluide dans le compteur et dans le dispositif de contrôle afin qu'un facteur de correction puisse être déterminé avec un degré similaire de précision pour corriger les variations 25 des paramètres existants dans le compteur en essai et dans le dispositif de contrôle selon l'invention. Cette 30 technique diffère de la technique antérieure selon laquelle un dispositif de contrôle de compteur était placé dans un local d'environnement conditionné avec des va- 35

riations limitées de la température et de la pression dans ce local. Mais, lorsque la précision avec laquelle les variables doivent être mesurées s'approche de  $10^6$ , ce que permet l'invention, en ce qui concerne la mesure du volume de déplacement du dispositif de contrôle, il devient nécessaire de noter que ces paramètres de pression et de température varient dans le dispositif de contrôle et dans le compteur de fluide au cours de l'essai, de sorte que, pour obtenir la précision voulue, de nouveaux procédés et appareils de mesure de pression et de température doivent être prévus. Par exemple, si l'existe une erreur de  $0,55^\circ\text{C}$  dans la mesure de la température du fluide, il peut en résulter une erreur de  $0,2\%$  du volume indiqué par le dispositif de contrôle. Il faut noter que le dispositif de contrôle de compteur selon l'invention permet d'obtenir une indication du volume assuré dans le compteur en essai avec une précision de  $0,004\%$ . Avec cette précision, des recherches peuvent être conduites pour déterminer les effets d'autres facteurs sur la mesure du débit de fluide. Par exemple, le nombre de fois que ces essais sont effectués sur un compteur donné peut modifier l'enregistrement par le compteur. Il faut noter en outre que la variation de débit du fluide ainsi que le volume du fluide passant dans le compteur peuvent modifier le volume indiqué par ce compteur ainsi que son enregistrement par rapport au volume standard mesuré par le dispositif de contrôle.



L'invention concerne donc un appareil et un procédé de mesure du volume d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide comprenant une chambre, par exemple sous la forme d'un cylindre circulaire parfaitement droit, et 5 un piston agencé pour un mouvement rectiligne dans le cylindre entre une première position et une seconde position. L'appareil de mesure de volume comporte une antenne disposée dans la chambre et un générateur couplé de manière à appliquer de l'énergie électromagnétique à l'antenne 10 afin que des ondes électromagnétiques soient émises dans la chambre. Un détecteur est couplé avec l'antenne pour détecter de l'énergie électromagnétique réfléchie par la chambre et il est à son tour couplé avec un détecteur de résonance sous la forme d'un tube à rayons cathodiques 15 qui permet de déterminer un minimum dans le niveau de l'énergie électromagnétique. En outre, un détecteur de fréquence sous la forme d'un compteur d'impulsions est connecté à la sortie du générateur et il détecte les fréquences du signal de sortie du générateur pour lesquelles 20 le niveau minimum apparaît, observé sur un dispositif de visualisation, correspondant à l'établissement d'ondes stationnaires en résonance dans la chambre du dispositif de contrôle. La fréquence ou les fréquences auxquelles les ondes stationnaires en résonance sont établies dans 25 la chambre déterminent à leur tour le volume de la chambre du dispositif de contrôle. Le champ ou les champs électromagnétiques sont développés dans la chambre dans un mode choisi de manière que, à une condition de résonance dans la chambre, les composantes électriques et 30 magnétiques du champ électromagnétique se trouvent dans une relation définie avec les dimensions de la chambre de géométrie régulière, à titre d'exemple un cylindre circulaire droit.

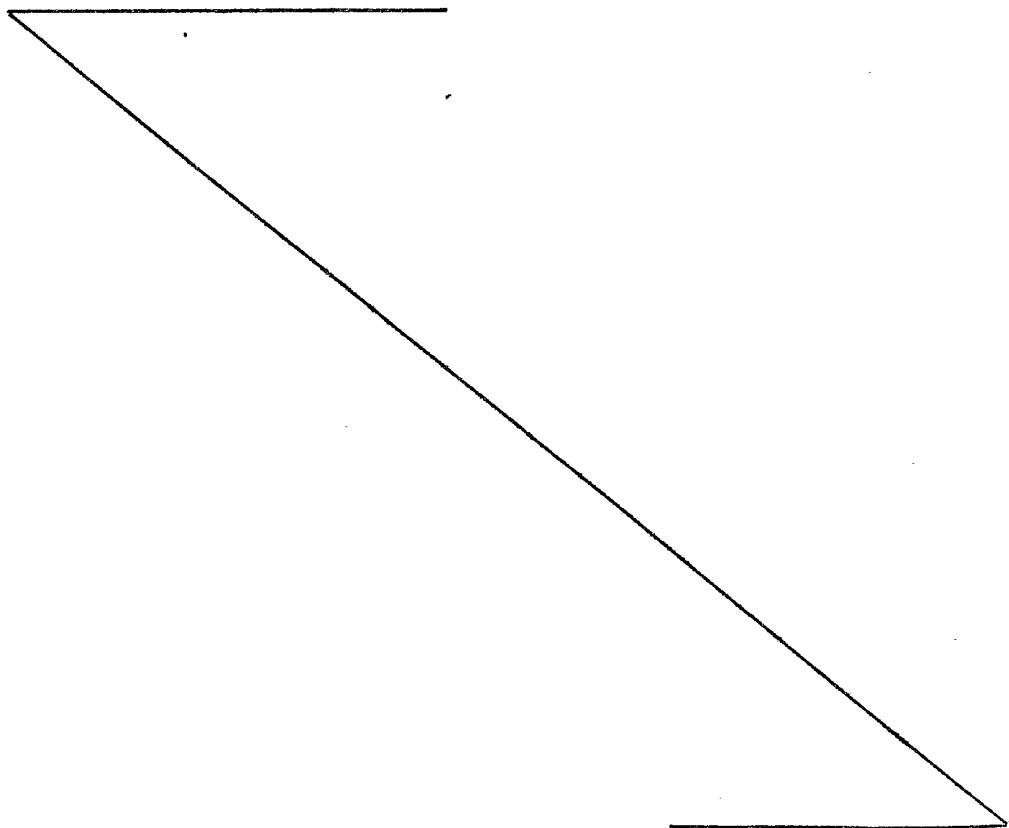
L'invention concerne également un appareil et un procédé d'étalonnage d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide comprenant une chambre, par exemple sous la forme d'un cylindre circulaire droit parfait, un piston agencé pour un mouvement rectiligne à partir d'une 35

première position jusqu'à une seconde position dans la chambre et un dispositif de mesure sous la forme d'un codeur couplé avec le piston et produisant un signal de haute résolution, par exemple sous la forme d'un train 5 d'impulsions. La chambre est reliée à un compteur de fluide en essai. Au cours de l'étalonnage du dispositif de contrôle de compteur, le piston est placé dans une première position et de l'énergie électromagnétique est développée dans le volume défini par la chambre et le 10 piston ; la fréquence du champ électromagnétique est modifiée pour établir une condition stationnaire d'ondes en résonance dans le volume défini par la première position du piston. Le champ électromagnétique est développé dans un mode normal choisi de manière que, dans sa condition de résonance dans la chambre, les composantes électriques et magnétiques soient liées aux dimensions 15 de la chambre. Ensuite, le piston est déplacé de sa première à sa seconde position tout en accumulant ou en comptant le signal de sortie du codeur à haute résolution. Dans la seconde position du piston, la fréquence 20 de l'énergie électromagnétique est modifiée pour établir une condition de résonance d'ondes stationnaires dans l'enceinte et la seconde fréquence à laquelle cette position d'ondes résonantes est établie. Sur la base de 25 la détermination des première et seconde fréquences correspondant à l'établissement des conditions de résonance d'ondes stationnaires des première et seconde positions du piston, les volumes définis par l'enceinte et les première et seconde positions du piston sont déterminés, 30 ce qui permet de déterminer la différence de volume ou le volume de déplacement. Le volume de déplacement qui a été déterminé avec une grande précision est comparé avec la sortie du codeur pour déterminer l'accroissement de volume de fluide aspiré par le piston pour une unité 35 d'accroissement du signal, par exemple une impulsion du train.

En particulier, les diamètres des sections transversales du cylindre dans les première et seconde posi-

tions sont d'abord déterminés et, sur la base de ces premier et second diamètres, les volumes dans ces positions sont calculés et leur différence est déterminée. Ensuite, le volume de déplacement est divisé par le nombre compté 5 des impulsions de sortie pour obtenir un facteur indiquant l'accroissement de volume aspiré par le piston par unité ou impulsion du codeur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, l'application d'énergie électromagnétique pour établir 10 la condition d'ondes stationnaires dans l'enceinte se fait dans des premier et second modes choisis de manière à réduire les perturbations dues au caractère, à la configuration et à la surface intérieure de l'enceinte. Par exemple, les premier et second modes peuvent être les 15 modes  $TM_{010}$  et  $TE_{111}$  d'énergie électromagnétique.



D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre.

Aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemple nullement limitatif :

5 La figure 1 est une vue en élévation d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide selon l'invention,

Les figures 2A et 2B sont des vues détaillées et en coupe partielle du dispositif de contrôle de la figure 1,

10 La figure 2C montre la structure d'installation du dispositif de contrôle des figures 1 et 2A ainsi qu'un pupitre de commande par lequel l'opérateur peut commander et observer la sortie de données du dispositif de contrôle,

15 La figure 2D montre le panneau d'affichage du dispositif de commande et un module d'état de la figure 2C,

20 La figure 3 est un diagramme fonctionnel illustrant l'organisation du calculateur utilisé pour détecter les différentes variables du dispositif de contrôle et pour commander le mouvement du piston dans le cylindre du dispositif des figures 1 et 2A, ainsi que pour fournir une indication précise sur l'enregistrement du compteur en essai,

25 Les figures 4A à 4E montrent différents circuits de conditionnement et d'interface de signaux qui sont nécessaires pour produire les signaux vers et depuis le calculateur de la figure 3,

30 La figure 4F est une vue en perspective d'un compteur de fluide montrant la manière dont un détecteur de proximité peut être disposé par rapport à son mécanisme codeur,

Les figures 4G à 4M sont des schémas détaillés des circuits de conditionnement et d'interface de signaux représentés d'une façon générale sur les figures 4A et 4E,

35 La figure 5 est un organigramme de haut niveau du programme exécuté par le calculateur de la figure 3,

Les figures 6A et 6B sont des organigrammes plus détaillés des opérations d'initialisation effectuées

par le calculateur de la figure 3,

La figure 7 montre plus en détail les phases nécessaires pour étalonner les entrées appliquées aux circuits de conditionnement et d'interface de signaux pour fournir 5 les mesures de température et de pression au calculateur de la figure 3,

Les figures 8A à 8P sont des organigrammes détaillés illustrant la lecture de données mémorisées dans le calculateur et l'introduction des conditions dans lesquelles 10 le dispositif de contrôle effectue l'essai d'un compteur donné (les lettres I et O ne sont pas utilisées pour clarifier),

Les figures 9A à 9Q montrent les opérations effectuées par le calculateur de la figure 3 pour remplir les 15 différentes tâches et pour en fournir des manifestations (les lettres I et O ne sont pas utilisées pour clarifier),

La figure 10 est un schéma d'un circuit d'application d'un signal à haute fréquence à l'antenne à hyperfréquence dans le cylindre de dispositif de contrôle des figures 1 20 et 2A, et de modification de la fréquence du signal appliqué à l'antenne de manière que le volume du cylindre puisse être déterminé avec une grande précision afin de coder exactement le signal de sortie du codeur linéaire du dispositif de contrôle,

25 La figure 11 montre de A à E différents signaux d'entrée et le signal de sortie des circuits logiques et de conditionnement de signaux 170a et 170b représentés d'une façon générale sur la figure 4C et, plus particulièrement, sur la figure 4K,

30 Les figures 12A et 12B sont respectivement une vue en perspective d'un couvercle placé sur le piston des figures 1 et 2A et une coupe d'un joint élastique disposé autour de la périphérie du couvercle de piston,

35 La figure 13 est un graphe illustrant la réponse d'une chambre de forme cylindrique circulaire droite excitée avec des champs électromagnétiques à haute fréquence, en fonction des variations de dimensions de la cavité et des fréquences d'excitation, et

La figure 14 est une courbe de réponse de cavité montrant la puissance réfléchie  $P_r$  en fonction de la fréquence d'excitation.

Les figures et, en particulier, les figures 1 et 2A 5 représentent un dispositif de contrôle 10 selon l'invention branché sur un compteur de fluide 38 à contrôler. Le dispositif de contrôle 10 comporte un cylindre 12 dans lequel un piston 14 est entraîné de façon rectiligne par un moteur 20 à vitesse variable programmable, 10 par exemple un servomoteur.

Le cylindre 12 est supporté en position verticale par une série d'entretoises 76 (dont deux seulement sont représentées) fixées à un collier 77, fixé à son tour à l'extérieur du cylindre 12. L'extrémité supérieure du cylindre 12 est fermée par une tête 86 à partir de laquelle une série d'entretoises 88, dont une seule est représentée, est dirigée vers le haut. Une plaque support 94 est fixée sur l'extrémité supérieure des entretoises 88 et le servomoteur 20 est monté au-dessus de la plaque 94. L'extrémité supérieure d'une tige filetée 18 tourne dans la plaque 94 par l'intermédiaire d'un palier 98 et elle est accouplée avec l'arbre moteur du servomoteur 20 au moyen d'un accouplement 100. Un écrou 22 fixé dans un carter 23 est vissé sur la tige filetée 18. 25 La tige filetée 18 est enfilée dans un manchon 17 dont l'extrémité supérieure est fixée au carter 23. L'extrémité inférieure du manchon 17 pénètre et coulisse dans une douille 96 de la tête 86. L'extrémité supérieure de la tige de piston 16 est fixée à l'extrémité inférieure 30 du manchon 17.

Une tête de cylindre intermédiaire 91 sépare la partie supérieure de l'intérieur du cylindre 12 de sa partie inférieure qui contient le piston 14. La tige de piston 16 pénètre et coulisse dans une douille 93 de la tête 91, l'extrémité inférieure de la tige 16 étant fixée sur le piston 14. 35

Ainsi, quand le servomoteur 20 tourne, la tige filetée 18 tourne dans l'écrou 22 de sorte que le carter

23, le manchon 17 et la tige 16 se déplacent verticalement dans un sens ou dans l'autre en fonction du sens de rotation du moteur.

Le fond du cylindre 12 est fermé par une tête 60 et 5 ce cylindre 12 enferme donc et délimite entre le piston 14 et la tête 60 une chambre 28 à volume variable. Une ouverture 62 dans la tête 60 met la chambre 28 en communication avec une conduite 30, une conduite 32 et un compteur de fluide 38. Une première vanne d'entrée 34 est disposée 10 entre le cylindre 12 et le compteur de fluide 38 pour commander le passage d'un fluide, par exemple un gaz. Une seconde vanne de sortie 36 est branchée sur la conduite 30 pour permettre la sortie d'un fluide du cylindre 12 quand cette vanne 36 a été ouverte.

15 La position précise de la tige de piston 16 et par conséquent du piston 14 est indiquée par un codeur optique linéaire 26 de haute précision accouplé avec la tige de piston 16 pour se déplacer avec elle. Plus particulièrement, le codeur 26 comporte des premier et second 20 groupes de sources lumineuses et de photodéTECTeurs disposés de chaque côté d'une échelle linéaire 24 comportant un grand nombre de marquages d'échelle 102. Dans un mode de réalisation de l'invention, l'échelle linéaire 24 est disposée en position fixe par rapport au codeur mobile 25 26 et elle porte 40 000 marquages 102 (100 marquages par millimètre) ; bien entendu, un nombre limité seulement de ces marquages a pu être représenté sur la figure. Ainsi, quand le codeur 26 se déplace de façon rectiligne suivant la longueur de l'échelle linéaire 24, des premier et second 30 trains d'impulsions A et  $\bar{A}$  sont développés, déphasés de  $90^\circ$  l'un par rapport à l'autre quand les faisceaux lumineux produits par les première et seconde sources lumineuses sont interceptées par les marquages 102. Les signaux de sortie A et  $\bar{A}$  du codeur optique 26 indiquent 35 avec précision la position du piston 14 et, par conséquent, le volume de fluide qui a été aspiré par le compteur de fluide 38. Comme cela sera expliqué, le volume de la chambre 28 à l'intérieur du cylindre 12 est mesuré

avec précision et chaque impulsion de sortie produite par le codeur 26 donne une indication précise d'un accroissement de volume aspiré dans la chambre 28 du cylindre 12 quand le piston 14 est tiré, c'est-à-dire entraîné vers le haut par le servomoteur 20. Avant que le piston 14 commence à monter, produisant une dépression dans la chambre 28, la vanne de sortie 36 est fermée et la vanne de mesure 34 est ouverte pour permettre le passage d'un fluide dans le compteur de fluide 38 par la conduite 32, la vanne 34 ouverte et les deux conduites 30 et 32 dans le carter 28. Pendant un essai, le compteur de fluide 38 délivre par son codeur 40 un train d'impulsions de sortie indiquant le volume de fluide qui le traverse. Le train d'impulsions produit par le codeur 40 est comparé avec le train d'impulsions produit par le codeur linéaire 26 afin d'obtenir une indication sur la précision du compteur de fluide, en ce qui concerne son enregistrement, un rapport correspondant au volume mesuré par le codeur 40 et le volume mesuré par le codeur linéaire 26.

En outre, le mouvement programmé du piston 14 met en œuvre plusieurs capteurs de proximité 50, 52 et 54 ainsi que deux commutateurs de limite 49 et 53. Comme cela sera expliqué, le servomoteur 20 entraîne le piston 14 de façon rectiligne dans le carter 28. Comme le montrent les figures 1 et 2A, le piston 14 se trouve dans sa position supérieure dans laquelle une butée 92 sur le carter 28 entre en contact et ferme le commutateur supérieur 53, arrêtant ainsi le servomoteur 20 quand le piston 14 est entraîné vers le haut, de manière que ce piston s'arrête. Quand le servomoteur 20 entraîne le piston vers le bas, comme le montre la figure 1, la butée 92 peut engager le commutateur inférieur 49, arrêtant à nouveau le piston. Le commutateur de sécurité supérieur 53 et le commutateur de sécurité inférieur 49 sont utilisés pour éviter tout dommage physique au dispositif de contrôle 10 si, par suite d'un dérangement, le servomoteur 20 continue à entraîner le piston 14 à une extrémité ou l'autre. Si la butée 92 engage l'un ou

l'autre des commutateurs 49, 53, le servomoteur 20 s'arrête et le piston est arrêté brusquement. Egalement dans un mode d'essai automatique de volume, comme cela sera expliqué, les détecteurs de proximité 52 et 54 sont utilisés pour détecter le mouvement du piston 14 entre des positions spécifiées. En général, le servomoteur 20 accélère le piston 14 jusqu'à une vitesse donnée et le signal de sortie du codeur linéaire 26 est aiguillé par le signal de sortie du détecteur de proximité 52 afin de permettre le comptage et l'accumulation des impulsions. Le comptage des impulsions produites par le codeur linéaire 26 est interrompu dans le mode d'essai automatique de volume, par l'apparition d'un signal de sortie du détecteur de proximité 54 indiquant le passage de la butée 92. Ensuite, le servomoteur 20 ralentit jusqu'à l'arrêt. Au contraire, dans le mode de contrôle de compteur de fluide, le piston 14 est entraîné vers le haut par le servomoteur 20 et, quand la butée 92 passe devant le détecteur de proximité 52, un signal d'autorisation est émis de sorte que, au flanc suivant ou avant de l'impulsion de sortie suivante du codeur 40 du compteur, le comptage des impulsions de sortie du codeur linéaire peut commencer. Dans le mode de contrôle de compteur, le comptage des impulsions du codeur linéaire est interrompu quand le comptage des impulsions du codeur de compteur a atteint une valeur prédéterminée correspondant à un volume de fluide aspiré par le compteur de fluide.

Dans le but de faciliter la compréhension de l'invention, un bref résumé du fonctionnement sera maintenant donné tandis qu'une description plus détaillée du fonctionnement du dispositif 10 sera faite par la suite. Un premier mode ou mode d'initialisation détermine si le piston 14 se trouve en position de repos, par exemple en déterminant si le détecteur de proximité 50 détecte la présence de la butée 92, comme expliqué ci-dessus ; sinon, le servomoteur 20 est mis sous tension pour amener le piston 14 dans sa position de repos. Si la butée 92 se trouve dans une position à détecter ou avant que le

piston 14 soit revenu dans sa position de repos, la seconde vanne de sortie 36 est ouverte pour permettre la sortie du fluide de la chambre 28 par la conduite 30, puis la vanne d'entrée 34 est fermée pour éviter que du fluide soit aspiré et abîme éventuellement le compteur de fluide 38. A la commande de l'opérateur indiquant qu'un compteur 38 doit être contrôlé, la première vanne 34 est ouverte, puis la seconde vanne 36 est fermée pour permettre le passage du fluide dans le compteur 38, la conduite 32, la vanne 34 ouverte et la conduite 30 pour pénétrer dans la chambre 28 quand le piston 14 est entraîné vers le haut par le servomoteur 20. Le piston 14 est accéléré progressivement jusqu'à une vitesse permanente donnée et il est maintenu à cette vitesse déterminée pendant la mesure d'essai de volume de fluide, pendant que les impulsions de sortie des codeurs 26 et 40 sont accumulées par une unité arithmétique comprenant des registres qui cumulent des comptages indiquant un volume précis mesuré par le codeur linéaire 26 et le volume mesuré par le compteur de fluide 38. L'essai du compteur est déclenché par le passage du piston 14 devant le détecteur de proximité 52 de démarrage d'essai qui autorise, à l'apparition de l'impulsion de sortie suivante ou plus exactement de son flanc avant, provenant du codeur 40, le comptage ou l'accumulation des impulsions de codeur de compteur ainsi que des impulsions de codeur linéaire. Suivant le volume voulu aspiré par le compteur de fluide 38 en essai, l'essai se termine au comptage d'un nombre déterminé d'impulsions du codeur. En particulier, le registre qui accumule les impulsions du codeur du compteur 38, lorsqu'il a compté un nombre prédéterminé dépendant du volume de fluide, délivre un signal de sortie appliqué au circuit de codeur linéaire pour interrompre son comptage des impulsions provenant du codeur 40. Les comptages mesurés indiquant le volume de fluide mesuré par le codeur 40 et par le codeur linéaire 26 sont comparés, c'est-à-dire que leur rapport est obtenu pour fournir une indication sur l'exactitude du compteur.

En outre, des mesures de température et de pression sont effectuées afin que les volumes mesurés puissent être adaptés à ces conditions. En particulier, deux dispositifs 42 et 44 de mesure de température sont disposés 5 à l'entrée et à la sortie du compteur de fluide 38. Un transducteur 46 de pression différentielle est disposé pour mesurer la différence entre la pression établie par le fluide dans la conduite 32 et la pression ambiante. En outre, les dispositifs 48 et 57 de mesure de tempéra- 10 ture sont disposés respectivement à la conduite 30 reliée à la chambre 28 et sur le piston 14 pour obtenir des indications sur la température du fluide dans la chambre 28. De plus, un second transducteur 51 de pression différentielle est disposé dans le piston 14 pour fournir une 15 indication sur la différence entre la pression ambiante et la pression établie dans la chambre 28. La moyenne des températures TM3 et TM4 fournies par les dispositifs 42 et 44 de mesure de température est établie pour obtenir une température moyenne AMT au compteur tandis que la 20 moyenne des sorties TP1 et TP2 des dispositifs 57 et 48 de mesure de température est établie pour obtenir une indication de température moyenne APT au dispositif de contrôle. Comme cela sera expliqué plus en détail par la suite, ces paramètres d'entrée sont utilisés pour ef- 25 fectuer un réglage des volumes mesurés déterminés par les codeurs 26 et 40, en fonction des conditions mesurées de température et de pression.

Comme le montre la figure 2A, une antenne à hyperfréquence 70 est disposée dans la tête 60 pour produire 30 des ondes à hyperfréquence dans la chambre 28 dans le but de déterminer exactement son volume. Il faut noter que cette mesure peut être faite périodiquement pour détecter même des changements minuscules du volume de la chambre 28. Comme cela sera expliqué, les techniques 35 d'établissement d'ondes électromagnétiques dans la plage des hyperfréquences permet d'obtenir le volume de la chambre 28 avec une précision d'une fraction de  $10^6$ . En outre, pour contrôler l'exactitude des capteurs de tem-

pérature 48 et 57, un dispositif 68 de mesure de température de haute précision est également placé dans la conduite 30. A titre d'exemple, les transducteurs de température 48 et 57 peuvent être du modèle 601222 fabriqué par Senso-Metrics, Incorporated, tandis que le transducteur de température de haute précision peut être du type fabriqué par Hewlett Packard sous le n° 18115A ; ce transducteur de température 68 doit être utilisé avec un thermomètre à quartz 2804A de Hewlett Packard. Les commutateurs de proximité 50, 52 et 54 peuvent être par exemple des commutateurs de proximité fabriqués par Microswitch sous la désignation FMSA5 tandis que les commutateurs de limite 49 et 53 peuvent être du type fabriqué par Microswitch sous la désignation BA-2R-A2 et ADA3721R.

15 Le servomoteur 20 peut être par exemple celui fabriqué par Control Systems Research, Inc. sous la désignation de moteur-tachymètre continu NC100. Le codeur optique 26 et l'échelle 24 peuvent consister en un codeur linéaire Pos-Econ-5 fabriqué par Heindenhain-Corporation. Comme cela sera expliqué en détail, les mesures de température et de pression dans le compteur de fluide 38 et dans le dispositif de contrôle 10 sont utilisées pour calculer un facteur par lequel le volume aspiré dans le dispositif de contrôle 10 est réglé en fonction de ces variables.

20 25 En particulier, les transducteurs de température 48 et 57 mesurent la température dans la partie inférieure et dans la partie supérieure de la chambre 28 pour obtenir une mesure moyenne dans l'espace de la température de l'ensemble du volume de la chambre 28 du dispositif de contrôle 10. D'une manière similaire, les transducteurs de température 42 et 44 donnent des indications sur la température du gaz à l'entrée et à la sortie du compteur de fluide 38, permettant d'obtenir une moyenne spatiale de température du gaz passant dans le compteur. Les transducteurs de température incorporés sélectivement dans le dispositif de contrôle 10 sont des thermomètres à résistance de platine de faible masse thermique et de haute stabilité et donnent des indications précises sur ces va-

riables, de sorte que le volume aspiré dans le dispositif de contrôle 10 peut être déterminé avec précision.

Comme le montrent les figures 2A et 2B, les dispositifs de proximité, 50, 52 et 54 ainsi que les commutateurs 5 de limite 49 et 53 sont supportés sur la pièce supérieure 90 qui, à son tour, est supportée par l'une des entre-toises verticales 88. Une extrémité de l'échelle linéaire 24 est supportée par la pièce 94 et cette échelle descend parallèlement à la direction du mouvement du piston 14, 10 son extrémité inférieure étant supportée sur une partie supérieure de l'intérieur du cylindre 12. La figure 2A ne montre qu'un nombre limité des 40 000 marquages 102. Dans la partie inférieure de la figure 2A, la vanne d'entrée 34 et la vanne de sortie 36 sont commandées respectivement 15 à partir des positions d'ouverture et de fermeture, par des dispositifs pneumatiques d'actionnement 66 et 64.

La figure 2A montre un dispositif d'étanchéité, désigné globalement par 78, pour le piston 14 et destiné à éviter que du fluide aspiré par le compteur 38 dans la chambre 28 puisse fuir autour des bords du piston 14 lorsqu'il se déplace d'un mouvement rectiligne dans le cylindre 12. La figure 2C montre le dispositif de contrôle 10 installé dans un environnement contrôlé constitué par une enceinte 104 comprenant une salle d'essai 106 qui reçoit le dispositif de contrôle 10 et une salle de commande 105 dans laquelle est disposée le pupitre de commande, comprenant une unité d'affichage 111 avec une imprimante et une série d'indicateurs lumineux indiquant les différents états du dispositif de contrôle, un terminal 112 à écran cathodique comprenant un clavier avec lequel l'opérateur peut introduire différentes commandes, et différents équipements générateurs de chaleur avec des sources d'alimentation, des commandes de moteur, des amplificateurs, etc. La commande des conditions ambiantes autour du dispositif de contrôle 10 est assurée en disposant cet appareil dans la salle d'essai 106 éloignée de l'unité 111 d'affichage et de générateur de chaleur et du terminal 112. Comme le montre la figure 2C,

le compteur de fluide 38 à contrôler est également disposé dans la salle d'essai 106 et il est branché sur le dispositif de contrôle 10 par une conduite 32. La température dans la salle d'essai 106 est mesurée par quatre dispositifs de détection de température R0, R1, R2 et R3 disposés 5 autour de la salle 106 et sur une entretoise 76 du dispositif de contrôle 10. Un transducteur 109 de pression barométrique et un baromètre sont également disposés dans la salle d'essai 106 pour mesurer la pression ambiante.

10 Des connexions électriques sont effectuées avec les différents dispositifs de mesure de température que montre la figure 2C, ainsi qu'avec les dispositifs de mesure de température et de pression représentés sur les figures 1 et 2A, et ces connexions sont conduites par des chemins 15 de câbles 110 vers le pupitre de commande dans la salle de commande 105. De cette manière, les conditions ambiantes dans lesquelles fonctionne le compteur 38 à contrôler et le dispositif de contrôle 10 sont contrôlées avec précision pour assurer l'intégrité des mesures effectuées 20 sur le compteur 38 et le dispositif de contrôle 10.

La figure 3 est un diagramme fonctionnel de l'organisation du calculateur remplissant les différentes fonctions, comprenant le traitement des mesures de température et de pression, des signaux de sortie du codeur linéaire et du codeur du compteur de fluide, et qui ferme à l'instant approprié les vannes 34 et 36. En outre, 25 des signaux de sortie sont produits pour le terminal à écran cathodique 112 pour indiquer les paramètres mesurés ainsi que vers le dispositif de commande et l'unité d'affichage 111 pour afficher les différents états de fonctionnement du dispositif de contrôle 10 tout en permettant à l'opérateur d'introduire par le clavier du terminal 112 des fonctions déterminées d'essai de 30 compteur. Le calculateur comporte une unité centrale de traitement 120 du type fabriqué par Rockwell International sous la désignation PPS-8, et qui délivre des signaux 35 d'adresse par une ligne omnibus d'adresse 128 vers une

mémoire permanente programmable 124 et une mémoire à accès direct 126. La mémoire à accès direct 126 peut être une mémoire 256 x 8 de Rockwell International tandis que la mémoire programmable 124 peut être une mémoire fabriquée par Intel Corporation sous la désignation 2708. Un circuit d'horloge de système 122 produit des signaux d'horloge, par exemple à 200 kHz, pour l'unité centrale de traitement 120 et peut consister par exemple en un circuit générateur d'horloge P/N 10706 fabriqué par Rockwell International. Comme le montre la figure 3, l'horloge 122, l'unité de traitement 120, la mémoire programmable 124 et la mémoire à accès direct 126 sont interconnectées par une ligne omnibus 140 de données des instructions qui peut consister en une ligne omnibus à 14 conducteurs interconnectant non seulement les éléments précités, mais également les circuits de conditionnement et d'interface de signaux 130, 132, 134, 136 et 138.

Le circuit 130 conditionne et assure l'interface des signaux représentant les signaux de température TP1 et TP2 au dispositif de contrôle, provenant respectivement des dispositifs de mesure de température 57 et 48. En outre, le circuit 130 reçoit également les signaux de température de compteur TM3 et TM4 provenant des dispositifs 42 et 44. Comme le montre la figure 2C, quatre dispositifs supplémentaires R0, R1, R2 et R3 de mesure de température de local sont prévus autour de la salle d'essai 106 dans laquelle est disposé le dispositif de contrôle 10 des figures 1 et 2A ; il est entendu à cet égard que les conditions ambiantes autour du dispositif de contrôle 10 sont bien régulées afin de maintenir aussi simple que possible la température ambiante du dispositif 10. Il est de pratique courante d'emmagasiner les compteurs 38 à contrôler dans cet environnement pendant un certain temps afin de leur permettre d'atteindre les mêmes conditions ambiantes que celles du dispositif de contrôle 10. Comme le montre la figure 3, les signaux de température sont appliqués à un circuit logique et conditionneur de signaux 150 et, de là, par un circuit d'in-

terface 151 à la ligne omnibus d'instructions et de données 140.

D'une manière similaire, les signaux de pression sont appliqués au circuit 132 de conditionnement et d'interface 5 qui comporte un circuit logique et conditionneur de signaux 162 et un circuit d'interface 164. En particulier, les signaux de sortie du dispositif 51 de mesure de pression différentielle indiquant la pression différentielle PP1 du dispositif de contrôle 10 et du dispositif 46 de 10 mesure de pression différentielle indiquant la pression MP2 au compteur ainsi que du dispositif 109 de mesure de pression barométrique indiquant la pression ambiante ou atmosphérique PB dans la salle d'essai 106 sont appliqués aux sorties 132.

15 Le signal de sortie du codeur de compteur 40 et du codeur optique linéaire 26 est appliqué au circuit 134 de conditionnement de signaux et d'interface. En particulier, le signal de sortie du codeur de compteur 40 est appliqué à un circuit logique et de conditionnement 170a 20 dont le signal de sortie est appliqué à son tour aux circuits d'interface 171 et 173. Un circuit d'horloge 175 applique un signal au circuit d'interface 173. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, un détecteur de proximité 27 est utilisé pour détecter la rotation du codeur de compteur 40 et le signal de sortie du détecteur 25 de proximité 27 est appliqué au circuit logique et de conditionnement 170a. Cela apparaît sur la figure 3 qui montre les signaux qui sont appliqués à ces circuits ; il est bien entendu qu'un seul de ces signaux d'entrée est 30 appliqué à un instant donné au circuit 170a. Le signal de sortie du codeur optique linéaire 26 est appliqué par le circuit logique et de conditionnement 170b et de circuit d'interface 179 à la ligne omnibus d'instructions et de données 140.

35 Dans le but d'obtenir une indication sur les paramètres mesurés, comme la température, la pression, ainsi que les volumes de fluide aspiré par le dispositif de contrôle 10 et mesuré par le compteur de fluide 38, des si-

gnaux de sortie sont appliqués par la ligne omnibus 140, par l'intermédiaire du circuit 136 vers l'unité d'affichage 111 qui comporte une imprimante de données telle que celle fabriquée par Practical Automation, Inc., sous 5 la désignation DMTP-3. En particulier, le circuit 136 comporte un circuit d'interface 192a qui délivre des signaux de sortie de paramètre par un circuit logique et de conditionnement 190a à l'imprimante 111. En outre, le circuit 136 comporte un circuit d'interface 192b produisant 10 les signaux de sortie de paramètre par un circuit logique et de conditionnement 190b vers le terminal 112 à écran cathodique. En outre, les signaux de commande d'entrée de l'opérateur, introduits par le clavier du terminal, sont transférés par le circuit logique 190b et le circuit d'interface 192b à la ligne omnibus d'instructions et de 15 données 140. Un circuit d'horloge 193 commande le débit binaire avec lequel les signaux peuvent être transférés entre le terminal 112 et le calculateur. Le terminal à écran 112 peut être par exemple un écran d'affichage fabriqué par Hazeltine Corporation sous la désignation 1500. Ce terminal permet d'introduire des commandes par les touches alphanumériques de son clavier et également d'afficher les commandes introduites, ainsi que les données paramétriques auxquelles l'opérateur accède.

25 Enfin, un circuit 138 d'interface et de conditionnement de signaux interconnecte la ligne omnibus 140 à la vanne d'entrée 34 et à la vanne de sortie 36 et applique les signaux de commande au servomoteur 20. En outre, le servomoteur 20 est associé avec un dispositif de commande 30 de moteur tel que celui fabriqué par Control Systems Research, Inc., sous la désignation NC101, par lequel des signaux de réaction indiquant la vitesse du moteur 20 sont appliqués par le circuit logique 194 pour modifier les commandes du moteur. En outre, des signaux 35 indiquant l'état du servomoteur 20 ainsi qu'un signal d'entrée provenant d'un commutateur de mode d'essai indiquant si le codeur tournant 40 ou le détecteur de proximité 26 doivent être utilisés pour mesurer le débit sont introduits par le circuit logique 198 et le cir-

cuit d'interface 200 dans la ligne omnibus de données et d'instructions 140.

Comme le montre la figure 4A, le circuit 130 d'interface et de conditionnement de signaux comporte des entrées à deux fils provenant des transducteurs de température 57, 48, 42 et 44 indiquant respectivement les températures TP1 et TP2 du dispositif de contrôle et les températures TM3 et TM4 du compteur, et il est connecté à un multiplexeur 149. Les quatre transducteurs de température R0, R1, R2 et R3 disposés autour de la salle d'essai 106 dans laquelle le dispositif de contrôle 10 est installé sont reliés à quatre autres entrées du multiplexeur 149. Ces transducteurs de température sont connectés à des modules d'amplificateur qui développent des tensions de sortie proportionnelles à la température détectée et qui appliquent les signaux de sortie aux entrées correspondantes du multiplexeur 149. De cette manière, chaque transducteur de température est associé avec son propre module d'amplificateur de sorte que la sortie du multiplexeur 149 peut être ajustée pour assurer une sortie uniforme en ce qui concerne l'amplitude et le décalage de tension pour chacun des transducteurs de température connectés au multiplexeur 149. Les détails du module d'amplificateur de chacun des transducteurs apparaissant sur la figure 4A seront expliqués ci-après en regard de la figure 4I, avec une description détaillée du circuit 150 de logique et de conditionnement de signaux de la figure 4A. Le multiplexeur 149 assure le multiplexage temporel de chacune de ces huit entrées et met à l'échelle les signaux de sortie de température appliqués un à la fois par le multiplexeur 154 à un amplificateur 152 qui, dans le cas présent, peut être un amplificateur fabriqué par Analog Devices sous la désignation AD522. Le second multiplexeur 154 est réalisé normalement de manière à appliquer l'un des huit signaux d'entrée de température, par l'amplificateur opérationnel 152 au convertisseur analogique-numérique 158 qui peut consister en un convertisseur fabriqué par Burr

Brown sous la désignation ADC80. Dans le mode d'étalonnage, le multiplexeur 154 est commandé de manière à appliquer une tension précise d'étalonnage au convertisseur 158. De la manière bien connue, la tension continue des signaux analogiques est réglée à un niveau qui peut être accepté facilement par le convertisseur 158 qui, à son tour, convertit ces signaux analogiques en des sorties numériques qui sont appliquées par les douze lignes de sortie à un dispositif 160 d'entrée/sortie parallèle, pouvant consister par exemple en un dispositif fabriqué par Rockwell International sous la désignation P/N 11696. Le circuit 160 permet de transférer des commandes d'entrée par la ligne omnibus 140 vers le multiplexeur 149 pour commander celle des entrées qui doit être échantillonnée à un instant particulier et pour permettre également au circuit logique 156 d'autoriser le multiplexeur 154 à appliquer l'une des sorties du multiplexeur 149 ou la tension d'entrée d'étalonnage au convertisseur analogique-numérique 158. En fonctionnement, l'unité centrale de traitement 120 délivre un signal d'appel par la ligne omnibus 140 vers le circuit d'entrée/sortie 160 qui réagit en autorisant qu'un appel d'information soit lu et converti en données numériques, appliquées à la ligne omnibus 140. En outre, une commande est délivrée par le circuit d'entrée/sortie 160 pour temporiser la conversion des signaux analogiques en signaux numériques par le convertisseur 158, et un signal indiquant l'état du convertisseur est appliqué par le circuit 160 à la ligne omnibus 140. Le signal d'étalonnage de tension permet de régler le zéro et la déviation de l'amplificateur opérationnel 152 afin que l'amplitude complète de chaque signal d'entrée puisse apparaître au circuit convertisseur 158.

La figure 4B représente plus en détail le circuit d'interface et de conditionnement 132 et montre que les signaux de sortie des transducteurs 51 et 46 indiquant respectivement la pression au piston ou au dispositif de contrôle PP1 et la pression au compteur MP2 sont appli-

qués par les amplificateurs opérationnels 161a et 161b à un multiplexeur 163. En outre, le signal de sortie du transducteur de pression 109 qui mesure la pression barométrique ou ambiante de la salle d'essai 106 est appliquée par l'amplificateur opérationnel 161c au multiplexeur 163. Initialement, l'unité centrale de traitement 120 émet une commande vers le multiplexeur 163 pour sélectionner celui des signaux de sortie des transducteurs de pression 51, 46 ou 109 qui doit être lu par la ligne omnibus 140 et le circuit d'entrée/sortie parallèle 168. En réponse à ce signal, le circuit d'entrée/sortie 168 applique des signaux de commande par la ligne omnibus à quatre fils 169 au multiplexeur 163 pour sélectionner l'un des trois signaux indicateurs de pression ou un signal indiquant le signal d'entrée d'étalonnage de tension qui doit être appliqué au convertisseur analogique-numérique 166, convertissant le signal analogique d'entrée en un signal numérique correspondant appliqué au circuit 168 pour être transmis par la ligne omnibus 140. Ensuite, à la commande de l'unité centrale de traitement 120, le circuit d'entrée/sortie 168 commande par la ligne 159 le convertisseur analogique-numérique 166 pour qu'il convertisse le signal analogique de sortie de pression en un signal numérique correspondant transmis par la ligne omnibus 140. La conversion des données analogiques d'entrée en données numériques impose une période finie pendant laquelle la conversion a lieu et, en outre, pour que des données numériques apparaissant sur les douze lignes de données de sortie du convertisseur 166 se stabilisent avant d'être lues par le circuit d'entrée/sortie 168. Quand la stabilisation du signal est assurée sur les douze lignes de sortie de données du circuit convertisseur 166, ce dernier délivre un signal d'état. En réponse au signal d'état, le circuit d'entrée/sortie 168 lit les données apparaissant sur les lignes de sortie du convertisseur 166 et applique ces signaux par la ligne omnibus 140 à la mémoire à accès direct 126, comme le montre la figure 3. Quand ces opérations sont terminées, le circuit d'entrée/sortie 168 délivre un signal de fin de lecture à la mémoire à accès direct 126.

nées, le dispositif peut sélectionner une autre sortie de pression provenant d'un autre transducteur, le convertir en un signal numérique et l'émettre vers la mémoire 126 de la manière expliquée ci-dessus.

5 Le circuit 134 d'interface et de conditionnement est représenté plus en détail sur la figure 4C. Le codeur rotatif 40 du compteur de fluide est connecté au compteur 38 et délivre des premier et second signaux A et  $\bar{A}$ , déphasés de  $90^\circ$  l'un par rapport à l'autre, pour le circuit 10 logique et de conditionnement 170a. En particulier, le circuit 170a traite les signaux d'entrée A et  $\bar{A}$  pour éliminer les problèmes possibles dus à une instabilité des signaux, pouvant résulter de vibrations mécaniques du codeur 40. Le circuit logique et de conditionnement 15 170a produit un signal pulsé composite correspondant à chaque groupe d'impulsions d'entrée des signaux A et  $\bar{A}$  et les applique à un temporisateur d'intervalle 174 comportant un compteur d'impulsions programmables 174a dans lequel est chargé un facteur qui dépend du volume 20 choisi de fluide à aspirer par le compteur de fluide 38 d'une manière qui sera expliquée. En particulier, ce facteur est placé dans le compteur programmable 174a et, au décomptage jusqu'à zéro à partir de ce facteur, une 25 impulsion est produite par le temporisateur d'intervalle 174 et appliquée à un circuit logique 177 dont le signal de sortie est appliqué au déclenchement d'un sous-programme d'interruption 2 d'unité centrale de traitement, de sorte que l'essai du compteur 38 est interrompu comme cela sera expliqué plus en détail en regard de la figure 30 9J. Le circuit logique 170a réagit au signal d'entrée A provenant du codeur rotatif 40 en appliquant une impulsion correspondant et conditionnée à un temporisateur d'intervalle 176 qui remplit la fonction de reconnaître le flanc avant du signal A pour déclencher la temporisation ou le comptage du compteur programmable 174a ainsi 35 que du compteur d'impulsions 176a et du compteur d'impulsions 182 du codeur linéaire. Plus particulièrement, l'unité centrale de traitement 120 commande le disposit-

tif de contrôle 10 et détecte si le piston 14 a été accéléré à partir de sa position de repos jusqu'à sa position de démarrage d'essai, ce qu'indique la présence d'un signal de sortie du détecteur de proximité 52. A la détection 5 du signal de sortie du détecteur de proximité 52, le programme exécuté périodiquement par l'unité centrale de traitement 120, par exemple toutes les 40 microsecondes, accède au temporisateur d'intervalle 176 pour déterminer s'il a reçu un signal d'entrée du circuit logique 10 et conditionneur 170a indiquant le flanc avant de signal d'entrée A du transducteur rotatif 40. A la détection 15 du premier flanc avant du signal de sortie du circuit logique 170a, après que le piston 14 a dépassé le détecteur de proximité 52, un signal de déclenchement est appliqué au circuit d'entrée/sortie parallèle 184 qui applique un signal de comptage au compteur d'impulsions 182 et également un signal de démarrage par la ligne omnibus 140 au compteur d'impulsions programmable 174a. De cette manière, chacun des compteurs d'impulsions 174a, 20 176a et 182 démarre le comptage au même moment. Dans l'exemple présent, le compteur programmable 174a décompte en réponse aux signaux de sortie du transducteur rotatif 40.

Selon un important aspect de l'invention, le déclenchement et l'interruption de l'essai du compteur de fluide, 25 c'est-à-dire le comptage par le compteur d'impulsions programmable 174a et le compteur d'impulsions 182, dépendent du signal de sortie du codeur rotatif 40 par lequel l'exactitude du compteur de fluide 38 doit être mesurée. 30 Plus particulièrement, le codeur rotatif 40 est couplé avec le compteur à gaz ou à fluide 38 comme cela sera décrit plus en détail en regard de la figure 4F et, à la rotation de sa tige de montage, le codeur 40 produit un train d'impulsions correspondant à la rotation du bras tangent et du cyclage du diaphragme du compteur. Comme le montre la figure 4F, la pièce tournante est accouplée 35 par des bras d'accouplement avec le diaphragme du compteur et sa rotation n'est pas linéaire de sorte que le

signal de sortie du codeur 40 est modulé en fréquence. Par conséquent, pour obtenir une mesure précise du codeur rotatif 40, il est souhaitable de compter les impulsions provenant de ce codeur de manière que le comptage commence 5 et se termine à peu près au même point que la rotation de la pièce tournante du compteur. Ce résultat est obtenu en déclenchant le comptage à la commande du codeur rotatif 40. En particulier, un essai de compteur est effectué en accélérant le piston 14 à partir de sa position de repos jusqu'à une vitesse permanente, de sorte que, lorsqu'il passe devant le détecteur de proximité 52 disposé dans la position de début d'essai, un signal de sortie 10 est produit pour autoriser, comme cela sera expliqué par la suite, la détection du flanc avant du signal de sortie suivant du circuit logique 170a correspondant au flanc 15 avant du signal de sortie suivant A du codeur rotatif 40. Le temporisateur d'intervalle 176 réagit au flanc avant en effectuant un déclenchement simultané du comptage par le compteur d'impulsions programmable 174a et par le 20 compteur d'impulsions 182. Quand le compteur programmable 174a a décompté à partir du facteur déterminé, en fonction du volume assuré par le compteur de fluide 38, le temporisateur d'intervalle 174 délivre son signal de sortie au circuit logique 177 pour autoriser la seconde 25 interruption de l'unité centrale de traitement 120, ce qui interrompt le comptage des compteurs d'impulsions 174a et 182 et transfère les comptages respectifs aux positions correspondantes de la mémoire à accès direct 126. Il faut noter que l'interruption du comptage peut 30 se faire par programme, mais cela impliquerait un nombre supplémentaire d'opérations compliquant inutilement la programmation du dispositif et ajoutant également un temps nécessaire pour l'opération de temporisation décrite ci-dessus. En outre, le déclenchement du comptage en réponse au signal de sortie du codeur rotatif 40 assure un effet et un étalonnage plus précis du compteur 35 de fluide 38 en essai.

Comme cela a été expliqué ci-dessus, le train d'im-

pulsions de sortie produit par le codeur rotatif 40 est appliqué au décomptage initialement placé dans le compteur programmable 174a. En fait, le comptage placé dans ce compteur programmable 174a dépend du volume qu'il y a 5 lieu d'aspirer par le compteur de fluide 38 et dans la chambre 28. Le comptage est basé sur les dimensions de structure et les caractéristiques du compteur de fluide 38 ainsi que sur les caractéristiques du codeur rotatif 40 en ce qui concerne le nombre des impulsions produit 10 par tour. Dans un mode de réalisation de l'invention, un comptage de 40 000 est placé dans le compteur programmable 174a, correspondant à un volume de  $0,0283 \text{ m}^3$  aspiré par le compteur 38. En supposant que les caractéristiques 15 du compteur 38 et du codeur 40 restent les mêmes pour des volumes variables, les comptages de 20 000 et de 10 000 peuvent être mémorisés dans le comptage programmable 174a. à volonté, pour assurer la moitié ou le quart du volume ci-dessus par le compteur de fluide 38. En introduisant un comptage basé sur les caractéristiques du 20 compteur 38 dans le compteur programmable 174a et qui est décompté par des impulsions produites par le codeur rotatif 40, un essai plus précis du compteur de fluide est assuré en ce que le début et la fin de l'essai peuvent 25 être commandés au même point du cycle de rotation du compteur et de son codeur 40, de la manière expliquée ci-dessus.

Comme le montre la figure 4C, un signal d'horloge A est produit par le circuit d'horloge 122 par l'intermédiaire de l'unité centrale de traitement 120 et la ligne omnibus 140 et il est appliqué au temporisateur d'intervalle 176. Un facteur sélectionné est placé dans le décompteur 176a de manière que le temporisateur d'intervalle 176 délivre un signal de sortie correspondant à une impulsion d'échantillonnage par seconde. Dans le 30 présent mode de réalisation de l'invention, le signal d'horloge produit par le circuit d'horloge 122 est de l'ordre de 200 kHz et le facteur placé dans le compteur d'impulsions 176a est tel qu'il produit l'impulsion par 35

seconde voulue pour le circuit logique 178 et, de là, vers le circuit de commande de moteur. Comme cela sera expliqué par la suite, cette impulsion d'échantillonnage est utilisée pour échantillonner les mesures de pression et de température.

Par ailleurs, la sortie du codeur linéaire 26 délivre deux signaux A et  $\bar{A}$  déphasés de  $90^\circ$  l'un par rapport à l'autre et qui sont appliqués à un circuit conditionneur de signaux 170b. Le circuit 170b est similaire au circuit 170a en ce qu'il traite les signaux d'entrée A et  $\bar{A}$  pour les mettre en forme et les conditionner afin d'éliminer l'instabilité qui peut résulter d'une fausse sortie du codeur linéaire 26. En outre, le circuit 170b peut détecter le sens dans lequel le piston 14 se déplace à partir des signaux d'entrée A et  $\bar{A}$  et, si ces signaux A et  $\bar{A}$  n'indiquent pas que le piston 14 se déplace dans le sens voulu, le circuit 170b n'émet aucun signal. Le circuit 170b délivre un train d'impulsions conditionnées correspondant à la sortie du codeur linéaire vers le compteur d'impulsions 182 qui, après le déclenchement, compte et accumule les signaux de sortie du codeur linéaire 26. La sortie cumulée du compteur d'impulsions 182 est appliquée au circuit d'entrée/sortie parallèle 184 et, à la commande, elle est transférée par la ligne omni-bus 140 vers les autres parties du système calculateur.

Dans un mode de réalisation de l'invention, un transducteur 40 de codeur rotatif est accouplé avec le comp-teur de fluide 38 et comporte en particulier un codeur optique couplé en rotation avec le bras tangent du comp-teur 38 pour détecter la rotation de ce bras et le passage du gaz, de manière à délivrer plusieurs signaux de sortie A et  $\bar{A}$  de la manière expliquée ci-dessus. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, le détecteur de proximité 27 peut être utilisé pour détecter la rotation mécanique du comp-teur de fluide 38 au moyen d'un mécanisme qui sera expliqué par la suite, de manière à produire un signal de sortie pour un circuit conditionneur et logique 170c qui, à son tour, est connecté au

temporisateur d'intervalle 176 et au temporisateur d'intervalle 174. En raison de la disposition du mécanisme mécanique accouplé avec le bras tangent du compteur 38, le détecteur de proximité 27 délivre un signal de moindre 5 résolution que celui produit par le codeur optique 26 lorsqu'il détecte la rotation du bras tangent du compteur ; l'avantage particulier du détecteur de proximité est la simplicité relative de sa structure mécanique et électrique. L'opérateur choisit entre le détecteur de 10 proximité 27 ou le transducteur 40 de codeur rotatif en manoeuvrant un commutateur 191 représenté sur la figure 4K. Quand l'opérateur décide d'utiliser le détecteur de proximité 27, le compteur programmable 174a est codé avec les chiffres 8, 4 et 2 correspondant à des 15 volumes mesurés de  $0,028 \text{ m}^3$ , la moitié et le quart de cette valeur. L'opérateur déclenche l'entrée des facteurs appropriés pour le détecteur de proximité 27 ou pour le codeur rotatif 40 en plaçant d'abord le commutateur 191 sur la position appropriée et en introduisant le volume 20 d'essai par le clavier du terminal à écran 112.

La figure 4F est une vue en perspective d'un compteur de fluide 38 de type courant qui mesure le volume de fluide en utilisant deux diaphragmes, dont un seul est représenté en 1202 ; le compteur de la figure 4F est décrit plus en détail dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 2 544 665. Comme le montre la figure, une tige indicatrice 1203 détecte la flexion du diaphragme 1202 de manière à faire osciller le bras 1204. Un second diaphragme, non représenté, et une tige indicatrice associée, non représentée, font osciller le bras 1206 dans un cycle alterné. Comme cela a été expliqué dans le brevet précédent, la combinaison des bras 1206 et 1204 et des bras 1208 et 1210 fait tourner le bras tangent 1214. Une pièce métallique 1212 au point d'intersection des bras 1208 et 1210 tourne devant le détecteur de proximité 27 de manière qu'un signal de sortie soit fourni au circuit logique 170c pour être traité de la manière décrite ci-dessus.

La figure 4D représente plus en détail le circuit d'interface et de conditionnement 136 par lequel une communication est établie entre l'imprimante 111a, l'unité d'affichage 111 pour imprimer les caractères voulus mesurés par le dispositif de contrôle 10, y compris les débits mesurés et les pourcentages d'erreur des essais effectués. En particulier, l'imprimante 111a est connectée à la ligne omnibus 140 par un premier circuit logique 190b et un moniteur de données en parallèle 192b qui peut consister en un circuit fabriqué par Rockwell International sous la désignation 10453, ce circuit assurant un accès commandé bilatéral entre la ligne omnibus 140 et l'imprimante 111a. Ainsi, à la commande par le circuit 192b, le circuit logique 190b délivre un signal par lequel l'imprimante 111a est déclenchée et un signal d'accusé de réception approprié (ACKO) est transféré par le circuit logique 190b et le circuit 192b pour indiquer que l'imprimante 111a est disponible pour l'impression. Si l'imprimante 111a est occupée, un signal d'occupation approprié est retransmis par la ligne omnibus 140. Si une commande a été émise pour imprimer des données, la partie de commande du signal est transmise par le circuit 192b et le circuit logique 190b pour commander l'imprimante 111a afin qu'elle imprime ces données qui apparaissent sur le canal de données provenant du circuit logique 190b.

Ensuite, l'opérateur peut introduire des commandes appropriées par le clavier du terminal 112 qui est connecté par le circuit logique 190a et un moniteur de données en série 192a au calculateur par la ligne omnibus 140. Le circuit de données en série 192a peut consister en un circuit fabriqué par Rockwell International sous la désignation n° 10930. Le circuit de données en série 192a peut recevoir les données en série provenant du terminal 112, y compris des instructions introduites par l'opérateur au moyen du clavier du terminal. Le circuit 192a convertit ces signaux en série provenant du circuit logique 190a à un débit binaire approprié, établi par

l'horloge 193, et il transmet un groupe de signaux numériques par la ligne omnibus 140 vers l'unité centrale de traitement 120. Des données peuvent être affichées sur le terminal à écran 112 et sont transmises par la ligne omnibus 140 par l'intermédiaire du circuit 192a et par le circuit logique 190a pour être affichées sur le terminal à écran.

Le circuit 138 de conditionnement et d'interface de signaux représenté sur la figure 4E assure l'interface entre la ligne omnibus 140 et la première vanne d'entrée 34 ainsi que la seconde vanne de sortie 36, et il délivre également des signaux au circuit de commande de moteur. Les signaux de commande de moteur concernant la vitesse et le sens sont appliqués par la ligne omnibus 140 pour être reçus et transmis par le circuit d'entrée/sortie 196 vers un circuit logique 194a par lequel ces signaux numériques sont appliqués au circuit de commande de moteur pour assurer un fonctionnement correspondant du servomoteur 20. D'une manière similaire, à l'instant approprié, à la commande du programme exécuté, des signaux sont produits pour fermer ou ouvrir les vannes 34 et 36, par l'excitation des électro-aimants correspondants 66 et 64 ; ces signaux de commande de vanne sont appliqués par le circuit d'entrée/sortie 196 et le circuit logique 194b à deux vannes pneumatiques disposées dans la salle de commande 105, comme le montre la figure 2C, de manière qu'une source d'air à  $0,35 \text{ kg/cm}^2$  soit appliquée sélectivement à chacun des électro-aimants 66 et 64 pour ouvrir et fermer les vannes à la commande. De cette manière, la chaleur développée par les électro-aimants des vannes est éliminée de la salle d'essai 106 à température contrôlée. En plus, chacun des électro-aimants 66 et 64 comporte un détecteur de proximité qui détermine si la vanne est ouverte ou fermée. Les signaux de sortie développés par les détecteurs de proximité 50, 52 et 54 pour déterminer la position approximative du piston 14 sont appliqués par un circuit logique 194c et le circuit d'entrée/sortie 196 à la ligne omnibus 140. Un si-

gnal d'horloge d'échantillonnage d'une seconde est produit par le circuit de codeur, comme cela sera expliqué par la suite, et il est appliqué par le circuit logique 194d au circuit d'entrée/sortie 196. D'une manière similaire, 5 l'opérateur peut actionner un commutateur pour déterminer si le débit du compteur doit être obtenu à partir du détecteur de proximité 27 ou à partir du codeur 26 comme le montre la figure 4C ; ce signal de commande est appliqué par le circuit d'entrée/sortie 196 à la ligne omnibus 10 140. Afin d'assurer une commande correcte du servomoteur 20, l'état du moteur en ce qui concerne sa vitesse, son sens et son couple mesuré est transmis par le circuit logique 198b et le circuit d'entrée/sortie 200 vers la ligne omnibus 140.

15 L'unité d'affichage 111 comporte un panneau représenté sur la figure 2D et est réalisée de manière à présenter une série d'indicateurs lumineux et de boutons poussoirs lumineux donnant différentes indications sur l'état de l'ensemble. Comme le montre la figure 2D, le 20 panneau d'affichage comporte l'imprimante 111A qui donne des impressions de débit et de pourcentage de fluide passant par le compteur de fluide 38. Plusieurs indicateurs lumineux 111b à 111e sont en outre prévus. L'indicateur lumineux 111b est allumé pour indiquer qu'un 25 essai automatique du dispositif de contrôle 10 est en cours, comme cela sera expliqué. La lampe d'attente 111e indique que l'alimentation a été appliquée au dispositif de contrôle 10 et qu'une opération d'initialisation a été démarrée pour placer le dispositif de contrôle dans 30 son mode d'attente. Dans ce mode d'attente, une série de réponses au clavier est demandée à l'opérateur et, à la fin de l'entrée des données par le clavier du terminal à écran 112, le dispositif de contrôle 10 passe automatiquement dans son mode d'essai, ce qu'indique l'allumage de la lampe 111c d'essai en cours ; dans ce mode, 35 le compteur de fluide 38 est réellement contrôlé. A la fin d'un essai de compteur, la lampe 111d indicatrice de fin d'essai est allumée. A ce moment, la précision finale en pourcentage est calculée et elle est imprimée

sur l'imprimante 111a. En outre sont prévus un bouton lumineux d'arrêt 111g et un bouton lumineux 111f de mise au repos. Si, pendant une phase de fonctionnement, le bouton de redémarrage 111f est manoeuvré, le dispositif de contrôle 10 réagit comme si l'alimentation était appliquée initialement, comme cela sera expliqué plus en détail en regard de la figure 9H. Le bouton d'arrêt 111g n'est manoeuvré que dans un cas d'urgence risquant d'endommager le dispositif de contrôle 10. A la manoeuvre du bouton d'arrêt 111g, le servomoteur ralentit rapidement et s'arrête et le dispositif de contrôle 10 est verrouillé dans son mode d'arrêt jusqu'à ce que l'alimentation principale soit supprimée et appliquée à nouveau. A la nouvelle application d'alimentation, le dispositif de contrôle 10 revient dans le mode d'attente. Pendant l'exécution du programme, des signaux appropriés sont produits et appliqués par la ligne omnibus 140, le circuit d'entrée/sortie 200 et le circuit logique et d'attaque 198a pour allumer les indicateurs lumineux 111b à 111e appropriés.

Les circuits de conditionnement de signaux représentés sur les diagrammes fonctionnels des figures 4A à 4E apparaissent plus en détail sur les schémas des figures 4G à 4M. Le circuit 130 de conditionnement de signaux, représenté d'une façon générale sur la figure 4A, est représenté plus particulièrement sur les schémas des figures 4G, 4H et 4I.

La figure 4G montre le multiplexeur 149 constitué par plusieurs relais avec des contacts mouillés au mercure qui réduisent la résistance présentée et qui sont connectés aux canaux aboutissant aux modules d'amplificateur, afin de fournir au relais du multiplexeur 149 une tension correspondant à la température mesurée par l'un des transducteurs de température 57, 48 du dispositif de contrôle, des transducteurs de température 44, 42 du compteur ou de l'un des transducteurs de température de salle R0 à R3. Un canal sélectionné est relié par le relais excité du multiplexeur 149 par le second multiplexeur 154, comme le montre la figure 4G, et l'amplificateur 152, au convertisseur analogique-numé-

rique 158 représenté sur la figure 4H. La figure 4H montre le circuit d'entrée/sortie parallèle 160 connecté à l'unité centrale de traitement 120 par la ligne omnibus 140. En outre, un signal de sortie provenant du circuit d'entrée/sortie parallèle 160 est appliqué à un décodeur 153 à six parmi un, représenté sur la figure 4G, qui, à son tour, commande l'un de plusieurs circuits d'attaque 155 pour fermer le relais correspondant du multiplexeur 149 ; le signal de sortie du circuit d'entrée/sortie parallèle 160 est également appliqué par le circuit logique 156 comprenant une porte ET 156a, un inverseur 156b et un translateur logique 156c, au multiplexeur 154. En outre, comme le montre la figure 4H, quand le signal de sortie de l'un déterminé des modules de mesure de température est appliqué au convertisseur 158, un signal converti est appliqué au convertisseur 158 par le circuit d'entrée/sortie 160 par l'intermédiaire du circuit expanseur 153. En réponse à ce signal converti, le convertisseur 158 convertit le signal analogique de température d'entrée en un signal numérique correspondant qui est transmis par le circuit d'entrée/sortie 160 à la ligne omnibus 140, et il émet un signal d'état de fin de conversion par le conducteur 147 vers le circuit d'entrée/sortie 160.

La figure 4I est un schéma d'un module d'amplificateur auquel le signal de sortie de chacun des dispositifs de mesure de température peut être appliqué pour être amplifié afin d'obtenir un signal de tension de sortie qui est transmis au multiplexeur 149 par un canal correspondant. A titre d'exemple, les dispositifs de mesure de température peuvent consister chacun en un dispositif de mesure à résistance tel que celui fabriqué par Senso-Metrics sous la désignation n° 601222. Le dispositif de mesure de température à résistance (RTD) est connecté dans une branche d'un pont à résistances 201 comprenant ce dispositif et des résistances R1, R2 et R3. La tension d'excitation appliquée aux bornes a et b du pont 201 et la tension de sortie apparaissant aux bornes

c et d sont couplées avec un circuit de conditionnement 203, par exemple le modèle 2B31 de Analog Devices. Pour l'essentiel, le circuit de conditionnement 203 comporte un amplificateur opérationnel 205 qui reçoit le signal de sortie du pont 201 pour l'amplifier avant de l'appliquer à un filtre de Bessel 207 par lequel des fréquences déterminées peuvent être éliminées avant une autre amplification par un amplificateur opérationnel 209 qui applique le signal à un canal correspondant du multiplexeur 149. Une source de tension extrêmement stable alimente le circuit 203 et peut consister par exemple en une source de tension fabriquée par Analog Devices sous la désignation AD584. Comme le montre la figure 4I, le gain de l'amplificateur opérationnel 205 est commandé par la résistance placée entre les bornes 10 et 11 du circuit 203 tandis que le décalage de sortie est réglé au moyen du potentiomètre connecté à la borne 29 du circuit 203. En outre, la tension et le courant d'alimentation du pont 201 sont commandés par le réglage des potentiomètres R7 et R6.

Le circuit 164 de conditionnement des signaux représenté d'une façon générale sur la figure 4D apparaît plus en détail sur le schéma de la figure 4J. Cette figure montre que le circuit d'entrée/sortie parallèle 168 est connecté à la ligne omnibus d'instructions et de données 140 et à l'unité centrale de traitement 120 pour assurer la transmission de données entre elles. Une autre entrée provient du convertisseur analogique-numérique 166 avec un jeu correspondant d'inverseurs 167, vers le circuit d'entrée/sortie parallèle 168. Les transducteurs de pression 51, 46 et PB sont connectés respectivement par les amplificateurs 161a, b et c au multiplexeur 163. Comme le montre la figure 4J, le multiplexeur 163 est constitué par un nombre correspondant de relais qui sont excités pour appliquer au convertisseur analogique-numérique 166 une sortie déterminée provenant de l'un des transducteurs de pression. Le circuit d'entrée/sortie 168 détermine celui des relais du multiplexeur 163 qui

doit être excité en appliquant des signaux de commande par la ligne omnibus 169 vers le circuit logique 165 comprenant un convertisseur décimal-codé-binaire en décimal et un décodeur 165a qui sélectionne celui des relais du 5 multiplexeur 163 qui doit être excité et qui applique un signal de niveau haut par une sortie correspondante et un groupe 165b de translateur logique à un jeu correspondant 165c de circuit d'attaque de puissance, de manière qu'un relais correspondant du multiplexeur 163 soit excité 10 et applique la sortie de température correspondante au convertisseur 166. Ensuite, le circuit d'entrée/sortie 168 applique un signal de conversion par le conducteur 159 au convertisseur 166 qui convertit le signal analogique d'entrée en un signal numérique correspondant et 15 qui transmet un signal d'état vers le circuit d'entrée/sortie parallèle 168.

La figure 4K est un schéma du circuit de conditionnement 134 représenté d'une façon générale par une case sur la figure 4C. Le circuit d'entrée/sortie parallèle 20 184 est couplé par la ligne omnibus d'instructions et de données 140 avec l'unité centrale de traitement 120 et avec le compteur d'impulsions 182 constitué par deux compteurs 182a, 182b. Le circuit logique et de conditionnement de signaux 170b comporte une série de portes NON-OU 25 et NON-ET 172 dont les sorties sont appliquées par une porte NON-ET 180 et un inverseur à une entrée du compteur d'impulsions 182a. La sortie du codeur linéaire 26 est appliquée par des translateurs logiques correspondants et des inverseurs aux portes NON-OU 172 du conditionneur de signaux et circuit logique 170b. Le codeur 30 rotatif 40 du compteur de fluide est relié au circuit logique et conditionneur de signaux 170a qui est similaire au circuit 170b afin d'obtenir un signal composite pour le temporisateur d'intervalle 174 et un signal conditionné correspondant au signal A pour le temporisateur 35 d'intervalle 176. Il est bien entendu que les circuits intégrés désignés par 174 et 176 sur la figure 4K comportent également les compteurs programmables 174a et

176a respectivement. Le signal de sortie du temporisateur d'intervalle 174 est appliqué par le circuit logique 177 constitué par une porte NON-ET et deux portes NON-OU comme le montre la figure 4K, à l'entrée d'interruption 5 2 de l'unité centrale de traitement 120. Le signal de sortie du temporisateur d'intervalle 176 est appliqué à la plaque de commande du servomoteur 20.

Comme le montre la figure 4K, le circuit logique et conditionneur de signaux 170a comporte des première et 10 seconde entrées qui reçoivent respectivement les signaux de sortie A et  $\bar{A}$  développés par le codeur rotatif 40. Comme le montrent respectivement les figures 11A et 11B, 15 le signal  $\bar{A}$  est en retard sur le signal A pour donner, de la manière qui sera expliquée, une indication sur le sens de rotation du codeur 40. Il est entendu que, pour ce système particulier, le codeur de compteur 40 est prévu pour tourner dans le sens des aiguilles d'une montre et, s'il subit au moins momentanément des se- 20 cousses ou des vibrations mécaniques, le signal  $\bar{A}$  peut apparaître en avance sur le signal A ; la figure 11 montre en C le signal de sortie  $\bar{A}$  tel qu'il apparaîtrait s'il précédait le signal A de  $90^\circ$ , cette condition étant indésirable, indiquant une condition erronée. Le circuit logique et conditionneur de signaux 170a a pour but d'é- 25 liminer ces conditions, comme cela sera maintenant expliqué. Les signaux A et  $\bar{A}$  sont appliqués chacun par un circuit de décalage de niveau et inverseur à des portes NON-OU 181a et 181b. La sortie de la porte NON-OU 181a est connectée à une entrée de la porte NON-OU 181b et 30 la sortie de la porte NON-OU 181b est connectée par un inverseur à une entrée de la porte NON-OU 181c. Comme le montre la figure 4K, un signal inversé, c'est-à-dire déphasé de  $180^\circ$  par rapport à une entrée de la porte NON-OU 181a, est appliqué à une porte NON-OU 181d dont la 35 sortie est reliée à l'autre entrée de la porte NON-OU 181c. Le signal effectif de sortie du circuit logique et conditionneur de signaux 170a apparaît à la sortie de la porte NON-OU 181c comme le montre la figure 11 en D,

en supposant que le codeur 40 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens voulu, et ce signal est appliqué au temporisateur d'intervalle 174 pour être compté de la manière expliquée ci-dessus. Mais si, 5 même pendant une durée relativement courte, le signal  $\bar{A}$  apparaît en avance sur le signal A, un signal de sortie continu (ou de niveau zéro) est produit à la porte NON-OU 181c indiquant la présence d'une instabilité ou autre signal erroné. D'une manière similaire, le circuit logique 10 et conditionneur 170b reçoit les signaux A et  $\bar{A}$  provenant du codeur linéaire 26, ces signaux étant représentés également en A et B sur la figure 11. D'une manière similaire, les signaux A et  $\bar{A}$  sont appliqués à un groupe semblable de portes NON-OU 169a, b, c et d. La sortie 15 de la porte NON-OU 169c est appliquée à un circuit basculeur constitué par deux portes NON-OU interconnectées comme le montre la figure 4K. De même, si le signal  $\bar{A}$  produit par le codeur linéaire 26 est en retard sur le signal A, le signal de sortie représenté en C sur la 20 figure 11 est appliqué par le circuit basculeur 169e au temporisateur d'intervalle 176 pour être compté par son compteur d'impulsions 176a. Un autre groupe de portes NON-OU est également prévu dans le circuit logique et de conditionnement 170b pour fournir un signal de sortie 25 appliquée à l'entrée 22 du temporisateur 176 afin d'indiquer l'apparition du signal  $\bar{A}$  en avant sur le signal A, à la sortie du codeur linéaire 26, indiquant que le piston 14 est entraîné en marche arrière, c'est-à-dire que 30 le servomoteur 20 le fait descendre vers sa position de repos.

La figure 4L est un schéma du circuit logique et de conditionnement de signaux 136 apparaissant d'une façon générale sur la figure 4D. Des données sont transférées entre le moniteur de données parallèle (PDC) 192b et 35 l'unité centrale de traitement 120 par la ligne omnibus 140 et des connexions directes avec l'unité 120. La sortie du circuit 192b est reliée à un circuit logique 190b et à plusieurs lignes apparaissant sur le côté

droit du circuit 192b. Le circuit logique 190b est constitué principalement par un transistor logique connecté à chacune des sorties. Une porte NON-ET est incorporée dans le circuit logique 190b pour délivrer un signal de mise au repos à l'imprimante 111a. Comme le montre la figure 4L, un signal de commande est appliqué à l'imprimante 111a qui, à son tour, applique un signal d'accusé de réception (ACKO) au circuit 192b de manière que des données puissent être transférées pour être imprimées par l'imprimante 111a à la commande d'un groupe de signaux ainsi marqués. En outre, un signal d'occupation peut être produit par l'imprimante 111a pour inhiber la transmission de données depuis le circuit 192b. En outre, un circuit 192a est connecté par la ligne omnibus 140 et des connexions directes à l'unité centrale de traitement 120 ; sa sortie est prélevée sur le côté droit de ce circuit et elle est appliquée par le circuit logique 190a pour fournir des données vers et depuis le terminal à écran 112, à la commande des signaux prédéterminés fournis par des circuits apparaissant sur le côté gauche du circuit de commande. En résumé, les signaux de commande consistent en des signaux fixes qui déterminent le mode de fonctionnement du terminal à écran 112. Le circuit logique 190a qui reçoit le signal de sortie de données comporte un translateur logique et un circuit inverseur sous la forme d'un circuit d'attaque de ligne, tandis que la ligne d'entrée de données est traitée pour inverser le signal avant son application au circuit 192a. Le circuit d'horloge 193 délivre un signal par un circuit logique 195 constitué par des translateurs logiques, vers les entrées d'horloge du circuit 192a.

Le circuit de conditionnement de signaux 138 représenté d'une façon générale sur la figure 4E est représenté plus complètement sur la figure 4M. Le circuit d'entrée/sortie parallèle 200 est relié à l'unité centrale de traitement 120 par la ligne omnibus 140 et des connexions directes en haut et en bas. Les sorties prélevées de façon diverse au circuit 200 sont transmises

par le circuit logique 198a pour allumer les différentes lampes apparaissant sur l'unité 111 de commande et d'affichage. Le circuit logique 198a est constitué par un translateur logique pour chaque sortie du circuit d'entrée/sortie 200 et plusieurs circuits d'attaque pour allumer les lampes correspondantes. En outre, des signaux provenant des mécanismes des boutons lumineux de mise au repos et d'arrêt 111f et 111g sont appliqués par le circuit logique 198a, particulièrement à un groupe de portes NON-ET apparaissant sur la figure 4M et dont les sorties sont reliées par des inverseurs au circuit 200 d'entrée/sortie parallèle. Un second circuit d'entrée/sortie parallèle 196 est relié par la ligne omnibus de données 140 et des connexions directes à l'unité centrale de traitement 120. Un groupe de ces sorties est relié par un circuit logique 194a pour remplir différentes fonctions y compris le sens et la vitesse du servomoteur 20 ; le circuit logique 194a reçoit sept entrées qui sont transmises par un groupe de portes NON-OU et des inverseurs connectés en série ainsi que des translateurs logiques à un groupe correspondant de circuits d'attaque dont les sorties commandent le sens et la vitesse du servomoteur 20. En outre, deux sorties du circuit d'entrée/sortie parallèle 196 sont appliquées par un circuit logique 194b constitué par un inverseur connecté en série avec un translateur logique, à un circuit d'attaque avant d'être appliqué à la commande des électro-aimants pneumatiques 66 et 64 associés avec les vannes 34 et 36. Un groupe de cinq entrées provient du circuit logique 194c qui traite des entrées des détecteurs de proximité 50, 52 et 54 ; le circuit logique 194c comporte un circuit à résistances et à diodes connecté par des inverseurs à des entrées correspondantes du circuit d'entrée/sortie parallèle 196. Le circuit logique 194d est connecté au circuit logique 170a de la figure 4C et il comporte une série de portes NON-OU, le signal d'entrée consistant en un signal d'horloge d'une seconde qui commande l'échantillonnage des différents signaux de pression et de température.

La figure 5 est un organigramme de haut niveau illustrant les différentes phases du programme mémorisé dans la mémoire permanente programmable 124 et exécutées sous la commande de l'unité centrale de traitement 120 en utilisant des données introduites dans la mémoire à accès direct 126. Initialement, la tension est appliquée à l'ensemble de calculateur à la phase 210. D'une façon générale, la source d'alimentation du calculateur, comme le montre la figure 3, peut consister en une source fabriquée par Power Mate sous les désignations Power Mate EMA 18/24B et EMA 12/5B ; Analog Devices-925 ; Datel-MPS 5/12, MPS 5/3 et MPD 12/3 ; et Practical Automation-PS6-28. Ensuite, la phase 214 met à zéro ou efface les positions de la mémoire à accès direct 126 avant d'introduire un sous-programme d'initialisation 300 par lequel les différentes parties de l'ensemble calculateur sont initialisées comme cela sera expliqué plus en détail par la suite en regard des figures 6A et 6B. Il faut noter que, en différents points pendant l'exécution du programme, un retour est effectué par le point d'entrée 212 à la phase 214 pour démarrer à nouveau le fonctionnement du programme. Comme le montre la figure 4B, un commutateur 139 est positionné pour indiquer s'il y a lieu d'étalonner des parties du dispositif de contrôle 10 ou d'effectuer un essai de compteur de fluide. Si le commutateur 139 est placé en mode d'étalonnage, la phase de décision 216 branche sur la phase 400 dans laquelle un sous-programme est exécuté pour étalonner les différentes entrées analogiques telles que celles provenant des dispositifs de mesure de température et de pression, apparaissant sur les figures 1 et 2A, et les convertisseurs analogiques-numériques auxquels ces signaux sont appliqués, comme cela sera expliqué plus en détail en regard de la figure 7. Quand l'ensemble passe à la phase 500, l'opérateur peut rappeler des données provenant des différents dispositifs de mesure d'entrée, par exemple les dispositifs de mesure de température 42, 44, 46 et 57 ; les dispositifs de mesure de pression 51 et 46 ;

et la sortie du codeur linéaire 26. En outre, l'opérateur peut aussi déclencher différents essais automatiques du dispositif de contrôle. Ce sous-programme sera décrit plus en détail en regard des figures 8A à 8P. Après la saisie des données appropriées, le programme passe à la phase ou au sous-programme 900 dans lequel un essai ou une série d'essais d'un compteur 38 sont effectués par le dispositif de contrôle 10 et les résultats sont affichés ou enregistrés sur l'écran cathodique ou l'imprimante. Le sous-programme 900 sera expliqué plus en détail en regard des figures 9A à 9Q.

Les figures 6A et 6B décrivent le sous-programme d'initialisation 300 dans lequel, à la phase 302, une commande est émise par la ligne omnibus 140 pour que le circuit logique 198a de la figure 4E allume la lampe d'attente 111e. À la phase 304, un facteur d'échelle correspondant à un essai de  $0,028 \text{ m}^3$  est transféré de la mémoire 126 vers le compteur programmable 174a du temporisateur d'intervalle 174 de la figure 4C, afin de mettre à l'échelle appropriée la sortie du compteur d'impulsions du codeur de compteur 179a afin que, au comptage d'un nombre approprié d'impulsions, par exemple 40 000, le circuit logique 177 émette une impulsion indiquant que le volume donné de fluide a été aspiré par le compteur de fluide 38. Ensuite, à la phase 306, les interruptions associées avec l'unité centrale de traitement 120 sont autorisées pour permettre que, à un instant ultérieur du programme, des interruptions soient exécutées si l'opérateur par exemple appuie sur le bouton de mise au repos 111f ou sur le bouton d'arrêt 111g. À ce moment du sous-programme d'initialisation 300, les interruptions associées avec les boutons pousoirs 111f et 111g ne seraient pas autorisées mais, après l'exécution de la phase 306, elles peuvent être desservies. Ensuite, à la phase 308, les circuits de la figure 4C associés avec le codeur 40 du compteur de fluide sont initialisés. En particulier, le circuit logique 170a est initialisé,

les temporisateurs d'intervalle 174 et 176 sont ramenés au repos, le circuit d'entrée/sortie parallèle 184 est placé dans un mode déterminé, les circuits logiques 177 et 178 sont ramenés au repos et les compteurs programmables 174a et 176a sont programmés avec les facteurs introduits pour le décomptage. A la fin de 310, une commande est émise par le circuit d'entrée/sortie parallèle 196 vers le circuit logique 194b pour commander l'ouverture de la seconde vanne de sortie 36. En particulier, l'accès est donné au détecteur de proximité associé avec la vanne 36 et si, cette dernière n'est pas ouverte, le programme attend jusqu'à ce qu'elle le soit. En outre, à la phase 310, les circuits de commande associés avec le servomoteur 20 sont initialisés en ce que la vitesse du servomoteur est ramenée à zéro et un signal lui est appliqué pour le maintenir à l'état immobile tandis qu'un circuit logique de détection du couple du moteur est ramené au repos ; ce circuit logique est connecté pour détecter le courant de commande qui circule dans le servomoteur 20. A la phase 312, le circuit logique 192b est initialisé dans son mode d'entrée/sortie statique avec des possibilités de sortie d'accusé de réception, et le circuit logique 190b vide et prépare l'imprimante associée 11a pour qu'elle puisse commencer l'impression. A la phase 314, le circuit 192a est programmé pour assurer que des données puissent être transmises entre le terminal à écran 112 et l'unité centrale de traitement 120 et le circuit logique 190a de la figure 4D commande d'une façon similaire le terminal 112 pour le mettre au repos et le préparer à fonctionner pour recevoir des données ainsi que pour effacer l'écran. Ensuite, à la phase 316, des données mémorisées dans le convertisseur analogique-numérique 166, représenté sur la figure 4B, sont éliminées et le multiplexeur 163 est positionné sur son premier canal de manière que la sortie du transducteur 51 soit appliquée par le multiplexeur au convertisseur 166. La phase 318 ramène au repos le circuit de conditionnement et d'interface 130 et, en particulier, il ef-

face des données mémorisées dans le circuit analogique-numérique 158, représenté sur la figure 4A, et place les multiplexeurs 149 et 154 sur leurs premiers canaux de manière que la tension de sortie du module de transducteur de température du dispositif de contrôle soit appliquée par les multiplexeurs 149 et 154 et l'amplificateur opérationnel 152 au circuit analogique-numérique 158. A la phase 320, des signaux de commande sont émis par la ligne omnibus 140 et le circuit d'entrée/sortie 196 de la figure 4E, pour que le circuit logique 194b commande l'électro-aimant 66 afin d'ouvrir puis de fermer la première vanne 34 du compteur de fluide et pour exciter l'électro-aimant 64 afin qu'il ferme la seconde vanne de sortie 36. Lorsqu'il y a lieu d'ouvrir ou de fermer l'une des vannes 34 ou 36, le détecteur de proximité associé est interrogé et, s'il est déterminé qu'il est dans la position voulue, aucune action n'est entreprise; mais si la vanne n'est pas dans la position souhaitée, le circuit logique 194b délivre un signal de sortie qui actionne l'électro-aimant pneumatique associé pour que la vanne soit ouverte ou fermée à volonté. A la phase 322, le programme continue sur un sous-programme qui sera expliqué en regard de la figure 6B par lequel le piston 14 est ramené dans sa position de repos, c'est-à-dire la position la plus basse correspondant à la position du détecteur de proximité 50 comme le montre les figures 1, 2A et 2B.

La figure 6B illustre le sous-programme 322 de retour du piston 14 dans sa position inférieure. A la phase 324, un signal de commande est émis par la ligne omnibus 140, le circuit d'entrée/sortie 196 pour que le circuit logique 194b ferme la première vanne 32 du compteur de fluide. Ensuite, la phase 326 détermine la position du piston 14 qui peut être n'importe où entre sa position inférieure et sa position supérieure, comme le montre la figure 1 ; en particulier, à la phase 326, le circuit d'entrée/sortie 196 interroge le circuit logique 194c pour déterminer si le signal de sortie du détecteur de

proximité 50 des figures 1 et 2A est au niveau haut ou "1" et, s'il en est ainsi, le sous-programme passe à la phase finale 346 dans laquelle une commande est émise vers le circuit d'entrée/sortie 196 de la figure 4E pour 5 conditionner les circuits logiques 194a et 198b de manière que la commande du servomoteur 20 soit ramenée à la vitesse nulle, en déclenchant également le temporisateur d'intervalle 176 de la figure 4C pour indiquer que la sortie du codeur est en position de départ, c'est- 10 à-dire en plaçant le compteur d'impulsions 176a à zéro pour le préparer à démarrer l'émission d'impulsions d'échantillonnage d'une seconde. Si le piston n'est pas en position de repos, le sous-programme passe à la phase 328 dans laquelle il est déterminé si le piston 14 se 15 trouve dans une position intermédiaire, c'est-à-dire si la butée 92 se trouve entre les détecteurs de proximité 50 et 52 des figures 1, 2A et 2B ; si le piston 14 est placé de cette manière, le sous-programme passe à la phase 330 dans laquelle des signaux de commande sont émis 20 par le circuit d'entrée/sortie 196 pour commander le circuit logique 194a afin qu'il fasse tourner le servomoteur 20 en sens inverse des aiguilles d'une montre et, en outre, à la phase 332, la vitesse est commandée pour accélérer jusqu'à une vitesse déterminée, par exemple la 25 neuvième parmi seize vitesses. Mais si la phase 328 détermine que le piston 14 se trouve dans sa position supérieure, c'est-à-dire que la butée 92 se trouve au-dessus du détecteur de proximité 52, la phase 334 positionne le circuit logique 194a de la figure 4E pour établir la 30 vitesse inférieure, c'est-à-dire la première vitesse parmi seize, en faisant tourner le servomoteur 20 dans le sens inverse des aiguilles d'une montre avant de passer à la phase 336 dans laquelle le circuit logique 194a accélère le moteur jusqu'à la vitesse immédiatement supérieure, au maximum jusqu'à la douzième vitesse. A ce 35 moment, à la phase 338, l'accès est donné au circuit logique 194c pour déterminer si le piston 14 se trouve au détecteur de proximité 52 et, s'il n'en est pas ainsi,

la phase 336 accélère le piston jusqu'à la vitesse immédiatement supérieure, jusqu'à ce que la phase 338 détermine que le piston 14 se trouve au niveau du détecteur de proximité 52. A ce moment, le circuit logique 194a 5 maintient la vitesse actuelle du servomoteur 20 jusqu'à ce que, à la phase 342, le détecteur de proximité de repos 50 détermine la présence du piston 14 et, à ce moment, la phase 344 commande le circuit logique 194a pour ralentir le piston 14 jusqu'à l'arrêt avant de passer à 10 la phase 346 dans laquelle la vitesse du moteur est annulée.

Si l'opérateur a placé le commutateur d'étalement/essai sur sa position d'étalement, le programme passe au sous-programme 400 représenté en détail sur la figure 7. Initialement, à la phase 402, une commande est émise vers le circuit logique 190a de la figure 4D pour ramener au repos le terminal à écran 112. La phase 404 affiche un message approprié sur l'écran, indiquant que le dispositif de contrôle 10 est entré dans un mode d'étalement et faisant apparaître, comme le montre la figure 7, les différents paramètres qui peuvent être étalement. Ensuite, la phase 406 ramène le curseur affiché sur l'écran à sa marge de gauche, dans l'attente que l'opérateur effectue une entrée appropriée. Après l'introduction par 25 l'opérateur au moyen du clavier sur le terminal à écran 112, la phase 408 interroge le clavier pour déterminer celle des touches possibles qui a été manœuvrée. Par exemple, s'il est déterminé que l'un des groupes de touches T et 0, T et 1, T et 2, T et 3, T et 4, T et 5, T 30 et 6 ou T et 7 a été manœuvré, le sous-programme passe à la phase 410 dans laquelle un canal correspondant est sélectionné par le multiplexeur 149. Ensuite, à la phase 412, un signal de commande de sélection est émis par le circuit d'entrée/sortie 160 vers le multiplexeur 149 de 35 manière que le canal sélectionné soit connecté par les multiplexeurs 149 et 154, l'amplificateur 152, au convertisseur analogique-numérique 158. Ensuite, la phase 414 produit un signal de conversion pour le circuit analogique.

gique-numérique 158 de sorte que, à la phase 416, la température mesurée est affichée. A ce moment, l'opérateur peut étalonner le module de transducteur de température choisi pour obtenir une lecture correcte en réglant le 5 zéro et la déviation totale de l'amplificateur opérationnel du module, cette procédure étant répétée jusqu'à ce qu'une lecture précise soit affichée sur l'écran. Bien que l'explication détaillée ne sera pas donnée, il apparaît que les touches similaires P et 1, P et 2 et P et 10 B peuvent aussi être manoeuvrées par l'opérateur, permettant de régler de façon similaire les gains des amplificateurs opérationnels 161a, 161b, 161c de la figure 4B afin d'obtenir des lectures exactes. D'une manière similaire, les touches T et 0, T et 1, T et 2, T et 3, T et 15 4, T et 5, T et 6, T et 7 peuvent être manoeuvrées et les amplificateurs respectifs ainsi que les circuits peuvent être réglés pour obtenir des lectures précises. A la manoeuvre des touches V et P, déterminée à la phase 408, le programme passe par la phase 450 vers la phase 20 452 dans laquelle un signal de commande est émis par l'intermédiaire du circuit d'entrée/sortie 168 de la figure 4B pour que le multiplexeur 163 applique le signal d'entrée d'étalonnage de tension V au convertisseur analogique-numérique 166 qui convertit cette entrée en valeur numérique à la phase 454. Le signal d'entrée d'éta- 25 lonnage de tension est réglé pour établir les valeurs zéro et de déviation totale du convertisseur 166, ces valeurs étant affichées à la phase 456 sur le terminal à écran 112. D'une façon similaire, si les touches V et 30 T du clavier sont manoeuvrées, le sous-programme passe par la phase 442 vers la phase 444 dans laquelle le si- gnal d'entrée d'étalonnage de tension VT est appliqué au convertisseur analogique-numérique 158 de la figure 4A et les valeurs zéro et de déviation totale peuvent 35 être réglées d'une façon similaire. Si une autre touche est manoeuvrée sur le clavier, la phase 408 branche par la phase 456 vers la phase 458 dans laquelle ce caractére est rejeté pour revenir au point de départ à la phase 408.

Le sous-programme d'entrée et de récupération de données représenté de façon générale sur la figure 5 par la phase ou le sous-programme 500 sera expliqué plus en détail en regard des figures 8A à 8P, la figure 8A rappelant le sous-programme 500. Initialement, une commande est émise par la ligne omnibus 140 vers le circuit logique et d'attaque 198a de la figure 4E pour allumer la lampe d'attente 111e. Ensuite, à la phase 504 qui est représentée plus en détail sur la figure 8C, il est déterminé si un essai automatique est souhaité et, s'il en est ainsi, ce sous-programme est exécuté. Ensuite, à la phase 506, il est déterminé s'il y a lieu d'afficher la température ambiante et, s'il en est ainsi, l'affichage est effectué sur l'écran du terminal 112 comme cela sera expliqué plus en détail en regard de la figure 8H. A la phase 508, le clavier est examiné pour déterminer si l'opérateur souhaite rappeler des données concernant des essais de précision d'appareils précédents et, si des données sont demandées, elles sont affichées sur l'écran cathodique ; le sous-programme 508 sera expliqué plus en détail en regard de la figure 8J. A la phase 510, des indicateurs appropriés sont positionnés automatiquement pour permettre ultérieurement, pendant l'essai d'un compteur, d'afficher et de contrôler des paramètres de température et de pression; le sous-programme d'exécution de cet affichage sera expliqué plus en détail en regard de la figure 8K. A la phase 512, le sous-programme d'établissement du volume d'essai souhaité et la manière dont il est introduit dans le compteur programmable 174a du temporisateur d'intervalle 174 sera décrit plus en détail en regard de la figure 8L. Ensuite, il est nécessaire que l'opérateur introduise par le clavier du terminal un ou plusieurs débits d'essai choisis, comme cela sera expliqué plus en détail en regard du sous-programme de la figure 8M. A la phase 516, l'opérateur détermine le nombre de fois qu'un certain essai sera répété ; par exemple, le compteur de fluide peut être contrôlé trois fois pour un débit ou pour un volume

et un débit déterminés. L'entrée des commandes de répétition sera expliquée en regard du sous-programme de la figure 8N. Ensuite, la phase 518 émet des commandes de mise au repos par le circuit logique 190a afin que des 5 données mémorisées dans les tampons associés avec le terminal 112 soient effacées. A ce moment, la phase 520 décide si le volume du compteur de fluide 38 doit être déterminé par la sortie du détecteur de proximité 27 ou par la sortie du codeur rotatif 40. Si le commutateur est 10 placé à l'état logique "0", un indicateur est positionné à la phase 522 pour effectuer un essai du type codeur, tandis que, si le commutateur est placé sur la position "1", un indicateur est positionné à la phase 524 pour effectuer un essai du type à détecteur de proximité.

15 En ce qui concerne le sous-programme 500 représenté sur la figure 8B, le dispositif obtient et affiche sur l'écran la température et la pression au compteur de fluide et la température et la pression au dispositif de contrôle, mesurées pendant l'essai. Ensuite, la phase 20 528 affiche, à la commande, sur l'écran cathodique des données indiquant la pression et la température dans le compteur de fluide 38 et dans le dispositif de contrôle 10. Quand le volume d'essai, soit  $0,028 \text{ m}^3$ , soit la moitié ou le quart de cette valeur, a été établi par 25 l'entrée par l'opérateur sur le terminal à écran 112, la valeur choisie est affichée sur l'écran à la phase 532 sous la forme VOL. ESSAI =  $x \text{ M}^3$ . Ensuite, le débit ou les débits souhaités sont introduits par le clavier, 30 sont décodés à la phase 534 et les débits choisis sont affichés sur l'écran à la phase 536 sous la forme : DEBITS = QX, QX--QX. D'une façon similaire à la phase 538, le nombre des répétitions d'un ou plusieurs essais particuliers en ce qui concerne les débits ou les volumes est décodé et, à la phase 539, le nombre choisi 35 de répétitions par débit ou volume est affiché sur l'écran sous la forme : NB. ESSAIS PAR DEBIT = X. A ce moment, une instruction d'avance de ligne par retour de

chariot est exécutée à la phase 540 et un curseur placé sur l'écran du terminal est supprimé.

Le sous-programme 504 pendant lequel un ou plusieurs essais automatiques sont sélectionnés est représenté plus en détail sur la figure 8C. Initialement, à la phase 542, les tampons de mémorisation de données associés avec l'écran du terminal 112 sont vidés par des commandes émises par le circuit logique 190a. A la phase 544, l'écran affiche, comme le montre la figure 8C, une indication des différents essais automatiques qui peuvent être effectués, par exemple volume V, perte L, ou NON ; l'opérateur choisit l'un de ces essais automatiques en appuyant sur la touche voulue du clavier. A la phase 546, le curseur scintille pour avertir l'opérateur qu'il doit réagir en sélectionnant les essais automatiques, soit le volume V, la fuite L ou NON. A la phase 548, le sous-programme passe à l'essai automatique voulu, suivant la touche qui a été sélectionnée à la phase 544. Si, par exemple, l'essai automatique de volume V a été choisi, une séquence d'essai automatique de volume est émise vers l'écran à la phase 552 et cet essai est exécuté à la phase 554 comme cela sera expliqué plus en détail en regard de la figure 8E. Si un essai de fuite a été choisi, le sous-programme passe par la phase 558 pour produire un affichage sur l'écran indiquant l'essai choisi et pour déclencher l'essai automatique de fuite qui est exécuté à la phase 560 comme cela sera décrit plus en détail en regard du sous-programme de la figure 8D. Ensuite, le sous-programme détermine à la phase 556 si une autre entrée doit être traitée, et il revient à la phase 846. Si l'opérateur appuie sur la touche de sortie, ce que détermine la phase 548, le sous-programme sort par la phase 562 vers le point d'entrée 212 du diagramme principal de la figure 5, à l'endroit où le programme commence. Si l'opérateur tape les touches N et O, ce que détecte la phase 548, le sous-programme sort par la phase 566 et revient au programme de la figure 8A pour continuer avec la phase 506. Si une autre touche est ma-

noeuvrée, le sous-programme sort par la phase 568 pour rejeter ce caractère à la phase 570 et il revient à la phase 548 pour reconnaître une autre touche.

Le sous-programme 560 d'essai automatique de fuite 5 est représenté plus complètement sur la figure 8D. Il s'agit d'un essai qui donne une indication sur l'intégrité de l'étanchéité du dispositif de contrôle. Initialement, à la phase 572, le circuit logique 198a de la figure 4E allume les lampes 111b et 111c d'essai automatique et d'essai en cours. Ensuite, le sous-programme 10 322 de retour du piston à sa position de repos, expliqué ci-dessus en regard de la figure 6B, est exécuté. Puis un signal de commande est émis à la phase 574 par l'intermédiaire du circuit d'entrée/sortie 168 pour placer 15 le multiplexeur 163 de manière qu'il reçoive le signal par le second canal, provenant du transducteur de pression 51 (pression PP1). Ensuite, le circuit logique 194b est commandé pour appliquer des signaux d'actionnement aux électro-aimants afin d'assurer la fermeture des première et seconde vannes d'entrée et de sortie 34 et 36. 20 A la phase 578, une commande est émise par le circuit d'entrée/sortie 196 pour commander le circuit logique 194a de la figure 4E afin de commander le servomoteur 20 pour qu'il fasse tourner la tige filetée 18 dans le 25 sens des aiguilles d'une montre à une vitesse relativement lente correspondant à un "1". Le servomoteur 20 ne peut pas être alimenté directement par la phase 578 jusqu'à ce que l'inhibition établie dans le programme soit surmontée, par exemple par la manœuvre d'un commutateur à retour, non représenté, connecté au circuit logique 194c, permettant le fonctionnement du servomoteur 20 avec les vannes 34 et 36 fermées. Normalement, 30 le servomoteur 20 ne peut fonctionner si les vannes 34 et 36 sont fermées, interdisant ainsi tout dommage possible au joint du piston. Ensuite, une indication de 35 pression est appliquée au convertisseur 166 à la phase 580 et un contrôle est effectué à la phase 582 pour déterminer si la pression a augmenté d'une certaine quan-

tité, ce qu'indiquent les données mémorisées dans le circuit analogique-numérique 166, c'est-à-dire si l'augmentation de dépression a dépassé 35 mm d'eau. Si la dépression n'a pas augmenté de plus de 35 mm d'eau, le sous-  
5 programme revient en arrière et répète la phase 580. Si la dépression dans la chambre 28 a augmenté de plus de 35 mm d'eau, le sous-programme passe à la phase 584 de sorte qu'une commande est émise par le circuit d'entrée/  
sortie 196 pour arrêter le servomoteur 20. A la phase  
10 586, une attente de 20 secondes est chargée dans un registre de la mémoire à accès direct 126 et elle est décomptée pour laisser le temps d'apparition d'une fuite dans la chambre 28. A la phase 588, un signal de conversion est appliqué au convertisseur 166 de la figure 4B  
15 pour déterminer la pression maintenant détectée par le transducteur de pression 51. A la phase 590, le sous-programme attend le signal d'horloge d'une seconde qui est produit par le circuit logique 178 de la figure 4C et qui est appliqué par le circuit logique 194d de la  
20 figure 4E pour décrémenter à la phase 592 le comptage de 20 secondes placé dans le registre de la mémoire 126. La phase 592 détermine si ce registre de la mémoire 126 a régressé jusqu'à zéro et, s'il n'en est pas ainsi, le sous-programme revient à la phase 588 de manière que, à  
25 chaque seconde d'un intervalle de 20 secondes, la pression au piston produite par le transducteur 51 soit obtenue et soit affichée sur l'écran cathodique, permettant ainsi un contrôle continu de la pression dans le dispositif de contrôle ; l'opérateur peut ainsi déterminer  
30 s'il existe des fuites dans la chambre 28 pendant l'essai de 20 secondes. La régression du comptage se poursuit jusqu'à ce que le contenu du registre soit nul, ce que détermine la phase 592 et, à ce moment, une commande est émise à la phase 594 pour que le circuit logique 194b  
35 actionne l'électro-aimant qui ouvre la seconde vanne d'échappement 36. A ce moment, la position du piston 14 est déterminée à la phase 596 par le contrôle de l'état des détecteurs de proximité 50 et 52, par l'accès du circuit

logique 194c. A ce moment, l'essai est terminé et une commande est émise vers le circuit logique 190a pour allumer les indicateurs d'essai terminé et d'essai automatique.

5 Enfin, à la phase 322, le piston 14 est ramené à sa position de repos par le sous-programme de la figure 6B, avant de revenir à la phase 556 représentée sur la figure 8C.

La figure 8E représente plus en détail le sous-programme d'essai automatique de volume 554. Tout d'abord, la phase 600 commande le circuit logique 198a pour allumer les indicateurs 111b et 111c d'essai automatique et d'essai en cours. L'essai automatique de volume est introduit pour obtenir une indication sur la précision du codeur linéaire 40. La phase 332 de la figure 6B ramène le piston 14 à sa position de repos avant que des signaux de commande soient émis à la phase 602 par l'intermédiaire du circuit logique 194b pour exciter les électro-aimants afin d'ouvrir d'abord la vanne d'entrée 34, puis l'électro-aimant qui ferme la seconde vanne de sortie 36. Une commande est ensuite émise à la phase 604 pour charger le tampon de vitesse, c'est-à-dire une partie adressée de la mémoire 126, avec la vitesse maximale égale à 16. A la phase 606, le servomoteur 20 est accéléré jusqu'à la vitesse mémorisée dans ce tampon, selon le sous-programme qui sera décrit en regard de la figure 8F. Ensuite, à la phase 608, le compteur d'impulsions 182 et le compteur programmable 174a représenté sur la figure 4C sont inhibés et sont ramenés à zéro. La phase 610 contrôle l'état du détecteur de proximité 52 pour déterminer si le piston 14 a été amené dans sa position de début d'essai et, s'il n'en est pas ainsi, le contrôle est répété jusqu'à ce que le piston 14 atteigne cette position. Quand le piston 14 a atteint sa position de début d'essai, le programme passe à la phase 612 dans laquelle le compteur programmable 174a est inhibé et le compteur linéaire 182 est autorisé à compter les impulsions du codeur linéaire au fur et à mesure que le piston 14 se déplace depuis le détecteur de proximité 52 jusqu'au détecteur de proximité 54. A la phase 614, l'é-

tat du détecteur de proximité inhibé 54 est contrôlé périodiquement jusqu'à ce que le piston 14 arrive devant lui, et à ce moment le sous-programme passe à la phase 616 pour inhiber le compteur linéaire 182. A la phase 5 618, le nombre ou le comptage cumulatif du compteur du codeur linéaire 182 est transmis par le circuit d'entrée/ 10 sortie 184 vers une position spécifiée de la mémoire 126. A la phase 620, une série appropriée de signaux de commande est transmise vers le circuit logique 194a, de sorte que le servomoteur 20 ralentit jusqu'à l'arrêt comme cela sera sera décrit en regard du sous-programme 15 de la figure 8G. Ensuite, à la phase 622, des indicateurs sont mis en place indiquant que le piston 14 n'est pas entre les détecteurs de proximité 50 et 52. A la phase 624, le circuit logique et d'attaque 198a alimente les lampes 111b et 111d d'essai automatique et de fin 20 d'essai. A ce moment, à la phase 626, le comptage du compteur d'impulsions 182 indiquant la source du piston 14 entre les détecteurs de proximité 52 et 54 est transféré de sa position de la mémoire 126 pour être affiché 25 par l'écran du terminal 112 et pour, en même temps, ramener au repos le compteur d'impulsions 182. Ensuite, le piston 14 est ramené à sa position de repos par la phase 332, comme le montre la figure 6B et la phase 628 30 commande le circuit logique et d'attaque 198a pour exciter la lampe d'attente 111e avant de revenir à la phase 556 de la figure 8C.

Le sous-programme d'accélération de moteur désigné globalement sur la figure 8E par la référence 606 est présenté plus en détail sur la figure 8F, selon laquelle, à la phase 630, une commande est émise par la ligne omnibus 140 pour inhiber les compteurs d'impulsions 182 et 174a de la figure 4C. Ensuite, une commande d'autorisation est émise vers le circuit logique 194a à la phase 35 632 pour commander le moteur 20 afin qu'il tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, soulevant ainsi le piston 14. A ce moment, la vitesse 1, c'est-à-dire la vitesse la plus basse, est chargée dans le tampon de com-

paraison de vitesse de la mémoire 126, à la phase 634. A la phase 636, une commande est émise vers le circuit logique 194a pour augmenter pas à pas la vitesse du servomoteur 20 et la vitesse réelle mémorisée dans le tampon de comparaison de vitesse de la mémoire 126 est comparée avec la vitesse finale spécifiée, mémorisée dans le tampon de vitesse ; si elles sont égales, c'est-à-dire si le servomoteur 20 a été accéléré jusqu'à la vitesse voulue, le sous-programme passe à la phase 646.

10 Sinon, la phase 640 introduit une période d'attente d'environ 0,25 seconde avant l'échantillonnage par le circuit logique 194c de l'état du détecteur de proximité 52 et, s'il n'est pas en position, la phase 644 augmente la vitesse voulue d'une unité avant de revenir à la phase 636 dans laquelle la nouvelle vitesse est placée dans le tampon de comparaison de vitesse de la mémoire 126. Si le piston 14 a été amené dans sa position intermédiaire, ce qui est détecté à la phase 640, le sous-programme passe à la phase 642 pour mettre en place un indicateur spécifiant que le piston 14 a été amené prématurément dans sa position intermédiaire et le sous-programme revient à la phase 604, comme le montre la figure 8E. Selon la figure 8F, le fonctionnement normal est l'accélération du piston 14 jusqu'à la vitesse voulue, puis l'essai périodique du signal de sortie du détecteur de proximité 52. Si la phase 646 détermine que le piston 14 a atteint la position de début d'essai, ce qui indique le signal de sortie du détecteur de proximité 52, le sous-programme branche vers la phase 970 qui sera expliquée en regard de la figure 9E, pour assurer et déterminer l'apparition du flanc avant de l'impulsion A suivante provenant du codeur rotatif 40 de manière que, comme cela sera expliqué par la suite, l'essai du compteur de fluide commence par l'application des impulsions de sortie du codeur rotatif 40 et du codeur linéaire 26 aux compteurs d'impulsions respectifs 174a et 182.

Le sous-programme de ralentissement du servomoteur 20, indiqué par la phase 620 de la figure 8E, sera expli-

qué plus en détail en regard du sous-programme de la figure 8G. Initialement, à la phase 648, le compteur d'impulsions 174a et le compteur d'impulsions 182 de la figure 4C qui reçoivent respectivement les signaux de sortie du codeur rotatif et du codeur linéaire sont d'abord inhibés, puis ramenés au repos. A la phase 650, le tampon de comparaison de vitesse de la mémoire 126 est chargé avec la vitesse 16, c'est-à-dire la plus haute vitesse disponible. Ensuite, à la phase 652, la vitesse réelle mémorisée dans le tampon de vitesse de la mémoire 126 est comparée avec la vitesse élevée 16 chargée dans le tampon de comparaison de vitesse et, si elles ne sont pas égales, la vitesse chargée dans le tampon de comparaison est réduite jusqu'à ce que la vitesse réelle soit égale à la vitesse chargée dans le tampon de comparaison ; à ce moment, le sous-programme passe à la phase 656 et la vitesse mémorisée dans le tampon de comparaison de vitesse est réduite. A la phase 658, une commande est émise vers le circuit logique 194a pour ralentir le servomoteur 20 afin que la nouvelle vitesse soit placée dans le tampon de vitesse de la mémoire 126. A la phase 660, la vitesse réelle est comparée avec zéro, c'est-à-dire l'arrêt du moteur 20 et, s'il n'est pas arrêté, une attente ou un retard de 0,2 seconde est introduit à la phase 662 avant de réduire à nouveau la vitesse du moteur aux phases 656 et 658. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le servomoteur 20 soit arrêté, c'est-à-dire à vitesse nulle et, à ce moment, la phase 660 ramène le sous-programme à la phase 622 de la figure 8E.

La figure 8H représente le sous-programme 506 d'entrée par l'opérateur au clavier du terminal à écran 112, des températures choisies dans la salle d'essai 106 pour les afficher, ainsi que les phases d'affichage de ces données sur l'écran. Il est évident que la connaissance de la température dans la salle d'essai 106 est utile pour déterminer le niveau de commande qui doit être exercé sur le dispositif de contrôle 10 dans la salle. Le sous-programme illustré par la figure 8H permet à

l'opérateur d'afficher l'une des quatre sorties de température ambiante R0, R1, R2 et R3 provenant des dispositifs de mesure de température de la figure 2C et disposées autour de la salle 106. L'accès à ces températures et leur affichage sur l'écran du terminal 112 peuvent se poursuivre jusqu'à ce que l'opérateur interrompe cette action en appuyant sur les touches N et O du clavier. Initialement, à la phase 664, une commande est émise vers le circuit logique 190a de manière que, par l'entrée de commande, les tampons associés avec le terminal 112 soient vidés. Ensuite, à la phase 666, le circuit logique 190a affiche une indication, comme le montre la figure 8H, des dispositifs possibles de température ambiante auxquels l'accès peut être donné, c'est-à-dire les dispositifs de température ambiante R0, R1, R2, R3. Si l'opérateur ne souhaite pas accéder à ces températures et les afficher, il appuie sur les touches N et O. A la phase 668, une commande de retour de chariot est émise de sorte que le curseur scintille indiquant qu'une réponse de l'opérateur est demandée. A la phase 670, une interrogation est faite pour déterminer la touche qui est manœuvrée par l'intermédiaire du circuit logique 190a et, si les touches R et O correspondant au dispositif R0 de température ambiante sont manœuvrées, le sous-programme passe par la phase 672a à la phase 674a dans laquelle un signal de commande est émis par la ligne omnibus 140, le circuit d'entrée/sortie 160 pour que le multiplexeur 149 sélectionne sa cinquième entrée ; une tension représentant le transducteur de température ambiante R0 est donc appliquée par les multiplexeurs 149 et 154 au convertisseur analogique-numérique 158. A la phase 676a, un signal de conversion est appliqué par le circuit d'entrée/sortie 160 au convertisseur analogique-numérique 158 pour convertir le signal analogique d'entrée en une donnée binaire. Ensuite, la phase 678a convertit l'information binaire en information numérique, et la phase 680a convertit cette information en un nombre décimal à virgule flottante selon le procédé bien connu.

A la phase 682a, le nombre à virgule flottante est converti en un nombre  $F^\circ$  selon la formule :

$$\frac{\lceil (\text{NOMBRE BRUT}) (7,326007326) \times 10^{-3} \rceil (9)}{5} + 32 = F^\circ$$

A la phase 684a, des données appropriées sont produites 5 par le circuit logique 190a pour afficher la température ambiante en degrés centigrades sur l'écran du terminal. D'une manière similaire, la phase 670 permet de détecter la manœuvre par l'opérateur de chacune des paires de touches correspondant aux détecteurs R0, R1, R2 et R3 10 afin d'accéder à ces détecteurs connectés au multiplexeur 149 de la figure 4A et pour traiter et afficher les données choisies sur l'écran. A la phase 694, il est déterminé si une autre entrée est souhaitée et le processus revient au début à la phase 670. Si l'opérateur appuie 15 sur la touche de sortie, le sous-programme passe par la phase 686 pour revenir au point d'entrée 212, au début du programme de la figure 5. Si les touches N et O ont été manoeuvrées, le programme passe à la phase 688 et revient au sous-programme suivant ou à la phase 508 20 comme le montre la figure 8A. Si une touche anormale est manoeuvrée, le sous-programme sort à la phase 690 et rejette le caractère à la phase 692 avant de revenir au début de la phase 670.

Le sous-programme 508 représenté d'une façon générale sur la figure 8A, pour l'échantillonnage de données d'essai précédent, est exécuté d'une manière représentée plus en détail sur la figure 8J. Le sous-programme peut être introduit après qu'un essai de compteur de fluide a été exécuté. Tout d'abord, à la phase 696, les données 30 préalablement mémorisées dans les tampons et sur l'écran sont effacées. Ensuite, la phase 698 affiche par la commande du circuit logique 190a sur l'écran les paramètres d'essai possible qui peuvent être accédés et affichés, à savoir K, le nombre de comptages du codeur linéaire 26 ; 35 TP, la température du dispositif de contrôle ; TM, la température du compteur de fluide ; PM la pression de ce

compteur ; PP, la pression du dispositif de contrôle et le pourcentage d'erreur à l'essai précédent. S'il n'y a lieu d'afficher aucune de ces valeurs, l'opérateur peut appuyer sur les touches N et O correspondant à NON et, à 5 ce moment, le programme progresse jusqu'à la phase suivante. A la phase 700, le curseur scintille, indiquant à l'opérateur qu'il doit sélectionner l'un des paramètres ou indiquer NON en appuyant sur les touches correspondantes. A la phase 702, si le comptage du codeur linéaire est sélectionné par la manœuvre de la touche K, 10 le sous-programme branche par la phase 704a sur la phase 706a de sorte que l'accès est donné au contenu du registre de codeur linéaire de la mémoire 126 et ce contenu est lu et appliqué pour son affichage sur l'écran 15 du terminal par l'intermédiaire du circuit logique 190a. D'une façon similaire, si les touches correspondant à la température du dispositif de contrôle sont manœuvrées sur le clavier par l'opérateur, le programme passe de la phase 702 par la phase 704b à la phase 706b dans 20 laquelle le contenu du tampon de température de dispositif de contrôle, à savoir une position spécifiée de la mémoire 126, est transféré de cette mémoire pour être affiché sur l'écran. D'une façon similaire, la température du compteur TM, la température du dispositif de 25 contrôle TP, la pression PP du dispositif de contrôle ou la pression du compteur PM peuvent être atteintes de façon similaire à partir d'une position correspondante de la mémoire 126 pour être affichées sur l'écran. De même, le pourcentage d'erreur de la différence entre le 30 volume standard aspiré par le dispositif de contrôle 10 et celui réellement mesuré par le compteur 38 est calculé par rapport au volume standard et peut être affiché sur l'écran. Si une seconde ou autre touche a été manœuvrée, la phase 716 ramène le sous-programme au début 35 de la phase 700. Si la touche de sortie a été manœuvrée, le sous-programme passe par la phase 708 pour sortir au point d'entrée 212, au début du programme de la figure 5. Si une touche anormale a été manœuvrée, le sous-programme

5 passe par la phase 712 pour rejeter le caractère erroné à la phase 714 avant de revenir au début de la phase 702. Quand l'opérateur a observé tout ou partie des paramètres qu'il souhaite voir sur l'écran, il appuie sur les touches N et O de sorte que le programme retourne à la phase suivante ou au sous-programme suivant.

10 Le sous-programme 510 représenté de façon générale sur la figure 8A permet d'accéder et d'afficher des paramètres qui sont automatiquement mesurés et contrôlés pendant un essai, et ce sous-programme est représenté plus en détail sur la figure 8K. Tout d'abord, à la phase 718, les tampons associés avec l'écran cathodique sont vidés, avant que les phases 720, 722, 724 et 726 mettent en place des indicateurs dans des positions appropriées de la mémoire 126 pour accéder aux températures et aux 15 pressions du dispositif de contrôle et du compteur de fluide. Ces indicateurs sont positionnés pour permettre d'afficher automatiquement ces paramètres sur l'écran et, ensuite, le sous-programme 510 revient à la phase 20 512 comme le montre la figure 8A.

25 La phase 512 indiquée sur la figure 8A destinée à établir le volume voulu à aspirer par le compteur 38 sera expliquée plus en détail en regard du sous-programme de la figure 8L. Initialement, le terminal à écran 112 est ramené au repos à la phase 742 avant que la phase 746 30 n'affiche sur l'écran les volumes possibles, par exemple 0,028 m<sup>3</sup>, la moitié et le quart de cette valeur, pouvant être sélectionnés par l'opérateur pour l'aspiration par le compteur 38 en essai. A la phase 748, le curseur scintille pour avertir l'opérateur qu'il doit sélectionner le volume. A la manoeuvre par l'opérateur de la touche correspondant à chacun des volumes possibles, le sous-programme 512 introduit le volume correspondant. Par exemple, si la touche appropriée est manoeuvrée, indiquant l'entrée d'une valeur correspondant à 0,028 m<sup>3</sup>, 35 le sous-programme passe par la phase 752a vers la phase 754a dans laquelle le facteur d'échelle correspondant à ce volume est placé dans une position connue de la mé-

moire 126. Le facteur d'échelle sera ensuite transféré de cette position de mémoire vers le compteur d'impulsions 174a du codeur rotatif. Après la sélection du volume d'essai souhaité, le sous-programme passe à la 5 phase suivante 514, comme le montre la figure 8A. Si la touche de sortie est sélectionnée, le sous-programme passe par la phase 756 pour revenir au programme principal par le point d'entrée 212. Si une fausse touche a été 10 manoeuvrée accidentellement, le sous-programme passe par la phase 758 pour rejeter ce caractère introduit à la phase 760 avant de revenir au début de la phase 750.

Le programme passe ensuite à la phase où au sous-programme 514 dans lequel le débit avec lequel le fluide doit être aspiré par le compteur 38 est établi ; comme 15 cela a été expliqué ci-dessus, le débit choisi détermine la vitesse à laquelle le servomoteur 20 est commandé pour soulever le piston 14 de la figure 1. Comme le montre la figure 8M, la phase 762 vide initialement les tampons associés avec le terminal à écran 112 et, à la 20 phase 764, les débits possibles de Q0 à QF sont affichés sur l'écran, étant entendu que Q0 correspond à un débit minimal, par exemple  $0,566 \text{ m}^3$  par minute et que QF correspond à un débit maximal, par exemple  $11,32 \text{ m}^3$  par minute. La phase 766 fait scintiller le curseur pour avertir l'opérateur qu'il doit sélectionner le débit. A la 25 phase 768, le clavier est interrogé pour déterminer la touche que l'opérateur a manoeuvré et, si par exemple le débit Q0 a été choisi, le sous-programme sort par la phase 770a vers la phase 772a dans laquelle l'indicateur 30 du débit particulier Q0 est mis en place dans une position spécifiée de la mémoire 126. Ensuite, la phase 774a affiche le débit Q0 sélectionné sur l'écran ; ensuite, le dispositif revient avec la réponse à "UN AUTRE ?" et le curseur scintille pour indiquer qu'une réponse de 35 l'utilisateur est demandée. Si un autre débit doit aussi être contrôlé, la phase 784 ramène le sous-programme au début de la phase 766 de sorte qu'un second débit et, éventuellement, d'autres peuvent être contrôlés en une

même série d'essais. Si l'opérateur appuie sur la touche de sortie, le sous-programme passe par la phase 776 et le point d'entrée 212 vers le programme principal comme le montre la figure 5. Si une fausse touche du clavier 5 du terminal 112 est manoeuvrée, le sous-programme passe par la phase 780 pour rejeter le caractère incorrect à la phase 782 avant de revenir au début de la phase 768. Si aucun autre débit n'est sélectionné pour contrôler le compteur 38, l'opérateur appuie sur les touches N et 10 O de sorte que le sous-programme revient par la phase 778 à la phase 516 comme le montre la figure 8A.

La phase où le sous-programme 516 de mise en place du nombre d'essais répétés qui doivent être exécutés pour chacun des débits choisis peut être introduit par le 15 clavier de l'opérateur, d'une manière décrite plus en détail en regard de la figure 8N. Initialement, les tampons associés avec le terminal à écran 112 et l'écran cathodique lui-même sont effacés à la phase 786 avant que le nombre possible d'essais ou d'essais répétés pour un 20 débit, c'est-à-dire 1, 2 ou 3, soit affiché sur l'écran. La phase 790 fait scintiller le curseur sur l'écran pour aviser l'opérateur qu'il doit sélectionner le débit. La phase 792 détecte celle des touches qui a été manoeuvrée et, si par exemple une touche a été manoeuvrée indiquant 25 un seul essai par débit, le sous-programme passe par la phase 794a vers la phase 793a dans laquelle la sortie "1" est affichée sur l'écran avant de revenir à la phase 518 suivante du programme principal de la figure 8A. Si deux essais doivent être effectués, le sous-programme sort 30 par la phase 794b vers la phase 793b dans laquelle une commande est émise pour copier les indicateurs de débit pour une répétition et, à la phase 796b, un indicateur est positionné pour une seconde répétition dans une position spécifiée de la mémoire 126. A la phase 796b, une 35 indication "2" est affichée sur l'écran. Si un essai déterminé doit être répété trois fois, le sous-programme effectue une série similaire d'opérations 794c, 793c et 796c. Si un caractère incorrect est entré au clavier, le

sous-programme passe par la phase 795 pour rejeter le caractère incorrect à la phase 797 avant de revenir au début de la phase 792. Si l'opérateur appuie sur la touche de sortie, le sous-programme sort par la phase 798 vers 5 le point d'entrée 212 de sorte qu'un retour est effectué vers le programme principal comme le montre la figure 5.

Le sous-programme 528, indiqué d'une façon générale sur la figure 8A, affiche les données de température et de pression quand l'essai de compteur est effectué, et 10 il est représenté plus en détail sur la figure 8P. Initialement, le curseur de l'écran est déplacé jusqu'à une position de repos et l'unité centrale de traitement 120 adresse cette position dans la mémoire 126 dans laquelle un indicateur TM a été placé automatiquement pendant le 15 sous-programme 510 précédent. Etant donné que le marqueur TM a été positionné, le contenu du tampon de température de compteur, c'est-à-dire une position adressable de la mémoire 126, est transféré par le circuit logique 190a pour être affiché sur l'écran comme l'indique la 20 phase 802. Après l'affichage, le sous-programme passe à la phase 806 qui examine la position de la mémoire 126 dans laquelle a été placé le marqueur TP indiquant qu'il y a lieu de contrôler la température TP du dispositif de 25 contrôle pendant un essai et la sortie du tampon de température de dispositif de contrôle est transférée à l'affichage sur l'écran. Après cet affichage, le sous-programme passe à la phase 810 qui accède à l'indicateur PM de pression de compteur et le contenu du tampon de pression, c'est-à-dire une position connue dans la mémoire 126, est affiché sur l'écran. Après l'affichage, 30 la phase 814 accède à l'indicateur de tampon PP précédemment positionné et le contenu du tampon de pression de dispositif de contrôle est transféré pour être affiché sur l'écran. Après l'affichage de cette information, le 35 sous-programme revient à la phase 530 comme l'indique la figure 8B. Les valeurs émises à ce moment correspondent aux valeurs actuellement mémorisées dans les tampons de la mémoire à accès direct. Si aucun essai n'a encore été

exécuté, des "0" sont initialement mémorisés dans la mémoire 126 et ils sont affichés sous la forme TM - 0,0°C. Cette phase met en format l'affichage de sorte que, lorsqu'un essai commence, le dispositif remplace les "0" par les chiffres appropriés.

5 L'exécution des essais du compteur de fluide 38 par le dispositif de contrôle 10 ainsi que l'émission des résultats vers l'imprimante et l'écran du terminal se font à la commande du programme indiqué généralement sur 10 la figure 5 par la référence 900 et qui sera maintenant expliqué plus en détail en regard des figures 9A à 9P. La figure 9A est un organigramme de haut niveau des différentes phases ou sous-programmes qui sont nécessaires pour effectuer l'essai d'un compteur 38 en commençant par 15 la phase 322 indiquée ci-dessus en regard de la figure 6B pour ramener le piston 14 dans sa position de repos, c'est-à-dire sa position normale inférieure par rapport au cylindre 12 des figures 1 et 2A. Ensuite, le sous-programme 902, qui sera expliqué en détail en regard de 20 la figure 9B, détermine le type d'essai, c'est-à-dire le volume mesuré par le compteur 38 et déterminé par le détecteur de proximité 27 ou par le codeur optique rotatif 40 de la figure 4C, ainsi que le volume particulier aspiré par le compteur 38 ; en particulier, la phase 902 charge le facteur de volume approprié dans le compteur programmable 174a et mémorise également le diviseur approprié dans le tampon EORP de la mémoire 126. Ensuite, 25 la phase 904 détermine si la condition d'un essai par débit doit être respectée, et le débit exécuté pour cet essai ; en particulier, le dispositif adresse la position dans laquelle sont mémorisés dans la mémoire 126 les indicateurs de débit pour déterminer le débit approprié 30 utilisés dans un essai particulier. Si le débit est ainsi localisé, le sous-programme passe à la phase ou au sous-programme 906A pour déterminer le débit à effectuer et pour obtenir ce débit, et il exécute ce sous-programme 35 représenté particulièrement sur les figures 9C et 9D. S'il est décidé à la phase 908 que deux essais doivent être ef-

fectués pour chaque débit, le sous-programme adresse les positions de la mémoire 126 pour les indicateurs de débit correspondant et exécute les essais avec le débit programmé à la phase 906b. Si trois essais par débit sont sollicités, il est d'abord déterminé à la phase 912 si le débit pour les trois essais correspondants a été introduit et, s'il en est ainsi, la phase 906c appelle les indicateurs de débit dans les positions spécifiées de la mémoire 126, et elle exécute les essais du compteur 38 avec ce débit ou ces débits. Ensuite, une commande est émise vers le circuit logique et d'attaque 198a pour exercer l'indicateur d'attente avant de revenir à la phase 216 de la figure 5.

La détermination du type d'essai et du volume à mesurer apparaît d'une façon générale sous la forme du sous-programme 902 de la figure 9A et sera expliquée plus en détail en regard de la figure 9B qui montre qu'initiallement le compteur programmable 174a et le compteur d'impulsions 182 de la figure 4C sont inhibés et ramenés au repos à la phase 918. A ce moment, à la phase 919, l'état du contact de codeur/détecteur de proximité est déterminé pour indiquer si le volume de fluide passant par le compteur 38 doit être déterminé par la sortie du détecteur de proximité 27 ou par la sortie du codeur rotatif 40. Si la sortie du codeur rotatif est choisie, le sous-programme passe à la phase 920 pour contrôler la présence ou l'état d'un indicateur de  $0,028 \text{ m}^3$  dans la position spécifiée de la mémoire 126 et, s'il est présent, ce facteur qui équivaut aux impulsions de sortie pour ce volume, provenant de la sortie du codeur optique 40, est mémorisé par la phase 922 dans la mémoire EORP, c'est-à-dire la position spécifiée de la mémoire 126, ce facteur étant chargé dans le compteur programmable 174a. A ce moment, le sous-programme revient à la phase 904 suivante du programme de la figure 9A. Si l'indicateur de  $0,028 \text{ m}^3$  n'est pas présent, la phase 924 contrôle l'état du bit ou de l'indicateur de la moitié de ce volume et, s'il est présent, ce qu'indique la phase 924, le compteur program-

mable 174a de la figure 4C est chargé à la phase 926 avec un comptage équivalent et un facteur correspondant est mémorisé dans le tampon EORP de la mémoire 126, avant de revenir à la phase 904 de la figure 9A. Si les deux indicateurs précités ne sont pas présents, la phase 928 recherche la présence d'un indicateur du quart de ce volume, préalablement introduit par l'opérateur dans la mémoire 126, et la phase 930 charge le compteur programmable 174a avec un comptage correspondant au quart du volume et un facteur correspondant est mémorisé dans le tampon EORP de la mémoire à accès direct 126. Si aucun de ces indicateurs de volume n'est présent, la phase 932 détermine automatiquement qu'un essai à  $0,028 \text{ m}^3$  doit être effectué sur le compteur 38.

Si, par contre, la phase 919 détermine que la sortie du détecteur de proximité 27 doit être utilisée pour mesurer le volume de fluide passant par le compteur 38, le sous-programme passe à la phase 934 dans laquelle l'état de l'indicateur de  $0,028 \text{ m}^3$  dans la mémoire 126 est contrôlé et, s'il est présent, le compteur programmable 174a de la figure 4C reçoit à la phase 936 un nombre binaire équivalent à ce volume et un facteur, normalement 8, est placé dans la position de tampon EORP de la mémoire 126 avant de revenir au programme principal. Si l'indicateur de  $0,028 \text{ m}^3$  n'a pas été mis en place, le sous-programme passe à la phase 938 dans laquelle l'état de l'indicateur de la moitié de ce volume est contrôlé et, s'il est présent, un facteur correspondant à ce demi-volume, normalement 4, est mémorisé à la phase 940 dans le compteur programmable 174a et également dans le tampon EORP de la mémoire 126 avant de revenir au programme principal. Si l'indicateur de la moitié du volume n'a pas été mis en place, le sous-programme passe à la phase 942 dans lequel l'état de l'indicateur du quart du volume est contrôlé et, s'il est présent, un facteur équivalent à ce quart de volume, normalement 2, est introduit par la phase 944 dans le compteur programmable 174a et dans la position de tampon EORP de la mémoire 126 avant de

revenir au programme principal. Si aucun de ces indicateurs n'a été mis en place, à la phase 946, le sous-programme commande automatiquement le dispositif de contrôle 10 pour qu'il effectue un essai d'aspiration de  $0,028 \text{ m}^3$  5 par le compteur 38.

Comme le montre la figure 9A, le sous-programme suivant 904 ainsi que ceux qui suivent consistent en une série d'opérations pour déterminer les débits qui doivent être appliqués et le nombre de fois que chaque débit doit être 10 contrôlé. Selon la figure 9C, la phase 948 commande le circuit logique et d'attaque 198a pour allumer la lampe 111c d'essai en cours avant de passer à la phase 950 pour déterminer si le débit mémorisé dans la mémoire 126 et qui doit être appliqué est l'un des débits Q0 à Q7 et, 15 s'il en est ainsi, le sous-programme passe à la phase 952a dans laquelle il est déterminé si l'essai doit être effectué avec le débit Q0 ; s'il en est ainsi, une vitesse 0 est chargée à la phase 954a dans la position de tampon de vitesse de la mémoire 126 et, ensuite, à la phase 956a, 20 le dispositif de contrôle de compteur 10 exécute l'essai du compteur 38 avec le débit choisi et il émet les résultats vers l'imprimante comme cela sera expliqué plus en détail en regard des figures 9E et 9F. Mais si l'essai doit être effectué avec le débit Q1, des opérations similaires 25 954b et 956b sont exécutées pour lesquelles la vitesse 1 est chargée et l'essai est effectué dans ces opérations respectives. Des opérations similaires 952c à 952h, 954c à 954h et 956c à 956h sont exécutées, de manière que les débits correspondants soient introduits 30 dans le tampon de vitesse et soient appliqués. Si la décision est négative à la phase 950, le sous-programme passe immédiatement à la phase 958 comme le montre la figure 9B dans laquelle une décision est prise en examinant les indicateurs disposés dans les régions spécifiées 35 de la mémoire 126 pour déterminer si un débit Q8 à QF est sélectionné et, s'il en est ainsi, le sous-programme passe à la phase 960a ; sinon, le sous-programme passe à la phase 908 suivante de la figure 9A. La phase 960a détermine si un compteur de fluide doit être contrôlé

avec le débit correspondant au débit Q8 et, s'il en est ainsi, la phase 962a charge une vitesse 8 dans le tampon de vitesse de la mémoire 126 et, à ce moment, il exécute par la phase 964a l'essai du compteur 38 avec le dispositif du contrôle 10 avec cette vitesse spécifiée du servomoteur et ce débit. D'une façon similaire, les phases 960b à 960h, 962b à 962h et 964b à 964h sont exécutées de sorte que les essais avec les différents débits et les différentes vitesses du moteur sont exécutés avant de revenir à l'opération suivante qui peut être la phase 908 ou 912 pour déterminer le nombre des essais à effectuer par débit.

Selon les figures 9C et 9D, quand le débit avec lequel un compteur particulier doit être essayé a été choisi, l'essai réel est effectué aux phases 956 et 964. L'essai réel du compteur effectué par le dispositif de contrôle est exécuté dans le sous-programme des figures 9E et 9F. Tout d'abord, la phase 966 commande le circuit logique et d'attaque 198a de la figure 4E pour allumer la lampe 111c d'essai en cours. Ensuite, la phase 332 de la figure 6B ramène le piston 14 à sa position de repos ou inférieure comme le montrent les figures 1 et 2A. La phase 968 commande le circuit logique 194b pour ouvrir la vanne d'entrée 34 et fermer la vanne de sortie 36. Comme cela a été indiqué ci-dessus, une vitesse particulière a été mémorisée dans le tampon de vitesse de la mémoire 126 et le servomoteur 20 est entraîné à la commande du circuit logique 194a à cette vitesse, selon le sous-programme 606 de la figure 8F. Il importe de noter que le sous-programme 606 détecte que le piston 14 a été accéléré à partir de sa position de repos jusqu'à la position de début d'essai, ce qu'indique le signal de sortie du détecteur de proximité 52, et que la vitesse du piston s'est stabilisée. Ensuite, à la phase 970, les signaux de sortie produits par le codeur rotatif 40 et le codeur optique linéaire 26 sont inhibés par les circuits logiques et de conditionnement 170a et 170b contre leur introduction dans les compteurs d'impulsions respectifs 174a et

182 et les diviseurs ou les facteurs de temps sélectionnés initialement sur la base du volume d'essai sont introduits dans le compteur programmable 174a. A la phase 972, après que le piston a atteint la position de début d'essai, ce 5 que détermine la phase 600, l'accès est donné périodiquement, par exemple toutes les 40 microsecondes à la sortie du codeur rotatif 40 pour détecter l'apparition du flanc avant de l'impulsion suivante, produite à l'entrée du temporisateur d'intervalle 176. Si cela ne s'est pas produit, le sous-programme contrôle à la phase 974 l'état 10 du commutateur de proximité 54 et si le piston 14 se trouve dans cette position, c'est-à-dire vers sa position supérieure dans le cylindre 12, cela indique un dérangement et le sous-programme sort par le point de sortie 975 15 vers un sous-programme d'interruption qui sera expliqué en regard de la figure 9G. Sinon, à l'apparition du flanc avant du signal de sortie du transducteur codeur rotatif 40, le sous-programme passe à la phase 976 dans laquelle le signal de sortie A du transducteur rotatif 40 est appliqu 20 par le circuit logique et de conditionnement 170a au temporisateur d'intervalle 174 et, en particulier, à son compteur programmable 174a. Ensuite, la phase 976 autorise le compteur 182 à commencer son comptage des impulsions produites par le codeur linéaire 26 et le compteur programmable 174a a compté les impulsions du codeur rotatif 40. En outre, la phase 976 autorise à ce 25 moment le compteur d'impulsions 176a à compter le signal d'horloge indiqué sur la figure 4C comme horloge A (par exemple 200 kHz) en divisant l'horloge d'ensemble par un facteur approprié pour émettre par le circuit logique 178 un signal d'échantillonnage d'une seconde avec lequel les différentes valeurs de température et de pression sont échantillonnées. En outre, un signal de sortie 30 est produit par le temporisateur d'intervalle 174 pour autoriser le circuit logique 177, qui sinon est inhibé, afin de permettre de produire une interruption de fin d'essai et, en particulier, d'appliquer un signal "1" ou de niveau haut au décomptage du contenu introduit par le 35

compteur programmable 174a, de manière à appliquer un signal à l'entrée d'interruption 2 de l'unité centrale de traitement 120 pour déclencher un sous-programme d'interruption qui sera expliqué en détail par la suite en regard de la figure 9J. Ensuite, à la phase 528, les données de températures et de pressions actuellement mesurées dans le dispositif de contrôle 38 et dans la chambre 28 sont émises comme cela a été expliqué en regard de la figure 8B. Ensuite, à la phase 980, l'état du compteur 10 d'impulsions 176a dans le temporisateur d'intervalle 176 est contrôlé et, si aucune impulsion n'a été cumulée, le sous-programme revient au début de la phase 980 pour attendre l'apparition de la première impulsion provenant du compteur d'impulsions 176a. Si une ou plusieurs impulsions ont été détectées à la sortie du compteur 176a, 15 le sous-programme passe à la phase 982 dans laquelle le compteur d'impulsions 176a est ramené à zéro. Ainsi, le compteur 176a est ramené à zéro à l'apparition de l'impulsion par seconde provenant du circuit logique 178. A 20 la phase 984, la pression MP2 au compteur de fluide provenant de la sortie du transducteur de pression 46, la pression dans la salle d'essai provenant du transducteur de pression PB, la pression PP1 au dispositif d'essai provenant du transducteur de pression 51, les températures TM3 et TM4 au compteur de fluide provenant des transducteurs de température 42 et 44 et les températures TP1 et TP2 du dispositif de contrôle provenant des transducteurs de température 57 et 48 sont placées dans des positions spécifiées de la mémoire 126 afin d'être disponibles pour les calculs à exécuter et qui seront expliqués. Ensuite, à la phase 986 qui sera expliquée plus en détail en regard de la figure 9L, les données de 25 pression et de température sont converties en une forme décimale à virgule flottante et, à la phase 988, qui sera expliquée plus en détail en regard de la figure 9M, les données sont cumulées et leur moyenne est faite. Comme cela sera expliqué plus en détail par la suite, les valeurs de pression et de température dans le dispositif 30 35

de contrôle 40 et dans la chambre 28 sont cumulées périodiquement, par exemple toutes les secondes, à partir d'un instant où l'essai du compteur de volume commence jusqu'à ce qu'il soit terminé, et chacun des échantillons ainsi prélevés peut être additionné et divisé par le nombre d'échantillons pour obtenir la moyenne dans le temps des paramètres de pression et de température. Les paramètres de pression et de température sont ainsi considérés comme étant contrôlés continuellement pendant l'essai d'un compteur de fluide. Un échantillon final de ces paramètres est prélevé même après le décomptage du compteur programmable 174a. Il est ensuite déterminé à la phase 990 si l'essai est terminé en interrogeant le registre INT2 et, s'il en est ainsi, le sous-programme passe aux 15 phases suivantes de la figure 9F; sinon, le sous-programme revient au début de la phase 528 pour émettre les valeurs actuelles dans les tampons de pression et de température de la mémoire 126 et pour continuer l'essai du compteur. La production et la mémorisation d'un indicateur de fin d'essai permettent de terminer l'essai du compteur à tout moment dans l'intervalle entre les impulsions d'échantillonnage afin de prendre des mesures de pression et de température. Ainsi, comme cela a été expliqué en regard de la figure 9J, l'indicateur de fin d'essai est mis en place au décomptage du registre 174a de codeur de compteur de fluide dans une partie spécifiée de la mémoire 126 indiquant que l'essai est terminé. Mais les impulsions d'échantillonnage d'une seconde produites par le circuit logique 178 de la figure 30 40 apparaissent encore pour obtenir les dernières valeurs de données de température et de pression. Ainsi, le sous-programme de la figure 9E et, en particulier, la phase 990 permettent de terminer l'essai et de recueillir les derniers éléments de pression et de température 35 avant l'arrêt du dispositif de contrôle 10. L'utilisation du circuit logique 177 pour détecter la temporisation du compteur de codeur 174a permet de produire un signal ou un indicateur de fin d'essai rapide et efficace.

Si une solution logicielle était adoptée, il serait nécessaire d'accéder répétitivement à l'état du compteur programmable 174a pour déterminer son décomptage, compliquant ainsi considérablement le programme mémorisé dans 5 la mémoire programmable 124 et réduisant également la précision de l'instant de fin d'essai.

Il apparaît ainsi qu'un essai de compteur de fluide est déclenché et terminé en réponse au signal de sortie du codeur rotatif 40 de ce compteur. Comme cela a été 10 expliqué ci-dessus, le mécanisme qui accouple le codeur 40 avec le diaphragme du compteur 38 produit, dans un certain sens, un signal modulé en fréquence de sorte qu'il est souhaitable de déclencher et d'interrompre le comptage du signal de sortie à peu près au même point du 15 cycle de la rotation du codeur 40. A cet effet, le piston 14 est accéléré à partir de sa position de repos jusqu'à une vitesse pratiquement constante avant de passer par la position de début d'essai déterminée à la phase 646 et, à ce point, l'essai vérifie périodiquement, par 20 exemple toutes les 40 microsecondes, l'apparition du flanc avant de l'impulsion A suivante provenant du codeur 40. Cette impulsion suivante A provenant du codeur rotatif 40 déclenche le décomptage du compteur programmable 174a dans lequel a été chargé un comptage indiquant le volume 25 d'essai à aspirer par le compteur de fluide en essai et, en même temps, elle déclenche le comptage du compteur 182 qui compte le signal de sortie du codeur linéaire 26 afin d'obtenir une indication précise sur le volume d'essai aspiré dans le dispositif de contrôle 10. Après le 30 décomptage par le compteur d'impulsions 174a, un signal est appliqué au circuit logique 177 pour effectuer une interruption 2 de l'unité centrale de traitement qui, comme le montre la figure 9J, inhibe les compteurs d'impulsions 174a et 182, interrompant ainsi leur comptage. 35 Ainsi, le contenu mémorisé dans le compteur 182 et indiquant les impulsions produites par le codeur linéaire 26 commence et se termine en réponse au signal de sortie du codeur rotatif 40, assurant ainsi que le comptage

mémorisé dans le compteur 182 correspond exactement à un comptage mémorisé dans le compteur programmable 174a qui indique la mesure de fluide effectuée par le compteur de fluide en essai 38.

5 Selon la figure 9F, à la phase 992, les valeurs finales de pression sont obtenues après que l'indicateur de fin d'essai a été mis en place et elles sont converties en format décimal à virgule flottante avant d'être cumulées et que leur moyenne soit faite. Les valeurs finales de pression et de température sont émises par le circuit logique 190a de la figure 4D pour être affichées sur l'écran du terminal 112, selon le sous-programme décrit ci-dessus en regard de la figure 8P. Ensuite, à la phase 994, le comptage cumulé dans le compteur 182 est converti en format décimal à virgule flottante et, à la phase 620, le servomoteur 20 est ralenti jusqu'à l'arrêt en fonction du sous-programme 620 décrit ci-dessus en regard de la figure 8G. Ensuite, la phase 996 produit des signaux de commande par le circuit d'entrée/sortie parallèle 196 et le circuit logique 194b pour actionner l'électro-aimant associé avec la seconde vanne de sortie 36 afin de l'ouvrir, et également pour actionner l'électro-aimant associé avec la première vanne d'entrée 34 afin de la fermer. Ensuite, à la phase 998, les différents paramètres ont été recueillis et ont été utilisés pour calculer les volumes indiqués par la sortie du codeur optique linéaire 26 et par le codeur optique rotatif 40 d'une manière qui sera expliquée plus en détail en regard de la figure 9N. A la phase 1000, une commande est émise vers le circuit logique et d'attaque 198a pour allumer l'indicateur 111d de fin d'essai et, ensuite, à la phase 1002 les résultats calculés à la phase 998 sont transférés vers l'imprimante comme cela sera expliqué en regard de la figure 9P, et le piston 14 est ramené à sa position normale inférieure ou de repos par la phase 322 décrite en regard de la figure 6B. A ce moment, le programme revient au début de la phase 952a de la figure 9C pour déterminer si des essais répétés ou avec des dé-

bits différents doivent être faits.

La figure 9G représente le sous-programme d'interruption 975 qui est introduit principalement quand le bouton d'arrêt 111g est poussé par l'opérateur ou lorsqu'il est déterminé à la phase 974 de la figure 9E qu'un dérangement s'est produit, résultant de la combinaison d'une absence de comptage du codeur rotatif et de la présence du cylindre dans sa position supérieure correspondant à la position du commutateur de proximité 54. A la manœuvre du bouton d'arrêt 111g, le servomoteur 20 est ralenti rapidement jusqu'à l'arrêt et le dispositif est "verrouillé" dans son mode d'arrêt jusqu'à ce que l'alimentation principale soit enlevée puis appliquée à nouveau. A la nouvelle application de l'alimentation, le dispositif de contrôle 10 revient dans son mode d'attente. Dans un cas comme dans l'autre, le programme entre par le point 976 de la figure 9G et, à la phase 1004, le circuit logique et d'attaque 198a allume la lampe derrière le bouton poussoir d'arrêt 111g. A la phase 1006, la vitesse actuelle du moteur indiquée par le circuit logique 198b est mémorisée dans le tampon de comparaison de vitesse de la mémoire 126. Ensuite, le moteur 20 est ralenti selon le sous-programme de ralentissement 620 de la figure 8G. Puis la phase 1008 émet des commandes vers le circuit logique 194b pour que l'électro-aimant associé ouvre la vanne de sortie 36 et que l'électro-aimant associé ferme la première vanne d'entrée 34: A ce moment, le sous-programme passe à une phase d'attente 1010 jusqu'à ce que l'alimentation soit coupée puis rétablie.

Comme le montre la figure 9H, un sous-programme d'interruption 1 est introduit quand l'opérateur appuie sur le bouton 111g de mise au repos du module 111 de commande et d'état, de sorte que le programme exécuté est interrompu et sort à la phase 1012, à laquelle le circuit logique et d'attaque 198a est commandé pour allumer la lampe derrière le bouton 111g. Ensuite, à la phase 1014, la vitesse actuelle du servomoteur 20 est lue par

le circuit logique 198b et elle est mémorisée dans le tampon de comparaison de vitesse, c'est-à-dire une position adressable de la mémoire 126. A ce moment, et à la commande du circuit logique 194a, le servomoteur 20 est 5 ralenti jusqu'à l'arrêt par le sous-programme 620 comme le montre la figure 8G et le retour est fait vers le programme par le point 212 et, en particulier, vers la phase 214 de la figure 5.

Un troisième sous-programme d'interruption, mentionné ci-dessus en regard des phases 976 et 990 de la figure 9E, est représenté sur la figure 9J, introduit automatiquement à la fin de l'essai d'un compteur quand le temporisateur d'intervalle 174 émet une impulsion par son circuit logique 177 vers l'entrée d'interruption 2 de l'unité centrale de traitement 120, cette impulsion apparaissant après le décomptage de l'entrée de l'un des facteurs correspondant à  $0,028 \text{ m}^3$ , la moitié ou le quart de ce volume, à aspirer par le dispositif de contrôle 10, en passant par le compteur de fluide 38. Initialement, l'état du dispositif est mémorisé à la phase 1018 dans des positions appropriées de la mémoire 126 et, à la phase 1020, les compteurs d'impulsions 174a et 182 de la figure 4C sont inhibés et le contenu mémorisé du compteur linéaire 182 est mémorisé dans une position 25 appropriée de la mémoire 126 avant que chacun des compteurs d'impulsions 174a et 182 soit ramené au repos. A la phase 1024, un indicateur est placé dans le registre de fin d'essai de la mémoire 126, à l'apparition du décomptage de l'un des facteurs ou paramètres précités 30 par le compteur d'impulsions 174a. Ainsi, la fin d'un essai peut se produire à mi-chemin entre des impulsions d'échantillonnage d'une seconde qui sont utilisées pour obtenir des mesures de pression et de température. Il est donc nécessaire d'attendre d'obtenir ces dernières mesures de pression et de température et cela se fait par la mise en place d'un indicateur de fin d'essai immédiatement à l'apparition du décomptage des facteurs précités. Le dispositif de contrôle 10 continue à fonction-

ner pour accumuler des données, comme l'indique la figure 9E, jusqu'à la phase 990 et, à ce moment, l'accès est donné au registre d'essai terminé de la mémoire 126 pour déterminer si un indicateur de fin d'essai a été positionné et, s'il en est ainsi, l'essai est interrompu. Si l'essai se poursuit encore, à la phase 1028, l'état de l'ensemble est rappelé et le dispositif de contrôle continue à fonctionner jusqu'au point d'interruption dans le sous-programme d'essai de compteur de la figure 9E.

10 Le sous-programme 984 indiqué globalement sur la figure 9E, destiné à introduire les valeurs de pression et de température, est représenté plus en détail par le sous-programme de la figure 9K ; à la phase initiale 1032, une indication de pression différentielle est obtenue à partir du dispositif 46 de mesure de pression différentielle et elle est convertie en une information binaire par le convertisseur analogique-numérique 166 pour être mémorisée dans une position spécifiée de la mémoire 126. D'une manière similaire, une pression différentielle mesurée par le transducteur de pression de piston 51 est convertie par le convertisseur 166 en une information binaire qui est mémorisée par la phase 1034 dans une position spécifiée de la mémoire 126. D'une manière similaire, la pression barométrique mesurée par 15 le transducteur 109 placé dans la salle d'essai 106 dans laquelle se trouve le dispositif de contrôle 10 est convertie par le convertisseur 166 en format binaire et elle est mémorisée à la phase 1036 dans une position spécifiée de la mémoire 126. D'une façon similaire, aux phases 20 1038, 1040, 1042, les entrées de température TP1, TP2, TM3 et TM4 provenant des dispositifs de mesure de température 57, 48, 42 et 44 sont converties en informations binaires par le convertisseur 158 et sont mémorisées dans des positions spécifiées de la mémoire 126 avant de 25 revenir à la phase 986 de la figure 9E.

30 La phase 986 indiquée globalement sur la figure 9E est représentée plus en détail par le sous-programme de la figure 9L, dans lequel, à la phase 1046, chacune des

températures correspondant aux températures TP1 et TP2 du dispositif de contrôle et aux températures TM3 et TM4 du compteur de fluide est convertie d'une tension binaire en degrés centigrades, en format à virgule flottante, pour 5 être mémorisée dans une position spécifiée de la mémoire 126. Ensuite, à la phase 1048 et d'une façon similaire, les tensions binaires indiquant les pressions MP1, MP2 et la pression barométrique PB sont prélevées dans les positions spécifiées de la mémoire 126 et sont converties 10 en bar dans un format décimal à virgule flottante et sont mémorisées à nouveau dans les positions spécifiées de la mémoire 126 avant de revenir à la phase 988 comme le montre la figure 9E.

Le sous-programme ou la phase 988 apparaissant sur 15 la figure 9E, destiné à cumuler et à faire la moyenne des données d'essai est représenté plus en détail par le sous-programme de la figure 9M. A la phase 1050, les valeurs numériques des première et seconde températures TP1 et TP2 au dispositif de contrôle sont additionnées pour 20 obtenir une température moyenne au dispositif de contrôle (ATP). Cette valeur est additionnée à son tour aux anciennes valeurs cumulées de ATP, accumulant ainsi une série de N échantillons de température moyenne pendant l'exécution de l'essai d'un compteur. A la phase 1052, 25 les températures TM3 et TM4 au compteur sont additionnées pour obtenir une température moyenne au compteur (ATM) et cette nouvelle valeur est additionnée aux valeurs déjà cumulées de température moyenne pour obtenir une quantité représentant N échantillons consécutifs de ATM 30 pendant le cours d'un essai de compteur. A la phase 1054, une valeur de pression barométrique ou ambiante PB est additionnée à la somme de la pression barométrique PB et de la pression différentielle MP2, entre la pression ambiante et la pression établie dans le compteur 38 afin 35 d'obtenir une pression moyenne au compteur (APM). Cette pression moyenne au compteur est additionnée aux valeurs déjà accumulées de pression moyenne au compteur pour obtenir une quantité représentant N échantillons consécu-

tifs de APM pendant l'exécution de l'essai du compteur. A la phase 1056, une valeur de pression ambiante ou barométrique PB est additionnée à la pression différentielle obtenue depuis le transducteur 51 de pression différentielle PP1 pour obtenir une pression moyenne au dispositif de contrôle (APP). Cette pression moyenne APP est additionnée aux valeurs déjà cumulées de pression moyenne pour obtenir une quantité représentant N échantillons consécutifs de APP pendant l'essai d'un compteur. A la phase 1058, le nombre d'échantillons de chacune des valeurs prélevées ci-dessus aux phases 1050, 1052, 1054 et 1056 est additionné pour déterminer le nombre total N des échantillons, de sorte que, aux phases suivantes, une valeur moyenne de chacun de ces paramètres peut être obtenue en divisant la quantité cumulée par le facteur N.

La phase 998 apparaissant sur la figure 9F sera maintenant expliquée plus en détail en regard de la figure 9N. Comme cela a été indiqué ci-dessus, les valeurs cumulées de température et de pression moyenne ATP, de température moyenne au compteur ATM, de pression moyenne au compteur AMP et de pression moyenne au dispositif de contrôle APP représentent N échantillons prélevés pendant le cours de l'essai du compteur et, à la phase 1060, ces valeurs moyennes sont obtenues pour chacune des températures et pressions. Ensuite, à la phase 1062, le pourcentage d'erreur de sortie du codeur de compteur 40 sur le fluide passant dans ce compteur par rapport au volume standard aspiré par le dispositif de contrôle 10 est calculé selon l'équation précitée. Les valeurs de pression au compteur PM, de pression au dispositif de contrôle PP, de température au dispositif de contrôle TP et de température au compteur TM sont des valeurs moyennes déterminées à la phase 1060 tandis que le comptage K de volume au dispositif de contrôle a été obtenu sous forme d'une indication de comptages cumulés, produits par le codeur linéaire 26 et accumulés dans le compteur d'impulsions 182, ce comptage indiquant un volume standard choisi, par exemple  $0,028 \text{ m}^3$ , la moitié ou le quart

de ce volume. Comme l'indique la figure 9N, les rapports de PM à PP et de TP à TM fournissent respectivement des facteurs de correction de pression et de température. Comme cela a été expliqué ci-dessus, il existe des différences de température de fluide et de pression de fluide dans le dispositif de contrôle 10 et le compteur de fluide 38 en essai. Ces rapports déterminés à la phase 1062 fournissent des facteurs appropriés de correction par lesquels les différences de température sont compensées pour obtenir une indication précise du pourcentage d'erreur de la lecture du compteur concernant le volume de fluide par rapport à l'indication étalonnée ou la lecture fournie par le dispositif de contrôle 10. Le facteur  $K_x$  représente les comptages mémorisés dans le compteur programmable 174a indiquant le fluide mesuré par le compteur 38. A la phase 1062, le facteur  $K_x$  est multiplié par une constante C pour convertir le comptage, par exemple 40 000 pour  $0,028 \text{ m}^3$ , en une valeur de volume à aspirer par le compteur 40. Dans l'exemple présent, si le facteur  $K_x$  introduit dans le compteur programmable 174a est 40 000, la constante C est choisie à  $1/40 000$ . Par ailleurs, le nombre de comptages extraits du codeur linéaire 26 et compté par le compteur 182 est multiplié par un facteur d'étalonnage qui, comme cela sera expliqué par la suite en détail, est déterminé par une mesure précise du volume de la chambre 28 du dispositif de contrôle 10, et en établissant une corrélation entre le volume mesuré avec précision et la série d'impulsions émises par le codeur linéaire 26. Dans un exemple de l'invention, pour un volume choisi de  $0,028 \text{ m}^3$  de la chambre 28, il a été déterminé que 38 790 impulsions de sortie étaient produites par le codeur linéaire 26. Le facteur d'étalonnage est donc choisi comme l'inverse de ce comptage, soit  $1/38 790$ . D'une manière similaire, si un volume différent doit être aspiré par le compteur 38 et si le compteur programmable 174a doit être programmé avec un comptage correspondant à un volume différent, il est nécessaire de déterminer un facteur d'étalonnage diffé-

rent correspondant à ce volume défini dans une région déterminée de la chambre 28. En pratique, le comptage 38 790 est obtenu de façon empirique en déplaçant le piston 14 suivant la longueur de la chambre 28, correspondant exactement à  $0,028 \text{ m}^3$  et en calculant ou en déterminant de toute autre manière le nombre des impulsions émises par le codeur linéaire 26. Des mesures et des codages similaires peuvent être effectués de façon empirique pour déterminer les comptages pour la moitié 5 et le quart du volume ci-dessus, en correspondance avec la sortie du codeur linéaire 26 quand le piston 14 se déplace sur des distances à partir de la position de début d'essai, le long du cylindre 12, correspondant à la moitié et au quart du volume précité. Ainsi, les comptages réels et, par conséquent, les facteurs d'étalonnage 10 correspondants pour la moitié et le quart de ce volume correspondent avec précision aux volumes définis par la paroi cylindrique de la chambre 28. De cette manière, un calcul de pourcentage d'erreur entre la lecture 15 du compteur 38 et le volume réel aspiré dans la chambre 28 peut se faire avec une grande précision en utilisant des facteurs d'étalonnage qui ont été déterminés en fonction du volume précis des régions correspondantes de la paroi cylindrique de la chambre 28. Quand 20 la phase 1062 a été exécutée, le programme revient à la phase 1000 représentée sur la figure 9F.

Le calcul des températures et pressions moyennes décrites de façon générale en regard de la phase ou du sous-programme 1060 de la figure 9N est représenté de 25 façon plus complète par le sous-programme de la figure 9Q, selon laquelle, à la phase 1050, chaque mesure de température est additionnée à la mesure précédente pour obtenir un total indiquant des mesures discrètes cumulées de température ATP au dispositif de contrôle pendant un même essai. Comme l'indique la phase 1064 sur la 30 figure 9Q, cette valeur cumulée de ATP est divisée par le nombre d'échantillons AVCTR = N + 2, et additionnée 35 à 459,67 pour obtenir la température finale moyenne FTP.

du dispositif de contrôle en degrés Kelvin. D'une façon similaire à la phase 1066, les valeurs de température TM3 et TM4 sont additionnées successivement pendant le cours d'un essai de compteur pour obtenir une valeur cumulée de 5 la température moyenne ATM au compteur pendant l'essai, et la valeur ATM est divisée par le nombre d'échantillons ou comptages de l'horloge d'échantillonnage d'une seconde, ce nombre étant à son tour additionné à 459,67 pour obtenir une température finale moyenne FTM en degrés Kelvin.

10 D'une façon similaire, à la phase 1068, les valeurs cumulées de pression moyenne APM au compteur, cumulées pendant l'essai, sont divisées par le nombre AVCTR d'échantillons prélevés pendant l'essai pour obtenir une valeur moyenne FPM au compteur exprimée en bar. A la phase 1070, 15 les valeurs cumulées de pression moyenne APP, cumulées pendant le cours de l'essai d'un compteur sont divisées par le nombre AVCTR d'échantillons pour obtenir une indication sur la pression finale FPP au dispositif de contrôle exprimée en bar, avant de revenir à la phase 1062 20 suivante de la figure 9N.

La précision du dispositif de contrôle 10 pour mesurer le volume aspiré par le compteur de fluide 38 dépend et est limitée par les variations de mesure de pression et de température de fluide pendant un essai de volume. 25 Les variations de pression et de température du fluide apparaissant pendant un essai de volume sont supérieures aux variations qui peuvent apparaître dans la mesure et l'étalonnage du volume du dispositif de contrôle. Ainsi, d'une façon générale, le volume réel de fluide délivré par 30 le compteur 38 quand le piston 14 se déplace d'une première à une seconde position peut être représenté approximativement par l'expression suivante :

$$V \approx (V_1 - V_2) \left[ 1 + \left( \frac{\delta T}{T_1} \right) - \left( \frac{\delta P}{P_1} \right) \right] + V_2 \left[ \left( \frac{\Delta T}{T_1} \right) - \left( \frac{\Delta P}{P_1} \right) \right]$$

où  $V_1$ ,  $P_1$  et  $T_1$  sont respectivement le volume initial, 35 la pression initiale du fluide et la température dans la chambre 28 du dispositif de contrôle 10 au début d'un

essai de volume mesuré,  $\Delta P$  et  $\Delta T$  sont les variations correspondantes de pression et de température apparaissant pendant l'essai et  $\bar{\delta T}$  et  $\bar{\delta P}$  sont les écarts moyens de  $T_1$  et  $P_1$  au compteur de fluide 38. Comme cela a été expliqué ci-dessus, le circuit logique 178 représenté sur la figure 4C fournit un signal d'horloge à une seconde qui échantillonne la sortie des transducteurs de température 42, 44, 48 et 57, ainsi que des transducteurs de pression 46 et 51 pour obtenir des échantillons de ces variables pendant le cours de l'essai d'un compteur de volume. Comme cela a été indiqué ci-dessus, les échantillons périodiques de température TM3 et TM4 au compteur et des températures TP1 et TP2 au dispositif de contrôle sont obtenus à la phase 984 de la figure 9E et sont additionnés aux phases 1050, 1052, 1054 et 1056 de la figure 9M pour obtenir une température moyenne spatialement au compteur et au dispositif de contrôle, ces moyennes étant établies dans le temps par l'échantillonnage et la sommation pendant l'essai comme cela a été expliqué en regard des phases 1064, 1066, 1068 et 1070 de la figure 9Q. De cette manière, les variations continues de pression et de température sont mesurées au compteur et au dispositif de contrôle 10. Le fait de faire ainsi la moyenne dans l'espace et dans le temps permet d'éviter des erreurs dans le calcul de changement de volume qui pourraient autrement apparaître sous l'effet des variations de température et de pression. Les variations de température de fluide aspirées par le dispositif de contrôle, provoquées par une expansion adiabatique avec une chute de pression de 12,5 mm d'eau, peuvent atteindre  $0,28^\circ\text{C}$ , entraînant une erreur de calcul allant jusqu'à  $0,1\%$ . Il est donc nécessaire de contrôler exactement la pression et la température du fluide dans l'ensemble et d'appliquer les corrections nécessaires pour obtenir le volume vrai passant par le dispositif de contrôle 10. Pour une précision de  $0,05\%$  en volume, les paramètres  $\delta T$  et  $\delta P$  entre la chambre 28 et l'entrée du compteur doivent être contrôlés avec

une précision meilleure que  $\pm 0,055^{\circ}\text{C}$  et  $\pm 1,25 \text{ mm d'eau}$ . Les transducteurs de température et de pression décrits ci-dessus en regard de la figure 1 offrent cette possibilité d'atteindre la précision voulue dans les mesures 5 de température et de pression et d'obtenir ainsi la précision souhaitée dans la mesure de volume.

La phase 1002 dont la figure 9F montre qu'elle émet les résultats des essais effectués sur le compteur de fluide 38 vers l'imprimante est représentée plus en détail 10 sur la figure 9P. A la première phase 1072, l'imprimante est commandée par le circuit logique 190b pour initialiser son fonctionnement et, ensuite, le pourcentage d'erreur calculé précédemment à la phase 1062 est imprimé 15 par l'imprimante. Ensuite, à la phase 1074, une commande d'avance de ligne est appliquée à l'imprimante pour avancer son papier d'une ligne avant que, à la phase 1076, le débit avec lequel l'essai a été effectué soit affiché, à la phase 1076. A la phase 1078, dix signaux 20 d'avance de ligne sont appliqués à l'imprimante pour avancer le papier de dix lignes avant de revenir à la phase 322 de la figure 9F.

Un aspect important de l'invention réside dans le procédé de mesure précise du volume de la chambre 28 du cylindre 12 et d'utilisation de cette mesure pour éta- 25 lonner avec précision la sortie du codeur linéaire 26 afin d'obtenir une indication de volume par impulsion de sortie de ce codeur. Comme le montre la figure 2A, le codeur linéaire comporte une échelle 24 avec un grand nombre de marquages 102 rapprochés et précis, grâce auxquels 30 le codeur optique 26 délivre un train d'impulsions de sortie correspondant au passage du codeur optique devant chaque marquage. Grâce à une corrélation précise entre le nombre des impulsions de sortie et le volume déterminé avec précision de la chambre 28, le codeur 35 linéaire 26 peut être codé avec une précision correspondante, améliorant ainsi l'indication étalonnée d'enregistrement du compteur ou l'erreur de ce compteur en essai.

Au cours de la procédure d'étalonnage, il est d'abord nécessaire de mesurer le volume de la chambre 28 avec une grande précision. Un procédé de mesure de volume est utilisé, consistant à établir un champ électromagnétique à 5 haute fréquence dans la cavité. Le principe de ce procédé de mesure sera maintenant expliqué. Les dimensions intérieures de la chambre 28 de forme régulière, entourées complètement par des parois conductrices, peuvent être déterminées avec précision en mesurant les fréquences 10 pour lesquelles des résonances apparaissent avec le champ électromagnétique établi dans la chambre 28. Pour une géométrie donnée, les champs magnétiques dans la chambre 28 peuvent adopter différentes configurations spatiales. A des fréquences discrètes, l'énergie électromagnétique 15 confinée dans la chambre 28 est emmagasinée pendant des intervalles de temps qui sont longs comparativement à la période angulaire et ces valeurs de résonance sont considérées comme des modes normaux de la chambre 28. Le rapport entre l'énergie emmagasinée et celle dissipée 20 par cycle de fréquence à la résonance est défini comme le facteur de qualité Q de la résonance. Ce facteur de qualité Q est une mesure des pertes par dissipation résultant de la résistance ohmique des parois pour les courants électriques induits par les champs électromagnétiques. Dans un mode normal donné, la fréquence de 25 résonance est déterminée uniquement par les dimensions de la chambre 28 et la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu que contient ce volume. Par conséquent, en mesurant simultanément les fréquences de résonance à un certain nombre de modes normaux et en égalisant les dimensions linéaires spécifiant le volume (un pour une sphère, deux pour un cylindre circulaire droit, et ainsi de suite), le volume de la chambre 28 peut être déterminé avec une précision comparable à 30 la précision des mesures de fréquence.

Pour une géométrie donnée de la chambre, il existe une infinité de modes normaux dont les fréquences de résonance présentent une valeur limite inférieure corres-

pondant à une longueur d'onde dans le vide de l'ordre des dimensions linéaires de la chambre 28, mais aucune limite supérieure. Un changement de volume provoqué par une variation mécanique de l'une des dimensions linéaires 5 change la fréquence de résonance des modes d'ordre inférieur, à peu près de la même fraction.

En résumé, et comme le montre la figure 10, un dispositif sous la forme d'une antenne 70 est disposé pour établir ou engendrer un champ électromagnétique dans la chambre 28 et pour en extraire une partie relativement réduite de l'énergie électromagnétique emmagasinée, qui doit être mesurée par le circuit de la figure 10. Comme cela sera expliqué en détail par la suite, des mesures sont faites pour déterminer les fréquences  $f$  auxquelles 10 des résonances se produisent dans la chambre 28. Le choix de la configuration de la chambre 28 est important car, si une chambre de forme arbitraire est choisie, la relation mathématique entre les fréquences de résonance  $f$  et les dimensions de cette chambre n'offre aucune solution précise ou analytique. Ainsi, la chambre 28 est 15 choisie avec une géométrie régulière pour assurer que les pertes dissipées et les effets de couplage sont négligeables et pour respecter les équations connues de Maxwell définissant la relation entre les dimensions 20 de la chambre et les fréquences de résonance sujettes aux conditions limites, c'est-à-dire que le champ électrique  $E$  doit être radial et que le champ magnétique  $H$  doit être tangentiel aux surfaces complètement fermées 25 de la chambre 28 de forme régulière. Dans ces conditions, les solutions du champ pour la chambre 28 se présentent 30 sous une forme relativement simple et les perturbations reconnaissables peuvent être prévues.

Ainsi, dans un mode préféré de réalisation de l'invention, la chambre 28 est choisie sous la forme d'un cylindre circulaire droit, formé par la surface intérieure du cylindre 12, la tête 60 et la surface exposée 35 du piston 14. Il faut noter qu'une chambre 28 avec cette configuration permet au piston d'être entraîné de ma-

nière à déplacer un volume de fluide connu, comme cela a déjà été expliqué. Les modes normaux du champ électromagnétique établi dans la chambre 28 sous la forme d'un cylindre circulaire droit se divisent en deux classes générales :

- 5      les modes électriques transversaux (TE) pour lesquels le champ électrique est nul le long de l'axe z du cylindre de la chambre 28, et les modes magnétiques transversaux (TM) pour lesquels le champ magnétique est nul le long de l'axe du cylindre. Ces modes sont en outre spécifiés par trois nombres entiers  $l$ ,  $m$  et  $n$  qui sont définis pour les modes TE en fonction des coordonnées cylindriques  $r$ ,  $\theta$  et  $z$  par :

$l$  = nombre de variations de période entière pour  $E_r$  par rapport à  $\theta$  ;

15      $m$  = nombre de variations de demi-période de  $E_\theta$  par rapport à  $r$  ;

$n$  = nombre de variations de demi-période de  $E_z$  par rapport à  $z$ .

20     Un groupe similaire d'indices existe pour les modes TM pour lesquels les nombres entiers  $l$ ,  $m$  et  $n$  sont également définis en fonction des composantes du champ magnétique  $H_r$  et  $H_\theta$ .

25     Les solutions pour les fréquences de résonance des modes normaux sont exprimées en fonction des dimensions géométriques et des racines des fonctions de Bessel par l'expression générale :

$$f = (c/D) \sqrt{\left(\frac{x_{lm}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{n}{2}\right)^2 \left(\frac{D}{L}\right)^2} J_{1/2} \quad (1)$$

où  $D$  est le diamètre,  $L$  est la longueur,  $c$  est la vitesse de la lumière dans le milieu qui remplit le volume de la cavité et  $x_{lm}$  sont donnés respectivement par :

$x_{lm}$  = mième racine de  $J'_1(x) = 0$  pour les modes TE,

$x_{lm}$  = mième racine de  $J_1(x) = 0$  pour les modes TM.

35     Des valeurs numériques des racines de Bessel correspondant aux différents modes TE et TM d'ordre inférieur sont données dans le tableau ci-après :

| Modes électriques transversaux (TE) |                            | Modes magnétiques transversaux (TM) |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| TE                                  | <u><math>x_{lm}</math></u> | TM                                  | <u><math>x_{lm}</math></u> |
| 5                                   | 11                         | 1,84118                             | 01                         |
|                                     | 21                         | 3,05424                             | 11                         |
|                                     | 01                         | 3,83171                             | 21                         |
|                                     | 31                         | 4,21009                             | 02                         |
|                                     | 41                         | 5,31755                             | 31                         |
|                                     | 12                         | 5,33144                             | 12                         |
|                                     |                            |                                     |                            |

La courbe de la quantité  $(fD)^2$  en fonction de  $(D/L)^2$  de l'équation (1) est une ligne droite qui coupe  $(cx_{lm}/\pi)^2$  et de pente  $(cn/2)^2$ . Cette courbe de mode est représentée sur la figure 13 pour les modes inférieurs de la chambre 28 cylindrique droite, pour des valeurs de  $n$  allant jusqu'à 2. La figure 13 montre graphiquement les valeurs de fréquence de résonance relative en fonction du paramètre géométrique  $(D/L)^2$  et la variation des fréquences de résonance quand la dimension linéaire L est modifiée. Il convient également de prévoir le nombre des résonances qu'il y a lieu d'attendre dans une plage de fréquences données pour un rapport D/L fixé ainsi que des valeurs de L pour lesquelles deux modes différents dégénèrent en fréquence et peuvent interférer entre eux.

Le graphe de mode de la figure 13 est utilisé pour déterminer les modes d'excitation du champ électromagnétique, les fréquences de résonance attendues dans les modes choisis et les dimensions exprimées en fonction du diamètre D et de la longueur L de la chambre 28. Dans un mode de réalisation de la chambre représenté sur la figure 10, le diamètre D est égal à 300 mm et la variation de la longueur L est comprise entre 250 et 750 mm. Par conséquent, les valeurs correspondantes de  $(D/L)^2$  se situent dans la plage de 1,44 à 0,16. Si la plage des fréquences d'observation est comprise entre 500 et 1000 MHz,  $(fD)^2$  varie entre  $2,32 \times 10^{20}$  et  $9,29 \times 10^{20}$   $(Hz)^2 \text{cm}^2$ . Le nombre des modes de résonance attendu pour

la variation de longueur L avec cette configuration dans la plage de 500 à 1000 MHz est alors donné par le nombre des lignes qui se trouvent dans le rectangle représenté sur le graphe de mode de la figure 13. Il apparaît 5 pour L = 250 mm, seulement trois modes entre 500 et 1000 MHz. A savoir le mode  $TM_{010}$  qui apparaît à environ 755 MHz, le mode  $TE_{111}$  qui apparaît à 830 MHz et le mode  $TM_{011}$  qui apparaît à 960 MHz. Par contre, pour L = 750 mm, 10 il existe huit modes, à savoir  $TE_{111}$ ,  $TE_{112}$ ,  $TM_{010}$ ,  $TM_{011}$ ,  $TM_{012}$ ,  $TE_{211}$ ,  $TE_{212}$  et  $TE_{113}$  qui, pour simplifier, ne 15 sont pas représentés sur la figure 13. Dans toute position intermédiaire, le nombre des modes et les fréquences de résonance f peuvent être obtenus par l'intersection de la ligne verticale correspondant à la valeur  $(D/L)^2$  voulue avec les lignes spécifiant les différents modes. 20 Etant donné que les mesures de fréquence de résonance de deux modes distincts spécifient de façon unique D et L, les autres modes peuvent être utilisés comme un contrôle de redondance sur les mesures ou comme un moyen 25 d'évaluer les effets des perturbations produites par l'écart de la géométrie par rapport au cas idéal ainsi que pour des termes de correction d'ordre supérieur qui peuvent être présents.

Dans un sens qualitatif, il est entendu que les 25 composantes de champs électrique et magnétique du champ électromagnétique sont perpendiculaires entre elles et sont dans une relation définie à une fréquence de résonance avec les dimensions D et L de la chambre 28 de géométrie régulière et, en particulier, avec le diamètre et la longueur de cette chambre, comme le montre la figure 10. 30 Comme cela sera expliqué, la relation entre la fréquence de résonance et les dimensions D et L pour un mode particulier peut être représentée par une expression mathématique. La chambre 28 de forme cylindrique circulaire 35 droite comporte deux dimensions inconnues qui définissent son volume, à savoir son diamètre D et sa longueur L. Il est donc nécessaire d'établir deux expressions mathématiques qui peuvent être résolues simultanément pour les

valeurs inconnues de D et de L et il est donc nécessaire, comme cela a été indiqué ci-dessus, d'établir dans la chambre 28 des champs électromagnétiques de deux modes distincts pour obtenir les fréquences de résonance de ces 5 deux modes permettant de calculer les valeurs D et L et, par conséquent, le volume de la chambre 28. Comme cela sera expliqué, les modes d'excitation sont choisis pour déterminer des fréquences de résonance qui correspondent à des facteurs de qualité élevée, afin de réduire au minimum 10 les effets des perturbations introduisant des erreurs dans les mesures de D et L.

La pente de la ligne de mode  $TM_{010}$  est nulle, comme le montre la figure 13 et elle est donc indépendante de la dimension L de la chambre, étant seulement fonction 15 de son diamètre. Cette propriété unique peut être donc utilisée pour identifier ce mode dans des mesures expérimentales. Le mode d'excitation  $TM_{010}$  peut être utilisé pour obtenir une mesure indépendante de la dimension T. Il apparaît ainsi que le taux de variation de 20 la fréquence de résonance pour un mode donné en fonction de la dimension L est déterminé seulement par le dernier indice n. Par conséquent, les fréquences des modes tels que  $TE_{111}$ ,  $TM_{011}$ , et  $TE_{211}$  se décalent de la même quantité quand L varie de sorte que les modes  $TE_{112}$ ,  $TM_{012}$  25 et  $TE_{212}$  se décalent ensemble deux fois plus vite. Par conséquent, les propriétés d'accord de ces modes peuvent être utilisées pour déterminer le changement relatif de longueur L avec une très grande précision, une fois que le diamètre absolu de la cavité a été déterminé.

30 Le facteur de qualité Q de la chambre 28 à la résonance, sous l'excitation dans un mode normal donné, est important sous deux aspects. Tout d'abord, il détermine l'accès de la réponse en fréquence de résonance et limite donc l'exactitude finale avec laquelle cette fréquence de 35 résonance peut être mesurée expérimentalement. Ce qui importe davantage est que le facteur de qualité Q est une mesure de l'ordre d'amplitude de l'écart attendu de la fréquence de résonance par rapport au résultat idéal

donné par l'équation 1. D'une façon générale, en ce qui concerne la détermination des dimensions géométriques de la cavité, l'expression théorique est d'autant plus précise que le facteur  $Q$  est plus élevé pour un mode donné.

5 Ainsi, les modes d'excitation de la chambre 28 sont choisis de manière à obtenir les plus hauts facteurs de qualité  $Q$  et pour obtenir ainsi une détermination plus précise des dimensions et, par conséquent, du volume de la chambre 28.

10 Dans le cas d'un volume délimité par des parois parfaitement conductrices, le facteur non chargé ou intrinsèque  $Q_0$  de la chambre est infini et les solutions de fréquence pour les modes normaux de résonance sont exactes. Avec des parois de résistivité finie, les champs électriques et magnétiques dans la chambre 28 pénètrent 15 dans les parois jusqu'à une distance définie par la profondeur de peau  $\delta$ , donnée par l'expression :

$$\delta = \sqrt{\lambda \rho p / 120} \quad u \lambda^{1/2} \text{ cm} \quad (2)$$

où  $u$  est la perméabilité de la matière de la paroi, 20 est la longueur d'onde dans l'espace en cm et  $\rho$  est la résistivité en courant continu des parois en ohms-cm. Etant donné qu'une profondeur de peau finie agrandit quelque peu les dimensions apparentes de la chambre, vues 25 par les champs électromagnétiques, par rapport aux dimensions géométriques réelles, l'effet de dissipation causé par les pertes ohmiques sur les parois perturbe la fréquence de résonance des modes normaux et les décale vers une valeur inférieure. Une mesure de cette perturbation est la valeur du rapport entre la profondeur de 30 peau et la longueur d'onde dans le vide ou  $(\delta/\lambda)$  pouvant être calculé d'après l'équation 2 en utilisant des valeurs connues de la résistivité en courant continu et de la perméabilité de la matière de la paroi. Pour une cavité en cuivre ( $u = 1$ ,  $\rho = 1,72 \times 10^{-6}$  ohm-cm), 35 la profondeur de peau est égale à  $3,8 \times 10^{-5} \lambda^{1/2}$  cm. A 1000 MHz ( $\lambda = 30$  cm), le rapport  $(\delta/\lambda)$  est à peu près égal à  $7 \times 10^{-6}$ . Cette correction de la fréquence de ré-

sonance résultant de la conductibilité finie est évidemment négligeable dans la présente application. Pour de l'acier inoxydable de la série 300, ( $\mu = 1$ ,  $\rho = 72 \times 10^{-6}$  ohm-cm), le rapport ( $\delta/\lambda$ ) à 1000 MHz 5 est  $4,5 \times 10^{-5}$  qui n'est plus négligeable comparativement à la précision globale voulue de 0,01 % de la précision absolue du volume. Dans un mode de réalisation, les parois de la chambre 28 sont plaquées de chrome, ( $\mu = 1$ ,  $\rho = 13 \times 10^{-6}$  ohm-cm), la valeur correspondante de ( $\delta/\lambda$ ) étant égale à  $2 \times 10^{-5}$  à 1000 MHz. Par conséquent, sur la base des calculs théoriques, la correction de la fréquence de résonance des modes normaux 10 dans la chambre 28 de forme cylindrique circulaire droite est négligeable et l'expression donnée par l'équation 1 convient pour obtenir une détermination globale de volume avec une précision meilleure que 0,01 %. 15

Mais, en pratique, la profondeur de peau théorique pour une matière donnée n'est jamais atteinte, pour différentes raisons, y compris des imperfections des parois, 20 des impuretés dans la matière et des contaminations superficielles résiduelles. Il est donc nécessaire de déterminer expérimentalement la profondeur de peau effective en mesurant le facteur Q de la chambre 28 pour les modes préférés d'excitation et, s'il y a lieu, d'appliquer la correction appropriée à la détermination de volume, résultant de cet effet. 25

L'expression  $Q_0$  de la chambre 28 est obtenue en évaluant le rapport entre l'énergie emmagasinée et les pertes par dissipation dans les parois par cycle d'oscillation électromagnétique, ce qui peut s'écrire : 30

$$Q_0 = \frac{\frac{1}{2} \int_v H^2 dv}{\delta \int_s H^2 ds}, \quad (3)$$

où  $H$  est le vecteur champ magnétique en mode normal et  $\delta$  est la profondeur de peau. Les facteurs Q en fonction des modes normaux et de la forme géométrique de la chambre 28 consistant en une cavité cylindrique droite sont 35 donnés par les expressions suivantes :

Pour les modes TE :

$$Q_0 \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sqrt{1-(1/x_{1m})^2} \sqrt{x_{1m}^2 + P^2 R^2} \sqrt{3/2}}{2\pi \sqrt{x_{1m}^2 + P^2 R^3 + (1-R)(\frac{PR}{x_{1m}})^2}} , \quad (4)$$

Pour les modes TM :

$$Q_0 \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sqrt{x_{1m}^2 + P^2 R^2} \sqrt{1/2}}{2\pi(1+R)} \quad \text{pour } n = 0 \quad (5)$$

$$= \frac{x_{1m}}{\pi(2+R)} \quad \text{pour } n = 0$$

où  $R = (D/L)$ ,  $P = \pi R^2/2$ , tous les autres symboles ayant été définis précédemment.

Il est possible d'obtenir une valeur  $\delta/\lambda$  effective en évaluant les membres de droite des expressions ci-dessus pour un mode donné et une géométrie donnée de la cavité, et en les divisant par la valeur de  $Q$  déterminée expérimentalement. Une comparaison directe des résultats obtenus avec le calcul par l'équation 2 donne alors une évaluation quantitative de la valeur attendue des perturbations dans la détermination du volume de la chambre 28.

Comme le montre la figure 10, la chambre 28 est couplée avec un circuit extérieur de mesure par lequel de l'énergie en hyperfréquence est introduite dans la chambre 28 pour y établir un champ électromagnétique et pour en extraire de l'énergie réfléchie. La chambre 28 est une cavité du type à réflexion ne nécessitant qu'un seul dispositif de couplage sous la forme de l'antenne 70. Comme cela sera expliqué en détail ci-après, la caractéristique de résonance, et en particulier la fréquence de résonance d'un mode normal donné, est déterminée par la mesure de la puissance réfléchie depuis l'antenne 70, en fonction de la fréquence incidente. L'utilisation d'une chambre du type à réflexion 28 permet d'obtenir des perturbations minimales par rapport à une réponse de cavité idéale et permet également d'utiliser

un coupleur directionnel 1106 qui permet l'échantillonnage de l'énergie réfléchie sans perturber l'énergie incidente. Comme le montre la figure 10, la puissance de sortie d'un générateur de balayage 1100 est appliquée à l'excitation 5 de l'antenne 70 tandis que la puissance réfléchie peut être transférée par le coupleur 1106 à un détecteur à cristal 1110.

La présence du dispositif de couplage consistant en l'antenne 70 introduit une perte supplémentaire en raison 10 de la dissipation d'énergie électromagnétique résonante emmagasinée dans la chambre 28, à savoir la puissance extraite pour la mesure. Cette valeur est généralement définie comme un couplage équivalent  $Q$  ou  $Q_c$  qu'il faut distinguer de la valeur  $Q$  "non chargée" de la cavité ou  $Q_0$ . 15 En outre, il n'y a pas lieu de tenir compte de l'interaction de la cavité avec le reste du circuit de la figure 10 par l'intermédiaire de l'antenne 70 pour obtenir une description précise du système de "couplage par cavité" afin d'évaluer les expressions appropriées selon l'invention. 20

Il apparaît que, pour une chambre 28 du type à réflexion, c'est-à-dire une chambre dans laquelle de la puissance est introduite et extraite par une même antenne 70, le rapport entre la puissance réfléchie et la puissance incidente au voisinage de la résonance est 25 donné par l'expression :

$$\left(\frac{P_r}{P_0}\right) = \frac{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_c}\right)^2 + (\nu_0 - \nu)^2 / \nu_0^2}{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_c}\right)^2 + (\nu_0 - \nu)^2 / \nu_0^2} \quad (6)$$

où  $\nu$  est la fréquence,  $\nu_0$  est la fréquence de résonance, 30  $Q_0$  est le facteur  $Q$  non chargé de la cavité résonante et  $Q_c$  est le couplage  $Q$  proportionnel à la perte de puissance dans le dispositif de couplage.

A la fréquence de résonance  $\nu_0$ , le rapport de la puissance réfléchie à la puissance incidente est défini par le coefficient de réflexion pour le mode normal donné, c'est-à-dire :

$$(P_r/P_o)_{\nu} = \nu_o = \beta = (Q_c - Q_o)^2 / (Q_c + Q_o)^2 \quad (7)$$

Pour  $\beta = 0$ , la cavité est considérée comme couplée à 100% et  $Q_o = Q_c$ . Cette condition correspond au circuit équivalent à basse fréquence dans lequel l'impédance de charge est adaptée à l'impédance du générateur.

La combinaison des équations 6 et 7 et l'élimination de  $Q_c$ , du coefficient non chargé  $Q_o$  du mode normal donnent en fonction des paramètres mesurables :

$$Q_o = \nu_o \sqrt{(P_r/P_o) - \beta / 1 - (P_r/P_o)} \sqrt{1/2} / (\nu - \nu_o) (1 + \beta^{1/2}) \quad (8)$$

10 Par conséquent, en mesurant  $\beta$  et la bande de fréquence pour un niveau arbitraire de puissance  $(P_r/P_o)$  sur la courbe de réponse de résonance de la cavité, la quantité  $Q_o$  peut être déterminée. Si un point à "demi-puissance" est défini de manière que :

$$15 \quad P_{1/2} = (1 + \beta)/2, \quad (9)$$

la différence de fréquence correspondant aux points à demi-puissance est donnée comme réponse de résonance à "demi-largeur", suivant l'équation :

$$\Delta \nu = 2(\nu_{1/2} - \nu_o)$$

20 où  $\nu_{1/2}$  est la fréquence correspondant aux points de demi-puissance. Dans ce cas, l'équation 8 se réduit à :

$$Q_o = (2 \nu_o / \Delta \nu) / (1 + \beta^{1/2}). \quad (10)$$

Par conséquent, la valeur de  $Q_o$  varie entre  $(\nu_o / \Delta \nu)$  et  $(2 \nu_o / \Delta \nu)$ , en fonction du degré de couplage.

25 La figure 14 représente une courbe de la réponse de la chambre, avec des paramètres définis. La fréquence centrale de la réponse  $\nu_o$  correspondant à un minimum de la puissance réfléchie est la fréquence de résonance en mode normal.

30 Il est bien entendu que le circuit de mesure de fréquence représenté sur la figure 10 produit un changement de la fréquence de résonance, c'est-à-dire une recherche

de fréquence, sous l'effet de l'action mutuelle entre la chambre 28 et les éléments du circuit de la figure 10. Comme le montre cette dernière figure, la fréquence du générateur de balayage 1100 varie dans un rapport d'environ 2, le coupleur directionnel 1106 reçoit la puissance de sortie du générateur de balayage 1100 et en applique une proportion relativement réduite à l'antenne 70. En particulier, la puissance appliquée à la borne auxiliaire ou de sortie du coupleur directionnel 1106 est à peu près 80 % de la puissance de sortie du générateur de balayage. La chambre 28 est connectée à la borne principale d'entrée et le détecteur à cristal 1110 est connecté à la troisième borne du coupleur directionnel 1106 pour mesurer l'énergie en hyperfréquence réfléchie par la chambre 28. Le coupleur directionnel 1106 introduit un facteur d'atténuation de 100 entre le générateur de balayage 1100 et la charge imposée par l'antenne 70. Par conséquent, le générateur de balayage 1100 est isolé de l'antenne 70, c'est-à-dire du dispositif de couplage, assurant ainsi qu'aucune action mutuelle n'apparaît pour perturber la réponse de la chambre. En raison de l'isolement introduit par le coupleur 1106 entre l'antenne 70 et le générateur 1100, la valeur de la recherche de fréquence est déterminée par le facteur de qualité Q de la chambre 28, le coefficient de couplage  $\beta$ , et le coefficient VSWR entre le détecteur à cristal 1110 et le dispositif de couplage de cavité. Si l'on suppose que le générateur de balayage 1100 est complètement découplé de la cavité 28, cette cavité, si elle possède un facteur de qualité Q de 5000, un coefficient de couplage  $\beta$  de 0,5 et un coefficient VSWR résiduel de 2, donne une recherche de fréquence de l'ordre de  $1,3 \times 10^{-5}$ , soit 0,0013%. Cet écart est un ordre de grandeur meilleur que celui nécessaire pour obtenir la valeur globale du volume de la chambre avec une précision meilleure que 0,01 %.

En outre, une analyse de la cavité 28 et de son dispositif associé de mesure de fréquence de résonance représenté sur la figure 10 a montré que des perturbations

dues à des déformations géométriques de la chambre 28, résultant par exemple d'un faux rond de la forme cylindrique de la cavité ou de petites irrégularités et déformations superficielles localisées peuvent être compensées 5 en prenant les précautions suivantes. Tout d'abord, si les tolérances d'usinage de la chambre 28 sont telles que le diamètre D de sa configuration cylindrique est maintenu dans des limites de 0,3 mm de faux rond, le diamètre D et par conséquent le volume de la chambre peuvent être déterminés avec une précision de l'ordre de  $10^{-5}$  ou moins 10 et, par conséquent, cette déformation peut être négligée avec le présent procédé de mesure de volume. D'une façon similaire, le décalage des fréquences de résonance de la chambre pour un mode normal résultant d'une petite déformation intérieure ou extérieure de la paroi intérieure de la chambre 28 peut être considéré comme négligeable si sa dimension est bien au-dessous de la fréquence de coupure du champ électromagnétique établi dans la chambre et si la déformation ne couple pas le champ électrique 15 avec une autre structure ; dans ces conditions, la variation de fréquence peut être à peu près proportionnelle au rapport entre le cube du diamètre de la déformation et le volume de la chambre 28. Ainsi, en pratique, le décalage de fréquence pour des irrégularités 20 intérieures ou extérieures dans la paroi de la chambre 28 est négligeable ; par exemple, un trou d'un diamètre de 25 mm dans une chambre 28 d'un diamètre d'environ 300 mm et d'une longueur de 500 mm ne produit un changement de fréquence de résonance que de cette partie en 25  $10^5$ .

Si l'on considère l'effet de l'entrée 62 ainsi que des ouvertures qui reçoivent les transducteurs 51 et 57 dans le piston 14, ces ouvertures ou trous peuvent être bouchés avec des bouchons métalliques pendant la mesure 30 de volume et l'étalonnage afin d'éliminer virtuellement ces sources d'erreurs dans la détermination de la fréquence de résonance.

Dans le but de satisfaire les conditions d'exacti-

tude de  $\pm 0,01 \%$  dans la mesure du volume de déplacement de la chambre 28, le circuit de mesure de fréquence de résonance de la figure 10 doit être capable de mesurer les fréquences de résonance des modes normaux établis dans la chambre 28 dans la proportion de 1 à  $10^5$ . Le circuit représenté sur la figure 10 est destiné à réduire l'erreur systématique qui peut affecter la mesure des fréquences de résonance  $f$ , les distorsions dues à la désadaptation d'impédance entre le générateur de balayage 1100 et l'antenne 70, les variations et les fluctuations de la puissance en hyperfréquence, les bruits parasites et la sensibilité à la dérive des composants. Comme le montre la figure 10, la source d'hyperfréquence se présente sous la forme d'un générateur à balayage 1100 qui peut consister par exemple en un générateur fabriqué par Texscan sous la désignation VS80A. Le générateur 1100 peut fonctionner à titre d'exemple sur une fréquence fixe CW ou balayer une plage entre 50 kHz et 300 MHz avec un taux réglé entre 0,05 Hz et 30 kHz. En outre, la sortie du générateur 1100 peut être commandée par le bouton à vernier 1100a pour produire un changement de fréquence à la commande de l'opérateur dans la plage indiquée. Le signal de sortie du générateur 1100 est appliqué par un câble coaxial à un coupleur directionnel 1102 qui se comporte comme un transformateur de sorte qu'une partie de l'énergie appliquée au coupleur 1102 est transférée à un compteur de fréquence 1108 qui, dans le présent mode de réalisation, peut consister en un compteur fabriqué par Fluke Corporation sous la désignation n° 1920A. Comme cela sera expliqué par la suite, le compteur 1108 affiche la fréquence à laquelle une onde stationnaire est établie dans la chambre 28. A son tour, la sortie du coupleur 1102 est appliquée par un câble coaxial similaire à un second coupleur 1104 et, à son tour, par le coupleur directionnel 1106 à l'antenne à hyperfréquence 70. Comme le montre la figure 10 et plus en détail la figure 2A, l'antenne 70 est une simple boucle métallique 70a isolée par un isolateur 70b de la tête 60 de la chambre 28.

Comme cela est bien connu, l'énergie réfléchie par la chambre 28 sur l'antenne 70 à l'apparition d'une onde stationnaire diminue de façon notable comparativement à l'énergie réfléchie aux autres fréquences. Il est connu 5 qu'il s'agit de la condition de résonance et la fréquence associée est la fréquence de résonance. Ainsi, quand la fréquence de sortie du générateur 1100 est modifiée, une fréquence de résonance est choisie pour laquelle une onde stationnaire apparaît dans la chambre 28 en fonction de 10 sa configuration et de ses dimensions. La fréquence à laquelle l'onde stationnaire est établie détermine, comme cela sera expliqué, les dimensions de la chambre en ce qui concerne le diamètre D et la longueur L et, par conséquent, son volume. Pour détecter la diminution de 15 puissance à la fréquence de résonance, le coupleur 1106 est connecté au détecteur à cristal 1110 qui convertit la puissance en hyperfréquence réfléchie par l'antenne 70 en un signal continu. Le détecteur à cristal 1110 peut être par exemple un détecteur Hewlett Packard modèle 20 n° 423A (NEG) qui applique son signal de sortie continu à l'entrée Y d'un oscilloscope 1112. Ce dernier peut être un oscilloscope Textronix fabriqué sous la référence n° T922R. L'entrée X de l'oscilloscope 1112 est relié au générateur 1110 de sorte que, si ce dernier fonctionne 25 dans son mode de balayage, la réponse en réflexion de la chambre 28 est fonction de la fréquence du signal d'entrée visualisée sur l'oscilloscope 1112. Comme le montre l'écran agrandi 1112a, la puissance réfléchie par l'antenne 70 passe par un minimum 1113 à la fréquence de résonance comme le montre la figure 14. La fréquence à laquelle le minimum 1113 apparaît est affichée sur le 30 compteur 1108. Le second coupleur 1104 applique de l'énergie en hyperfréquence à un détecteur à cristal 1114 qui délivre un signal continu correspondant amplifié par un amplificateur opérationnel 1115 et appliqué au générateur 1100 pour obtenir une commande de niveau à la sortie du générateur, de sorte que l'énergie prélevée à ce dernier est uniforme lorsqu'il passe par la fréquence à 35

laquelle une onde stationnaire apparaît.

Le circuit de la figure 10 est utilisé de la manière suivante pour obtenir une mesure de la fréquence de résonance. Tout d'abord, le générateur 1112 est réglé pour un large balayage permettant d'afficher simultanément toutes les résonances en mode normal sur l'écran de l'oscilloscope 1112, et la réponse en résonance pour un mode particulier peut être affiché individuellement par un choix approprié de la largeur de balayage et de la fréquence centrale. L'identification sans ambiguïté des modes peut se faire en mesurant les fréquences de résonance pour un réglage particulier de la position du piston dans la chambre 28 et en utilisant l'équation 1 ou, en variante, en modifiant la position du piston et en comparant le taux de variation de la fréquence de résonance en fonction de la position du piston comme l'indique la figure 13..

La fréquence de résonance  $f$  pour un mode donné est mesurée en visualisant d'abord la courbe de réponse sur l'écran de l'oscilloscope et en faisant passer ensuite le générateur 1100 dans son mode d'onde permanente, puis en accordant manuellement le bouton 1100a d'accord précis jusqu'à ce que la tension affichée sur l'oscilloscope 1112 passe par un minimum. L'affichage du compteur de fréquence 1108 pour lequel ce minimum est atteint représente la fréquence de résonance en mode normal de cavité. Eventuellement, le second faisceau de l'oscilloscope 1112 peut être utilisé pour mieux définir la position de ce minimum en réglant l'ensemble dans le mode de balayage et en modifiant manuellement la position verticale du second faisceau de façon qu'il touche juste le bas de la courbe de réponse de résonance. Quand le générateur 1100 passe dans son mode d'onde permanente, la fréquence de résonance  $f$  de la chambre 28 est celle sur laquelle le générateur 1100 est réglé, correspondant à la condition pour laquelle les deux faisceaux coïncident. Dans un mode de réalisation, en lisant simultanément la sortie du compteur de fréquence pendant que les deux faisceaux coïn-

cident exactement, l'effet dû à la dérive de fréquence du générateur 1100 est éliminé de sorte que la mesure peut se faire avec une plus grande précision que la stabilité inhérente du générateur 1100. En outre, étant donné que la 5 mesure ne dépend que de l'établissement du minimum dans la courbe de réponse de la chambre, elle est indépendante de la non-linéarité de la réponse du détecteur 1100 ainsi que des fluctuations dans le temps de l'énergie incidente en hyperfréquence. Des mesures répétées sur un mode donné 10 indiquent que la fréquence de résonance de la chambre 28 peut être déterminée avec une précision meilleure que  $\pm 3$  kHz, soit environ 5 parties dans  $10^6$ .

Un premier procédé de mesure précise du volume d'une section de la chambre 28 sera maintenant expliqué plus en 15 détail. D'une façon générale, le procédé selon l'invention implique la mesure des fréquences de résonance de la chambre 28 dans deux modes différents d'excitation. A titre d'exemple, il sera supposé une chambre 28 cylindrique droite et la mesure des fréquences de résonance dans les 20 modes  $TM_{010}$  et  $TE_{111}$ . Ces modes sont non dégénératifs et les fréquences de résonance peuvent être déterminées avec une précision de  $1 : 10^7$  ou mieux avec les techniques standard. Le mode  $TM_{010}$  (mode de plaques parallèles) ne dépend que du diamètre moyen  $D$  de la chambre 28 et il 25 est indépendant de la hauteur de la cavité  $L$ , tandis que le mode  $TE_{111}$  dépend à la fois de  $D$  et de  $L$ . Par conséquent, à partir de la mesure de deux fréquences, le volume de la chambre 28 peut être déterminé. Dans le cas du mode  $TM_{010}$  :

$$30 \quad \lambda_1 = \text{longueur d'onde à la résonance} - \frac{\pi D}{X_{01}} \text{ ou } D = \frac{\lambda_1 X_{01}}{\pi} \quad (11)$$

où  $D$  = diamètre,  $X_{01}$  = première racine de Bessel ou  $J_0(X) = 0$ .

Pour le cas du mode  $TE_{111}$  :

$$\lambda_2 = \frac{\text{longueur d'onde}}{\text{à la résonance}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{2x_{11}}{D}\right)^2 + \frac{1}{L^2}}} \quad (12)$$

où  $D$  = diamètre,  $L$  = longueur ou hauteur de la cavité,  $x_{11}$  = première racine de  $J_1(x) = 0$ .

5 La combinaison des deux résultats donne :

$$D = \frac{x_{01}}{\pi} \lambda_1, \quad L = 1/2 \left[ \frac{1}{\lambda_1^2} - \frac{1}{\lambda_2^2} \left( \frac{x_{11}}{x_{01}} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (13)$$

En ce qui concerne les fréquences de résonance, les résultats peuvent s'exprimer par :

$$D = \frac{x_{01}c}{\pi f_1}, \quad L = \frac{c}{2f_2} \left[ 1 - \left( \frac{f_1}{f_2} \frac{x_{11}}{x_{01}} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (14)$$

10 où  $x_{11} = 1,8412$ ,  $x_{01} = 2,4048$  et  $c$  = vitesse de la lumière dans le milieu qui remplit la cavité (de l'air dans le cas présent).

En ce qui concerne le volume total de la chambre :

$$\text{Volume} = \frac{\pi D^2}{4} L = \frac{\lambda_1^2 \lambda_2 x_{01}^2}{4} \left[ 1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2} \left( \frac{x_{11}}{x_{01}} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$15 = \frac{c^3 x_{01}^2}{8\pi f_1^2 f_2} \left[ 1 - \frac{f_1^2}{f_2^2} \left( \frac{x_{11}}{x_{01}} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (15)$$

Il apparaît que le volume est, pour le premier ordre, proportionnel à  $\lambda^3$  ou  $1/f^3$ . Par conséquent :

$$\frac{dv}{v} \sim 3 \left( \frac{d\lambda}{\lambda} \right) \text{ ou } 3 \left( \frac{df}{f} \right) \quad (16)$$

Ainsi, les fréquences peuvent être mesurées exactement 20 à une partie en  $10^7$  par le compteur 1108 et, par conséquent, la précision théorique pour  $v$  est de l'ordre de 3 :  $10^7$ .

Le procédé peut être utilisé pour mesurer continuellement la variation de volume d'un cylindre 12 circulaire droit sous l'effet d'un déplacement positif du piston 14. Le volume de la chambre 28 avant et après le

mouvement du piston ainsi que la vitesse de variation de volume peuvent être mesurés d'une manière simple. Avec le dispositif représenté sur la figure 10, quand le piston 14 passe de la position X à la position Y, la fréquence de résonance en mode  $TM_{010}$  reste constante (ou varie légèrement en raison de l'absence d'uniformité du diamètre du cylindre) et la fréquence de résonance en mode  $TE_{111}$  varie proportionnellement au déplacement  $\Delta L$ . A la position X, les fréquences de résonance  $f_1$  et  $f_2$  sont mesurées et sont introduites dans l'équation 2 pour obtenir une indication d'un premier volume  $V_1$ . Ensuite, le piston 14 est déplacé jusqu'à une seconde position Y et d'autres fréquences de résonance  $f'_1$ ,  $f'_2$  pour les modes  $TM_{010}$  et  $TE_{111}$  sont déterminées et un second volume  $V_2$  est calculé selon l'équation 15. Enfin, un volume de déplacement  $\Delta V$  est calculé en retranchant le premier volume déterminé  $V_1$  à la position X de la valeur  $V_2$  du second volume à la position Y. En outre, en contrôlant continuellement la fréquence de résonance  $TM_{010}$ , les variations de diamètre de la chambre 28 (résultant d'imperfections d'usinage) entre  $L_1$  et  $L_2$  peuvent être mesurées en fonction de  $L$ . D'une manière similaire, le taux de variation de volume peut être mesuré en contrôlant continuellement la fréquence de résonance du mode  $TE_{111}$ .

Des perturbations de la relation ci-dessus englobent les propriétés diélectriques de l'air, la présence des conduites de couplage 30 et 32 et de l'autre entrée de gaz 62, des irrégularités de surface, la conductibilité électrique finie de la matière de la paroi de la chambre 28 et la dégénérescence due au croisement de mode. Pour le premier ordre, tant que les irrégularités sont petites comparativement à  $\lambda$  (qui est de l'ordre de 30 cm ou davantage), les perturbations sont proportionnelles à la variation de volume. Par conséquent, le procédé effectue la moyenne des déformations et donne une mesure qui est proportionnelle au volume vrai de la chambre 28.

Les conduites de raccordement 30 et 32 et l'entrée de gaz 62 sont réalisées avec des dimensions nettement inférieures à la longueur d'onde de coupure en hyperfréquence et perturbent donc la fréquence de résonance au plus de  $1 : 10^5$ , ce qui peut être corrigé pour le premier ordre.

D'une façon similaire, les perturbations dues à la conductibilité électrique finie de la matière de la paroi de la chambre 28 sont de ce même ordre de grandeur si les parois sont fabriquées ou plaquées avec un métal hautement conducteur, par exemple en cuivre, en argent, en or ou en aluminium et si des précautions raisonnables ont été prises pour le polissage. A titre d'exemple, la profondeur de peau théorique pour le cuivre à 300 MHz est  $3,8 \times 10^{-4}$  cm. La perturbation de volume est de l'ordre du rapport entre l'épaisseur de peau et la dimension linéaire de la cavité résonante soit, pour un cylindre circulaire droit d'un rayon de 50 cm, environ  $7,6 \times 10^{-6}$ . La profondeur de peau réelle peut être estimée à partir des pertes par dissipation dans la cavité qui sont directement liées au facteur de qualité  $Q$  de la chambre pouvant être généralement mesuré expérimentalement avec une précision d'environ 1 %. Par conséquent, une correction du premier ordre peut être appliquée, réduisant l'incertitude à mieux que quelques parties dans  $10^7$ .

La variation de fréquence de résonance entre le vide et l'air dans la cavité est donnée par :

$$(f_{\text{vide}}/f_{\text{air}}) = (\epsilon)^{1/2} \quad (17)$$

où  $\epsilon$  est la constante diélectrique de l'air aux hyperfréquences, soit pour de l'air sec  $\text{STP}^{-1} = 536,5 \times 10^{-6}$ . La variation de fréquence entre le vide et l'air est donc de l'ordre de  $2,7 \times 10^{-4}$ . Etant donné que  $\epsilon$  pour l'air sec est connu exactement aux hyperfréquences en fonction de la pression et de la température, ce décalage peut être corrigé avec une précision d'au moins une partie sur  $10^6$ .

L'expression :

$$[(\epsilon-1)_{t,p}/(\epsilon-1)_{20c, latm}] = (P/760) / [1 + 0,00341 (t-20)]$$

peut être utilisée pour corriger la dépendance en pression et en température de  $\epsilon$  avec une précision meilleure que 0,01 %. Etant donné que la perturbation de fréquence n'est que  $2,7 \times 10^{-4}$ , il est possible d'espérer initialement une précision globale de la détermination de fréquence de résonance de l'ordre de  $10^{-7}$  si la pression barométrique est contrôlée à mieux que 0,1 % (ou environ 1 mm de mercure).

10 La contribution de la vapeur d'eau (humidité relative) à la constante diélectrique de l'air peut s'exprimer par :

$$(\sqrt{\epsilon}-1)_{vapeur d'eau} \times 10^{-6} = 5,00 \left( \frac{273,16}{T} \right)^2 P \quad (18)$$

15 où  $T$  est la température mesurée au moyen d'un thermomètre de précision en degrés Kelvin et  $P$  est la pression partielle de vapeur d'eau en millibars. Pour  $T = 20^\circ\text{C}$  ( $293^\circ\text{K}$ ), la pression de vapeur à saturation (100 % d'humidité relative) est 23 millibars. Par conséquent, dans ce cas extrême :

$$20 (\sqrt{\epsilon}-1)_{vapeur d'eau} \times 10^{-6} \approx 100$$

est environ le tiers pour de l'air sec. Cet effet peut être corrigé au premier ordre en mesurant l'humidité relative et une précision de l'ordre de  $10^{-7}$  peut être obtenue en déterminant la fréquence de résonance sous vide de la cavité.

25 Les modes  $\text{TE}_{111}$  et  $\text{TM}_{010}$  ne sont pas dégénératifs en fréquence avec d'autres modes résonnantes  $\text{TEM}$ . Une dégénérescence accidentelle due à un croisement de mode parasite peut être évitée en choisissant de façon appropriée les dimensions du volume. Les conditions de croisement de mode entre  $D/L > 0$  et  $D/L = 3$  sont :

$$D/L = 0,45 ; D/L = 1 ; \text{ et } D/L = 2,14$$

30 (à  $D/L = 0,45$ , le mode  $\text{TM}_{010}$  est dégénératif avec le mode  $\text{TE}_{112}$  ; à  $D/L = 1$ , le mode  $\text{TM}_{010}$  est dégénératif

avec le mode  $TE_{111}$  ; à  $D/L = 2,14$ , le mode  $TE_{111}$  est dégénératif avec le mode  $TM_{110}$ . Par conséquent, en choisissant les rapports  $D/L$  autres que ces valeurs, des réactions mutuelles avec des modes parasites sont évitées  
5 et le comportement à la résonance de la cavité est bien défini, les formules de calcul des fréquences de résonance pour les dimensions de la chambre 28 étant rigoureusement valables.

A titre d'exemple, il sera supposé qu'il a été  
10 choisi de fonctionner dans la région  $1 < D/L < 2,14$ , nécessitant que le déplacement global du piston 14 déplace un volume égal à  $2,2652 \times 10^5 \text{ cm}^3$ . La configuration suivante peut être adoptée :

$$D = 104,88 \text{ cm}$$

$$L_1 = 52,44 \text{ cm} = \text{position finale Y du piston}$$

$$L_2 = 78,66 \text{ cm} = \text{position initiale X du piston.}$$

Le volume net déplacé est donc :

$$\frac{\pi(104,88)^2}{4} (26,22) = 2,2652 \times 10^5 \text{ cm}^3.$$

Il apparaît ainsi que le rapport  $D/L$  varie de 1,33  
20 pour la position initiale à 2 pour la position finale, bien à l'intérieur de la plage souhaitable de fonctionnement. Dans ce cas :

$$f_1 = \text{fréquence de résonance au mode } TM_{010} = 219,0 \text{ MHz}$$

$$f_2(i) = \text{valeur initiale du mode } TE_{111} = 253,9 \text{ MHz}$$

$$(D/L = 1,33)$$

$$f_2(f) = \text{valeur finale du mode } TE_{111} = 331,5 \text{ MHz}$$

$$(D/L = 2)$$

D'une façon similaire, dans le cas d'un volume total de  $0,056 \text{ m}^3$ , les fréquences sont :

$$f_1 = 347,6 \text{ MHz}$$

$$f_2(i) = 403,0 \text{ MHz}$$

$$f_2(f) = 526,2 \text{ MHz}$$

La dépendance de fréquence pour un accroissement de  $L$  s'exprime par :

$$\frac{\Delta f}{f} = \left[ \frac{2}{(1,3739) \left( \frac{L^2}{D^2} + 1 \right)} \right] \frac{\Delta L}{L} \quad (19)$$

ce qui pour  $D/L = 1,33$  donne :

$$(\Delta f/f) = 1,1 (\Delta L/L) \quad (20)$$

et pour  $D/L = 2$  :

5  $(\Delta f/f) = 1,5 (\Delta L/L)$ .

Il apparaît ainsi que l'incertitude sur la mesure de  $L$  est à peu près égale pour toute la mesure de fréquence. Par conséquent, une très haute précision peut être obtenue dans la détermination du volume déplacé avec 10 cette configuration des dimensions.

Il est également intéressant d'estimer le facteur de qualité  $Q$  des modes de résonance car la précision de la mesure des fréquences de résonance dépend dans une large mesure de l'acuité de la résonance. Pour le mode

15  $TM_{010}$  :

$$Q \frac{\delta}{\lambda} = 0,22 \text{ pour } D/L = 1,33,$$

$$Q \frac{\delta}{\lambda} = 0,19 \text{ pour } D/L = 2.$$

où  $\delta$  est l'épaisseur de peau donnée par  $\delta =$

20  $\left[ (\lambda \rho) / 120 \pi^2 / u \right]^{1/2}$ ,  $\rho$  est la résistivité de la matière de la paroi de la chambre 28,  $\lambda$  est la longueur d'onde et  $/u$  est la perméabilité de la matière de la paroi.

Si la chambre 28 est faite en cuivre,  $\rho = 1,7 \times 10^{-6}$ ,  $/u = 1$  et  $\delta = 4,43 \times 10^{-4}$  cm à 219 MHz. Par conséquent :

$$Q = 6,8 \times 10^4 \text{ pour } D/L = 1,33 \text{ et}$$

25  $Q = 5,9 \times 10^4 \text{ pour } D/L = 2.$

En fonction du coefficient de couplage, la largeur de la courbe de résonance pour les points à demi-puissance varie entre  $(2f_0/Q)$  et  $(f_0/Q)$  où  $f_0$  est la fréquence de résonance. Par conséquent, la largeur de la courbe de résonance pour des valeurs de  $Q$  calculées est : à  $f_0 = 219$  MHz:  $3,2 \leq \Delta f \leq 6,4$  kHz pour  $Q = 6,8 \times 10^4$  et  $3,7 \leq \Delta f \leq 7,4$  kHz pour  $Q = 5,9 \times 10^4$ .

Etant donné que  $f_0$  peut généralement être déterminé

avec une précision de  $10^{-2}$  de  $f$  ou mieux, il est possible d'espérer une précision de l'ordre de  $10^{-7}$  dans la détermination de  $f_0$ . Cela implique une précision de cet ordre dans la mesure du diamètre  $D$  de la chambre 28.

5 D'une façon similaire, pour le mode  $TE_{111}$  :

$$\frac{Q\delta}{\lambda} = 0,28 \text{ pour } D/L = 1,33,$$

$$\frac{Q\delta}{\lambda} = 0,27 \text{ pour } D/L = 2,$$

ce qui donne :

$$Q = 7,5 \times 10^{-4} \text{ à } 253,9 \text{ MHz et}$$

10  $Q = 5,5 \times 10^{-4} \text{ à } 331,5 \text{ MHz.}$

Comme précédemment, les largeurs des courbes de résonance sont :

$$3,4 \leq f \leq 6,8 \text{ kHz à } 253,9 \text{ MHz et}$$

$$6,0 \leq f \leq 12,0 \text{ kHz à } 331,5 \text{ MHz.}$$

15 En adoptant à nouveau le critère que  $f_0$  peut être déterminé exactement à  $10^{-2}$  de  $\Delta f$ , dans le plus mauvais cas (12,0 kHz):  $\Delta f_0/f_0 \approx 4 \times 10^{-7}$ . A partir de l'expression déjà déterminée pour  $D/L = 2$  :

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = 1,5 \left( \frac{\Delta L}{L} \right)$$

20 Par conséquent,  $(\Delta L/L)$  peut être déterminé à  $(4 \times 10^{-7}) / 1,5 = 2,7 \times 10^{-7}$ .

Il est également possible de calculer la perturbation de la fréquence de résonance dans un mode de cavité en raison de la présence de l'entrée de gaz et de l'ouverture de sortie 62 sur la tête 60 du cylindre 12. A partir du théorème de la variance adiabatique, et de la connaissance de la configuration du champ à l'intérieur de la cavité, l'écart de fréquence provoqué par le trou peut être estimé d'une manière directe. Si la dimension du trou est très inférieure à la longueur d'onde de coupure (ce qui est rigoureusement vrai dans le cas considéré), l'écart de fréquence est proportionnel au rapport entre le cube du diamètre du trou et le volume de la chambre 28.

35 A titre d'exemple, l'expression de la variation de la fréquence de résonance du mode  $TM_{010}$  résultant de

l'ouverture 62 au centre de la plaque 60 est :

$$(\Delta f/f_0) = (d^3)/8D^2L(x_{01})J_1^2(x_{01}) \quad (21)$$

où  $d$  est le diamètre du trou,  $J_1(x_{01})$  est la valeur de fonction de Bessel  $J_1$  à  $x_{01}$  et  $\Delta f$  est l'écart de fréquence.

A l'évaluation numérique en utilisant  $D = 104,88$  cm,  $L = 52,44$  cm,  $x_{01} = 2,40483$  et  $J_1^2(x_{01}) = 0,2695$ , il vient :

$$(\Delta f/f_0) = 3,35 \times 10^{-7} d^3$$

Il apparaît ainsi que, pour  $d$  de l'ordre de 2 cm ou moins, le décalage de fréquence n'est que de l'ordre de  $2 \times 10^{-6}$ . Par conséquent, le décalage est très faible et avec une procédure appropriée d'étalonnage initial, par exemple en fermant l'ouverture 62 avec un bouchon métallique adapté, cet effet peut être virtuellement éliminé sous forme d'erreur systématique dans la précision de la méthode.

Le couplage de l'énergie en hyperfréquence avec la chambre 28 pour les deux modes  $TM_{010}$  et  $TE_{111}$  peut se faire en plaçant une ligne d'arrivée coaxiale terminée par l'antenne 70 dans une position décalée d'environ  $1/2$  du centre de la plaque d'extrémité 60 du cylindre 12, avec la boucle orientée suivant un rayon. Le champ magnétique dans cette position est environ 90 % du champ maximal à l'intérieur de la cavité pour les deux modes. Par conséquent, les deux modes sont excités au même degré de couplage avec un rendement élevé. En outre, en plaçant le couplage sur la tête 60, ce couplage n'est pas affecté par le mouvement du piston 14.

Une description sera maintenant faite d'un second procédé de mesure du volume de déplacement dans la chambre 28 et d'utilisation de ce volume déterminé avec précision pour étalonner le train d'impulsions produit par le codeur optique linéaire 26. D'une manière similaire à celle décrite ci-dessus, le piston 14 est déplacé d'une première position indiquée sur la figure 10 par la désignation  $L_1$  jusqu'à une seconde position indiquée par

la désignation  $L_2$ , soit un déplacement de  $\Delta L$ . De par sa nature, le cylindre 12 est rigide de sorte que le procédé d'étalonnage qui sera décrit peut n'être appliqué qu'occasionnellement pour assurer qu'il n'existe aucun 5 changement systématique à long terme, par exemple une déformation dimensionnelle du cylindre 12, un mauvais alignement et un mauvais fonctionnement du codeur linéaire optique 26 ou une déformation du piston. Pour augmenter au maximum la précision de mesure absolue de l'étalonnage 10 de volume en hyperfréquence, il est nécessaire que la configuration mécanique du cylindre 12 soit aussi proche que possible de celle d'un cylindre circulaire droit totalement fermé, et d'éliminer ou de réduire toutes les 15 sources possibles de perturbations systématiques pouvant affecter potentiellement les mesures en hyperfréquence.

La figure 12A montre que certaines modifications mécaniques sont apportées. Tout d'abord, l'intervalle physique qui existe entre le piston 14 et la paroi de la chambre 28 doit être bloqué pour éviter une fuite d'énergie 20 en hyperfréquence par cet intervalle. Etant donné la nature du joint entre le piston 14 et la paroi de la chambre 28, l'intervalle est important. Un couvercle 11 est réalisé en une matière métallique appropriée, par exemple en acier inoxydable et une série de doigts élastiques 25 15, représentés en détail sur la figure 12B, sont disposés entre le piston 14 et la paroi intérieure de la chambre 28 et qui, quand le couvercle 11 est placé sur le piston 14, font saillie dans l'intervalle entre le piston et la paroi de la chambre 28, ces doigts étant 30 en contact étroit avec le piston et la paroi. Les doigts 15 se comportent comme un court-circuit qui réfléchit le champ électromagnétique qui serait autrement dirigé dans l'intervalle précité. Dans un mode de réalisation, les doigts élastiques 15 sont en cuivre au beryllium. 35 En outre, les capteurs de pression et de température 51, 57, 48 et 68 sont enlevés et sont remplacés par des bouchons métalliques appropriés, formés de manière à obtenir une surface qui affleure la paroi intérieure de

la chambre 28. En outre, l'ouverture d'entrée 62 dans la tête 60 est couverte par une plaque métallique pour obtenir une surface lisse au-dessus de la tête 60. En outre, les parois intérieures de la chambre 28 sont nettoyées avec un solvant approprié pour éliminer toute trace résiduelle d'huile pouvant venir du joint du piston. Etant donné que l'étalonnage voulu est déterminé par un volume de déplacement  $\Delta V$  et non par le volume absolu de la chambre 28, les modifications mécaniques mentionnées ci-dessus n'affectent en rien la précision de l'étalonnage. Quand les mesures qui seront décrites ont été faites sur la chambre modifiée 28, ces mêmes mesures peuvent être effectuées immédiatement avec la chambre 28 rétablie dans son état normal de fonctionnement et un groupe de facteurs d'étalonnage peut être produit pour associer les deux jeux de mesures. Les résultats des secondes mesures peuvent alors être utilisés comme une base de données avec laquelle les contrôles ultérieurs d'étalonnage absolu peuvent être comparés sans avoir à exécuter toute la procédure de modification et de remise en état de la chambre 28.

En résumé, le procédé de mesure et d'étalonnage de volume consiste à déplacer le piston 14 jusqu'à une première position indiquée par  $L_1$  sur la figure 10 en faisant tourner à la main la pièce 19 du servomoteur 20. Dans la première position, l'antenne 70 est excitée avec de l'énergie électromagnétique dans un premier mode  $TE_{111}$  et un second mode  $TE_{112}$ , ces modes étant choisis pour réduire au minimum les perturbations précitées. Les fréquences  $f_1$  et  $f_2$  auxquelles une résonance est établie pour chaque mode sont détectées en observant le compteur 1108. Ensuite, le piston 14 est déplacé d'une distance  $\Delta L$  jusqu'à une seconde position indiquée par  $L_1$  et l'antenne 70 est excitée à nouveau avec de l'énergie électromagnétique des premier et second modes, et les fréquences correspondantes auxquelles une résonance est établie pour chaque mode sont notées. Le signal de sortie du codeur optique linéaire 26 est appliqué à un

compteur qui compte les impulsions produites dans le piston 14 se déplaçant de la distance  $\Delta L$ . Les diamètres  $D_1$  et  $D_2$  de la chambre 28 à chacune des première et seconde positions correspondant à  $L_1$  et  $L_2$  sont calculés. A ce moment, un calcul de  $\Delta L$  est effectué en utilisant les valeurs déjà calculées de  $D_1$  et  $D_2$ . La valeur calculée de  $\Delta L$  est divisée par le nombre des impulsions produites par le codeur linéaire 26, comptées pendant le mouvement du piston 14 sur la distance de  $\Delta L$  afin d'obtenir un facteur d'étalonnage de longueur en utilisant les mesures de  $D_1$  et  $D_2$ . Le volume  $\Delta V$  correspondant au volume défini par des plans qui passent par les points  $L_1$  et  $L_2$  et la surface intérieure de la chambre 18 est exprimé par une expression mathématique en fonction des diamètres  $D_1$  et  $D_2$  et  $\Delta L$ . Si le signal de sortie du codeur linéaire 26 doit être étalonné pour un volume donné, par exemple  $0,028 \text{ m}^3$ , cette valeur est introduite dans l'équation qui est résolue pour les valeurs calculées  $D_1$  et  $D_2$  afin d'obtenir la valeur de  $\Delta L$  correspondant au mouvement du piston 14 qui aspire  $0,028 \text{ m}^3$  de fluide par le compteur de fluide 38. La valeur calculée de  $\Delta L$  est multipliée par le facteur d'étalonnage de longueur calculée pour obtenir le nombre des impulsions qui doivent être émises par le codeur optique linéaire 26 quand le piston 14 se déplace d'une longueur  $\Delta L$  pour aspirer  $0,028 \text{ m}^3$  dans la chambre 28. Comme cela a été expliqué ci-dessus, le comptage obtenu à partir du codeur linéaire 26 est utilisé pour calculer le facteur d'étalonnage incorporé dans le calcul effectué à la phase 1062 de la figure 9N. En particulier, le facteur d'étalonnage est l'inverse des comptages obtenus pour  $0,028 \text{ m}^3$  de fluide aspiré dans la chambre 28 et pour obtenir une correction de calcul du pourcentage d'erreur dans la lecture du compteur sur la base de la mesure précise du volume de la chambre 28.

Tout d'abord, il est nécessaire de mesurer les fréquences pour lesquelles les conditions d'ondes stationnaires sont établies dans les positions  $L_1$  et  $L_2$ . Comme

cela a été expliqué, le calcul des diamètres  $D_1$  et  $D_2$  nécessite une valeur de vitesse de la lumière qui change avec les conditions ambiantes variables de température, de pression et d'humidité relative. Il y a lieu de penser que les corrections de variations de vitesse de la lumière sont réduites et le calcul de cette vitesse se fait généralement une ou deux fois pendant une opération d'étalonnage du codeur linéaire 26.

La vitesse de la lumière dans le vide,  $C_0$ , est 10  $2,997925 \times 10^{10}$  cm/seconde. La valeur correspondante c dans l'air est obtenue en divisant  $C_0$  par l'indice de réfraction de l'air à la longueur d'onde d'observation. Pour la région des hyperfréquences ( $f < 30$  GHz), l'indice de réfraction  $n$  est lié aux paramètres atmosphériques par 15 l'équation :

$$(n-1) \times 10^6 = \frac{77,6}{T} (P + \frac{4810e}{T}) \quad (22)$$

où  $P$  est la pression totale en millibars ( $1 \text{ bar} = 10^6$  dynes/cm $^2$  = 0,986923 atmosphères standard = 75,0062 cm Hg 20 à 0°C),  $T$  est la température en degrés Kelvin et  $e$  est la pression partielle de vapeur d'eau en millibars. La vitesse de la lumière est donc donnée par :

$$c = C_0/n = C_0 / \left( 1 + \frac{77,6}{T} (P + \frac{4810e}{T}) \times 10^{-6} \right) \quad (23)$$

La température et la pression barométrique peuvent 25 être obtenues directement par la lecture d'un thermomètre et d'un baromètre placés à proximité du dispositif de contrôle 10. La pression partielle de vapeur d'eau peut être déduite de l'humidité relative obtenue avec un psychromètre en utilisant la formule du psychromètre ou, 30 mieux, en utilisant une table de standard par exemple la Table Physique de Smithsonian, n° 640.

Pour calculer une valeur de  $\Delta L$ , il est nécessaire de déterminer la valeur moyenne du diamètre de la chambre 28 et, plus particulièrement, de déterminer les valeurs 35 des diamètres  $D_1$  et  $D_2$  aux positions  $L_1$  et  $L_2$ . Le calcul de  $D_1$  et  $D_2$  est effectué avec beaucoup de soin car l'incertitude résultante du volume est à peu près double de

l'incertitude de cette mesure. Comme cela a été expliqué ci-dessus, le piston 14 est amené dans la première position correspondant à  $L_1$ , dans laquelle les fréquences  $f_1$  et  $f_2$  pour lesquelles la condition d'onde stationnaire en résonance sont déterminées pour les deux modes différents. Le procédé préféré consiste à mesurer simultanément les fréquences de résonance  $f_1$  et  $f_2$  dans les deux modes différents avec les mêmes caractéristiques électriques en fonction de la position  $L$  du piston, et de résoudre par rapport au diamètre moyen  $\bar{D}$  en utilisant l'expression théorique appropriée.

Dans un mode de réalisation dans lequel la chambre 28 a la forme d'un cylindre circulaire droit, les deux modes préférés à cet effet sont les modes  $TE_{111}$  et  $TE_{112}$ .  
15 Comme cela sera expliqué, il a été démontré que le facteur de qualité obtenu en excitant ces modes est très élevé, ce qui réduit les effets des perturbations sur les mesures de fréquence de résonance. Le diamètre moyen du cylindre dans une position donnée de  $L$  est exprimé par :

$$20 \quad \bar{D}(L) = \frac{1,015098c}{[4f_2^2(L)-f_1^2(L)]^{1/2}} \quad (24)$$

où  $f_2$  est la fréquence de résonance du mode  $TE_{111}$ ,  $f_1$  est la fréquence de résonance pour le mode  $TE_{112}$  et  $c$  est la vitesse de la lumière dans l'air calculée par l'équation 23. En utilisant deux modes différents d'excitation d'énergie électromagnétique, les différentes perturbations telles que la variation de profondeur de peau, la dérive de fréquence réactive résultant de l'antenne 70, le degré de divergence de la surface intérieure de la chambre 28 par rapport à un cylindre circulaire droit par 25 fait sont compensées et la valeur absolue de  $\bar{D}$  est obtenue avec une grande précision. En prenant des précautions au cours des mesures des fréquences sur le compteurs 1108 de la figure 10, les précisions absolues des valeurs de  $\bar{D}$  en fonction de  $L$  sont de l'ordre d'une 30 partie de  $10^5$ , soit 0,0025 mm pour un diamètre de 300mm. Ce degré de précision est du même ordre que la variation

de volume de la chambre 28 sous l'effet de la dilatation thermique et de la contraction thermique, dans un environnement stabilisé en température dans lequel la température est maintenue dans une plage de  $\pm 0,55^{\circ}\text{C}$ .

5 Dans le but de confirmer ces mesures ainsi que de disposer d'un moyen quantitatif d'évaluation de l'ordre de grandeur des perturbations attendues dans le système de mesure, le diamètre peut être déterminé indépendamment en mesurant les fréquences de résonance, en produisant des ondes électromagnétiques du mode  $TM_{010}$  dans la chambre 28. Avec ce mode d'excitation, la fréquence de résonance est indépendante de la longueur L et, par conséquent, dans un cylindre parfaitement uniforme, elle ne varie pas avec la position du piston 14. Mais l'excitation dans le mode  $TM_{010}$  est soumise à d'autres perturbations variées qui doivent être considérées pour obtenir le même degré de précision qu'avec les deux modes décrits ci-dessus. Dans le mode  $TM_{010}$ , le diamètre moyen est donné par l'expression :

$$20 \quad \overline{D}(L) = 0,7654799c/f \quad (25)$$

où  $f$  est la fréquence de résonance du mode  $TM_{010}$ .

Quand le diamètre moyen  $\bar{D}$  de la chambre 28 en fonction de  $L$  a été déterminé avec la précision voulue, la valeur de  $\Delta L$  est obtenue et elle est liée au nombre observé d'impulsions provenant du codeur linéaire optique de manière à obtenir un facteur d'étalonnage de longueur exprimé en longueur par impulsion ou en nombre d'impulsions par centimètre. La position du piston est établie à  $L_1$  et les fréquences de résonance  $f_1$  et  $f_2$  pour les modes  $TE_{111}$  et  $TE_{112}$  sont mesurées. Le piston 14 est ensuite déplacé en faisant tourner la pièce 19 jusqu'à une nouvelle position  $L_2$  et les fréquences de résonance des mêmes modes sont mesurées à nouveau tout en comptant le nombre des impulsions du codeur optique pendant le mouvement du piston 14 de sa première à sa seconde position. Le nombre des impulsions est divisé par  $\Delta L = L_2 - L_1$  pour obtenir le facteur voulu d'étalonnage de longueur.

La distance  $\Delta L = (L_2 - L_1)$  doit être suffisamment grande pour que la précision de l'étalonnage ne soit pas limitée par la précision du comptage des impulsions ( $\pm 1$  dans ce cas) et l'étalonnage doit être effectué sur un certain nombre d'intervalles  $\Delta L$  pour assurer qu'aucun effet de non-linéarité n'existe dans les mesures.

5 Pour le mode  $TE_{111}$ , la variation de distance  $\Delta L$  est donnée par l'expression :

$$10 \quad \Delta L = (L_2 - L_1) = C \left[ \left[ f_2^2 - \left( \frac{0,5860671C}{D(L_2)} \right)^2 \right]^{-1/2} - \left[ f_1^2 - \left( \frac{0,5860671C}{D(L_1)} \right)^2 \right]^{-1/2} \right] \quad (26)$$

où  $f_2$  et  $D(L_2)$  sont la fréquence de résonance en mode  $TE_{111}$  et le diamètre moyen déjà déterminé pour la position  $L_2$  du piston ;  $f_1$  et  $D(L_1)$  sont les valeurs correspondant à la position  $\Delta L_1$ .

15 Pour le mode  $TE_{112}$ , la variation de distance  $\Delta L$  est donnée par l'expression :

$$\Delta L = (L_2 - L_1) = C \left[ \left[ f_2^2 - \left( \frac{0,5860671C}{D(L_2)} \right)^2 \right]^{-1/2} - \left[ f_1^2 - \left( \frac{0,5860671C}{D(L_1)} \right)^2 \right]^{-1/2} \right] \quad (27)$$

20 dans laquelle les différentes quantités sont définies d'une manière similaire.

Des expressions similaires peuvent être écrites pour tout mode d'excitation et plusieurs modes peuvent être utilisés pour contrôler la cohérence interne et la précision absolue des mesures.

25 L'étalonnage absolu du volume de déplacement  $\Delta V$  entre les positions  $L_1$  et  $L_2$  du piston est donné par l'expression suivante :

$$\Delta V = V_2 - V_1 = (\pi/4) \left[ D_2^2 (\Delta L) + (D_2^2 - D_1^2) L_1 \right] \quad (28)$$

où  $D_2$  et  $D_1$  sont les diamètres moyens des sections du cylindre aux positions  $L_1$  et  $L_2$ , et  $\Delta L = (L_1 - L_2)$ . L'examen de l'équation 28 montre que, connaissant les valeurs de  $D_2$  et  $D_1$ , pour l'étalonnage avec une valeur donnée du volume absolu de déplacement  $\Delta V$ , par exemple  $0,028 \text{ m}^3$ , la valeur correspondante de  $\Delta L$ , c'est-à-dire la distance dont le piston 14 doit être déplacé pour aspirer ce volume de fluide dans la chambre 28 du dispositif 10, peut être calculée. L'objet de l'étalonnage est d'obtenir le nombre des impulsions produites par le codeur linéaire 26 pour un volume de déplacement  $\Delta V$  donné, et il est obtenu en multipliant la valeur obtenue de  $\Delta L$  pour un volume donné par le facteur d'étalonnage de longueur afin d'obtenir le nombre équivalent d'impulsions qui sont émises par le codeur linéaire 26.

Le choix des modes  $TE_{111}$  et  $TE_{112}$  pour exciter la cavité 28 a été basé sur des déterminations répétées en utilisant un certain nombre de résonances en mode normaux pour déterminer le facteur de qualité  $Q$  pour chacun de ces modes. Ces déterminations du rapport  $Q$  dans un mode normal imposent la mesure du rapport entre la puissance réfléchie  $Pr$  et la puissance incidente  $Po$  à la fréquence de résonance, et la largeur en fréquence de la courbe de réponse correspondant au niveau à demi-puissance défini par  $P_{1/2} = (Po + Pr)/2$ . Il est souhaitable que la réponse en tension continue du détecteur à cristal 1110 soit linéaire avec l'entrée d'énergie en hyperfréquence. Cette condition peut être satisfaite en faisant fonctionner le détecteur à cristal 1110 dans la région de "déttection de loi des carrés", correspondant à un niveau continu inférieur à 20 millivolts. Si cela est nécessaire, la linéarité de la réponse peut être vérifiée en utilisant l'atténuateur pas à pas du générateur à balayage 1100. Une fois établi, le coefficient de couplage ( $Pr/Po$ ) peut être mesuré directement sur l'écran de l'oscilloscope 1112 sous forme du rapport des tensions correspondantes. Le niveau à demi-puissance peut alors être calculé sous forme d'une tension équivalente.

La demi-largeur de la courbe de réponse représentée sur la figure 14 est exactement la différence entre les deux réglages de fréquence établis sur le générateur 1100 et correspondant aux niveaux à demi-puissance de chaque côté de 5 la fréquence de résonance observée sur l'oscilloscope. Le facteur Q à la résonance est calculé en utilisant l'expression de l'équation 10. A partir de ces déterminations du facteur Q, il a été démontré que le mode  $TE_{111}$  correspond à un facteur de qualité Q d'environ 6000 à 7000 10 dans la plage de déplacement du piston 14, tandis que le mode  $TE_{112}$  correspond à un facteur de qualité Q de 8000 à 10000. Comme cela a été indiqué ci-dessus, le facteur de qualité est une mesure de l'ordre de grandeur de l'écart attendu de la fréquence de résonance par rapport 15 au résultat idéal donné par l'équation 1. Ainsi, en utilisant ces modes, la fréquence de résonance peut être mesurée avec une plus grande précision et les perturbations résultant d'imperfections superficielles ainsi que de dérive de fréquence par les effets de profondeur 20 de peau peuvent être réduites au minimum. Ainsi, il semble que l'utilisation des modes  $TE_{111}$  et  $TE_{112}$  permet des déterminations d'une plus grande précision de la fréquence de résonance et, par conséquent, du diamètre moyen  $\bar{D}$  et du volume de déplacement entre les deux positions du piston. 25

Il apparaît ainsi que l'invention concerne un dispositif de contrôle de compteur de fluide, susceptible d'une mesure de volume de fluide, et en particulier d'un volume de gaz passant dans un compteur, avec une précision élevée. Sous un autre aspect de l'invention, le volume du cylindre dans lequel le fluide est aspiré est mesuré avec une précision extrême et il est comparé avec le signal de sortie du codeur qui détecte le mouvement du piston du cylindre, de sorte que l'indication du volume aspiré 30 dans le cylindre est donnée avec une précision élevée correspondante. Ce volume standard ou étalonné est comparé avec la sortie du compteur de fluide en essai pour obtenir une indication de son enregistrement ainsi que 35

le pourcentage d'erreur de la lecture de volume de fluide par rapport au volume réel ou étalonné, indiqué par le codeur optique du dispositif de contrôle. En outre, le dispositif de contrôle est commandé par un calculateur par lequel un certain nombre d'essais sont effectués, dans lesquels des paramètres de température et de pression au compteur et au dispositif de contrôle sont pris en considération pour ajuster l'indication du volume mesuré ainsi que pour effectuer des essais répétés dans des conditions variables. En particulier, des volumes différents de fluide peuvent être aspirés dans le compteur par le dispositif de contrôle en introduisant des facteurs de comptage correspondants dans un compteur d'impulsions du calculateur et en décomptant jusqu'à zéro les comptages choisis afin d'interrompre l'essai du compteur. Sous un autre aspect, l'invention concerne un nouveau procédé de détermination avec une haute précision du volume du cylindre dans lequel le fluide est aspiré pour un déplacement donné du piston. Cette mesure précise est déterminée par les fréquences auxquelles des ondes stationnaires sont établies à des première et seconde positions du piston afin d'obtenir une indication précise sur le volume de fluide et sur le signal de sortie du codeur optique associé afin de détecter le mouvement du piston.

Il est bien évident que de nombreuses modifications peuvent être apportées au mode de réalisation décrit et illustré sans sortir du cadre ni de l'esprit de l'invention.

REVENDICATIONS

1 - Procédé d'étalementage d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide, ce dispositif de contrôle comprenant une chambre (28) dont la géométrie est celle d'un cylindre circulaire (3), de diamètre (D) et de longueur (L), un piston (14) agencé pour se déplacer d'un mouvement rectiligne dans la chambre et à diriger un fluide entre un compteur de fluide en essai et la chambre, et un dispositif de mesure (26) réagissant au mouvement relatif du piston en produisant un signal indiquant 5 l'étendue du mouvement du piston, chaque incrément unique du signal correspondant à un incrément du mouvement du piston et par conséquent du volume de fluide dirigé par le compteur de fluide en essai, procédé caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à disposer le 10 piston (14) dans une première position (L1) dans la chambre, à produire (70) des premier et second champs électromagnétiques dans la chambre, chaque champ électromagnétique étant d'un mode normal distinct, choisi de manière 15 qu'à une condition de résonance dans la chambre, les composantes électriques et magnétiques des premier et second champs soient fonction du diamètre et de la longueur de la chambre, à mesurer (1108) des première et seconde 20 fréquences auxquelles les premier et second champs électromagnétiques établissent une condition de résonance 25 dans la chambre, à déplacer le piston jusqu'à une seconde position (L2) décalée par rapport à la première position tout en accumulant le signal délivré par le dispositif de mesure, à produire (70) des troisième et quatrième champs électromagnétiques dans la chambre, chaque champ 30 électromagnétique étant d'un mode normal distinct choisi de manière qu'à une condition de résonance dans la chambre, les composantes électriques et magnétiques des troisième et quatrième champs soient fonction du diamètre et de la longueur de la chambre, à mesurer (1108) les 35 troisième et quatrième fréquences de résonance pour les- quelles les troisième et quatrième champs électromagné-

tique établissent des conditions de résonance dans la chambre, à déterminer (120) sur la base des première et seconde fréquences des résonance, le diamètre et la longueur, et par conséquent un premier volume défini par la chambre et le piston à sa première position, et sur la base des troisième et quatrième fréquences, le diamètre et la longueur et par conséquent un second volume, défini par la chambre et le piston dans la seconde position, et à déterminer le volume de déplacement du piston sous la forme de la différence entre les second et premier volumes, et à établir une corrélation entre le signal accumulé provenant du dispositif de mesure (26) avec le volume de déplacement pour obtenir une manifestation de l'incrément de valeur de volume du fluide représenté par un incrément unitaire du signal du dispositif de mesure.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'édit dispositif de mesure (26) délivre un signal de sortie sous la forme d'un train d'impulsions, représentant chacune un incrément de mouvement du piston (14) de manière que pendant l'opération de déplacement du piston jusqu'à une seconde position, les impulsions de sortie soient comptées pendant le mouvement du piston de sa première à sa seconde position.

3 - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'opération de mise en corrélation consiste à déterminer un facteur d'étalonnage de longueur comme incrément de longueur dont le piston (14) est déplacé pour produire une impulsion par le dispositif de mesure.

4 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite opération de mise en corrélation consiste à déterminer des premier et second diamètre (D1, D2) de la chambre (28) aux première et seconde positions (L1, L2) du piston, sur la base des mesures des première, seconde, troisième et quatrième fréquences, à déterminer pour un volume donné les premier et second diamètres déterminés, le déplacement du piston nécessaire pour diriger le volume donné de fluide entre le compteur de fluide en es-

sai et la chambre, et à déterminer sur la base du facteur d'étalonnage de longueur et du déplacement du piston, le nombre des impulsions à produire par ledit dispositif de mesure pour déplacer le volume donné entre le compteur 5 en essai et la chambre.

5 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les modes de production d'énergie électromagnétique dans la chambre (28) sont choisis de manière à réduire les perturbations qui seraient normalement 10 créées par le caractère, la configuration et la surface de la chambre.

10 - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les premier et second modes sont respectivement les modes  $TM_{010}$  et  $TE_{111}$  de production d'énergie 15 électromagnétique.

15 - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les premier et second modes sont respectivement les modes  $TE_{111}$  et  $TE_{112}$  de production d'énergie électromagnétique.

20 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les opérations sont répétées en changeant la première position à chaque groupe successif d'opérations de manière que le piston (14) soit disposé dans une section différente de la chambre.

25 - Appareil d'étalonnage d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide, ce dispositif de contrôle comprenant une chambre (28) de configuration rigide non déformable dont la surface latérale extérieure a la forme d'un cylindre circulaire droit d'une longueur et d'un diamètre pouvant être déterminés, un piston (14) destiné à se déplacer d'un mouvement rectiligne dans ladite chambre pour diriger un fluide entre un compteur de fluide en essai et ladite chambre, un moteur (20) destiné à entraîner le piston à une vitesse constante pendant l'essai du 30 compteur de fluide, et un dispositif (26) de mesure de précision réagissant au mouvement relatif dudit piston 35 dans ladite chambre en produisant un train d'impulsions

représentant chacune un incrément de mouvement dudit piston et par conséquent, du volume de fluide dirigé dans le compteur de fluide en essai, appareil d'étalonnage caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (52, 54) destiné à disposer ledit piston d'une première position à une seconde position, un dispositif (70, 1100) destiné à produire un champ électromagnétique de fréquence variable afin d'établir dans chacune desdites première et seconde positions des premier et second champs électromagnétiques, chacun dans un mode normal distinct sélectionné de manière qu'à une condition de résonance dans la chambre, les composantes électriques et magnétiques des premier et second champs soient fonction du diamètre et la longueur de la chambre, un dispositif (1108) 15 destiné à déterminer les première et seconde fréquences pour lesquelles des conditions de résonance d'ondes stationnaires sont établies dans le cylindre, à chacune des première et seconde positions du piston, et un dispositif (182) destiné à compter le nombre des impulsions émises 20 par ledit dispositif de mesure (26) quand ledit piston passe de sa première à sa seconde position de manière qu'une indication sur l'incrément de volume de la chambre représenté par une impulsion puisse être déterminé sur la base du volume de déplacement entre les première et 25 seconde positions du piston, déterminées à partir des fréquences de résonance mesurées et du nombre compté des impulsions.

10 - Appareil selon la revendication 13, caractérisé en ce que les deux modes sont choisis de manière à réduire les perturbations qui se produiraient autrement par le caractère, la configuration et la surface de ladite chambre.

11 - Procédé d'étalonnage d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide, comprenant une chambre (28) de géométrie régulière et un piston (14) agencé pour se déplacer d'un mouvement rectiligne à l'intérieur de la chambre pour diriger un fluide entre le compteur de fluide en essai et la chambre, procédé caractérisé en ce

qu'il consiste essentiellement à produire (70, 1100) de l'énergie électromagnétique dans ladite chambre dans des premier et second modes distincts, chaque mode étant choisi de manière qu'à sa condition de résonance dans ladite chambre les composantes électriques et magnétiques du champ électromagnétique soient fonction des dimensions de la chambre de géométrie régulière, à extraire (70) de l'énergie réfléchie par ladite chambre de géométrie régulière, à détecter (1110, 1112) une première fréquence de l'énergie électromagnétique établissant une condition de résonance du premier mode normal dans ladite chambre, à détecter (1110, 1112) une seconde fréquence de l'énergie électromagnétique établissant une condition de résonance du second mode normal dans ladite chambre, à déterminer (120) sur la base des fréquences de résonance détectées les dimensions et par conséquent le volume de la chambre, à déplacer (20) le piston dans ladite chambre et à produire une indication sur l'étendue du mouvement du piston, et à étalonner l'indication du mouvement du piston sur la base d'une détermination précise du volume de la chambre.

12 - Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il consiste à choisir les premier et second modes normaux de manière à réduire les perturbations qui seraient autrement créées par le caractère, la configuration et la surface de la chambre.

13 - Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les modes choisis sont le mode  $TE_{111}$  et le mode  $TE_{112}$ .

14 - Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les modes choisis sont le mode  $TE_{112}$  et le mode  $TM_{010}$ .

15 - Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les modes choisis sont le mode  $TM_{010}$  et le mode  $TE_{111}$ .

16 - Appareil de mesure du volume de la chambre d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide, ce dispositif de contrôle comprenant un piston (14) agencé pour se déplacer d'un mouvement rectiligne dans la chambre (28)

afin de diriger un fluide entre un compteur en essai et la chambre, appareil caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (1100) générateur et de variation de la fréquence d'énergie électromagnétique en hyperfréquences  
5 émise, une antenne (70) couplée avec ledit générateur et destinée à émettre des ondes d'énergie électromagnétiques dans ladite chambre (28), un dispositif (1110) de détection de l'énergie électromagnétique quittant ladite chambre, un dispositif (1112) de détection de condition de 10 résonance connecté audit dispositif de détection d'énergie et fournissant une indication sur l'apparition de niveaux minimum d'énergie quittant ladite chambre, correspondant à l'établissement d'une condition de résonance en ondes stationnaires dans la chambre, et un dispositif (1108) de 15 détermination des fréquences pour lesquelles des conditions de résonance d'ondes stationnaires sont établies dans la chambre, afin que le volume de la chambre puisse être déterminé avec précision.

17 - Appareil selon la revendication 16 caractérisé en ce que ledit dispositif générateur (1100) comporte un dispositif permettant de changer la fréquence de l'énergie électromagnétique en hyperfréquences jusqu'à ce qu'une condition d'onde stationnaire soit établie dans la chambre.

25 18 - Appareil selon la revendication 17, caractérisé en ce que ledit dispositif générateur (1100) modifie automatiquement la fréquence de l'énergie électromagnétique de sortie en hyperfréquences.

19 - Appareil selon la revendication 17, caractérisé en ce que ledit dispositif générateur (1100) comporte un dispositif manipulé par un opérateur pour modifier la fréquence de l'énergie électromagnétique émise.

20 - Appareil selon la revendication 16, caractérisé en ce que ledit dispositif (1110) de détection d'énergie et ledit dispositif générateur (1100) sont chacun couplés avec ladite antenne (70) et ledit dispositif (1112) de détection de condition de résonance de manière qu'une indication sur le niveau d'énergie quittant ladite

chambre soit obtenue en fonction de la fréquence de l'énergie électromagnétique produite par ledit dispositif générateur d'ondes électromagnétiques.

21 - Appareil selon la revendication 16, caractérisé en ce que ledit dispositif (1110) de détection de fréquence est couplé avec la sortie dudit dispositif (1100) générateur d'énergie électromagnétique, et comporte un dispositif (1108) destiné à afficher la fréquence de l'énergie électromagnétique.

22 - Appareil selon la revendication 21, caractérisé en ce que ledit dispositif de détection consiste en un compteur (1108).

23 - Appareil selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (1104) connecté à la sortie dudit dispositif générateur (1110) et destiné à détecter le niveau d'énergie et à fournir un signal de réaction indiquant le niveau de l'énergie électromagnétique fournie par ledit dispositif générateur de manière à stabiliser le niveau de puissance imposé audit dispositif générateur.

24 - Procédé de mesure exacte du volume d'un dispositif de contrôle de compteur de fluide, ce dispositif de contrôle comprenant une chambre (28) de géométrie régulière, procédé caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à développer (70) un champ d'énergie électromagnétique dans ladite chambre dans un mode normal sélectionné de manière qu'à une condition de résonance dans ladite chambre, les composantes électriques et magnétiques du champ d'énergie soient fonction des dimensions de la chambre à géométrie régulière, à extraire (70) de l'énergie réfléchie par ladite chambre de géométrie régulière, à détecter (1100) la fréquence de l'énergie électromagnétique qui établit une condition de résonance pour le mode normal dans ladite chambre, et à déterminer (120) sur la base de la fréquence de résonance détectée les dimensions et par conséquent le volume de la chambre.

25 - Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce que la géométrie de la chambre est celle

d'un cylindre circulaire droit, les dimensions à mesurer étant le diamètre et la longueur axiale de la chambre, l'opération de détermination consistant à déterminer la longueur et le diamètre, et par conséquent le volume de 5 la chambre cylindrique circulaire droite.

26 - Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que le mode normal de production d'un champ d'énergie électromagnétique est choisi de manière à réduire au minimum des perturbations résultant du caractère, de la configuration et de la surface de la chambre. 10

27 - Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que le mode choisi est le mode  $TE_{111}$ .

28 - Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que le mode choisi est le mode  $TE_{112}$ .

15 29 - Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que le mode choisi est le mode  $TM_{010}$ .

FIG. 1.

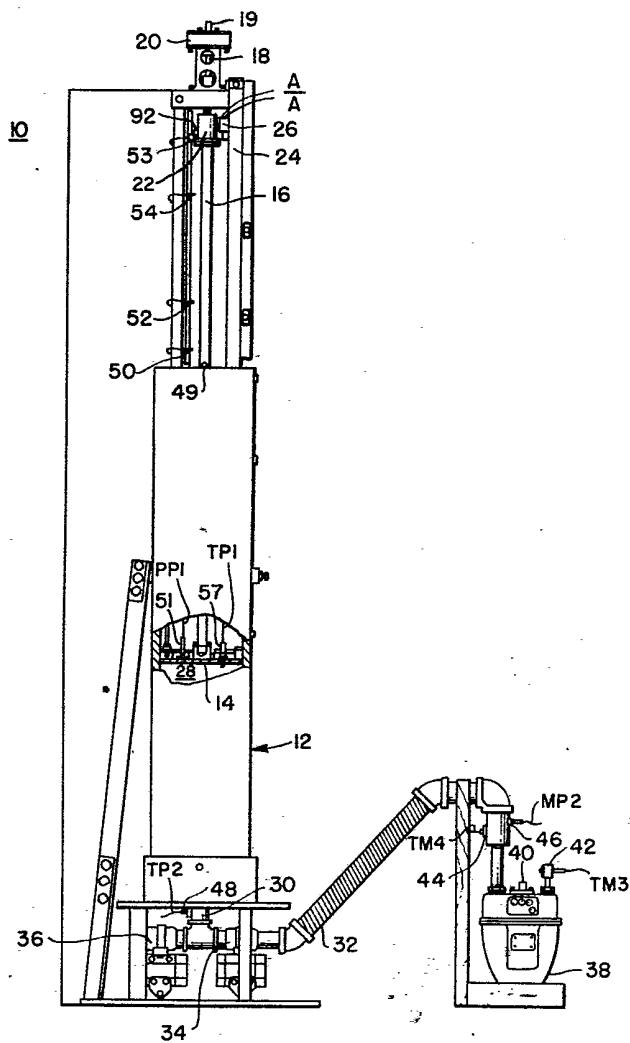


FIG. 2A.

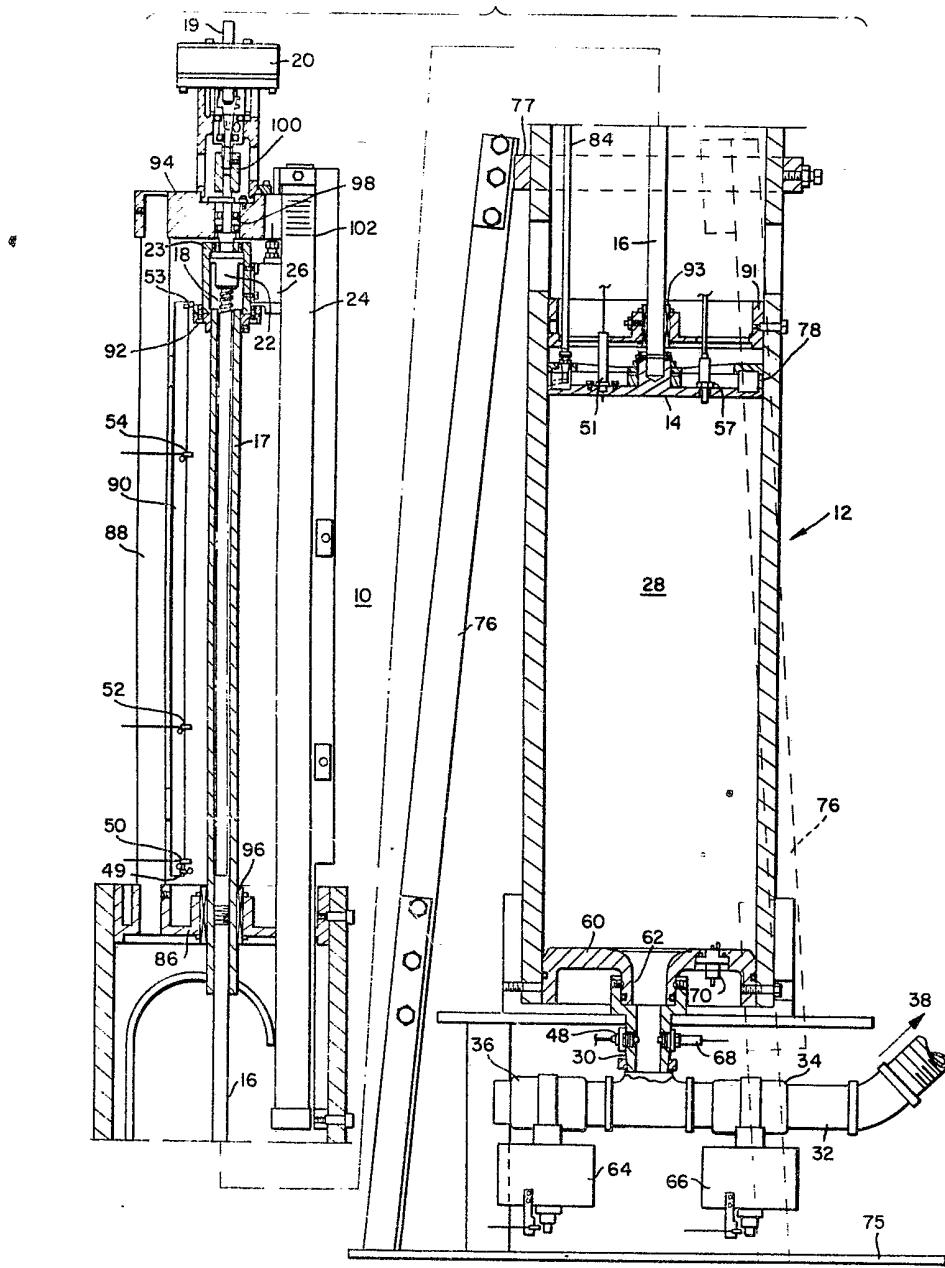


FIG. 2B.

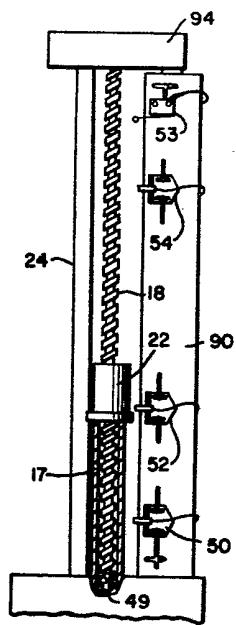


FIG. 2C.

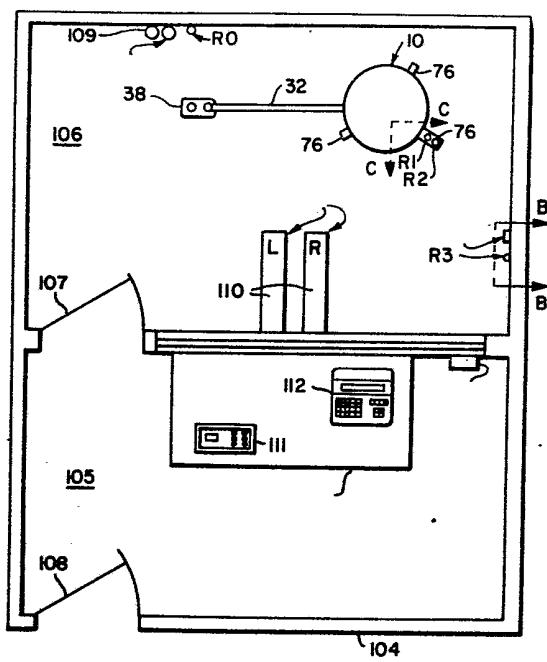


FIG. 2D.

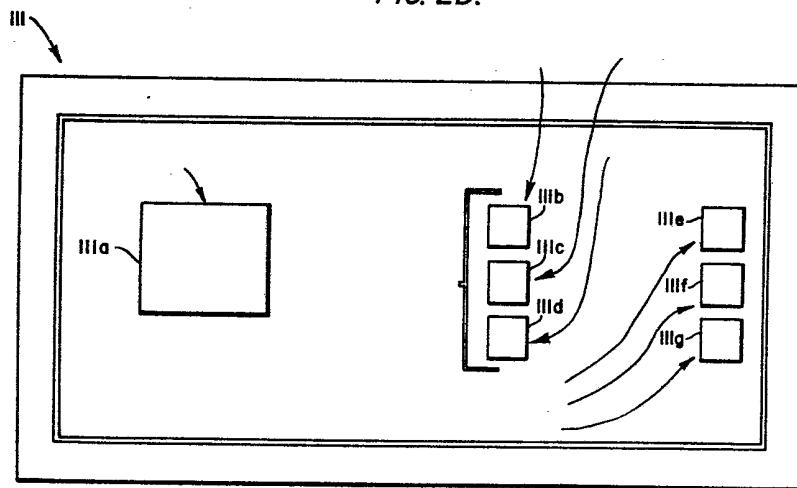
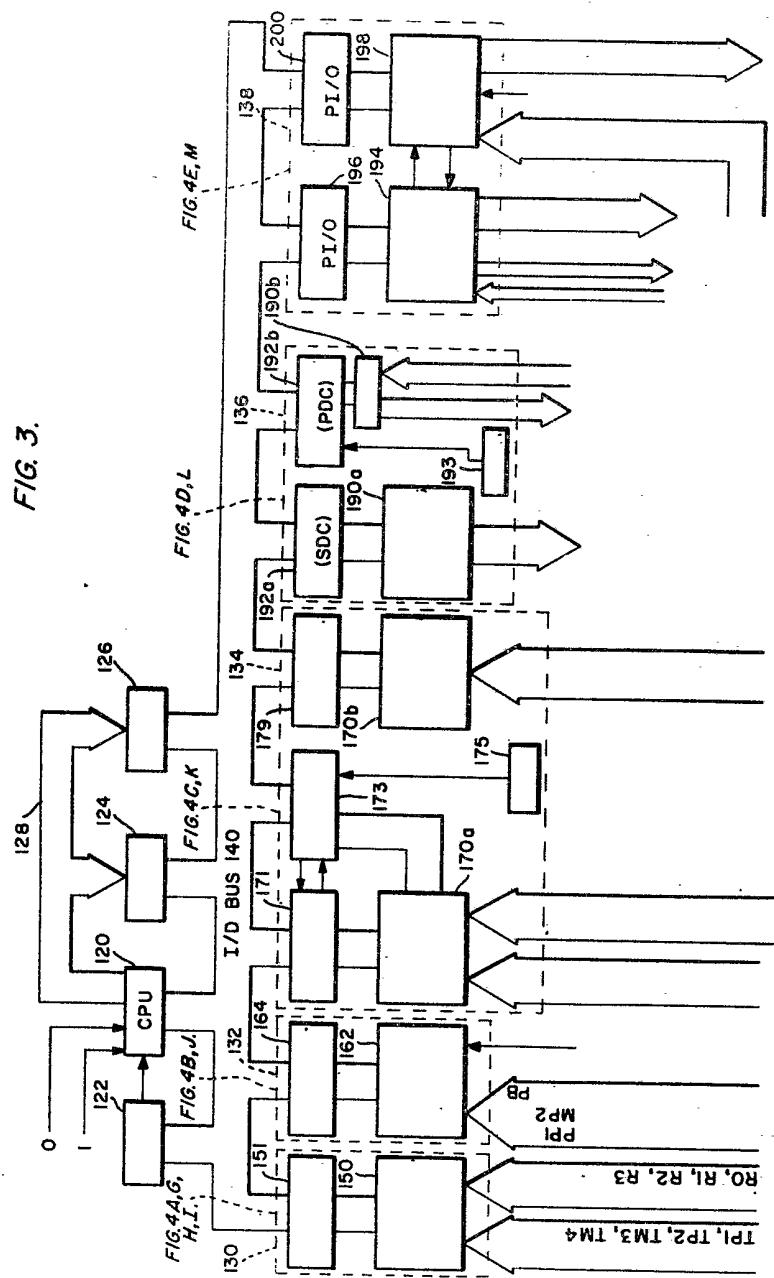


FIG. 3.



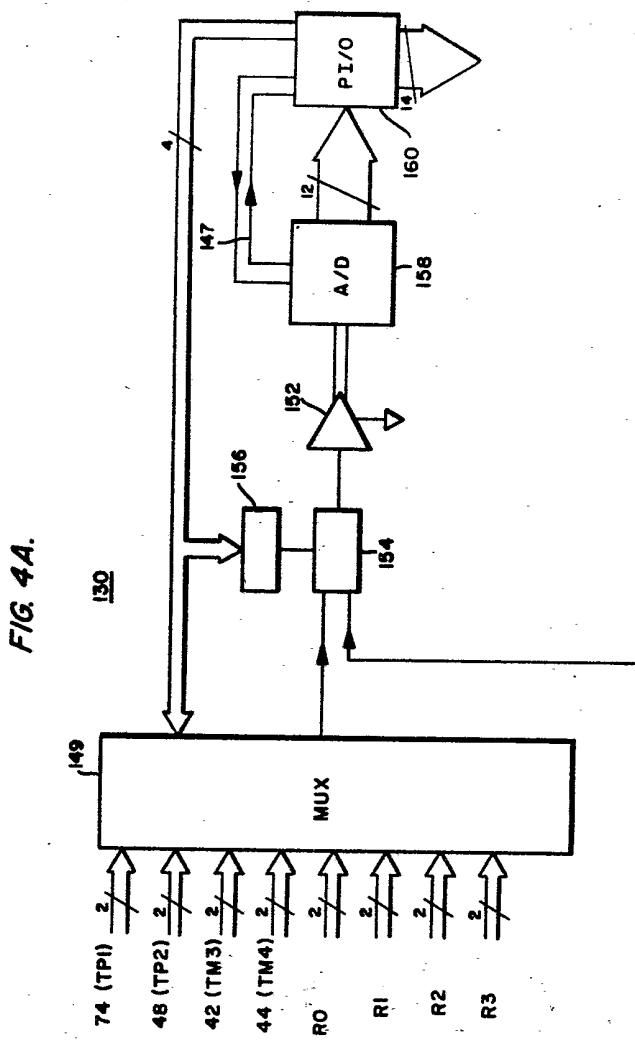


FIG. 4B

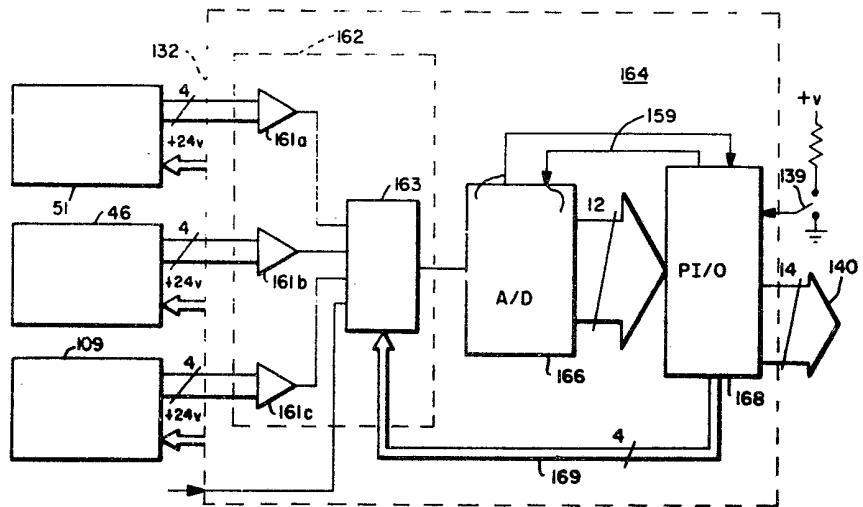


FIG. 5.

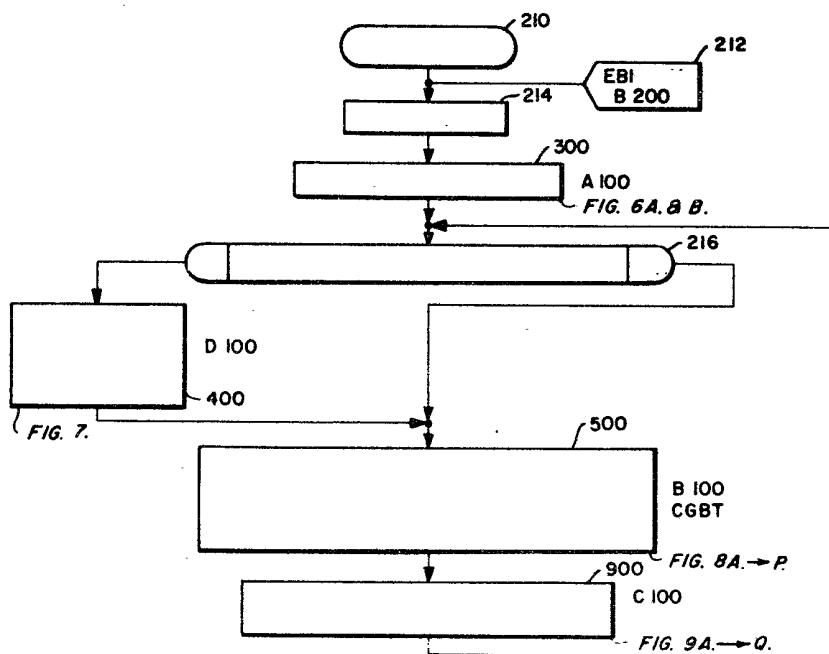
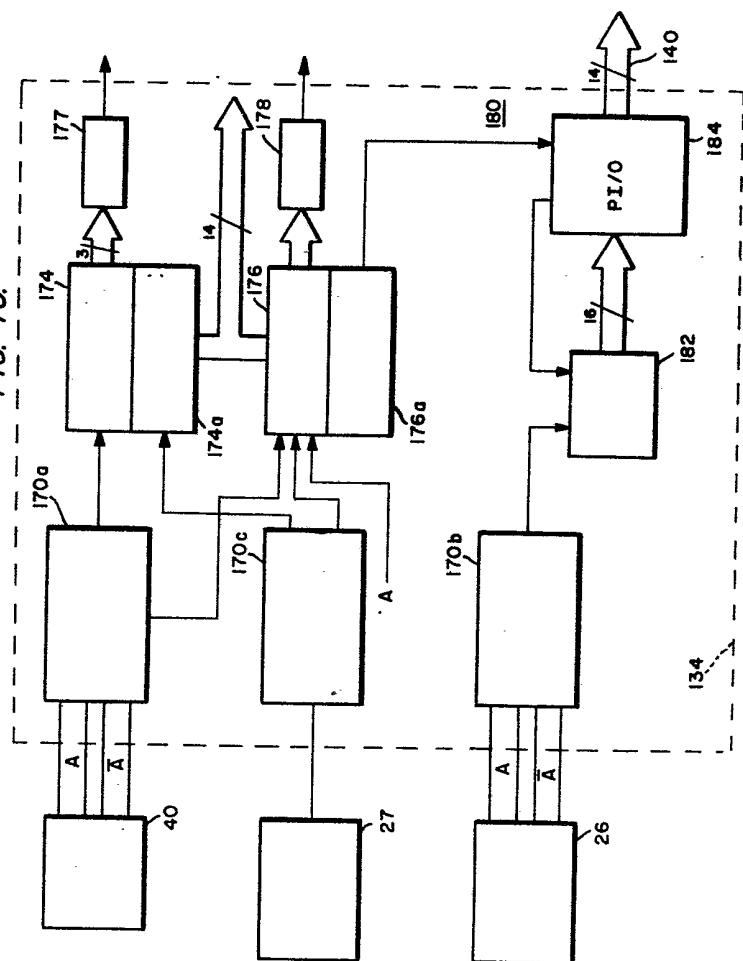


FIG. 4C.



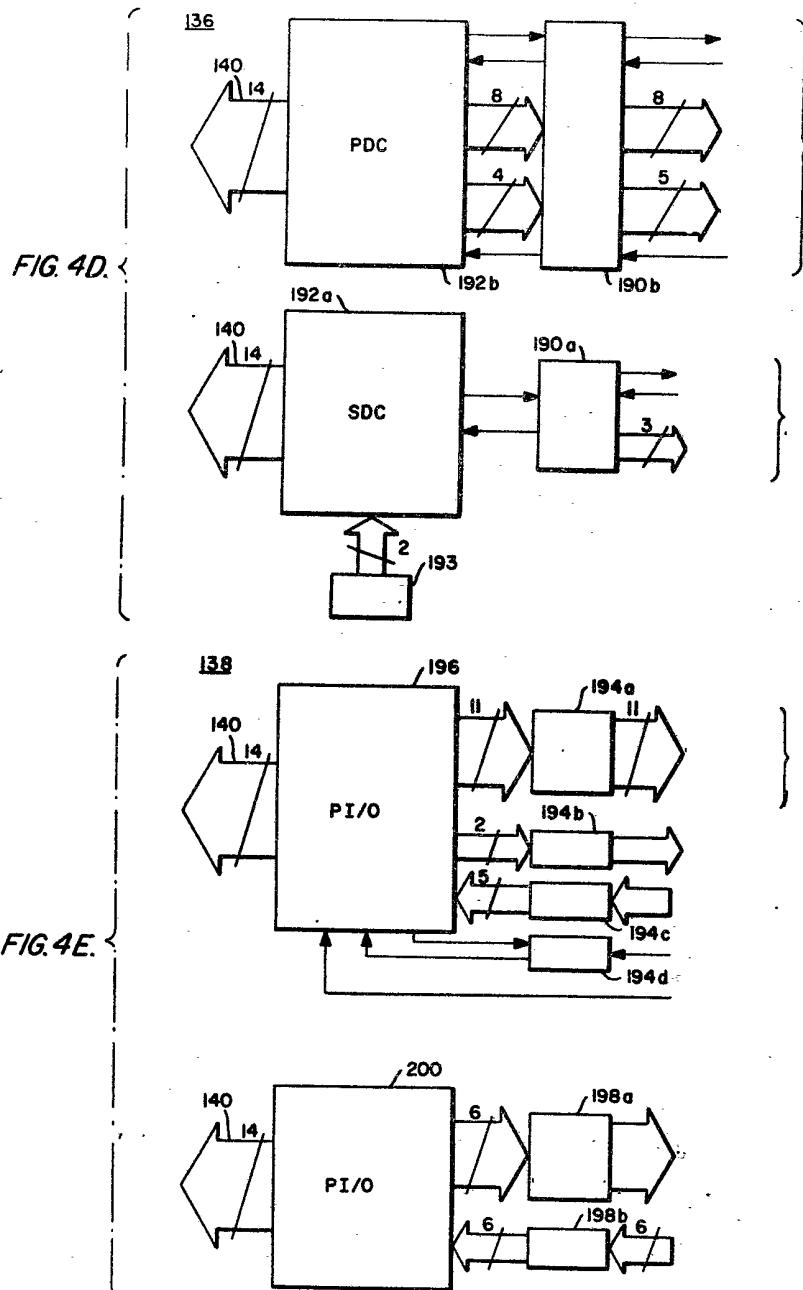


FIG. 4F

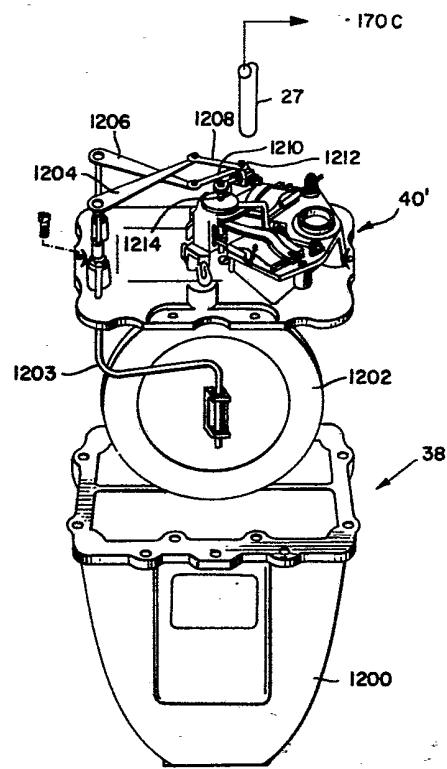
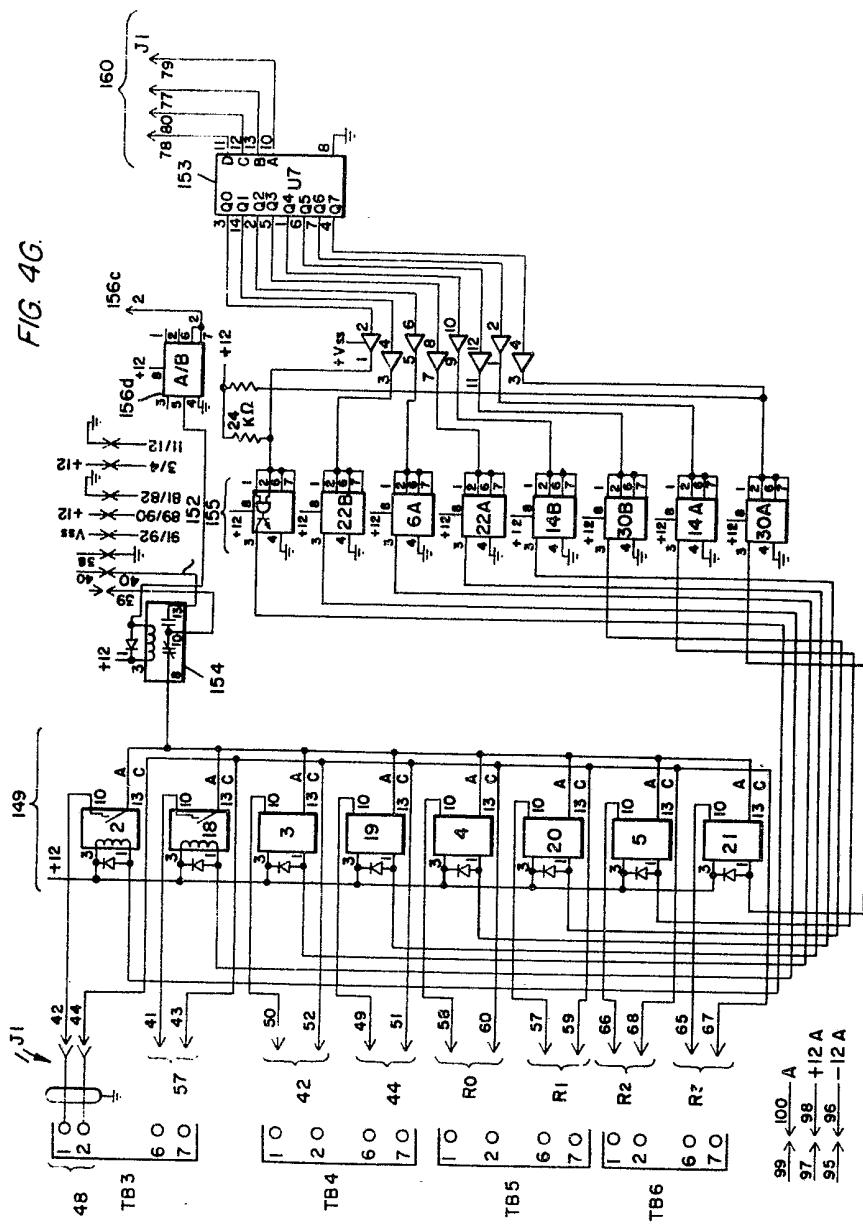


FIG. 4G.



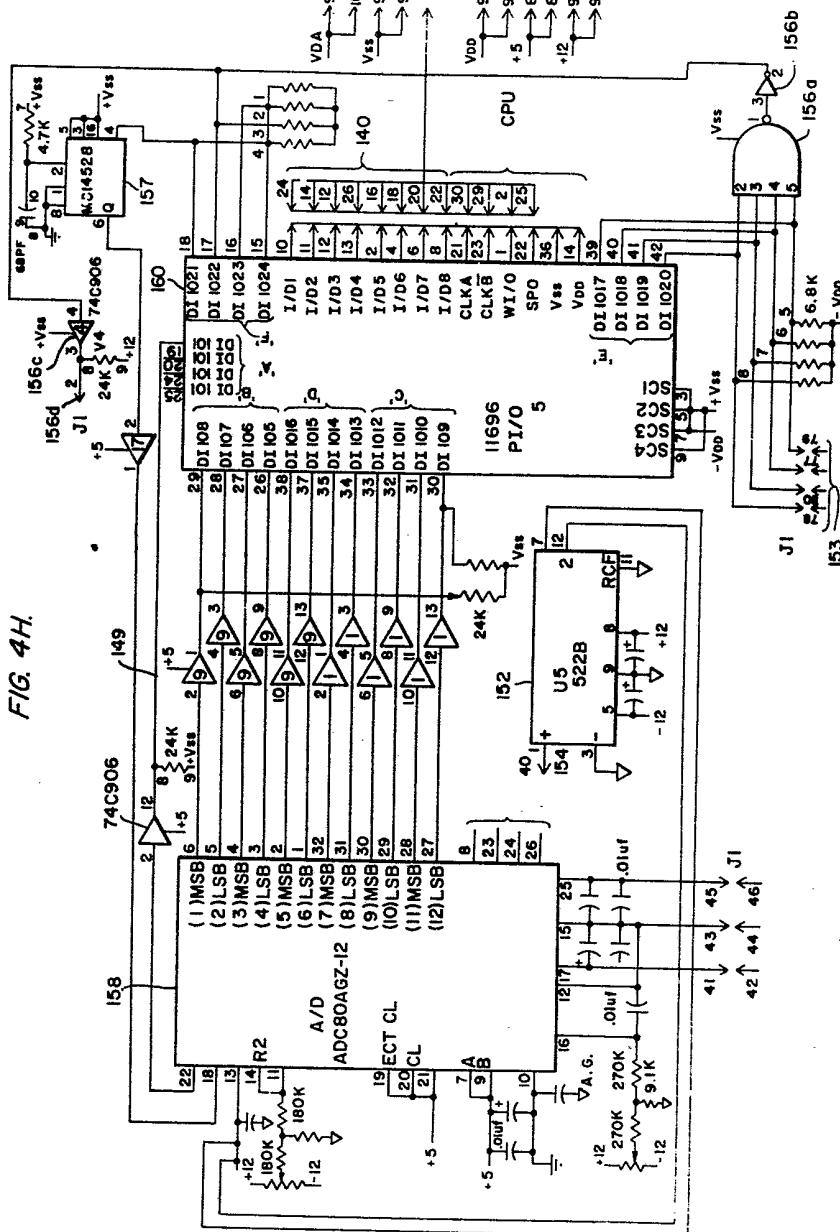
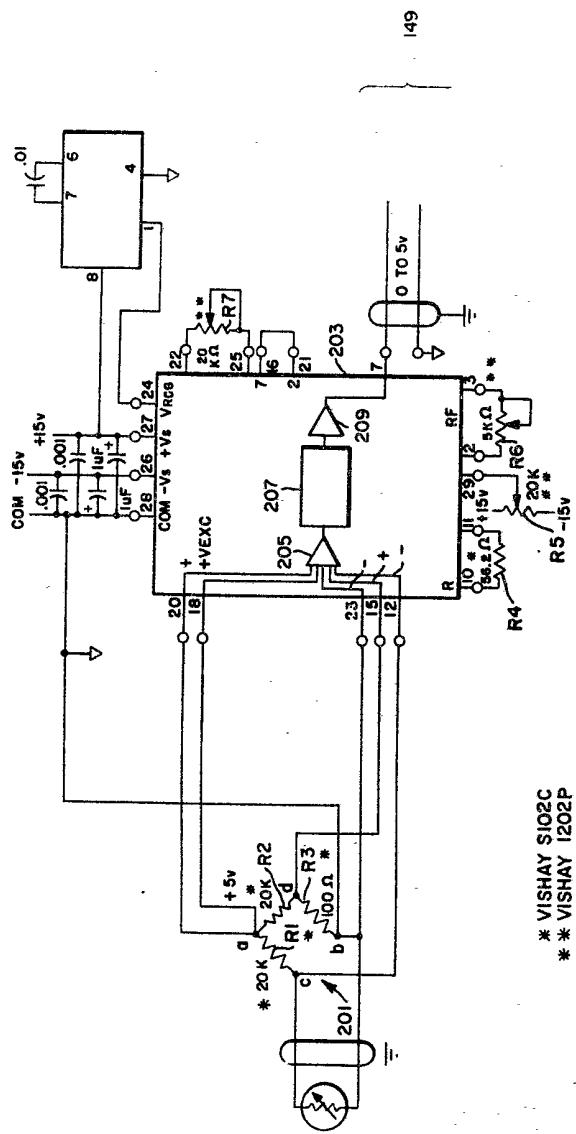
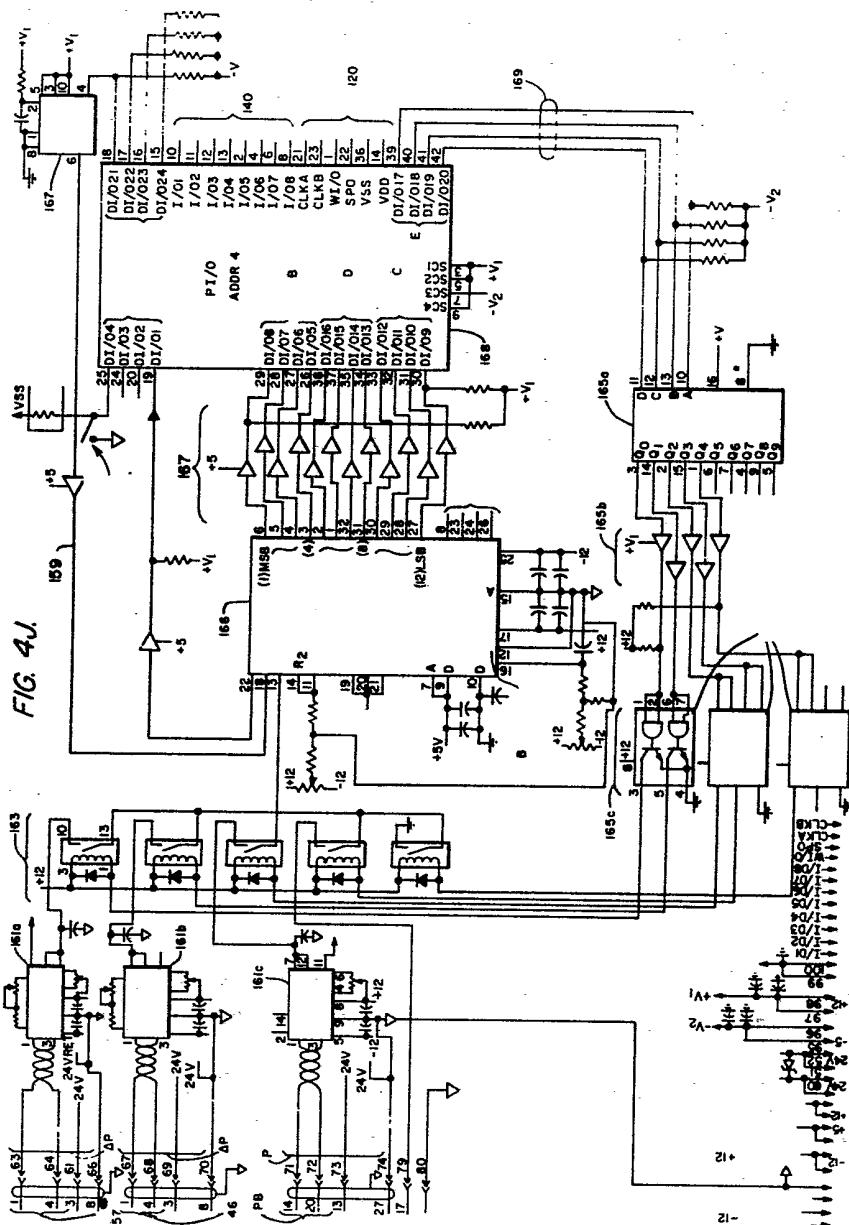


FIG. 4 I.





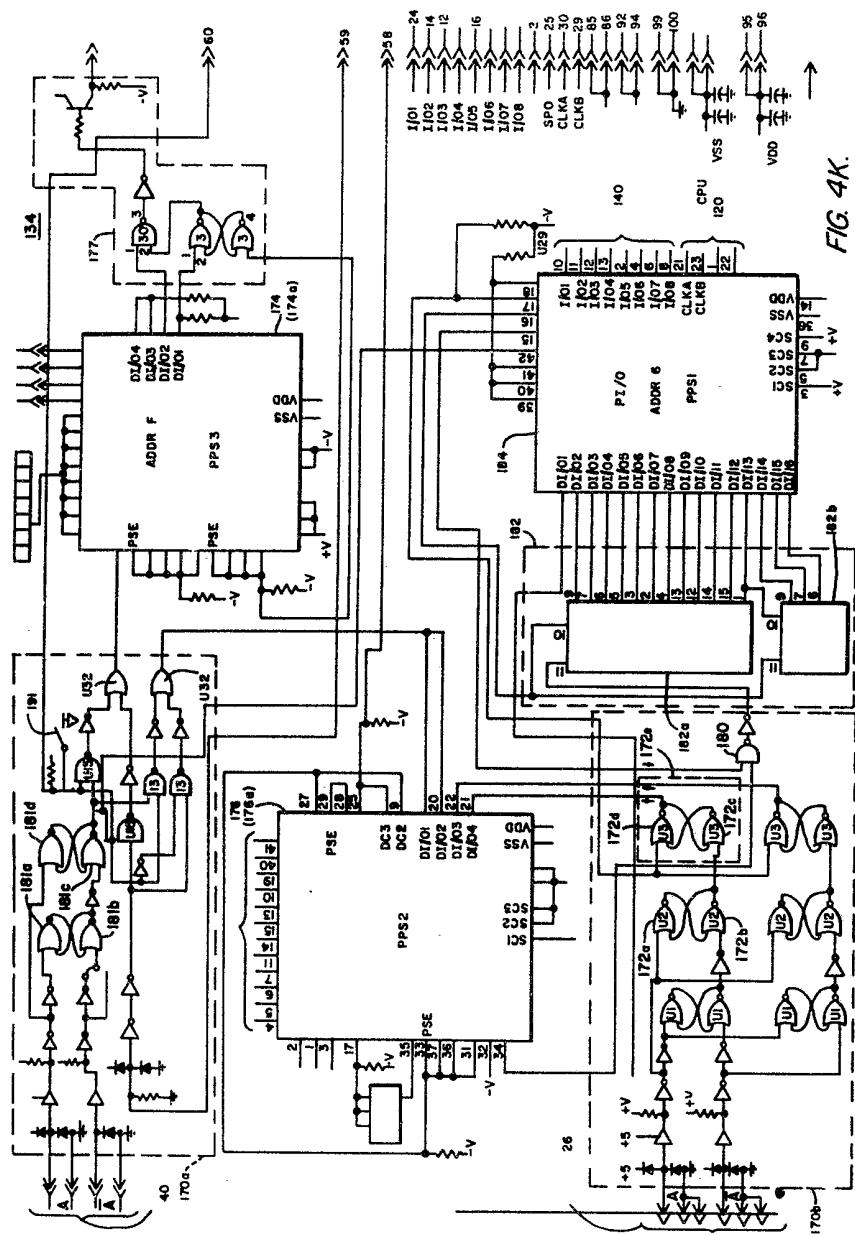


FIG. 4K.

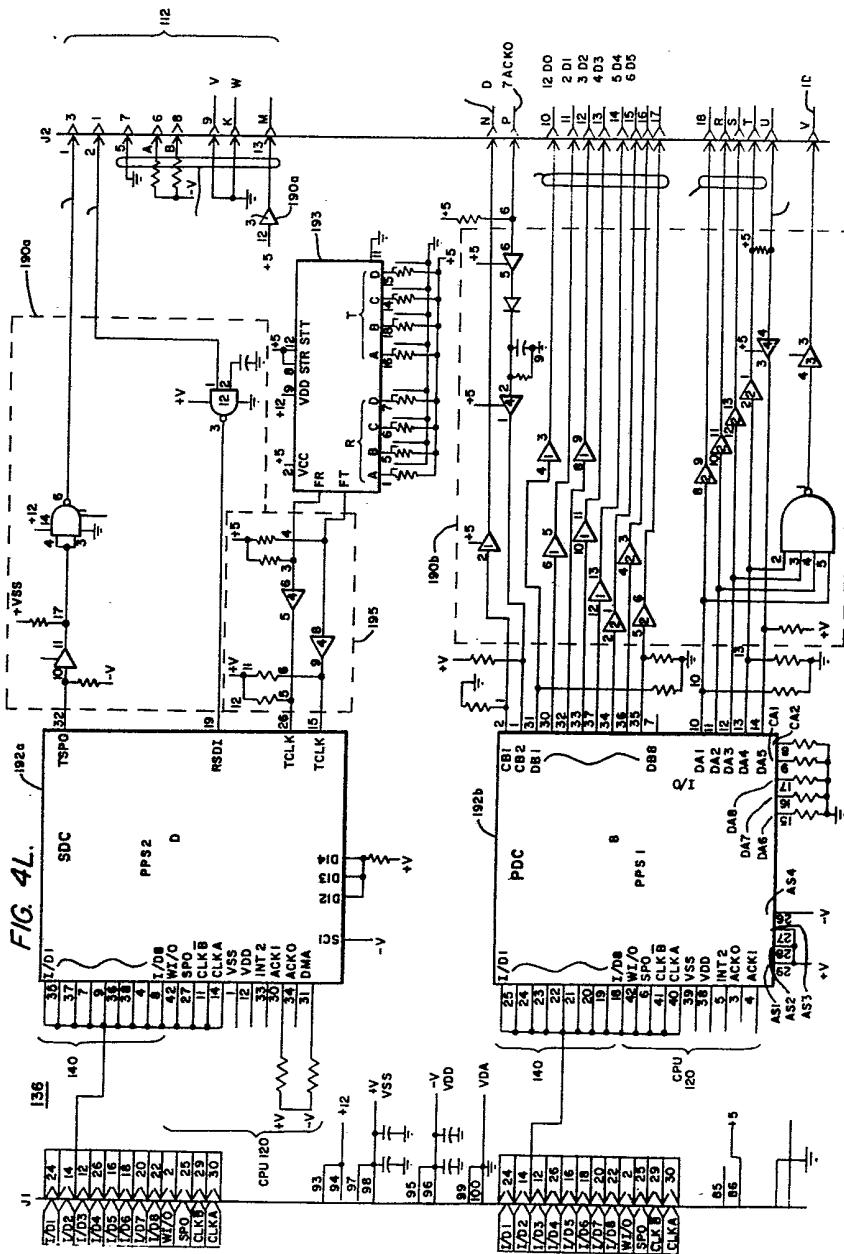
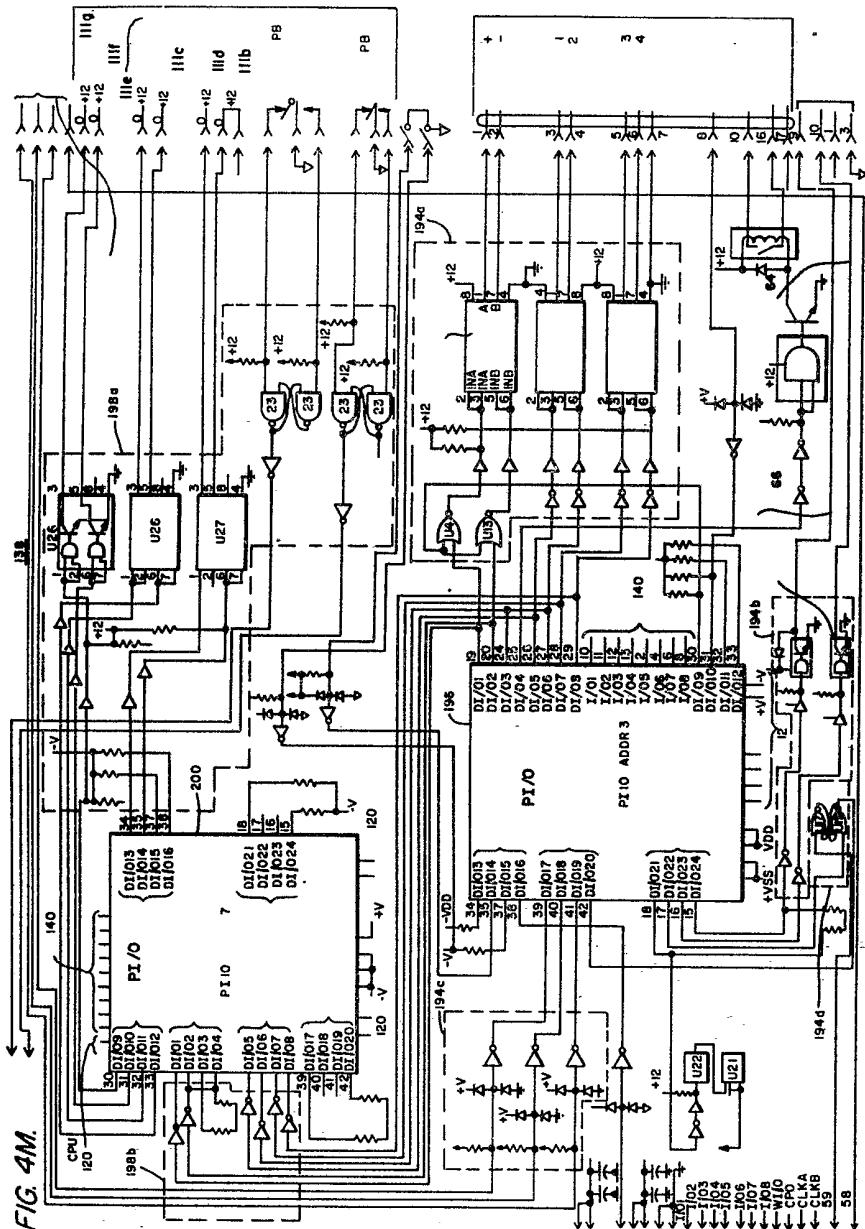


FIG. 4M



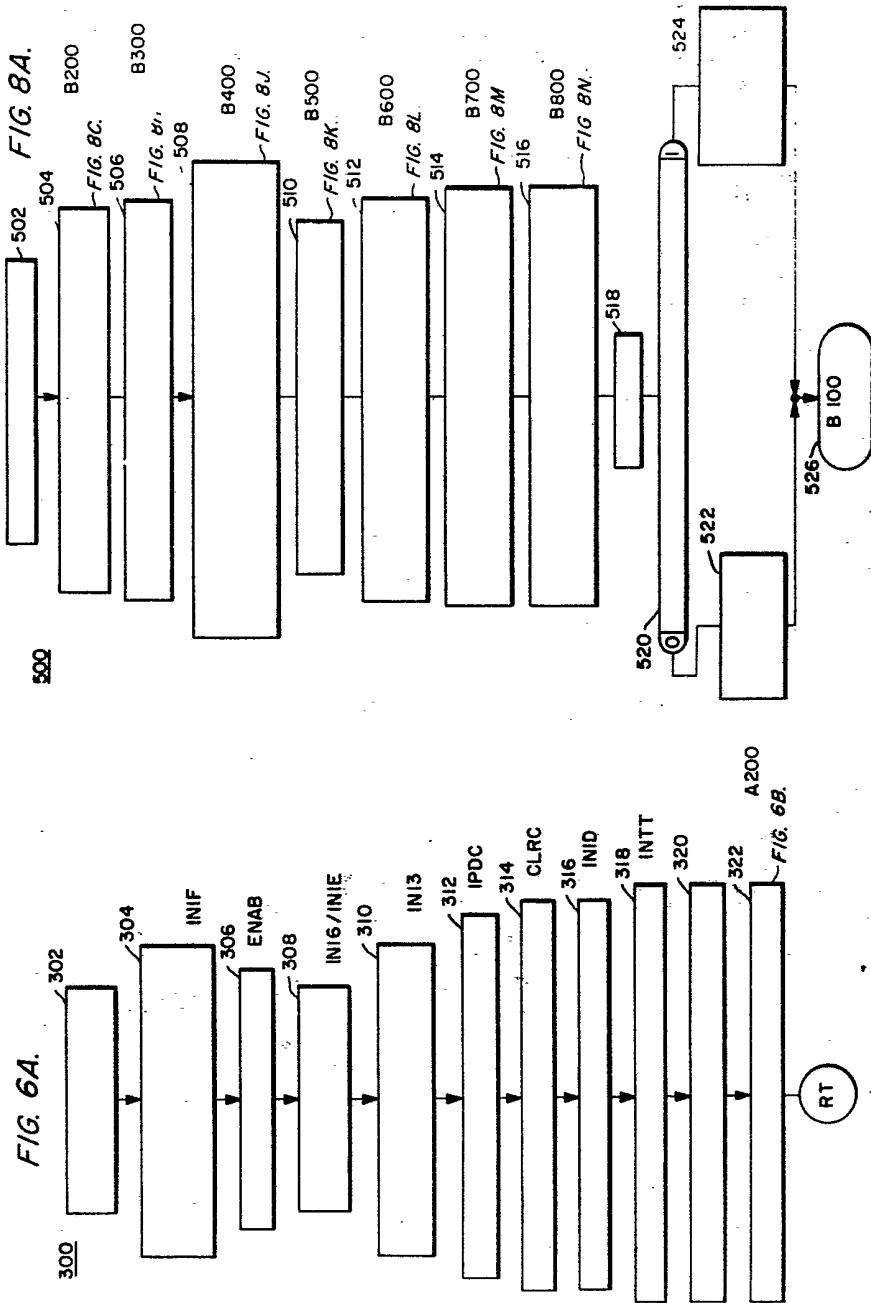


FIG. 6B.

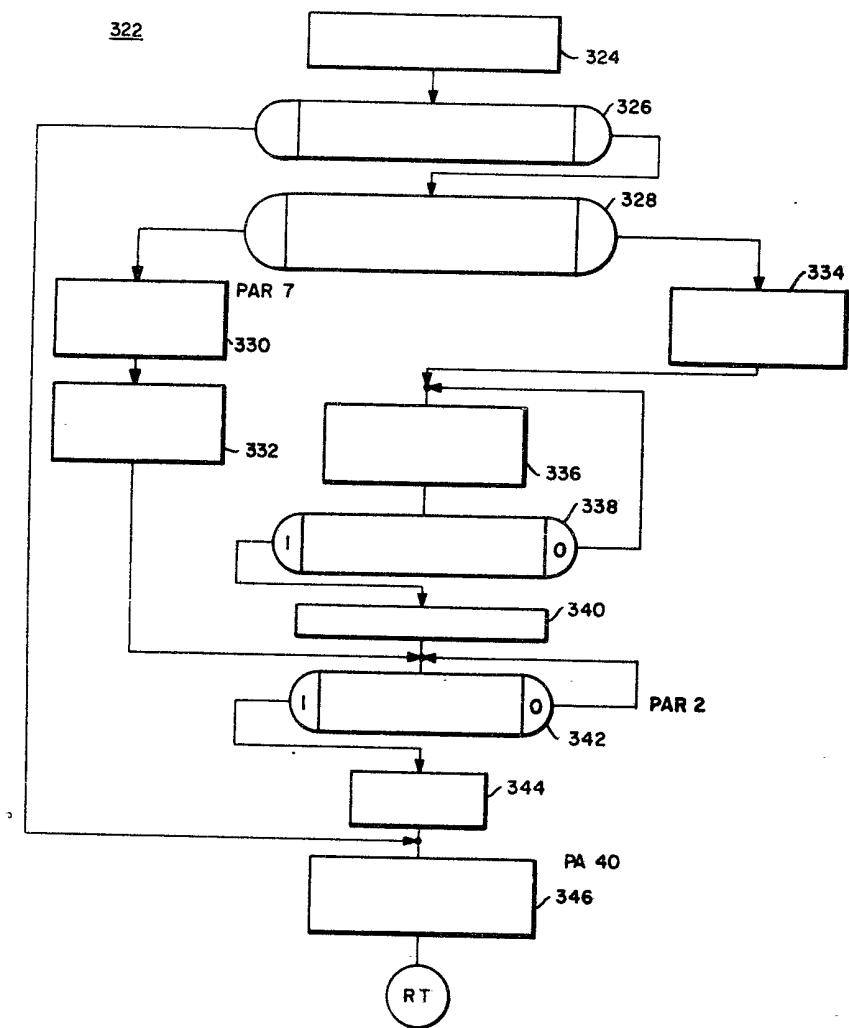
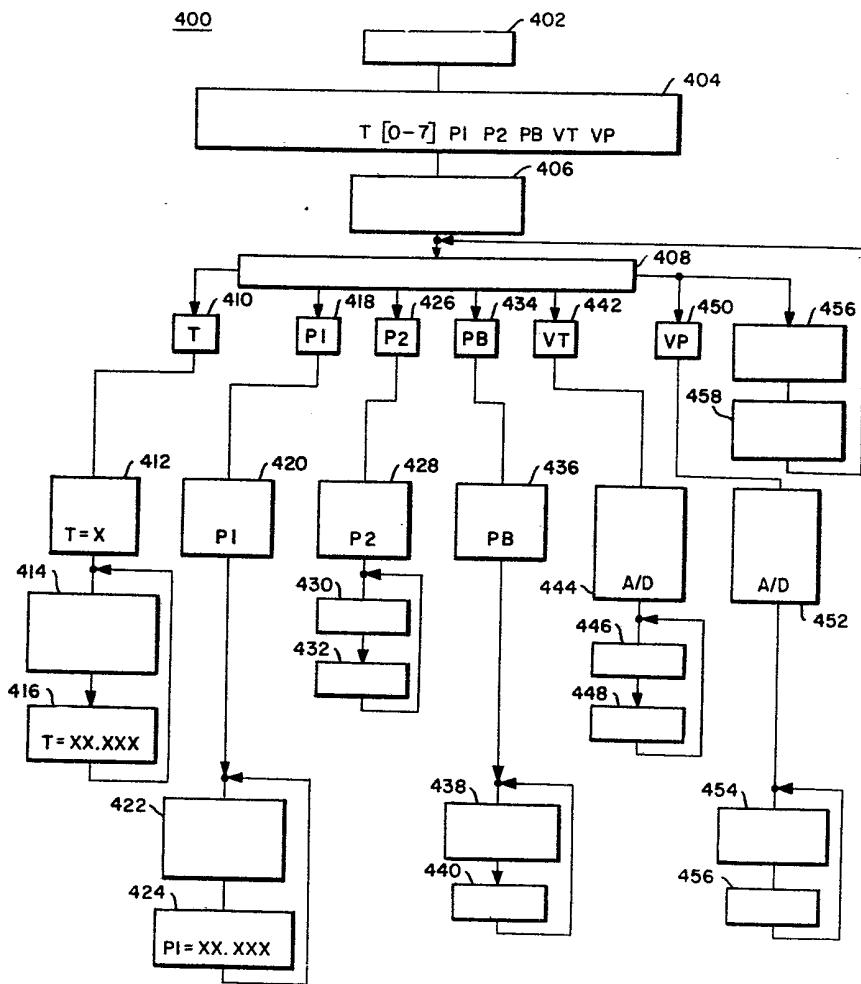


FIG. 7.



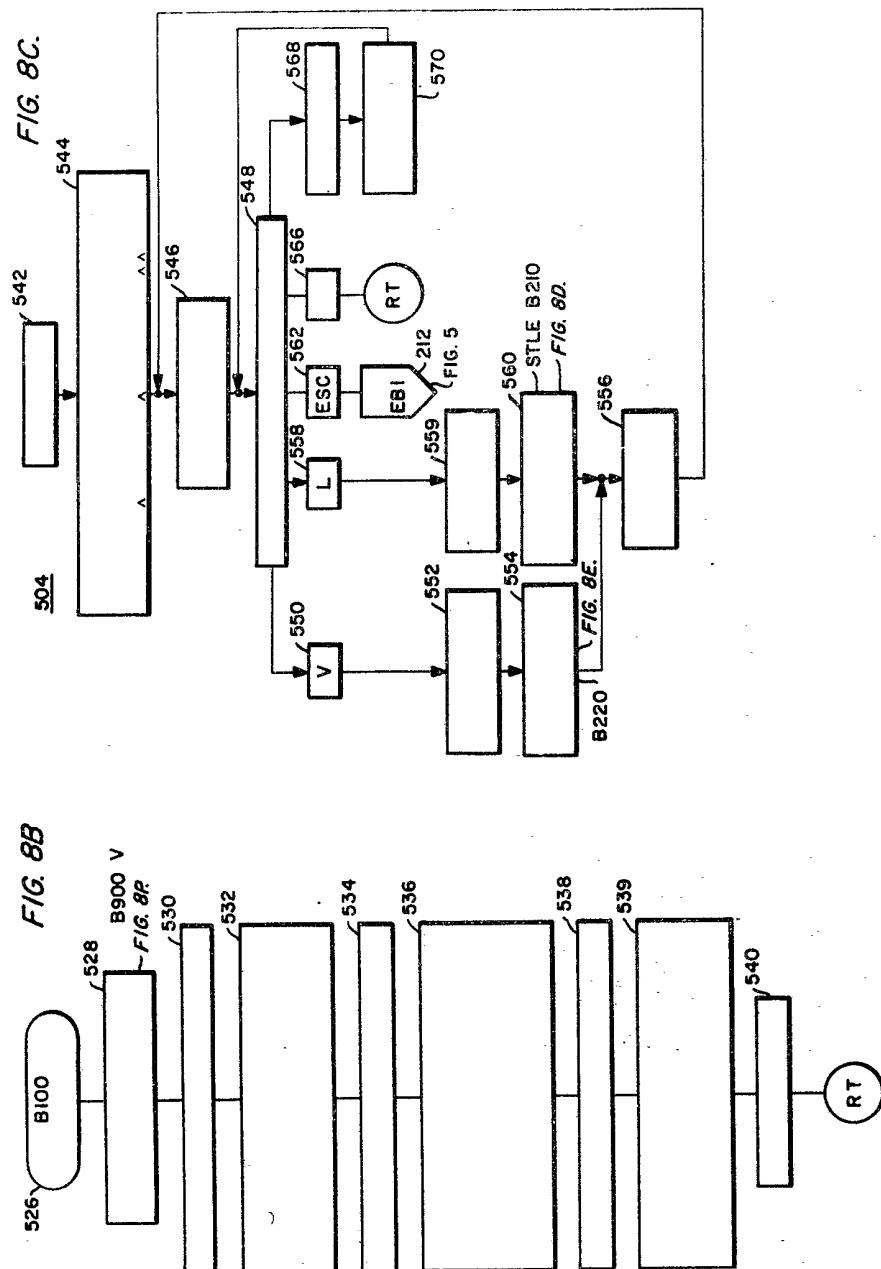


FIG. 8D.

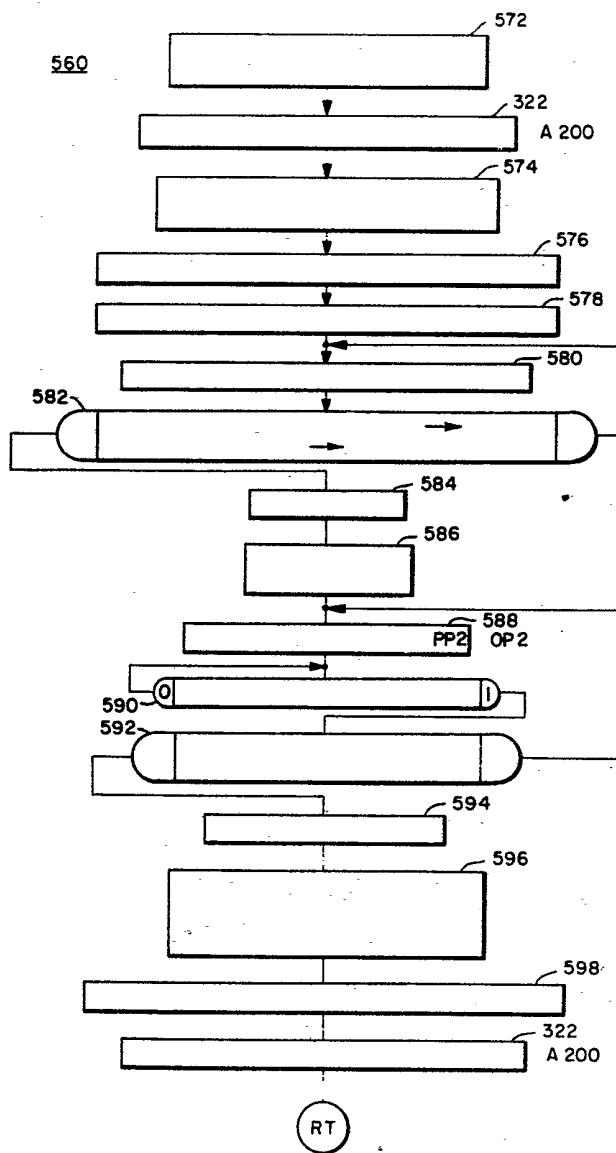


FIG. 8E.

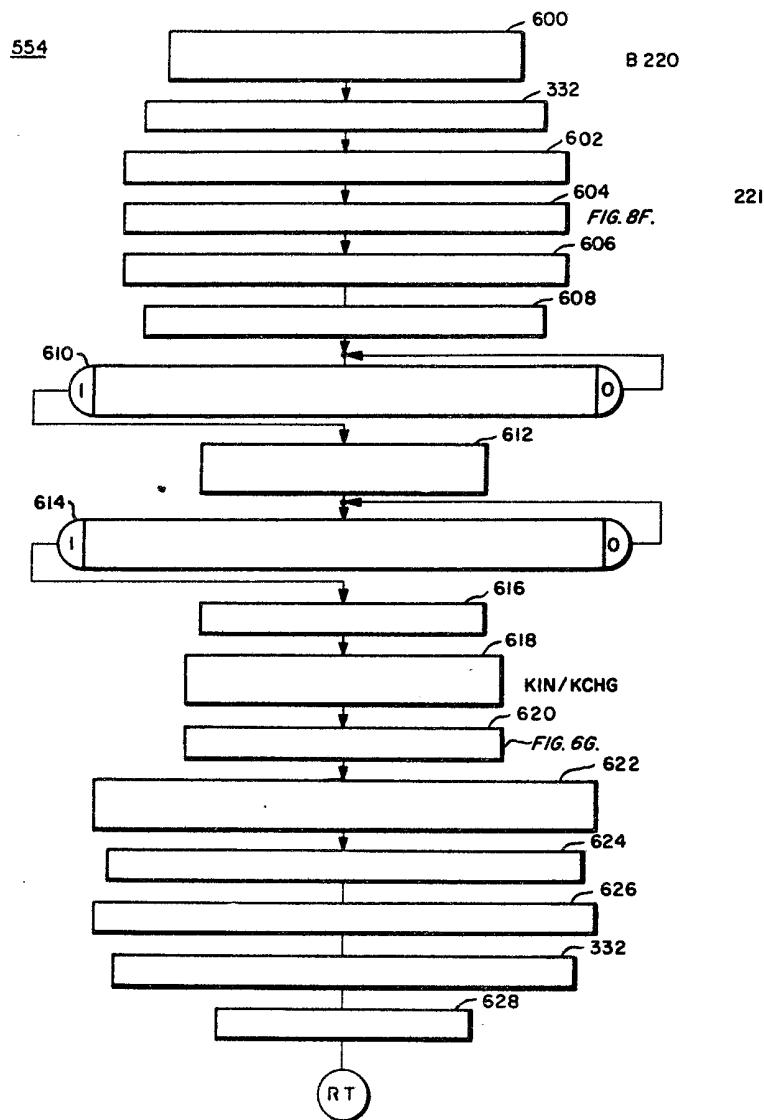


FIG. 8F.

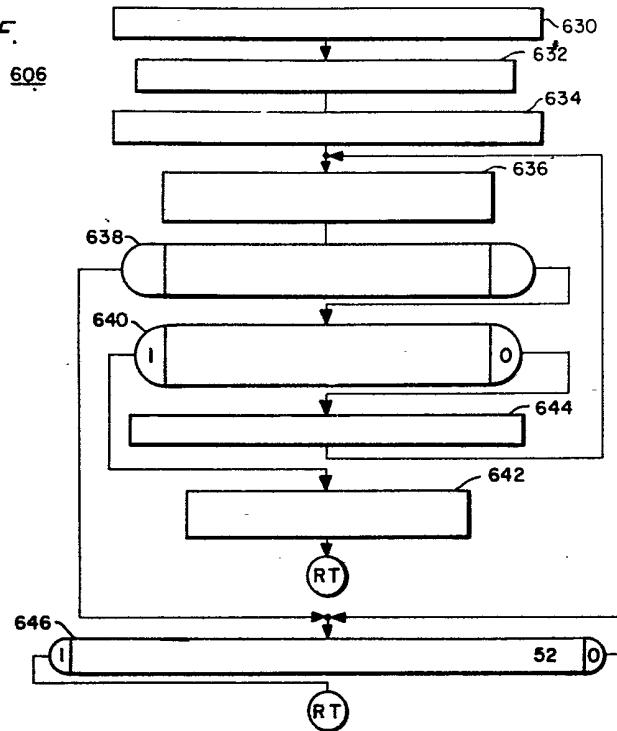


FIG. 8G.

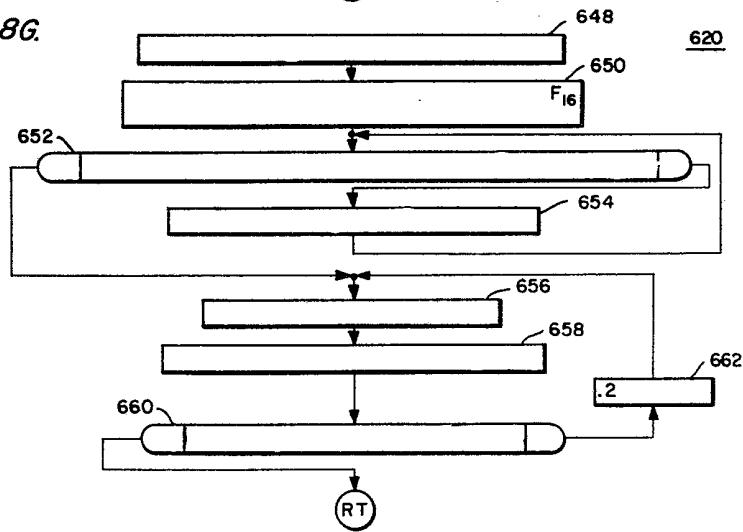


FIG. 8H.

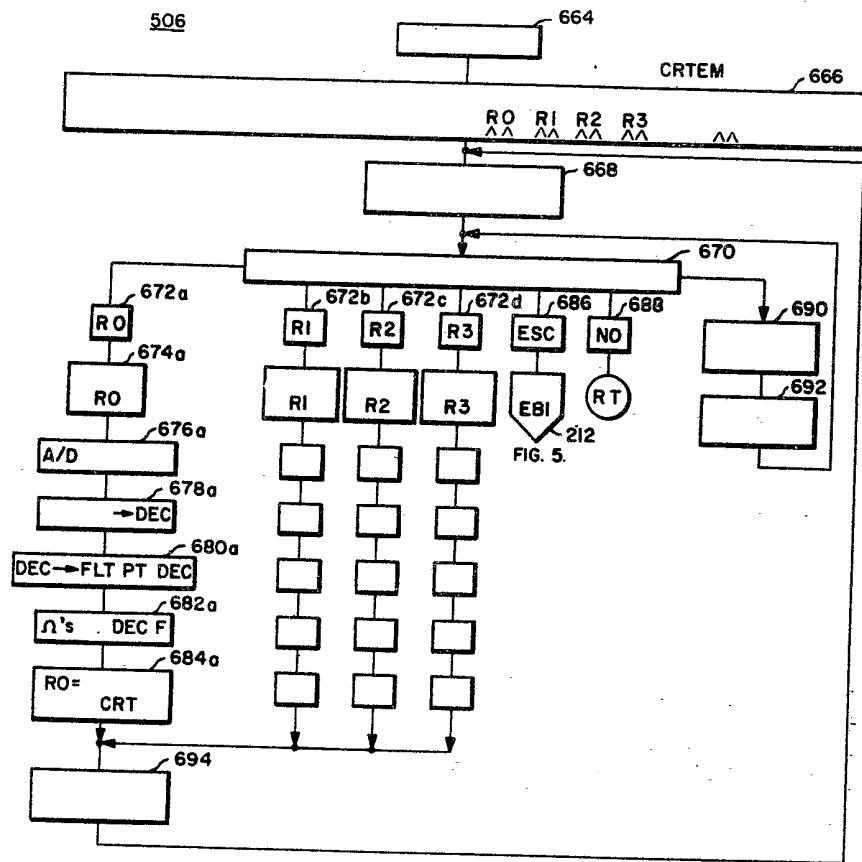


FIG. 8J.

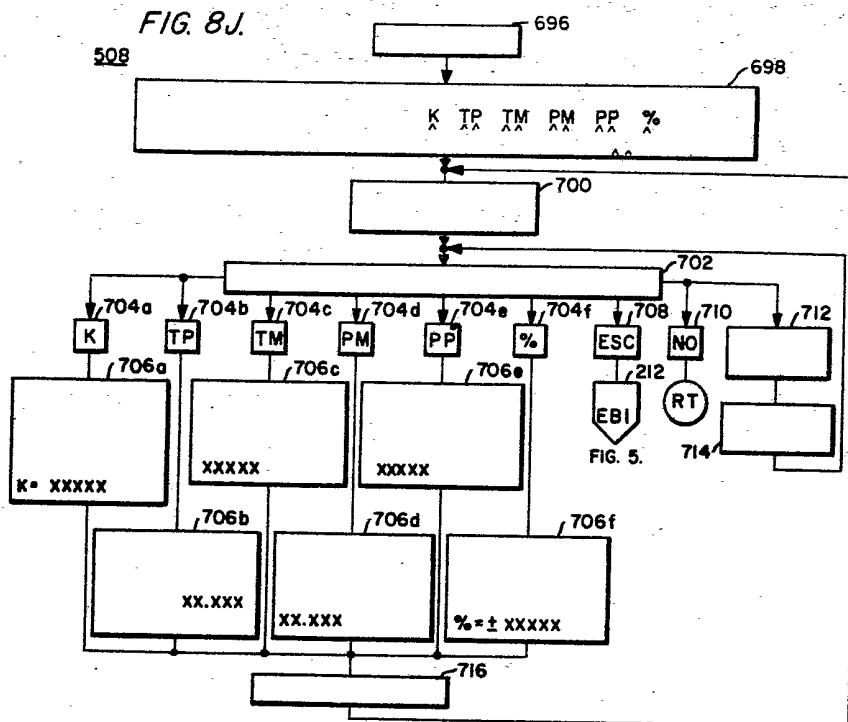


FIG. 8L.

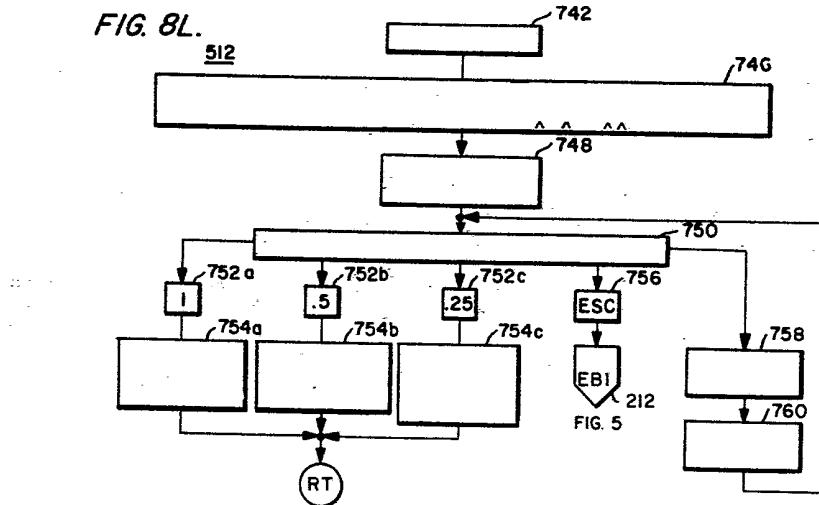


FIG. 8K.

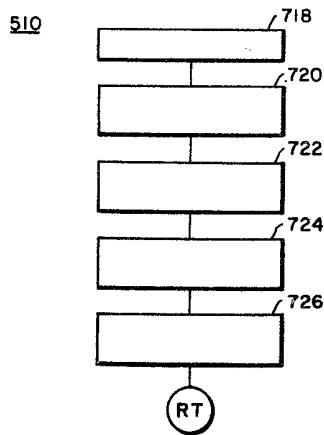


FIG. 8P

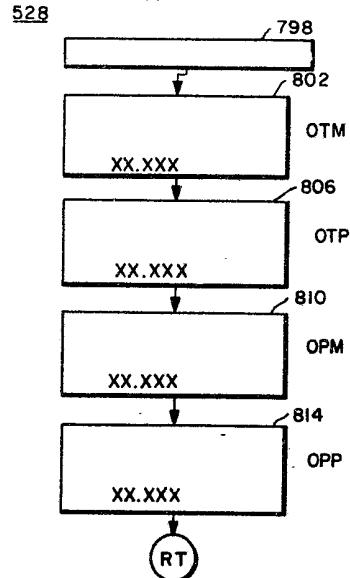


FIG. 8N.

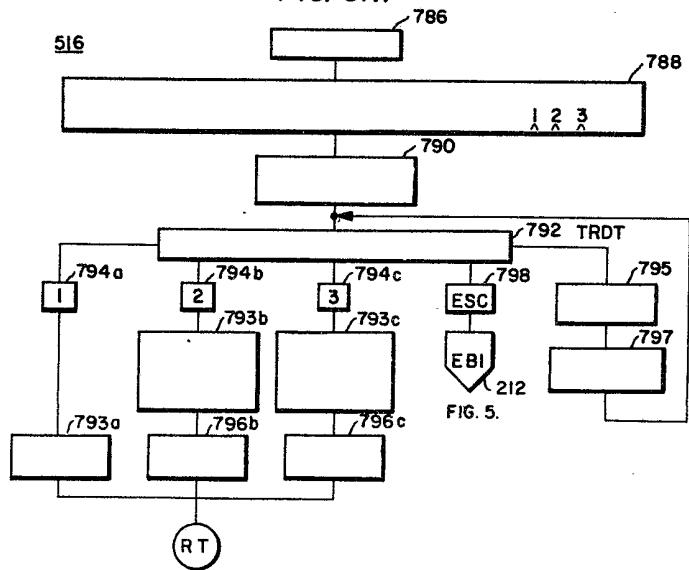
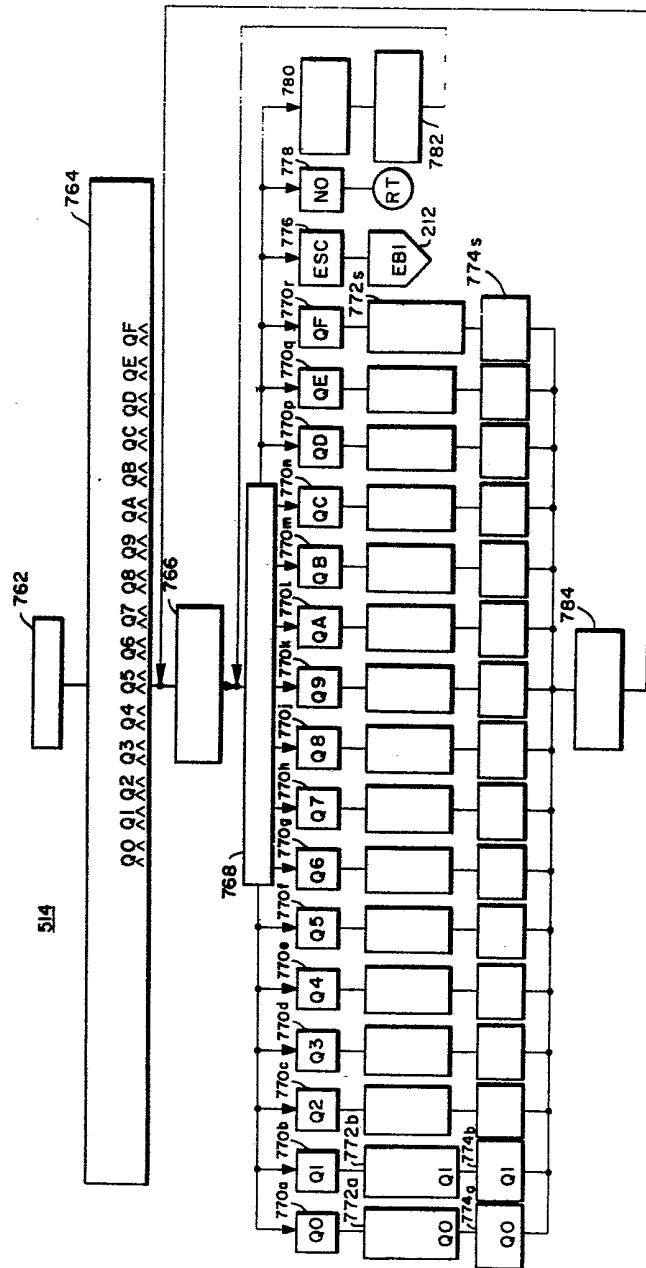


FIG. 8M.



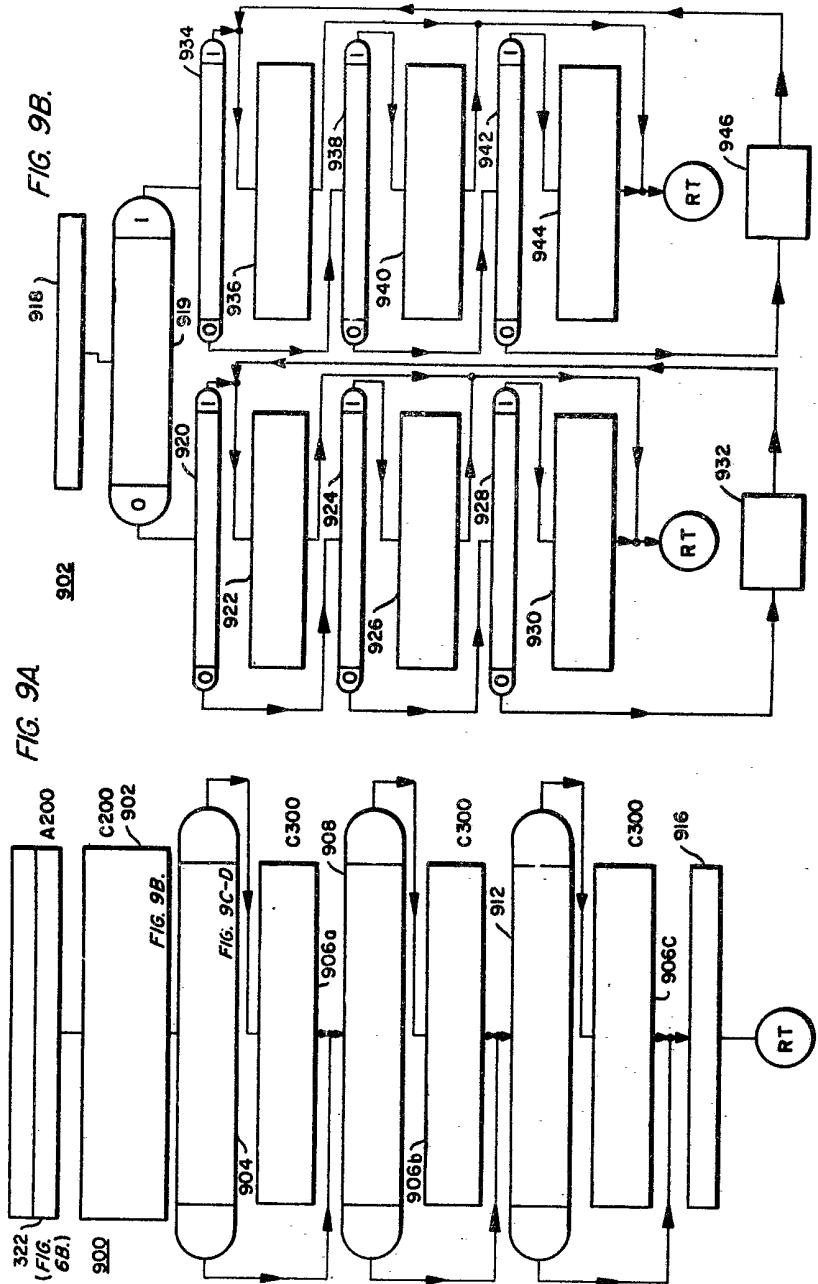


FIG. 9C.

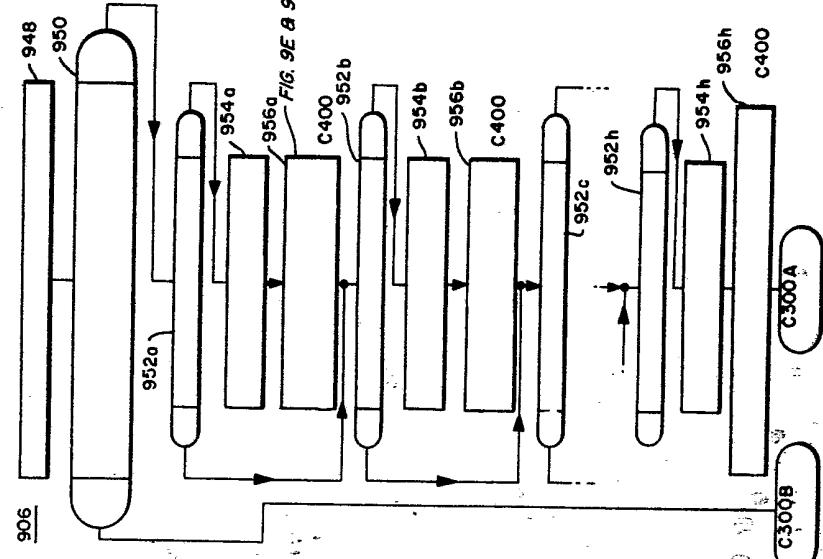


FIG. 9D.

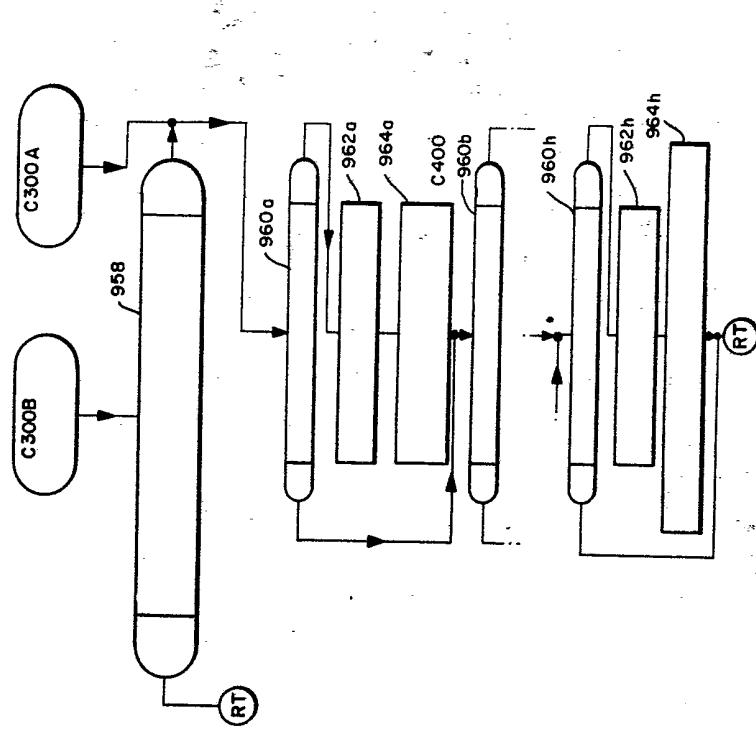


FIG. 9E.

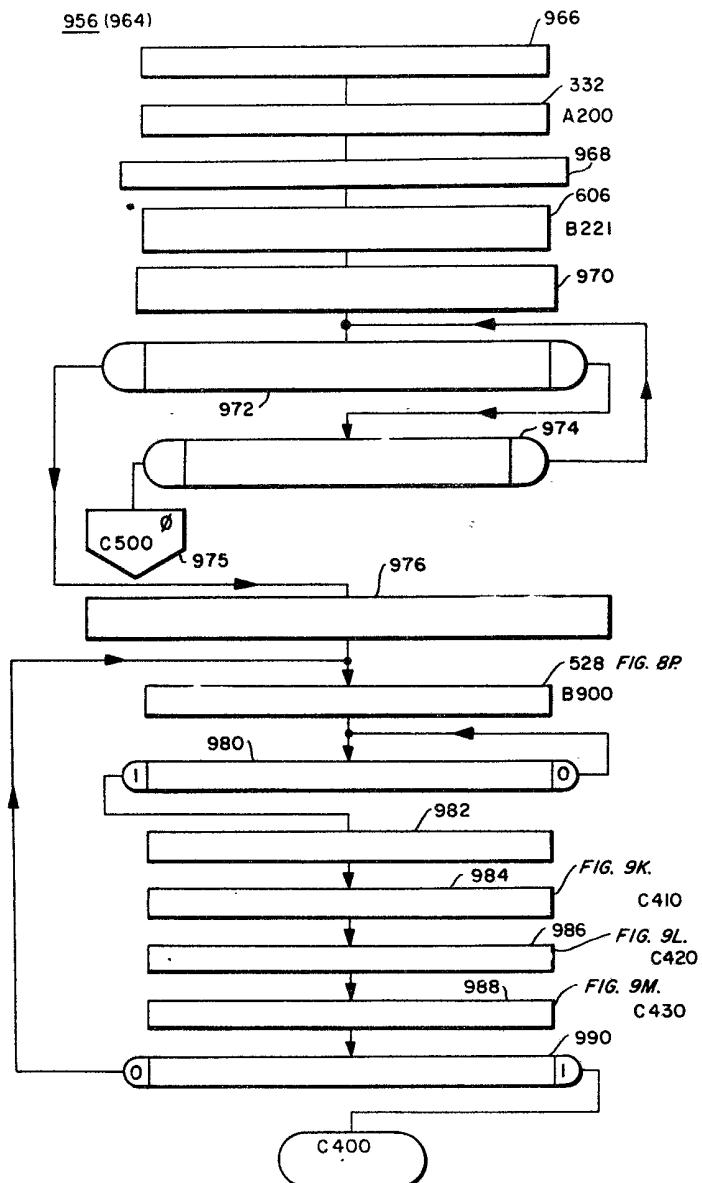


FIG. 9F.

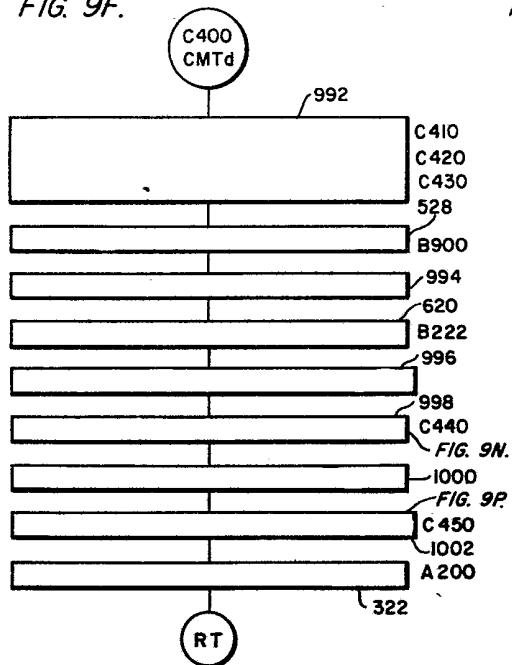


FIG. 9H.

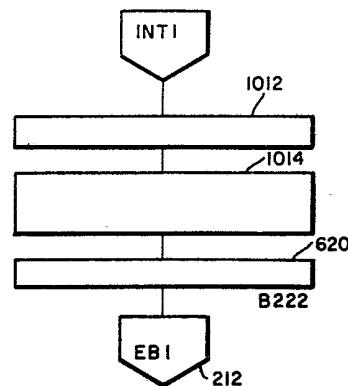


FIG. 9G.

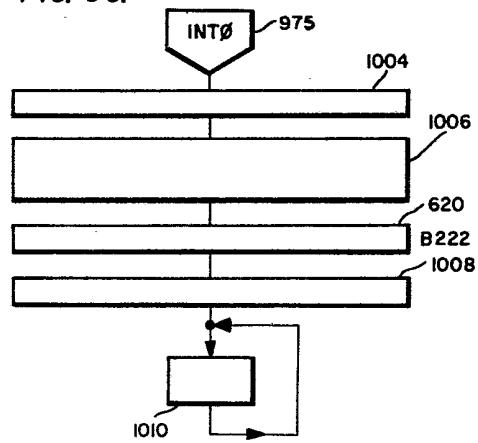


FIG. 9J.

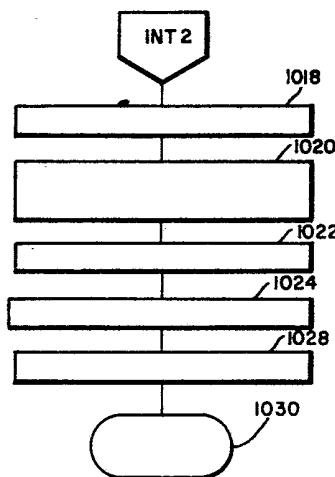


FIG. 9L.

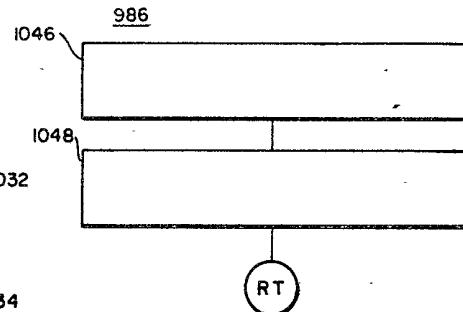


FIG. 9K.

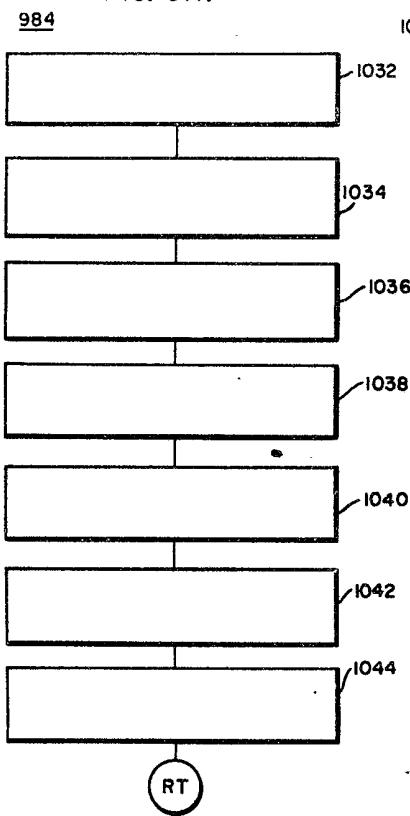


FIG. 9M.

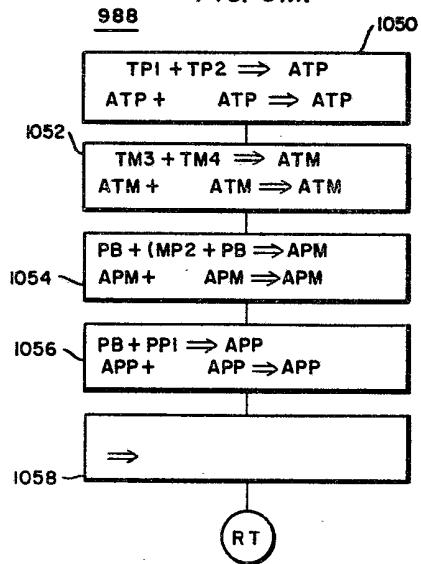


FIG. 9N.

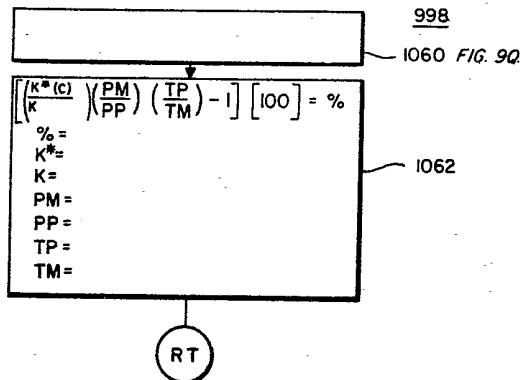


FIG. 9Q.

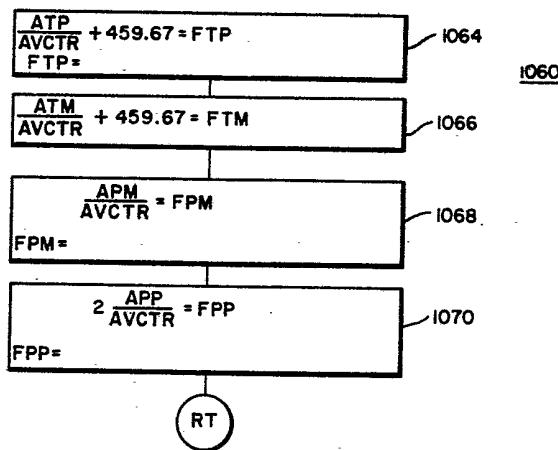


FIG. 9P.

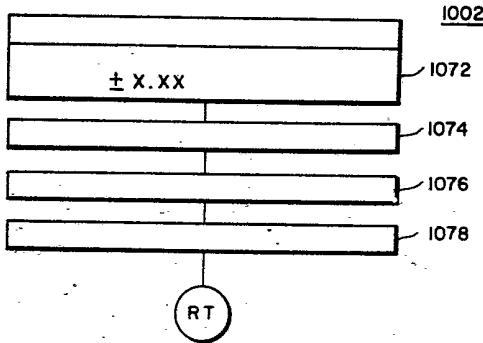
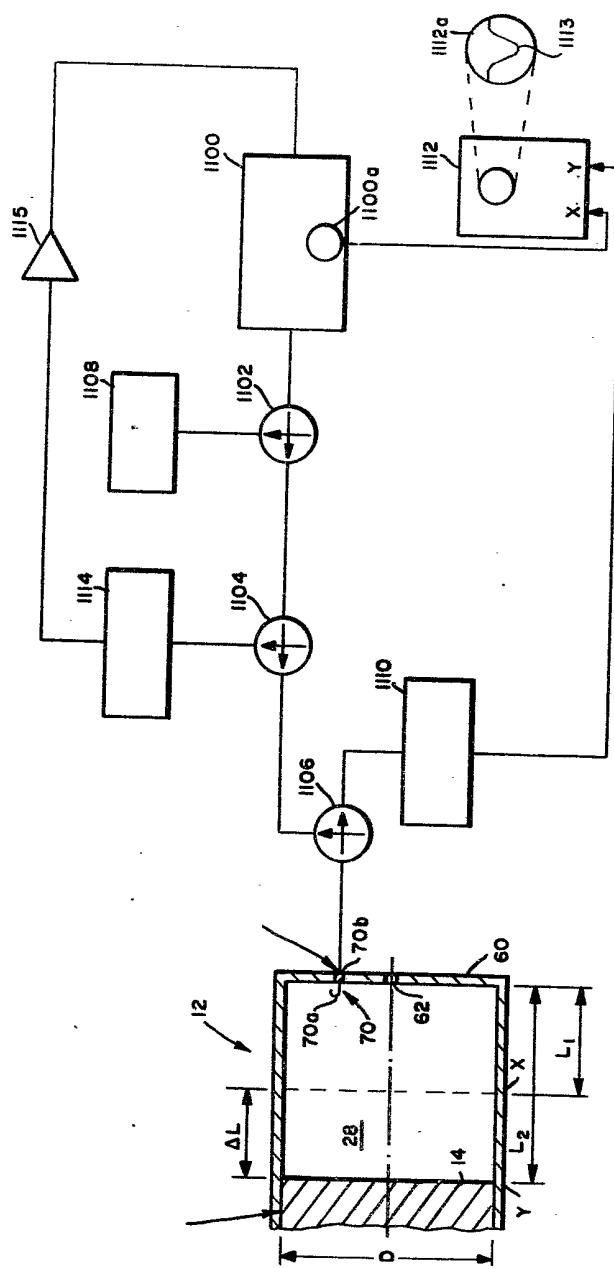


FIG. 10.



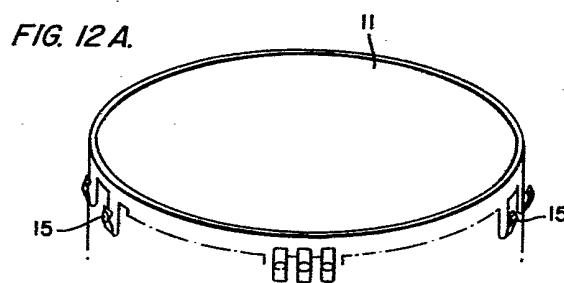
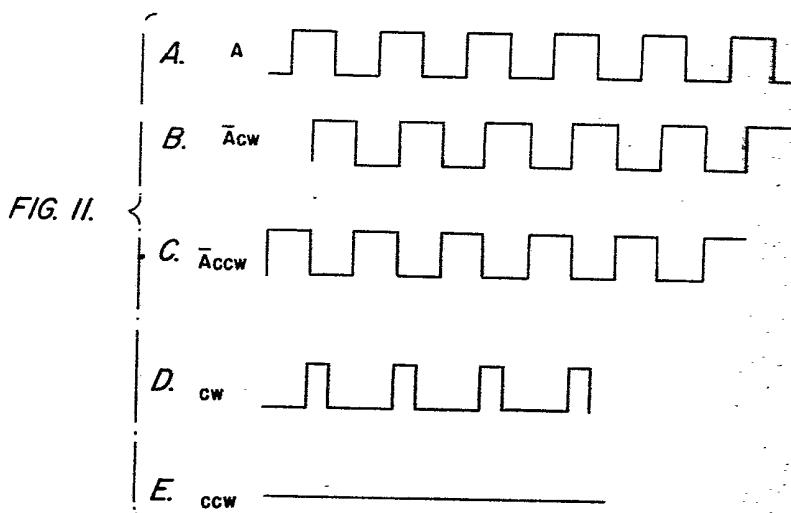


FIG. 12B.

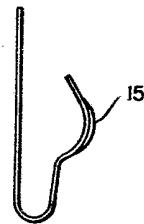


FIG. 13.

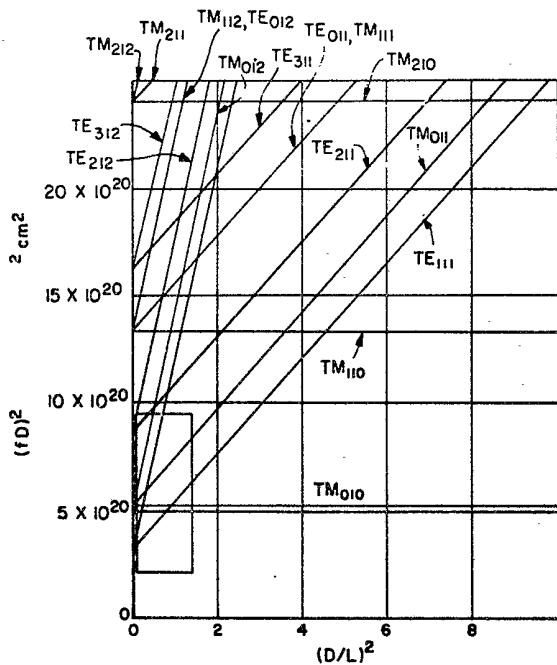


FIG. 14.

