



(11)

EP 1 710 440 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
11.10.2006 Bulletin 2006/41

(51) Int Cl.:
F04C 23/00 (2006.01) **F04C 28/08** (2006.01)
F04C 28/10 (2006.01) **F04C 28/02** (2006.01)
F04C 18/12 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06300288.5**

(22) Date de dépôt: **27.03.2006**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK YU

(72) Inventeur: **Rival, Jean-Luc**
74370, Villaz (FR)

(74) Mandataire: **Chaffraix, Sylvain**
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Département Propriété Industrielle
54, rue La Boétie
75008 Paris (FR)

(30) Priorité: **05.04.2005 FR 0503352**

(71) Demandeur: **ALCATEL**
75008 Paris (FR)

(54) Pompage à vide avec limitation d'énergie

(57) Un dispositif de pompage à vide selon l'invention comprend un moteur (1) entraînant une pompe mécanique sèche (2) multi-étagée dans laquelle les étages (5, 6, 7, 8) sont connectés successivement en parallèle puis en série, selon plusieurs configurations successives que l'on choisit chacune pour optimiser le débit de pompage

dans la plage de pression en cours. Cela permet de descendre rapidement la pression dans une enceinte (100), tout en réduisant d'environ 40 % le volume de la pompe et l'énergie consommée par rapport à une pompe traditionnelle de débit suffisant pour atteindre la même rapidité de pompage.

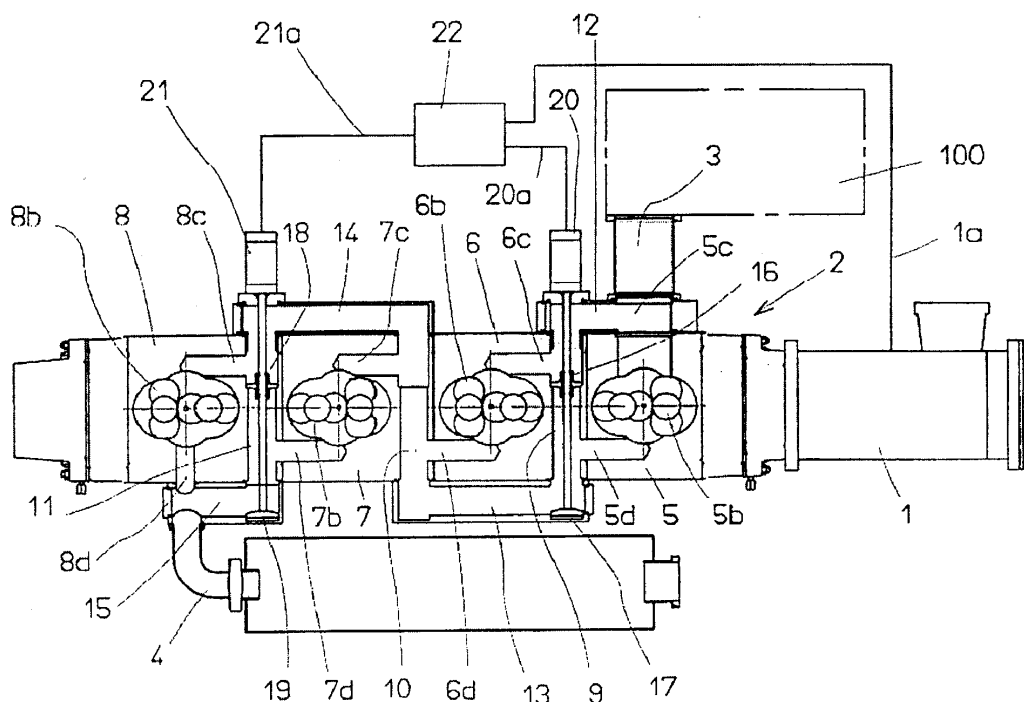


FIG. 2

Description

[0001] La présente invention concerne les dispositifs de pompage à vide capables d'établir et de maintenir un vide approprié dans une enceinte.

[0002] L'établissement d'un vide dans une enceinte est couramment utilisé notamment dans les processus industriels de fabrication de semi-conducteurs, certaines étapes de fabrication devant être exécutées sous vide.

[0003] Dans de tels processus, des substrats sont amenés dans une chambre de chargement (load lock) raccordée à un dispositif de pompage à vide qui abaisse la pression interne de la chambre de chargement à une valeur satisfaisante pour ensuite transférer les substrats de semi-conducteur dans une chambre de procédé dans laquelle règne le vide approprié pour la fabrication.

[0004] On comprend que chaque chargement ou déchargement de substrats nécessite de descendre puis de remonter alternativement la pression gazeuse dans la chambre de chargement, ce qui implique l'intervention fréquente du dispositif de pompage à vide.

[0005] On comprend également que l'établissement du vide dans la chambre de chargement n'est pas instantané, et que cela constitue une limite à la vitesse globale du processus de fabrication.

[0006] Cette limite est d'autant plus sensible lorsque les substrats ont une grande dimension. Tel est le cas, notamment, pour la fabrication des écrans plats de télévision ou d'affichage, la chambre de chargement ayant nécessairement le volume approprié pour contenir un ou plusieurs écrans plats.

[0007] Par exemple, actuellement, les chambres de chargement utilisées pour la fabrication des écrans plats ont des gros volumes, généralement de l'ordre de 500 à 1 000 litres, et dépassant parfois 5 000 litres, qu'il faut donc pomper le plus rapidement possible.

[0008] La solution actuellement utilisée pour pomper rapidement de telles chambres de chargement de gros volume est d'utiliser des grosses pompes équipées avec de gros moteurs. Il en résulte que les pompes et les moteurs constituent des éléments encombrants et onéreux, qui consomment une grande quantité d'énergie.

[0009] Le problème proposé par l'invention est de pomper rapidement une enceinte de gros volume, pour atteindre rapidement le vide approprié à l'intérieur de l'enceinte, en réduisant la dimension du dispositif de pompage à vide et en limitant la consommation d'énergie utilisée pour atteindre le vide satisfaisant.

[0010] L'invention résulte de l'observation selon laquelle un dispositif de pompage à vide donné présente généralement une caractéristique de débit en fonction de la pression qui comporte un maximum dans une plage de pression donnée, et la plage de pression à débit maximal dépend de l'architecture du dispositif de pompage à vide.

[0011] L'invention met à profit cette observation pour concevoir un dispositif de pompage à vide à géométrie variable, dans lequel on fait varier une ou plusieurs fois la géométrie pour optimiser le débit du dispositif de pompage à chaque étape du pompage, c'est-à-dire dans les différentes plages successives de pression dans l'enceinte pompée.

[0012] L'invention atteint ainsi le but recherché en utilisant une pompe mécanique sèche multi-étagée et un principe de connexion intelligent des étages en mode série/parallèle, combiné éventuellement avec un contrôle de la vitesse de la pompe.

[0013] On utilise ainsi une succession de plusieurs configurations des étages de pompage, configurations qui se succèdent au fur et à mesure de la baisse de la pression d'aspiration, et on choisit à chaque instant la configuration qui assure le débit maximum de pompage du dispositif de pompage.

[0014] En pratique, on passe d'une configuration à la suivante soit par temporisation ajustée en fonction du volume à pomper, soit par l'information de consommation électrique du moteur de la pompe, soit par l'information de pression donnée par une jauge de pression mesurant la pression dans l'enceinte pompée.

[0015] De la sorte, une pompe de taille relativement petite est capable de pomper plus vite, ce qui évite d'utiliser des pompes plus grosses entraînées par des moteurs plus gros et consommant une énergie plus importante.

[0016] Les économies de volume du dispositif de pompage et d'énergie consommée peuvent atteindre environ 40 %.

[0017] Pour atteindre ces buts ainsi que d'autres, l'invention propose un dispositif de pompage à vide, pour la descente en pression d'une enceinte, comprenant un moteur entraînant une pompe à vide mécanique sèche multi-étagée, chaque étage ayant une aspiration et un refoulement, et comprenant des canalisations pour raccorder les étages les uns aux autres, dans le circuit d'aspiration des gaz de l'enceinte. Le dispositif comprend des moyens de connexion fluidiques qui connectent les étages pour passer d'une première configuration dans laquelle les étages sont connectés au moins deux par deux en parallèle en une première étape de pompage à une dernière configuration dans laquelle les étages sont connectés en série en une dernière étape de pompage, en passant par au moins une configuration intermédiaire, optimisant le débit de pompage dans la plage de pression en cours, dans laquelle au moins un étage est connecté en parallèle à au moins un autre étage et au moins un étage est connecté en série à au moins un autre étage.

[0018] En pratique, les moyens de connexion fluidiques peuvent avantageusement comprendre des vannes pilotées par des moyens de commande électronique et insérées dans les canalisations.

[0019] Selon une forme d'exécution de l'invention, les moyens de commande électronique actionnent les vannes pour passer d'une configuration à la suivante en réponse à une évolution de la pression gazeuse dans l'enceinte. En effet,

la pression gazeuse dans l'enceinte est un indicateur fiable de la capacité de pompage du dispositif de pompage à vide dans la configuration en cours, et l'on peut comparer les courbes de débit des différentes configurations pour choisir, à chaque instant, la configuration qui présente la meilleure capacité de pompage.

[0020] En alternative, les moyens de commande électronique peuvent actionner les vannes pour passer d'une configuration à la suivante en réponse à une évolution de la puissance consommée par le moteur de la pompe. En effet, la puissance consommée par le moteur est également un paramètre possible qui donne une indication sur l'état optimal ou non de la configuration en cours des étages, car la puissance consommée par le dispositif de pompage augmente au-delà d'une valeur limite après que le maximum de la courbe de débit ait été atteint.

[0021] Selon une autre possibilité, les moyens de commande électronique peuvent actionner les vannes pour passer d'une configuration à la suivante après une durée prédéfinie qui est fonction du volume de l'enceinte pompée. En effet, pour un même volume d'enceinte à pomper, on peut déterminer, par apprentissage, quels sont les instants où il faut commuter d'une configuration à la suivante pour rester en permanence dans la configuration optimisant le débit du dispositif de pompage à vide.

[0022] De préférence, les vannes et les canalisations inter-étages sont intégrées dans le corps de la pompe à vide.

[0023] En première étape de pompage, lorsque la pression dans l'enceinte est encore élevée, on choisit une première configuration dans laquelle des étages sont en parallèle. En dernière étape de pompage, lorsque la pression est basse dans l'enceinte, on choisit une dernière configuration dans laquelle les étages sont en série afin d'augmenter le taux de compression et d'atteindre ainsi une pression encore plus basse dans l'enceinte. En complément, en dernière étape de pompage, les moyens de commande électronique peuvent avantageusement augmenter la vitesse du moteur, et donc la vitesse de la pompe, au-delà de sa vitesse nominale, étant observé que la vitesse nominale peut être augmentée sans dépasser la limite de puissance car l'étage basse pression, qui limite la puissance, est dans une zone de faible compression pendant cette étape.

[0024] Lorsque l'état de pression désiré est atteint dans l'enceinte, les moyens de commande électronique peuvent mettre le dispositif de pompage à vide dans un mode de fonctionnement économique, soit en réduisant la vitesse de rotation du moteur pour assurer un pompage de maintien en pression, soit en connectant un étage de pompage supplémentaire de petit débit au refoulement, pour assurer le maintien en pression.

[0025] Selon un premier mode de réalisation de l'invention le dispositif comprend quatre étages connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, les troisième et quatrième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages, les deux couples d'étages et étant connectés en série dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages restent connectés en parallèle l'un avec l'autre, les troisième et quatrième étages sont connectés en série l'un avec l'autre, le premier couple d'étages des premier et second étages étant connecté en série avec le second couple d'étages des troisième et quatrième étages,

c) selon une troisième configuration, en dernière étape de pompage, les quatre étages sont connectés en série les uns avec les autres.

[0026] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention le dispositif comprend cinq étages connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage, les premier, second et troisième étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages, les quatrième et cinquième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages, le groupe d'étage et le couples d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, les troisième et quatrième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages, les premier et second couples d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre et avec le cinquième étage,

c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages, les troisième, quatrième et cinquième étages étant connectés en série et avec le couple d'étages,

d) selon une quatrième configuration, en dernière étape de pompage, les cinq étages sont connectés en série les uns avec les autres.

[0027] Selon un troisième mode de réalisation de l'invention le dispositif comprend six étages connectés selon les

configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage, les premier, second et troisième étages sont connectés en parallèle, formant un premier groupe d'étages, les quatrième, cinquième et sixième étages sont connectés en parallèle, formant un second groupe d'étages, les premier et second groupes d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage, les premier, second et troisième étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages, les troisième et quatrième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages, le groupe d'étages et le couple d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre et avec le sixième étage,

c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage, les premier, second et troisième étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages, les quatrième, cinquième et sixième étages étant connectés en série et avec le couple d'étages,

d) selon une quatrième configuration, en troisième étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages, les troisième, quatrième, cinquième et sixième étages étant connectés en série et avec le couple d'étages,

e) selon une cinquième configuration, en dernière étape de pompage, les six étages sont connectés en série les uns avec les autres.

[0028] Selon un quatrième mode de réalisation de l'invention le dispositif comprend six étages connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage, les premier, second et troisième étages sont connectés en parallèle, formant un premier groupe d'étages, les quatrième, cinquième et sixième étages sont connectés en parallèle, formant un second groupe d'étages, les premier et second groupes d'étages étant connectés en série dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, les troisième et quatrième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages, les cinquième et sixième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un troisième couple d'étages, les premier, second et troisième couples d'étages étant connectés en série,

c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, les troisième et quatrième étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages, les cinquième et sixième étages sont connectés en série l'un avec l'autre et avec les premier et second couples d'étages,

d) selon une quatrième configuration, en troisième étape intermédiaire de pompage, les premier et second étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages, les troisième, quatrième, le cinquième et le sixième étages étant connectés en série et avec le couple d'étages,

e) selon une cinquième configuration, en dernière étape de pompage, les six étages sont connectés en série les uns avec les autres.

[0029] Selon un autre aspect, l'invention propose un procédé de pompage à vide par pompe mécanique sèche multi-étagée pour la descente en pression d'une enceinte, dans lequel on connecte les étages de la pompe selon plusieurs configurations successives pour passer d'une première configuration dans laquelle les étages sont connectés au moins deux par deux en parallèle en une première étape de pompage à une dernière configuration dans laquelle les étages sont connectés en série en une dernière étape de pompage, en passant par au moins une configuration intermédiaire, choisies chacune pour optimiser le débit de pompage dans la plage de pression en cours. Dans la configuration intermédiaire, au moins un étage d'aspiration est connecté en parallèle à au moins un autre étage d'aspiration et au moins un étage de refoulement est connecté en série à au moins un autre étage.

[0030] Dans un tel procédé, on peut prévoir que, en première étape de pompage, les étages sont connectés au moins deux par deux en parallèle, en dernière étape de pompage les étages sont connectés en série, avec ou sans une étape de pompage intermédiaire dans laquelle les étages d'aspiration restent en parallèle tandis que les étages de refoulement sont en série.

[0031] En complément, en dernière étape de pompage, on peut augmenter temporairement la vitesse de la pompe au-delà de sa vitesse nominale.

[0032] D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 illustre schématiquement une structure connue de dispositif de pompage à vide, dans lequel la pompe multi-étagée est de type ROOTS, avec quatre étages de pompage en série,
- la figure 2 est une vue schématique d'un dispositif de pompage à vide selon un mode de réalisation de la présente invention, comportant à nouveau quatre étages de type ROOTS, les étages étant connectés selon une première configuration,
- la figure 3 est une vue en perspective partiellement ouverte du dispositif de pompage de la figure 2,
- la figure 4 est un schéma de principe illustrant le mode de connexion des étages de la pompe dans la première configuration de la figure 2,
- la figure 5 illustre schématiquement le dispositif de pompage du mode de réalisation de la figure 2, dans une seconde configuration,
- la figure 6 est le schéma de principe illustrant le mode de connexion des étages de la pompe dans la seconde configuration de la figure 5,
- la figure 7 est un schéma de principe illustrant la connexion des étages de la pompe dans une troisième configuration,
- la figure 8 représente la courbe de débit du dispositif de pompage des figures 2 à 7, en fonction de la pression dans l'enceinte pompée, et
- la figure 9 illustre la courbe de consommation électrique du dispositif de pompage des figures 2 à 7 au cours de la descente en pression d'une enceinte,
- les figures 10A à 10D illustrent schématiquement un dispositif de pompage à vide selon un mode de réalisation de la présente invention, comportant cinq étages de type ROOTS, dans quatre configurations successives au fur et à mesure de la baisse de pression dans la chambre,
- les figures 11A à 11 DE illustrent schématiquement un dispositif de pompage à vide selon un mode de réalisation de la présente invention, comportant six étages de type ROOTS, dans cinq configurations successives au fur et à mesure de la baisse de pression dans la chambre,
- les figures 12B et 12C représente un mode de réalisation alternatif respectivement des figures 11B et 11C.

[0033] On considère tout d'abord la structure de dispositif de pompage connue illustrée sur la figure 1.

[0034] Un tel dispositif comprend un moteur 1 qui entraîne une pompe 2 de type ROOTS multi-étagée qui aspire les gaz d'une enceinte 100 par une aspiration 3 et qui les refoule au refoulement 4.

[0035] La pompe 2 comprend, dans la réalisation illustrée, quatre étages successifs respectivement 5, 6, 7 et 8, ayant chacun un étage de stator, respectivement 5a, 6a, 7a et 8a, et un étage de rotor double respectivement 5b, 6b, 7b et 8b.

[0036] Chaque étage comprend une aspiration, respectivement 5c, 6c, 7c et 8c, et un refoulement, respectivement 5d, 6d, 7d et 8d.

[0037] Dans ce dispositif connu, les étages successifs sont raccordés en série les uns à la suite des autres par des canalisations inter-étages respectives 9, 10 et 11. Chaque canalisation inter-étages 9-11 raccorde, dans cette pompe connue, le refoulement de l'étage qui précède à l'aspiration de l'étage qui suit. Par exemple, la canalisation inter-étages 9 raccorde le refoulement 5d à l'aspiration 6c. Ce raccordement n'est pas modifié en cours du processus de pompage.

[0038] On considère maintenant la figure 2, qui illustre une structure de dispositif de pompage à vide selon un mode de réalisation de l'invention.

[0039] Ce mode de réalisation reprend la structure générale d'une pompe ROOTS multi-étagée traditionnelle telle qu'illustrée sur la figure 1, en apportant des adaptations permettant de modifier la connexion des étages les uns avec les autres. On retrouve ainsi, sur la figure 2, les principaux éléments de la pompe de la figure 1, et ces éléments sont repérés par les mêmes références numériques.

[0040] C'est ainsi que l'on retrouve les quatre étages 5-8, avec leurs aspirations respectives 5c-8c, avec leurs refoulements respectifs 5d-8d, et avec les canalisations inter-étages 9-11.

[0041] La canalisation inter-étages 9 relie le refoulement 5d à l'aspiration 6c ; la canalisation inter-étages 10 relie le refoulement 6d à l'aspiration 7c ; la canalisation inter-étages 11 relie le refoulement 7d à l'aspiration 8c.

[0042] Selon l'invention, on prévoit en outre une première canalisation de dérivation 12 entre l'aspiration 5c et la canalisation inter-étages 9, une seconde canalisation de dérivation 13 entre la canalisation inter-étages 9 et la canalisation inter-étages 10, une troisième canalisation de dérivation 14 entre la canalisation inter-étages 10 et la canalisation inter-étages 11, et une quatrième canalisation de dérivation 15 entre la canalisation inter-étages 11 et le refoulement 8d, comme illustré sur la figure.

[0043] On prévoit enfin, sur la figure 2, quatre vannes, respectivement 16, 17, 18 et 19. La vanne 16 est agencée pour mettre sélectivement en communication l'aspiration 6c soit avec la canalisation de dérivation 12, soit avec la canalisation inter-étages 9 et le refoulement 5d. La vanne 17 est agencée pour obturer sélectivement la canalisation de dérivation 13. La vanne 18 est agencée pour mettre sélectivement en communication l'aspiration 8c soit avec la canalisation de dérivation 14, soit avec la canalisation inter-étages 11 et le refoulement 7d. Enfin, la vanne 19 est agencée pour obturer sélectivement la canalisation de dérivation 15.

[0044] Dans la réalisation illustrée sur la figure 2, les vannes 16 et 17 sont couplées mécaniquement l'une à l'autre

par une tige d'actionnement longitudinale engagée dans la canalisation inter-étages 9 et sollicitée par un actionneur 20. De même, les vannes 18 et 19 sont couplées mécaniquement l'une à l'autre sur une tige longitudinale sollicitée par un actionneur 21.

[0045] Dans la première configuration du dispositif de pompage, au cours d'une première étape de pompage E1, les actionneurs 20 et 21 sont abaissés, les vannes 16-19 sont abaissées comme illustré sur la figure 2. Les premier 5 et second 6 étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, et les troisième 7 et quatrième 8 étages sont en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages. Les deux couples d'étages sont en série dans le chemin d'écoulement des gaz entre l'aspiration 3 et le refoulement 4.

[0046] Les actionneurs 20 et 21 sont pilotés par une commande électronique 22, à laquelle ils sont connectés par des lignes 20a et 21 a. La commande électronique 22 comprend par exemple un processeur associé à des mémoires contenant un programme pour alimenter de façon appropriée les actionneurs 20 et 21 et assurer le positionnement approprié des vannes 16-19 selon les différentes étapes de fonctionnement du dispositif telles qu'elles seront décrites ci-après.

[0047] Le moteur 1 est également piloté en vitesse par la commande électronique 22, à laquelle il est connecté par une ligne 1a et un variateur de vitesse externe ou intégré au moteur 1 ou à la commande électronique 22.

[0048] La figure 3 reprend les éléments de la figure 2, représentés dans l'espace. On retrouve ainsi le moteur 1, la pompe 2 avec son aspiration 3 et son refoulement 4. On distingue les deux actionneurs 20 et 21, les vannes 16 et 18, et les rotors de type ROOTS 5b, 6b et 7b des étages respectifs 5, 6 et 7. L'étage 8 de refoulement n'est pas visible.

[0049] Sur la figure 4, on illustre la configuration des étages de la figure 2, et l'on retrouve, entre l'aspiration 3 et le refoulement 4, les deux étages 5 et 6 connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 5c et 6c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 12, leurs refoulements respectifs 5d et 6d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 13. Les étages 7 et 8 sont également connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 7c et 8c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 14, leurs refoulements respectifs 7d et 8d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 15. Les deux couples 5-6 et 7-8 sont connectés l'un à l'autre en série par la canalisation inter-étages 10 dans le chemin de parcours de gaz entre l'aspiration 3 et le refoulement 4.

[0050] Cette première configuration illustrée sur les figures 2 et 4, à deux couples d'étages parallèles, constitue la première configuration que l'on donne au dispositif en première étape de pompage d'une enceinte.

[0051] Sur les figures 5 et 6, on donne au système une seconde configuration, en étape intermédiaire de pompage E2. Les premier 5 et second 6 étages ou étages d'aspiration restent connectés en parallèle l'un avec l'autre, tandis que les troisième 7 et quatrième 8 étages ou étages de refoulement sont connectés en série l'un avec l'autre. Le premier couple d'étages formé par les premier 5 et second 6 étages est connecté en série avec le troisième 7 et le quatrième 8 étages. Pour cela, l'actionneur 20 reste abaissé tandis que l'actionneur 21 est relevé.

[0052] Enfin, dans la troisième ou dernière configuration illustrée sur la figure 7, que l'on choisit en dernière étape de pompage E3, les quatre étages 5, 6, 7 et 8 sont tous connectés en série les uns avec les autres dans le chemin d'écoulement des gaz. Pour cela, les deux actionneurs 20 et 21 sont abaissés.

[0053] On va maintenant expliquer l'intérêt de l'invention, en effectuant une simulation par calcul.

[0054] On prend l'hypothèse d'une enceinte 100 ayant un volume V de 1 000 litres, que l'on veut vider en une durée t de 45 secondes ; en pratique, on veut faire passer la pression interne de l'enceinte d'une pression p1 de 1 atmosphère à une pression p2 de 0,1 mBar par exemple.

[0055] A titre de comparaison, on suppose tout d'abord que l'on utilise une pompe traditionnelle. Le débit moyen S de la pompe traditionnelle doit être d'environ 700 m³/h, en appliquant la formule $S = V/t \ln(p1/p2)$.

[0056] La puissance électrique nécessaire pour entraîner une pompe de 700m³/h qui comprime le débit S de 0,1 mBar à 1 atmosphère est donnée par la formule : $Pw = (p1-p2).S$ (Pw en watt, p1 et p2 en Pascal, et S en m³/sec). Soit dans l'exemple $Pw = 19.5$ kW.

[0057] Compte tenu de la croissance progressive de la puissance en début de pompage, la puissance électrique moyenne pour vider le volume sera d'environ 13 kW (voir la figure 9).

[0058] On va maintenant montrer, par le calcul ci-après, que l'invention permet d'obtenir un débit proche de 700 m³/h en trois étapes successives avec une pompe initialement prévue pour un débit optimum de 400 m³/h.

[0059] On considère que l'étage 5 a un débit S1 de 400 m³/h, l'étage 6 a un débit S2 de 300 m³/h, l'étage 7 a un débit S3 de 300 m³/h et l'étage 8 a un débit S4 de 200 m³/h. On va montrer que la puissance moyenne consommée reste inférieure à 10 kW.

[0060] Au cours d'une première étape de pompage dans l'enceinte 100, on fait passer la pression gazeuse de l'enceinte de 1 atmosphère à une pression p1. Le dispositif de pompage à vide étant dans la configuration illustrée sur les figures 2 et 4.

[0061] Débit attendu de la pompe : $S = K (S1 + S2)$

$$K = K0 / (K0-1 + (S1+S2) / (S3+S4)) = 0,93 \text{ avec } K0=5 \text{ à } Patm.$$

[0062] KO est le taux de compression à débit nul de la pompe.

$$S = 650 \text{ m}^3/\text{h}.$$

5

$$P_w = 700 \cdot (p' - p_2(\text{aspi})) + 500(p(\text{ref}) - p')$$

avec p' : pression intermédiaire = $p_1(\text{aspi}) \cdot (S_1 + S_2) / (S_3 + S_4)$ de par la conservation du flux.

10 **[0063]** La puissance consommée est plus importante sur l'étage de haute pression. La puissance augmente sur chaque étage avec la diminution de la pression p_1 (aspi).

[0064] On détermine $p_1(\text{aspi})$ de façon à ne pas dépasser $P_w = 10 \text{ kW}$.

[0065] Si on calcule la puissance consommée pour $p_1 = 300 \text{ mBar}$ en répartissant le travail sur les 2 étages alors $p' = 420 \text{ mBar}$ et,

15 $P_w = 700 \text{ m}^3/\text{h} \times 120 \text{ mBar} + 500 \text{ m}^3/\text{h} \times 580 \text{ mBar} = 10.3 \text{ kW}$.

[0066] Avec cette nouvelle configuration des étages de la pompe et dans cette plage de pression, la puissance est de nouveau réduite et la vitesse de pompage est proche de $700 \text{ m}^3/\text{h}$.

[0067] Considérons la figure 8 qui illustre la courbe de débit du dispositif en fonction de la pression dans l'enceinte pompée. Au cours de l'étape E1, le débit du dispositif de pompage à vide selon l'invention, dans la première configuration, suit une courbe A qui présente un maximum.

20

[0068] Lorsque la pression p_1 est atteinte, on commute le système dans la configuration suivante.

[0069] Sur la figure 9, on a illustré la consommation d'énergie pour entraîner mécaniquement la pompe en rotation, en fonction de la pression dans l'enceinte. Au cours de l'étape E1, la consommation d'énergie augmente régulièrement selon la courbe B, puis chute brusquement à la pression p_1 lorsqu'on commute le dispositif dans la seconde configuration.

25

[0070] Dans la seconde configuration, illustrée sur les figures 5 et 6, on fait passer la pression de l'enceinte d'une pression p_1 à une pression p_2 .

[0071] A p_1 , l'étage parallèle de refoulement 7-8 est éclaté en série de façon à diminuer la puissance consommée sur l'étage haute pression.

[0072] Débit attendu de la pompe :

30

$$S = K' (S_1 + S_2)$$

$K' = 0,78$ avec $K_0 = 5$ donc $S = 550 \text{ m}^3/\text{h}$.

35 **[0073]** Puissance consommée pour $p_2 = 50 \text{ mBar}$ en prenant comme hypothèse la répartition de pression suivante entre les trois étages :

$$50 \rightarrow 100 \rightarrow 550 \rightarrow 1000$$

40

$$P_{\text{watt}} = 700 \times (100 - 50) + 300 \times (550 - 100) + 200 \times (1000 - 550)$$

soit $P_w = 7.2 \text{ kWatt}$.

45 **[0074]** Sur la figure 8, on voit que, au cours de l'étape E2 entre les pressions p_1 et p_2 , la caractéristique de débit S du dispositif selon l'invention suit une courbe C présentant un maximum. Sur la figure 9, on voit que, au cours de cette même étape E2, la caractéristique de puissance du dispositif suit une courbe D.

[0075] On change ensuite la configuration du dispositif pour faire passer la pression dans l'enceinte d'une pression p_2 à une pression p_3 . La configuration est alors celle indiquée sur la figure 7, avec tous les étages 5-8 en série.

50

[0076] A la pression p_2 , cette configuration des étages en série permet d'augmenter le taux de compression.

[0077] Pour maintenir un débit élevé de $700 \text{ m}^3/\text{h}$, il faut augmenter la vitesse nominale de pompage en augmentant la vitesse de rotation.

[0078] On augmente la vitesse d'un coeff. K_n .

[0079] Débit attendu $S = 400 \times K_n$.

55

[0080] On choisit $K_n = 7/4$ et on obtient $S = 700 \text{ m}^3/\text{h}$.

[0081] Puissance consommée pour $p_3 = 1 \text{ mBar}$ avec une hypothèse sur le taux de compression des étages en fonction de la pression d'utilisation :

[0082] L'étage 5 travaille de 1 à 10 mBar (K0= 10) / l'étage 6 travaille de 10 à 50 mBar (K0=5) / l'étage 7 travaille de 50 à 250 mBar / l'étage 8 travaille de 250 à 1000 mBar (K0= 4).

$$P_w = K_n (400 \times 9 + 300 \times 40 + 300 \times 200 + 200 \times 750)$$

$$P_w = 10.9 \text{ kW.}$$

[0083] Sur la figure 8, on voit l'influence de l'augmentation de vitesse de la pompe : avec une vitesse constante, la caractéristique de débit suit la courbe E, c'est-à-dire que le débit chute par rapport à celui qui était obtenu lors des étapes E1 et E2. Par contre, en augmentant la vitesse, la caractéristique de débit suit la courbe F, qui maintient un débit proche du débit maximal pendant une plage de pression conséquente.

[0084] On voit, sur le schéma de la figure 8, que la suite des courbes A, C et F caractérise un pompage avec un débit moyen voisin de 700m³/h (la courbe G d'une pompe de référence de 700m³/h), alors que l'étage le plus gros de la pompe fait seulement 400m³/h.

[0085] Sur la figure 9, on voit que la puissance nécessaire pour entraîner la pompe est limitée à 10 kW environ, en suivant les courbes successives B, D et H, alors qu'une pompe traditionnelle multi-étagée de 700m³/h aurait nécessité une puissance de 19,5 kW comme l'indique la courbe I.

[0086] L'invention permet ainsi un gain sur la puissance électrique maximum de 40 à 45 %, et un gain sur l'énergie moyenne consommée de 20% à 25%.

[0087] On considère également que l'invention permet un gain sur la taille nominale de la pompe d'environ 40 %.

[0088] L'exemple décrit concerne un dispositif de pompage à pompe mécanique sèche de type ROOTS à quatre étages. Naturellement, l'invention s'applique de la même manière à des dispositifs de pompage basés sur une pompe mécanique sèche ayant un nombre différent d'étages, le nombre d'étages étant supérieur ou égal à quatre.

[0089] La figure 10 est un exemple de configurations successives du dispositif de pompage selon l'invention au fur et à mesure de la baisse de pression, lorsque ce dispositif comporte cinq étages.

[0090] Sur la figure 10A, on retrouve, entre l'aspiration 100 et le refoulement 101, les trois étages 102, 103 et 104 connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 102c, 103c et 104c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 105, leurs refoulements respectifs 102d, 103d et 104d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 106. Les deux étages 107 et 108 sont également connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 107c et 108c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 109, leurs refoulements respectifs 107d et 108d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 110. Les deux groupes 102-103-104 et 107-108 sont connectés l'un à l'autre en série par la canalisation inter-étages 111 dans le chemin de parcours de gaz entre l'aspiration 100 et le refoulement 101.

[0091] Cette première configuration, illustrée sur la figure 10A, constitue la configuration que l'on donne au dispositif en première étape de pompage E1 d'une enceinte.

[0092] Sur la figure 10B, on donne au système une seconde configuration en étape intermédiaire de pompage E2. Les premier 102 et second 103 étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, de même que les troisième 104 et quatrième 107 étages. Le premier couple d'étages formé par les premier 102 et second 103 étages est connecté en série avec le second couple d'étages formé par les troisième 104 et quatrième 107 étages et avec le cinquième étage 108.

[0093] Une troisième configuration, en étape intermédiaire de pompage E3, est illustrée sur la figure 10C. Les premier 102 et second 103 étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre. Les troisième 104, quatrième 107 et cinquième 108 étages sont connectés en série avec le premier couple d'étages formé par les premier 102 et second 103 étages.

[0094] Enfin, dans la quatrième ou dernière configuration illustrée sur la figure 10D, que l'on choisit en dernière étape de pompage E4, les cinq étages 102, 103, 104, 107 et 108 sont tous connectés en série les uns avec les autres dans le chemin d'écoulement des gaz.

[0095] La figure 11 est un exemple de configurations successives du dispositif de pompage selon l'invention au fur et à mesure de la baisse de pression, lorsque ce dispositif comporte six étages.

[0096] Sur la figure 11A, on retrouve, entre l'aspiration 200 et le refoulement 201, les trois étages 202, 203 et 204 connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 202c, 203c et 204c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 205, leurs refoulements respectifs 202d, 203d et 204d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 206. Les trois étages 207, 208 et 209 sont également connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 207c, 208c et 209c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 210, leurs refoulements respectifs 207d, 208d et 209d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 211. Les deux groupes 202-203-204 et 207-208 sont connectés l'un à l'autre en série par la canalisation inter-étages 212 dans le chemin de parcours de gaz entre l'aspiration 200 et le refoulement 201.

[0097] Cette première configuration, illustrée sur la figure 11A, constitue la configuration que l'on donne au dispositif en première étape de pompage E1 d'une enceinte.

[0098] Sur la figure 11B, on donne au système une seconde configuration en étape intermédiaire de pompage E2. Les trois premiers étages 202, 203 et 204 sont connectés en parallèle. Les quatrième 207 et cinquième 208 étages sont aussi connectés en parallèle l'un avec l'autre. Le groupe 202-203-204, le couple 207-208 et le sixième étage 209 sont connectés en série.

[0099] Une troisième configuration, en étape intermédiaire de pompage E3, est illustrée sur la figure 11C. Les trois premiers étages 202, 203 et 204 sont connectés en parallèle. Les quatrième 207, cinquième 208 et sixième 209 étages sont connectés en série avec le groupe 202-203-204.

[0100] Une quatrième configuration, en étape intermédiaire de pompage E4, est illustrée sur la figure 11D. Les premier 202 et second 203 étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre. Les troisième 204, quatrième 207, cinquième 208 et sixième 209 étages sont connectés en série avec le premier couple d'étages formé par les premier 202 et second 203 étages.

[0101] Enfin, dans la cinquième ou dernière configuration illustrée sur la figure 11E, que l'on choisit en dernière étape de pompage E5, les six étages 202, 203, 204, 207, 208 et 209 sont tous connectés en série les uns avec les autres dans le chemin d'écoulement des gaz.

[0102] La figure 12 est un exemple de configurations alternatives du dispositif de pompage selon l'invention comportant six étages. La première configuration est illustrée sur la figure 11A, et constitue la configuration que l'on donne au dispositif en première étape de pompage E1 d'une enceinte.

[0103] Sur la figure 12B, on donne au système une seconde configuration en étape intermédiaire de pompage E2. On retrouve, entre l'aspiration 300 et le refoulement 301, les deux premiers étages 302 et 303 connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 302c et 303c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 304, leurs refoulements respectifs 302d et 303d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 305. Les deux étages suivants 306 et 307 sont également connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 306c et 307c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 308, leurs refoulements respectifs 307d et 308d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 309. Enfin les deux derniers étages 310 et 311 sont également connectés en parallèle, leurs aspirations respectives 310c et 311c étant connectées l'une à l'autre par la canalisation de dérivation 312, leurs refoulements respectifs 310d et 311 d étant connectés l'un à l'autre par la canalisation de dérivation 313. Les trois couples 302-303, 306-307 et 310-311 sont connectés l'un à l'autre en série par les canalisations inter-étages 314 et 315 respectivement, dans le chemin de parcours de gaz entre l'aspiration 300 et le refoulement 301.

[0104] Une troisième configuration, en étape intermédiaire de pompage E3, est illustrée sur la figure 12C. Les deux premiers étages 302 et 303 sont connectés en parallèle. Les troisième 306 et quatrième 307 étages sont aussi connectés en parallèle. Les deux derniers étages 310 et 311 sont connectés en série avec les couples 302-303 et 307-308.

[0105] Les quatrième et cinquième configurations sont analogues à celles représentées sur les figures 11D et 11E.

[0106] La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut les diverses variantes et généralisations qui sont à la portée de l'homme du métier.

Revendications

1. Dispositif de pompage à vide, pour la descente en pression d'une enceinte (100), comprenant un moteur (1) entraînant une pompe à vide (2) mécanique sèche multiétagée, chaque étage (5-8) ayant une aspiration (5c-8c) et un refoulement (5d-8d), et comprenant des canalisations (9-11) pour raccorder les étages (5-8) les uns aux autres, dans le circuit d'aspiration des gaz de l'enceinte, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens de connexion fluidiques (12-19) qui connectent les étages (5-8) pour passer d'une première configuration dans laquelle les étages sont connectés au moins deux par deux en parallèle en une première étape de pompage (E1) à une dernière configuration dans laquelle les étages sont connectés en série en une dernière étape de pompage (E3), en passant par au moins une configuration intermédiaire (E2), optimisant le débit de pompage dans la plage de pression en cours, dans laquelle au moins un étage (5) est connecté en parallèle à au moins un autre étage (6) et au moins un étage (7) est connecté en série à au moins un autre étage (8).
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de connexion fluidiques (12-19) comprennent des vannes (16-19) pilotées par des moyens de commande électronique (22) et insérées dans les canalisations (9, 11, 13, 15).
3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens de commande électronique (22) actionnent les vannes (16-19) pour passer d'une configuration à la suivante en réponse à une évolution de la pression gazeuse dans l'enceinte (100).

EP 1 710 440 A2

4. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens de commande électronique (22) actionnent les vannes (16-19) pour passer d'une configuration à la suivante en réponse à une évolution de la puissance consommée par le moteur (1) de la pompe.
- 5 5. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens de commande électronique (22) actionnent les vannes (16-19) pour passer d'une configuration à la suivante après une durée prédéfinie.
6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les vannes (16-19) et les canalisations inter-étages (9-11) sont intégrées dans le corps de la pompe à vide (2).
- 10 7. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 6, dans lequel, en dernière étape de pompage (E3), les moyens de commande électronique (22) augmentent la vitesse du moteur (1).
- 15 8. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 7, dans lequel, lorsque l'état de pression désiré est atteint dans l'enceinte (100), les moyens de commande électronique (22) réduisent la vitesse de rotation du moteur (1) pour assurer un pompage de maintien en pression.
- 20 9. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 7, dans lequel, lorsque l'état de pression désiré est atteint dans l'enceinte (100), les moyens de commande électronique (22) connectent au refoulement (4) un étage de pompage supplémentaire de petit débit qui assure le maintien en pression.
10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant quatre étages (5-8) connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :
- 25 a) selon la première configuration, en première étape de pompage (E1), les premier (5) et second (6) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages, les troisième (7) et quatrième (8) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages, les deux couples d'étages (5, 6) et (7, 8) étant connectés en série dans le chemin d'écoulement des gaz,
- 30 b) selon une seconde configuration, en étape intermédiaire de pompage (E2), les premier (5) et second (6) étages restent connectés en parallèle l'un avec l'autre, les troisième (7) et quatrième (8) étages sont connectés en série l'un avec l'autre, le premier couple d'étages (5-6) des premier et second étages étant connecté en série avec le second couple d'étages (7-8) des troisième et quatrième étages,
- 35 c) selon une troisième configuration, en dernière étape de pompage (E3), les quatre étages (5-8) sont connectés en série les uns avec les autres.
11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant cinq étages (102, 103, 104, 107, 108) connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :
- 40 a) selon la première configuration, en première étape de pompage (E1), les premier (102), second (103) et troisième (104) étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages (102-104), les quatrième (107) et cinquième (108) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages (107-108), le groupe d'étage (102-104) et le couples d'étages (107-108) étant connectés en série l'un avec l'autre dans le chemin d'écoulement des gaz,
- 45 b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage (E2), les premier (102) et second (103) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages (102-103), les troisième (104) et quatrième (107) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages (104-107), les premier (102-103) et second (104-107) couples d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre et avec le cinquième (108) étage,
- 50 c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage (E3), les premier (102) et second (103) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages (102-103), les troisième (104), quatrième (107) et cinquième (108) étages étant connectés en série et avec le couple d'étages (102-103),
- 55 d) selon une quatrième configuration, en dernière étape de pompage (E4), les cinq étages (102, 103, 104, 107, 108) sont connectés en série les uns avec les autres.
12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant six étages (202, 203, 204, 207, 208, 209) connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage (E1), les premier (202), second (203) et troisième (204) étages sont connectés en parallèle, formant un premier groupe d'étages (202-204), les quatrième (207), cinquième (208) et sixième (209) étages sont connectés en parallèle, formant un second groupe d'étages (207-209), les premier (202-204) et second (207-209) groupes d'étages étant connectés en série l'un avec l'autre dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage (E2), les premier (202), second (203) et troisième (204) étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages (202-204), les troisième (207) et quatrième (208) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages (207-208), le groupe d'étages (202-204) et le couple d'étages (207-208) étant connectés en série l'un avec l'autre et avec le sixième (209) étage,

c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage (E3), les premier (202), second (203) et troisième (204) étages sont connectés en parallèle, formant un groupe d'étages (202-204), les quatrième (207), cinquième (208) et sixième (209) étages étant connectés en série et avec le couple d'étages (102-103),

d) selon une quatrième configuration, en troisième étape intermédiaire de pompage (E4), les premier (202) et second (203) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages (202-203), les troisième (204), quatrième (207), cinquième (208) et sixième (209) étages étant connectés en série et avec le couple d'étages (202-203),

e) selon une cinquième configuration, en dernière étape de pompage (E5), les six étages (202, 203, 204, 207, 208, 209) sont connectés en série les uns avec les autres.

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant six étages (302, 303, 306, 307, 310, 311) connectés selon les configurations successives suivantes en cours de pompage :

a) selon la première configuration, en première étape de pompage (E1), les premier (302), second (303) et troisième (306) étages sont connectés en parallèle, formant un premier groupe d'étages (302-306), les quatrième (307), cinquième (310) et sixième (311) étages sont connectés en parallèle, formant un second groupe d'étages (307-311), les premier (302-306) et second (307-311) groupes d'étages étant connectés en série dans le chemin d'écoulement des gaz,

b) selon une seconde configuration, en première étape intermédiaire de pompage (E2), les premier (302) et second (303) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages (302-303), les troisième (306) et quatrième (307) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages (306-307), les cinquième (310) et sixième (311) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un troisième couple d'étages (310-311), les premier (302-303), second (306-307) et troisième (310-311) couples d'étages étant connectés en série,

c) selon une troisième configuration, en deuxième étape intermédiaire de pompage (E3), les premier (302) et second (303) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un premier couple d'étages (302-303), les troisième (306) et quatrième (307) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un second couple d'étages (306-307), les cinquième (310) et sixième (311) étages sont connectés en série l'un avec l'autre et avec les premier (302-303) et second (306-307) couples d'étages,

d) selon une quatrième configuration, en troisième étape intermédiaire de pompage (E4), les premier (302) et second (303) étages sont connectés en parallèle l'un avec l'autre, formant un couple d'étages (302-303), les troisième (306), quatrième (307), le cinquième (310) et le sixième (311) étages étant connectés en série et avec le couple d'étages (302-303),

e) selon une cinquième configuration, en dernière étape de pompage (E5), les six étages (302, 303, 306, 307, 310, 311) sont connectés en série les uns avec les autres.

14. Procédé de pompage à vide par pompe mécanique sèche multi-étagée (2) pour la descente en pression d'une enceinte, **caractérisé en ce que** l'on connecte les étages (5-8) de la pompe (2) selon plusieurs configurations successives pour passer d'une première configuration dans laquelle les étages sont connectés au moins deux par deux en parallèle en une première étape de pompage (E1) à une dernière configuration dans laquelle les étages sont connectés en série en une dernière étape de pompage (E3), en passant par au moins une configuration intermédiaire (E2), choisies chacune pour optimiser le débit de pompage dans la plage de pression en cours, dans laquelle au moins un étage (5) d'aspiration est connecté en parallèle à au moins un autre étage (6) d'aspiration et au moins un étage (7) de refoulement est connecté en série à au moins un autre étage (8).

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel, en dernière étape de pompage, on augmente temporairement la vitesse de la pompe au-delà de sa vitesse nominale.

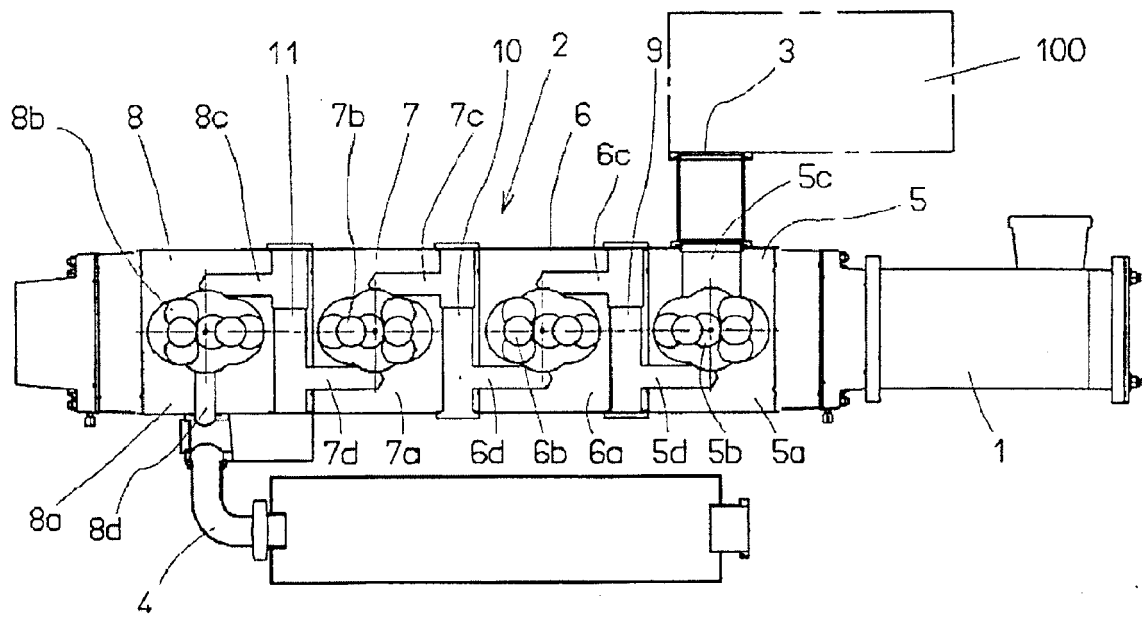


FIG. 1

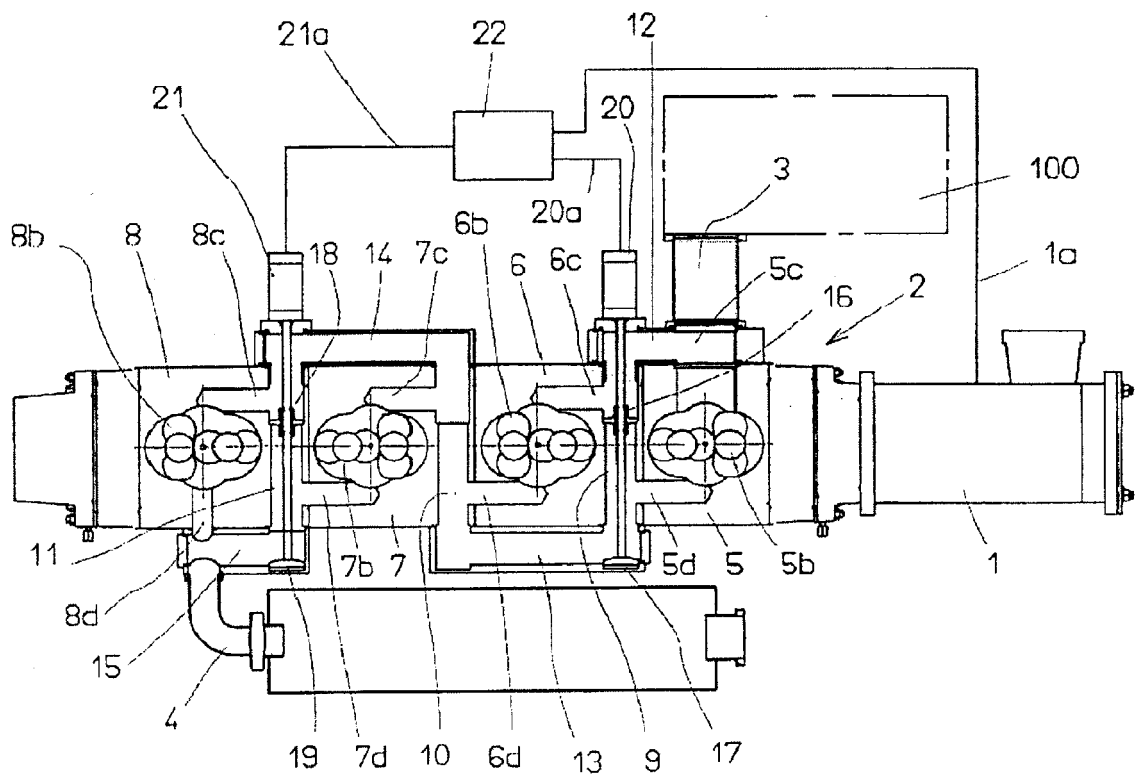
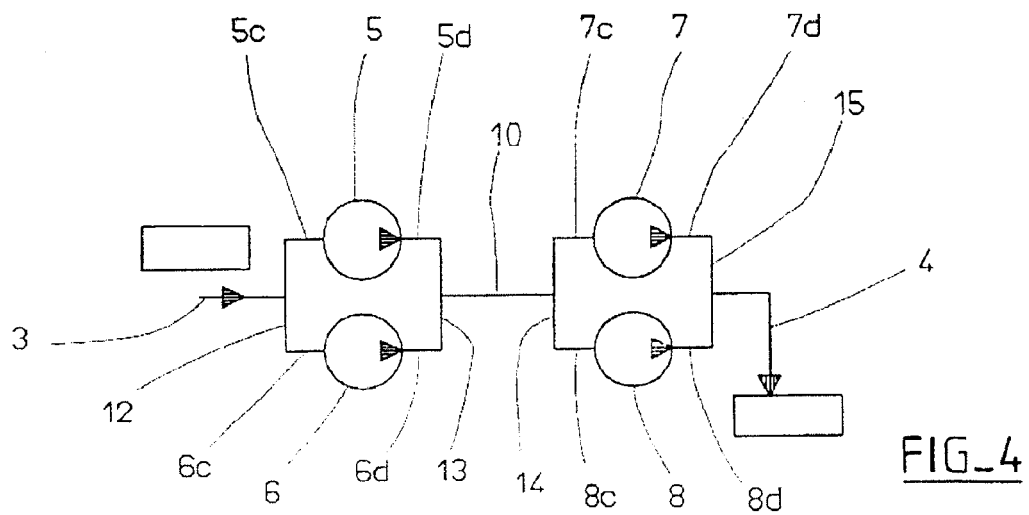
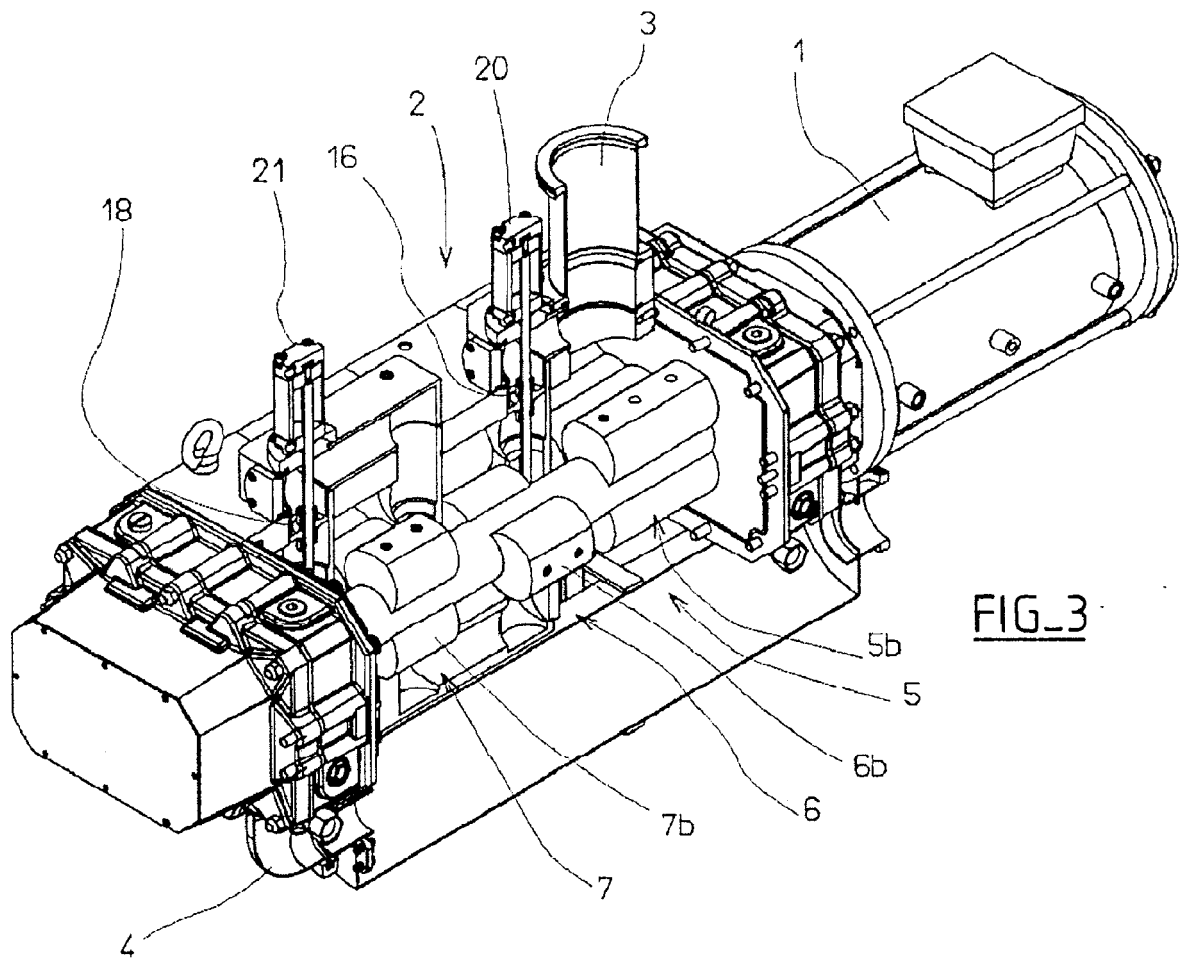
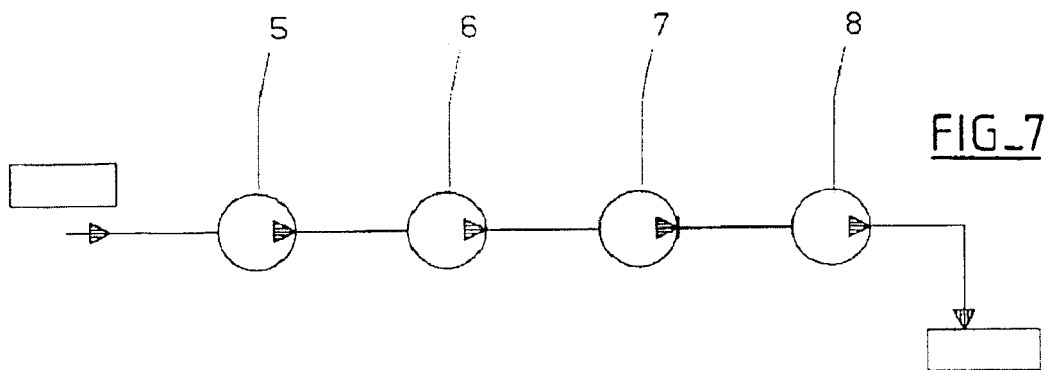
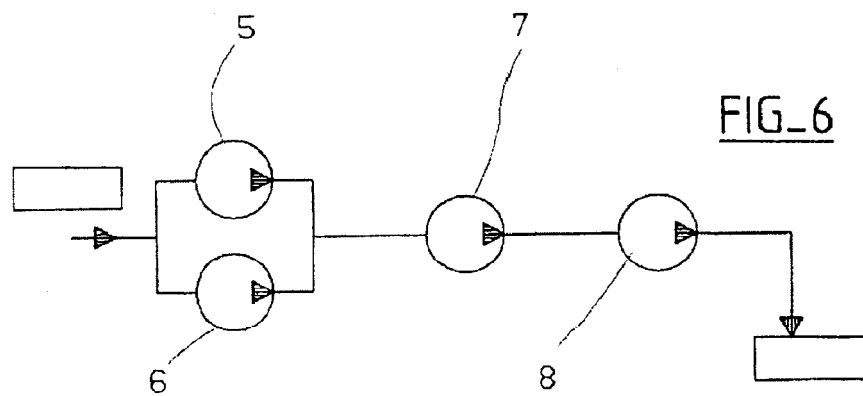
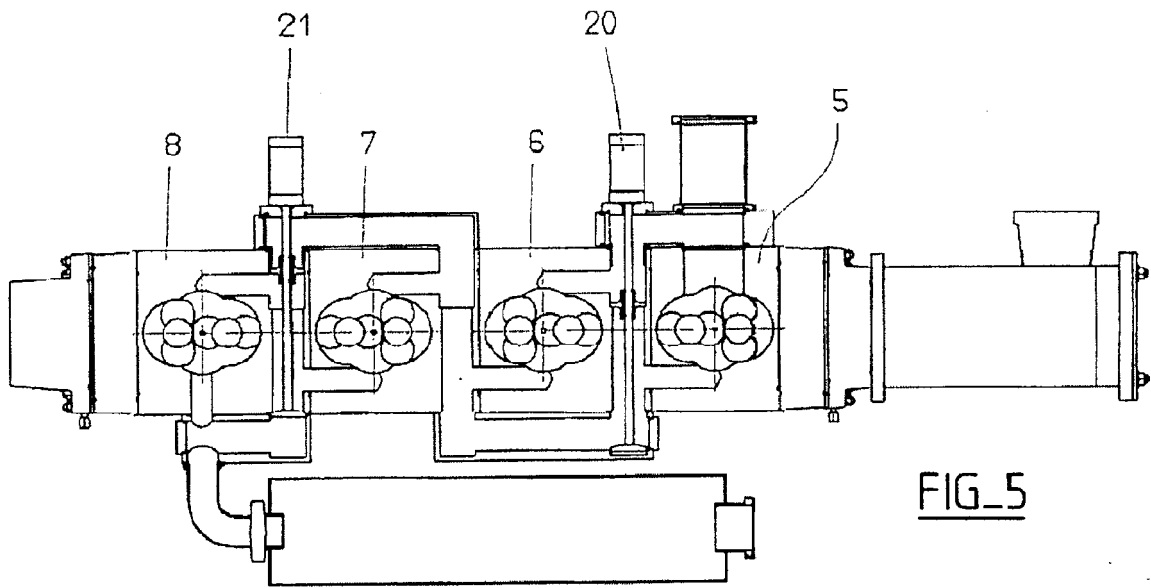
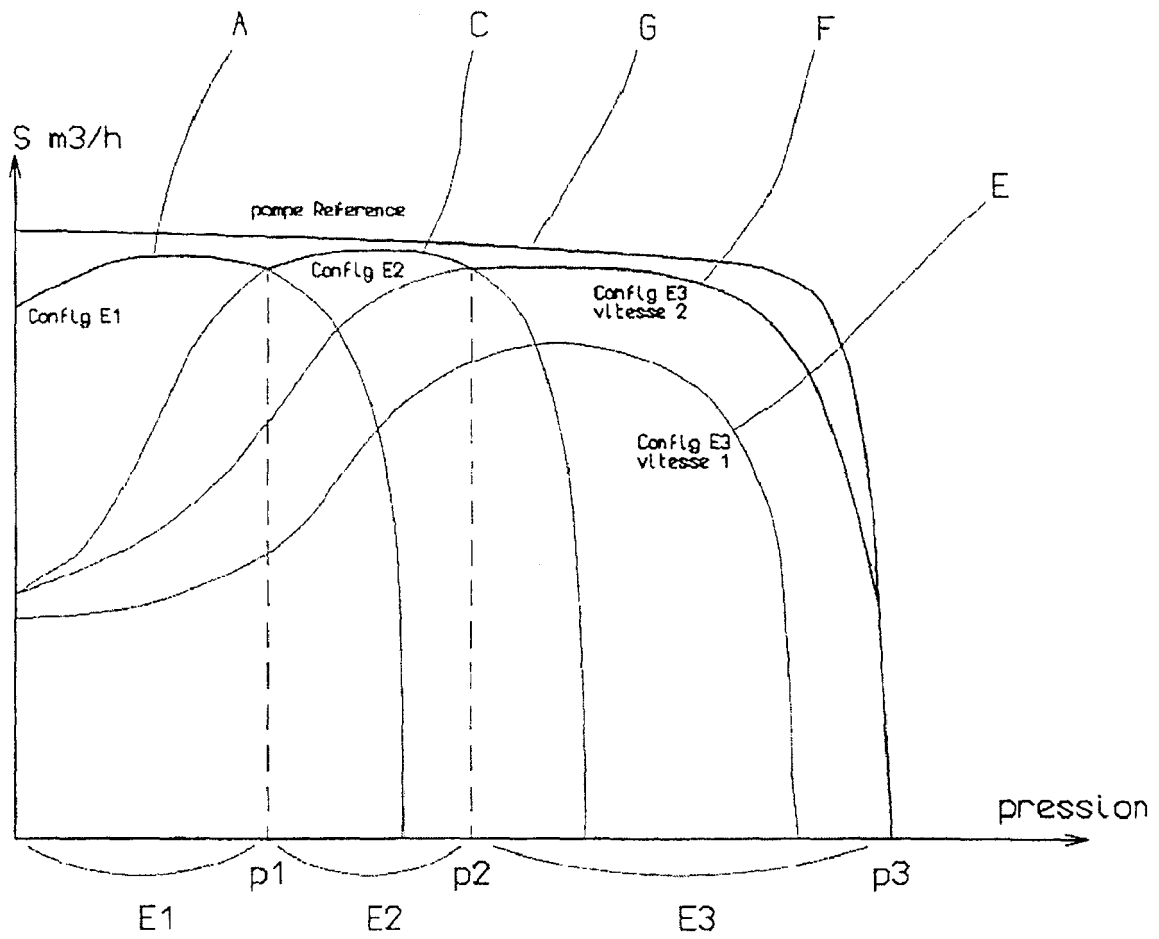


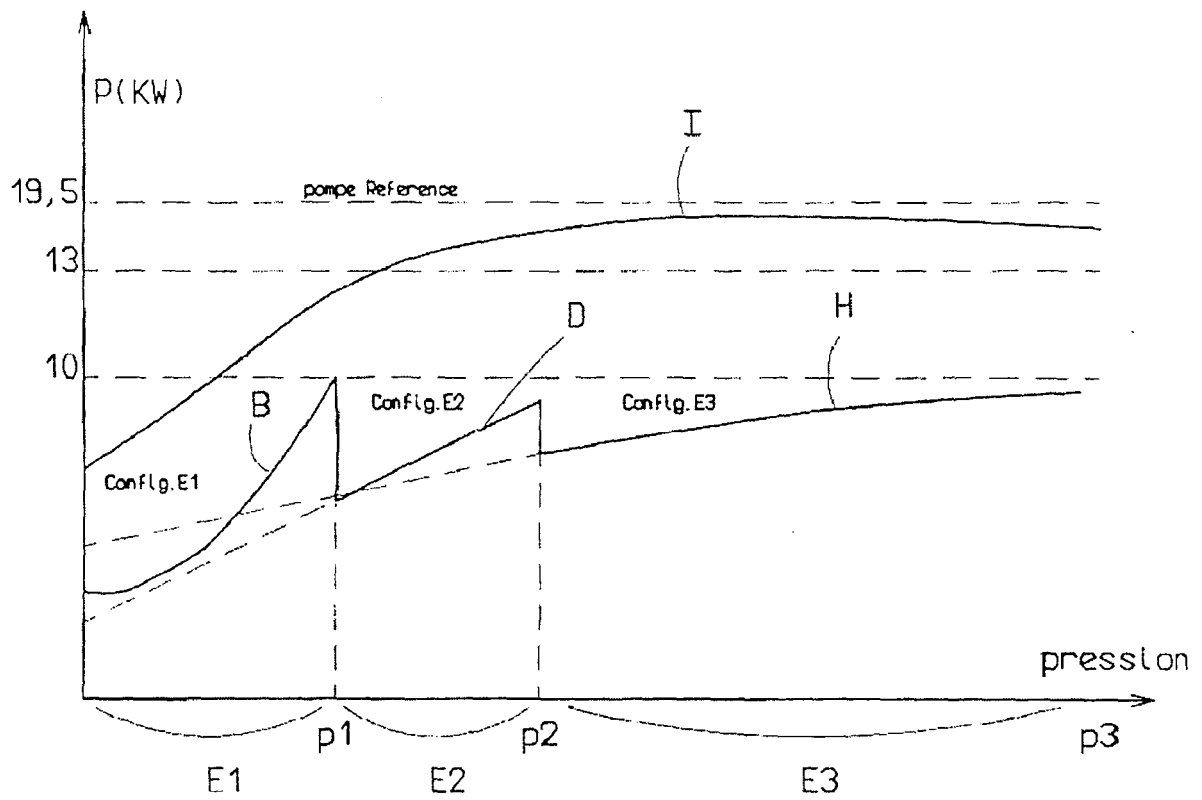
FIG. 2





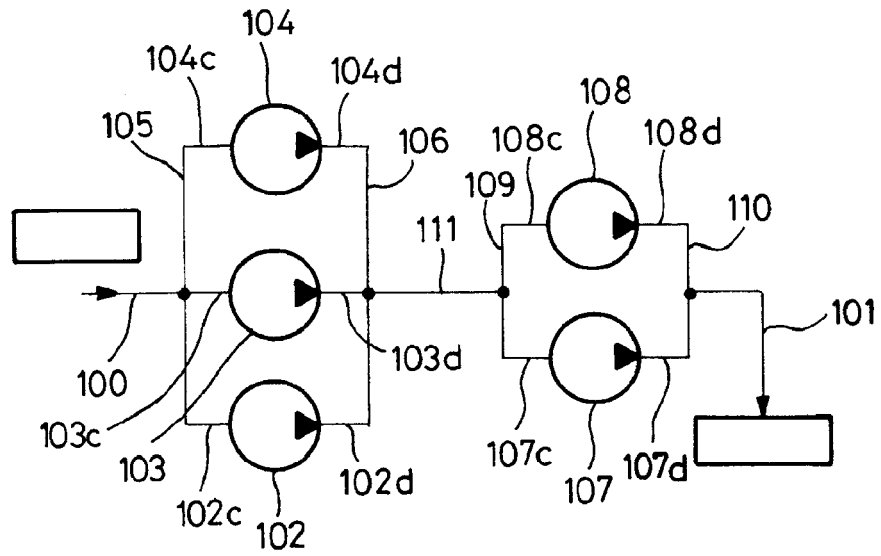


FIG_8

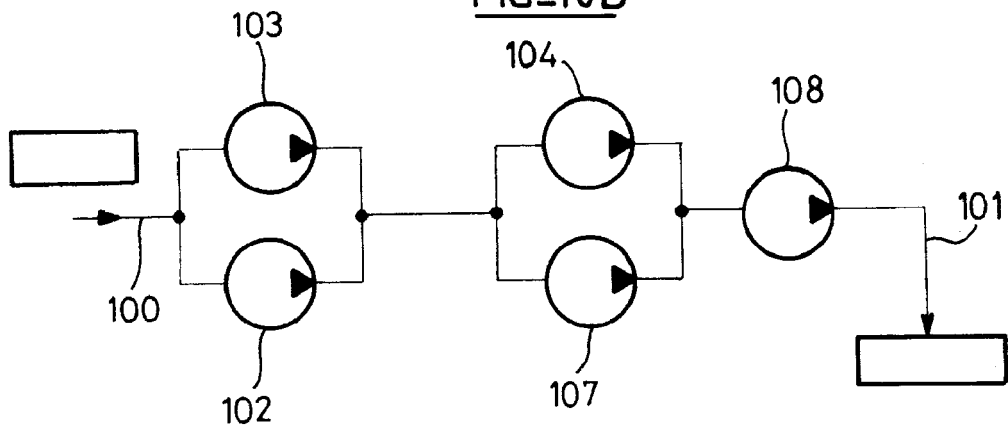


FIG_9

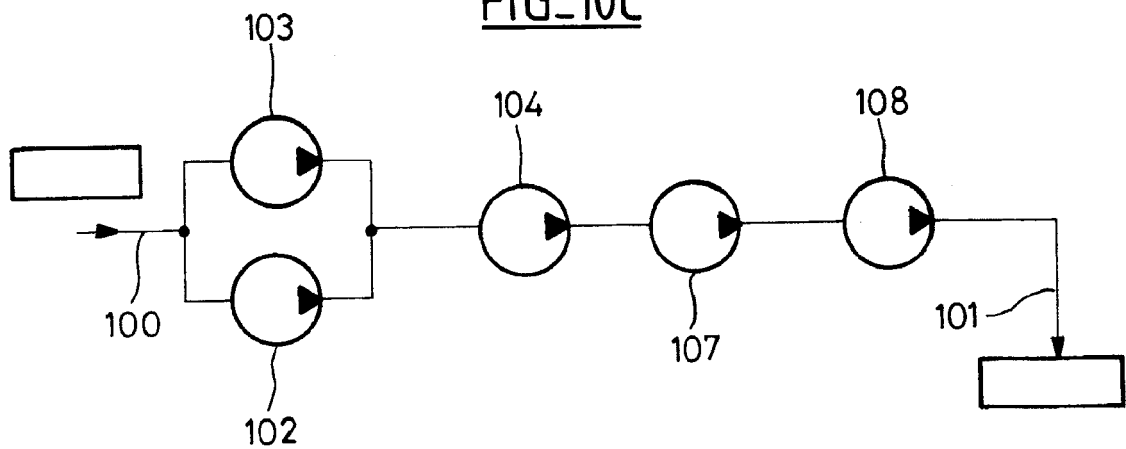
FIG_10A



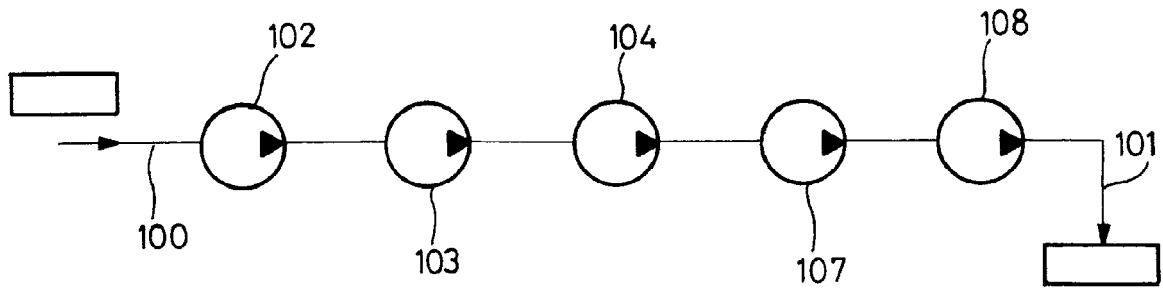
FIG_10B



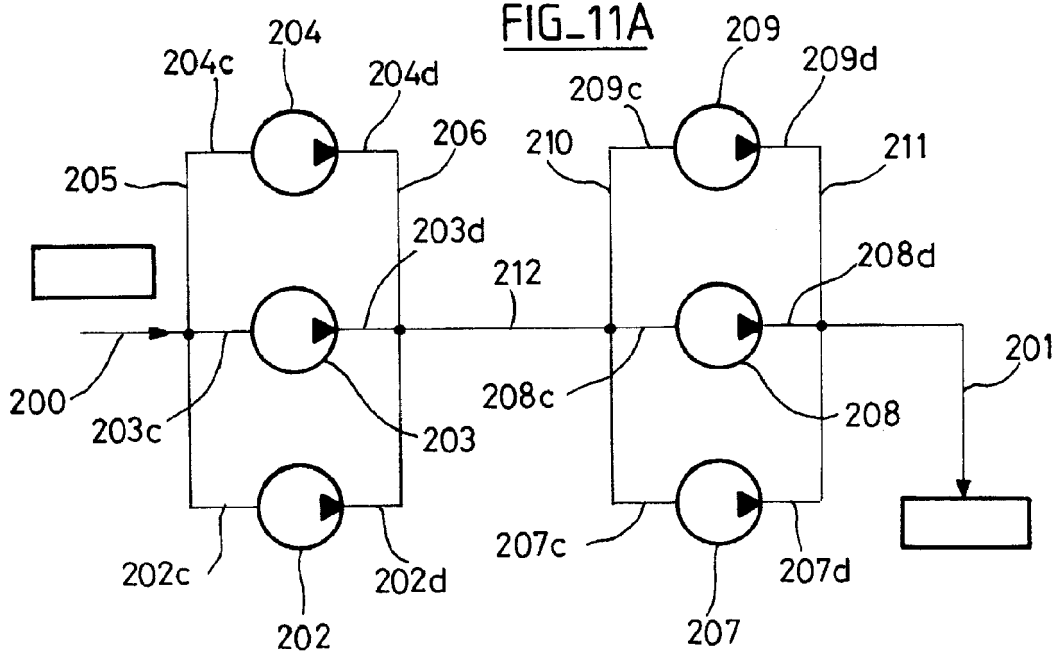
FIG_10C



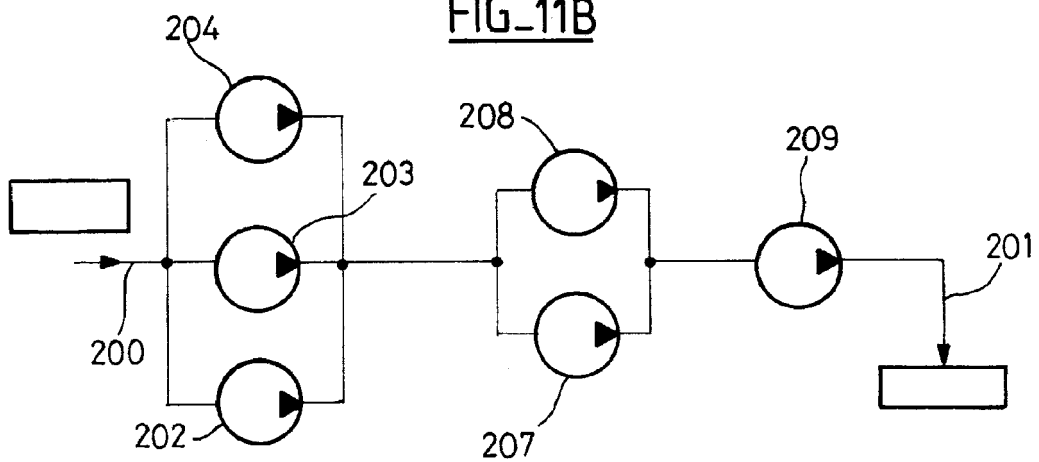
FIG_10D



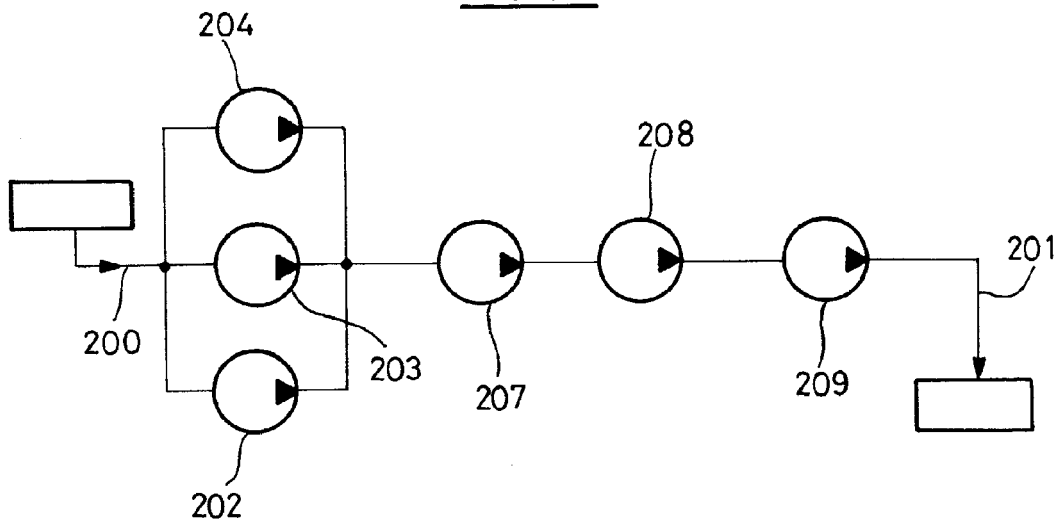
FIG_11A



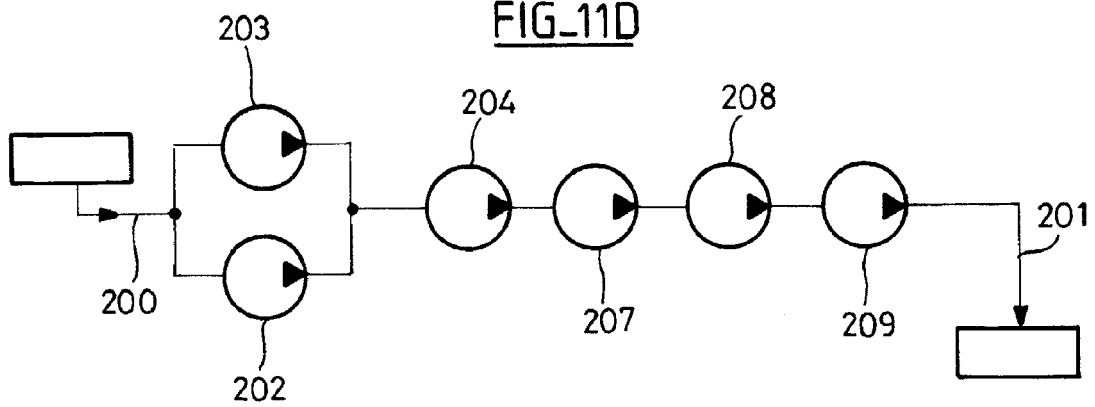
FIG_11B



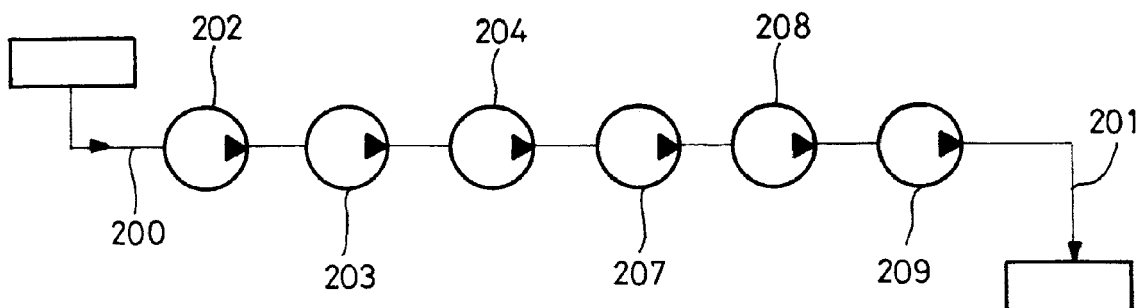
FIG_11C



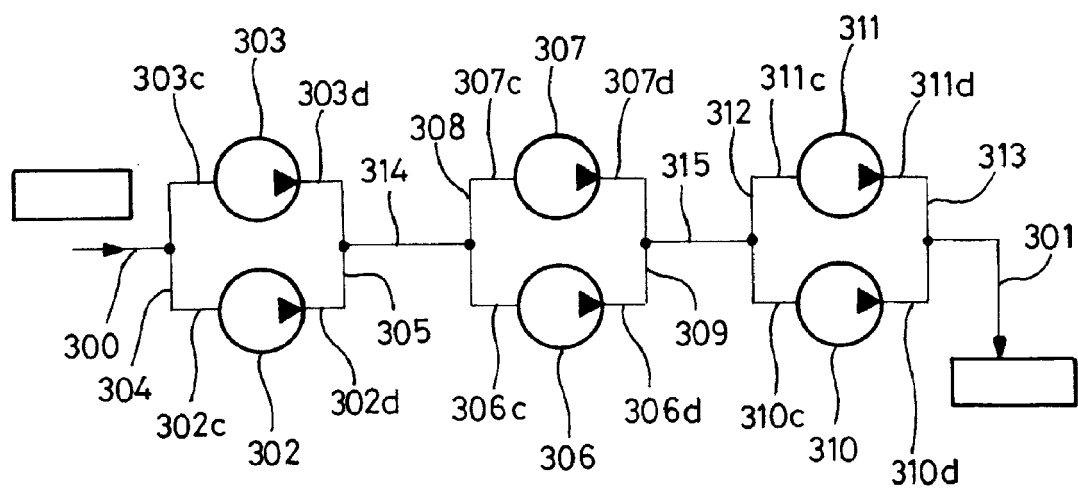
FIG_11D



FIG_11E



FIG_12B



FIG_12C

