



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

**0 088 717**  
**A1**

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 83630042.6

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>: **F 23 N 1/02, F 23 N 5/00**

(22) Date de dépôt: 07.03.83

(30) Priorité: 09.03.82 LU 83989

(71) Demandeur: ARBED S.A., Avenue de la Liberté 19,  
L-2930 Luxembourg (LU)

(43) Date de publication de la demande: 14.09.83  
Bulletin 83/37

(72) Inventeur: Krippler, François, 9 rue Ermesinde,  
L-4992 Sanem (LU)

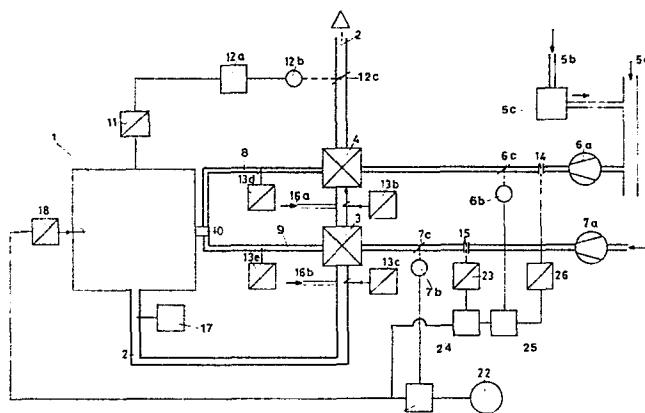
(84) Etats contractants désignés: BE DE FR GB IT LU

(74) Mandataire: Neyen, René, Administration Centrale de  
l'Arbed Case postale 1802, L-2930 Luxembourg (LU)

(54) Procédé et dispositif pour optimiser le fonctionnement d'un four.

(57) Pour optimiser le fonctionnement d'un four industriel, on ajuste le rapport de débit entre combustible et comburant de sorte à maintenir une quantité résiduelle fixe d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion. On mesure le débit de comburant et on ajuste en conséquence le débit de combustible conformément à des courbes de réponse du four préétablies.

Le dispositif comporte des moyens (22) pour choisir une température de fonctionnement du four, des moyens (14, 15) pour mesurer les débits de combustible resp. de comburant envoyés au brûleur (10), des moyens (6b, 6c, 7b, 7c) pour influencer lesdits débits, des moyens (21) pour comparer la température réelle du four à la température choisie d'avance et pour commander l'augmentation resp. la diminution du débit du comburant lorsque la température du four descend en-dessous resp. dépasse la température choisie, des moyens (24) pour calculer, en fonction du débit du comburant mesuré et de la température de fonctionnement choisie, le débit de combustible aboutissant à la quantité résiduelle désirée d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion et des moyens (25, 6b, 6c) pour ajuster le débit de combustible à la valeur calculée.



**EP 0 088 717 A1**

Procédé et dispositif pour optimiser le fonctionnement d'un four.

L'invention concerne un procédé et un dispositif pour optimiser le fonctionnement d'un four, notamment d'un four industriel servant à réchauffer des matières métalliques (four Pit, four à longeron, four poussant etc.). Elle concerne plus spécialement l'optimisation du rapport entre le combustible et le comburant, dans le but d'avoir dans les gaz d'échappement uniquement des composés qui ne sont ni oxydants, ni oxydables.

10

L'optimisation de ce rapport est essentielle d'un point de vue énergétique et métallurgique. Pour assurer une combustion complète, il est en effet courant de faire fonctionner des fours servant à réchauffer des lingots en acier avec un excès d'oxygène (0,2 à 0,5 %).  
15 Or la demanderesse a constaté que cet excès d'oxygène ne se retrouve qu'en partie dans les gaz d'échappement, la quantité restante d'oxygène ayant oxydé le métal, ce qui peut entraîner des pertes de poids de l'ordre de 2 %. Si par contre on réduit l'apport d'oxygène, l'oxydation du métal est diminuée, mais la combustion n'est plus  
20 complète.

Il est évident qu'un réglage manuel du rapport entre l'oxydant et le combustible ne donne pas de résultats probants. Aussi a-t-on développé des systèmes de régulation automatiques. Malheureusement le  
25 fonctionnement de ces régulateurs est basé sur une équation du type:  
$$\text{combustible} = \text{comburant} \times \text{constante c.à d.}$$
 que l'on admet l'existence d'un rapport fixe entre le combustible et le comburant, quel que soit le régime de fonctionnement du four. Or par suite des caractéristiques complexes d'un four (carneau, pourvoir calorifique



des gaz, température du produit qui est en train de chauffer) cette équation n'est vérifiée que pour un régime de fonctionnement du four bien déterminé.

- 5 Pour pallier à cet inconvenient on analyse en permanence les gaz d'échappement et on réajuste, en fonction des composants déterminés (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>), le rapport entre le combustible et le comburant. Pour effectuer cette analyse il existe principalement deux systèmes qui se distinguent surtout par le montage du détecteur.

10

- Dans un premier système le détecteur se présente sous forme d'un long tube réfractaire abritant une cellule de détection et un thermocouple. Le détecteur doit se trouver en contact direct avec les gaz à analyser et être disposé de préférence au milieu du carneau. 15 Etant donné l'épaisseur des parois du carneau recouverts de réfractaires, cette dernière condition est difficilement réalisable étant donné la longueur des tubes réfractaires offerts sur le marché. Les variations de température auxquelles cette sonde est soumise, influencent fortement les résultats de mesure, de sorte qu'une correction en fonction de la température est indispensable.

- A ceci vient s'ajouter une technique compliquée de montage de ces détecteurs qui ne supportent aucun choc thermique et qui doivent habituellement être remplacés sans qu'on puisse arrêter le four. 25 Après chaque remplacement de détecteur il faut refaire un étalonnage délicat.

- Dans un deuxième système, le détecteur se présente sous forme d'une cellule de mesure qui est montée dans une chambre de petites dimensions, dans laquelle la température est tenue constante à environ 30 800°C. Une pompe aspire les fumées à analyser à travers une sonde de prélèvement munie de filtres et les refoule à travers la chambre d'analyse. Dans ce système la profondeur du prélèvement est réalisable à l'aide de tubes réfractaires, que l'on coupe à la longueur 35 voulue.

La correction des résultats d'analyse en fonction de la température n'est pas nécessaire. Le remplacement du détecteur ne pose pas le problème du choc thermique. L'étalonnage se fait assez facilement en injectant un gaz de composition connue dans la chambre d'analyse.

5

Les désavantages consistent en un prélèvement et traitement complexe des fumées avec sondes, filtres, purges et vannes qui nécessitent beaucoup d'entretien et qui représentent autant de possibilités de défauts comme p.ex. l'aspiration d'air dans les conduites en dé-

10 pression.

L'invention a pour but de proposer un procédé de régulation d'un four qui ne présente pas les défauts précédemment décrits, à savoir une durée de vie limitée des cellules de mesure, des frais d'installa-

15 tion et d'achat élevés et une fiabilité de fonctionnement dou-  
teuse.

Ce but est atteint grâce au procédé selon l'invention dans lequel on mesure soit le débit du combustible, soit celui du comburant et

20 où on ajuste en conséquence le débit du comburant resp. du combu-  
stible, suivant une courbe de réponse préétablie.

Des réalisations préférentielles de l'invention sont décrites dans les sous-revendications.

25

Les avantages obtenus par l'invention consistent essentiellement en ce que le rapport optimal entre le combustible et le comburant n'est pas déterminé par l'intermédiaire de dispositifs fragiles d'analyse de gaz, mais par des composants électroniques qui calculent les con-

30 ditions optimales de fonctionnement à partir des caractéristiques du four qui auront été relevées soigneusement une fois pour toutes. Ces caractéristiques peuvent être vérifiées une fois par an ou bien en cas d'anomalies de fonctionnement. Les frais de réalisation du sys-  
tème sont réduits et l'appareillage ne nécessite pratiquement pas

35 d'entretien.

L'invention sera exposée plus en détail à l'aide de figures qui en représentent seulement un mode d'exécution.

La figure 1 montre un schéma de principe illustrant la régulation  
5 d'un four Pit.

La figure 2 montre un diagramme de combustion optimal relevé sur un  
four Pit.

10 Sur la figure 1 est représenté un four Pit 1 comportant un dispositif d'évacuation 2 des fumées de combustion qui traversent deux échangeurs de chaleur 3 et 4 servant à préchauffer le combustible et le comburant. Le combustible est dans le cas présent du gaz de haut-fourneau (amené par la conduite 5a) enrichi en gaz naturel (amené par la conduite 5b) de sorte à maintenir un PCI (pouvoir calorifique intrinsèque) constant. La capacité énergétique constante du combustible est assurée par un système doseur 5c. Notons au passage que lorsqu'on utilise du gaz naturel pur ou un fuel liquide on ne procède pas à un préchauffage.

20

Le débit du combustible est contrôlé par un ventilateur 6a et par une vanne 6c commandée par un servo-moteur 6b. Ce dispositif est situé de préférence en amont de l'échangeur 4.

25 Comme comburant on peut utiliser de l'air éventuellement enrichi en oxygène dont le débit est pareillement contrôlé par un ventilateur 7a et une vanne 7c commandée par un servo-moteur 7b. La vanne 7c est située entre l'échangeur de chaleur 3 et un débitmètre 15. Le combustible et le comburant sont ensuite amenés par les conduites 8 resp. 9 au brûleur 10 du four. Un capteur de pression 11 surveille la pression régnant à l'intérieur du four et transmet les valeurs mesurées à un système régulateur de pression 12a commandant un servo-moteur 12b, qui agit sur une vanne 12c, montée de préférence en aval de l'échangeur de chaleur 4, dans la cheminée d'évacuation 35 des fumées de combustion.

La température des fumées de combustion est surveillée en permanence en amont et en aval des échangeurs de chaleur 3,4 par les capteurs 13 b et 13 c et des dispositifs de sécurité 16a et 16b font entrer de l'air ambiant dans le dispositif d'évacuation des fumées 2 lors-  
5 que les températures mesurées dépassent des limites fixées d'avance. Notons encore que la température du combustible ainsi que celle du comburant sont mesurées en aval des échangeurs de chaleur 3 et 4, par les capteurs 13d, 13e.

10 Pour la mise en oeuvre de l'invention on procède ensuite de façon suivante:

On fait fonctionner le four à sa température d'utilisation normale, qui est dans le cas présent d'environ 1300°C. On surveille la com-  
15 position des fumées d'échappement à l'aide d'un analyseur de gaz 17 du genre décrit précédemment. On ajuste de façon connue le rapport entre le combustible et le comburant de sorte à avoir une concen-  
tration résiduelle d'oxygène choisie d'avance. Lorsqu'on introduit p.ex. une charge de lingots froids dans le four, la température me-  
surée par l'intermédiaire du capteur 18 chute. On augmente de façon connue le débit de combustible et de comburant et on ajuste leur  
20 rapport en fonction des mesures faites par l'analyseur de gaz 17 de sorte à retrouver la concentration résiduelle d'oxygène voulue. Au fur et à mesure que le lingot chauffe, la demande d'énergie diminue et il y a de nouveaux réglages à faire. On trace ensuite pour une température constante du four le diagramme qui montre quel débit de  
25 combustible correspond à quel débit de comburant pour obtenir une concentration résiduelle d'oxygène ou de CO donnée dans les fumées de combustion.

30 Sur la figure 2 on a représenté cette courbe pour un excès d'oxygène de 0,4 % avec en abscisses le débit d'air et en ordonnées le débit de gaz combustibles. La température du four a été gardée constante à 1320°C. Bien qu'à priori cette courbe peut être de forme quelconque on constate qu'elle est linéaire dans le cas présent. La demande-  
35 resse a trouvé que cette courbe de réponse est toujours proche d'une droite dans les gammes de fonctionnement normales d'un four Pit.

Cette circonstance simplifie l'automatisation du fonctionnement de ce four, mais ne limite en rien l'envergure de l'invention qui est en fait indépendante de la forme de cette courbe.

5 Une fois qu'on a relevé et éventuellement emmagasiné dans le système de calcul 24, la/les courbes de réponse pour la/les températures et concentrations résiduelles d'oxygène ou de CO en considération, on court-circuite l'analyseur des gaz 17 et on fait fonctionner le four de manière automatique. On entre les données définissant la quantité  
10 résiduelle d'oxygène ou de CO désirée dans les fumées de combustion dans le système de calcul 24. Le dispositif 22 est réglé à la température désirée. On compare la température réelle du four, mesurée grâce au capteur 18, à la température désirée dans un comparateur 21 qui transmet, selon le résultat, un signal d'ouverture ou de fermeture 15 au servo-moteur 7b couplé à la vanne 7c.

Le débit réel de l'air est mesuré à l'aide d'un débitmètre 15, relié à un convertisseur (analogique ou digital) débit - tension 23 qui communique le résultat de mesure au système de calcul 24. Le système  
20 24 transmet au régulateur 25, pour chaque débit de comburant mesuré, le débit de combustible exigé pour avoir une combustion en accord avec la concentration résiduelle d'oxygène ou de CO désirée dans les fumées de combustion. Pour optimiser davantage le fonctionnement du four, on relie également le système de calcul 24 au capteur de  
25 température 18 de sorte qu'il base ses calculs sur les données qui sont en accord non pas avec la température choisie, mais avec la température instantanée du four.

Dans l'exemple d'un four Pit, tel qu'il a été décrit précédemment,  
30 dans lequel il existe une simple relation linéaire entre les débits de combustible et de comburant pour avoir une combustion optimale, le système de calcul 24 peut se réduire à un simple circuit analogique dans lequel on multiplie le débit d'air mesuré par un facteur égal à la pente de la droite représentée en fig.2 et on retranche  
35 une valeur fixe dépendant de l'endroit où la droite traverse l'axe des ordonnées. Dans ce cas on base le fonctionnement du four sur une unique courbe de réponse correspondant à la température de fonction-

nement choisie du four et on ne tient pas compte des variations instantanées de la température de celui-ci.

La valeur optimale de combustible qui correspond au débit d'air mesuré est transmise au régulateur 25 qui agit sur un servo-moteur 6b relié à la vanne 6c. Le débit réel du combustible est surveillé à l'aide du débitmètre 14 et comparé, après conversion dans le convertisseur débit-tension 26, à la valeur de consigne calculée par le dispositif 24. Le régulateur 25, qui compare ces deux valeurs, transmet ensuite un signal de correction au servo-moteur.

Nous remarquons que le débit d'air n'est pas directement asservi dans l'exemple décrit, bien qu'un asservissement soit réalisable avec des moyens réduits, étant donné qu'on mesure ce débit de toute façon. Ceci provient du fait que le débit d'air est indirectement asservi par l'intermédiaire de la température mesurée dans le four.

Dans l'exemple décrit, on a ajusté le débit de combustible en accord avec le débit de comburant. La façon inverse de procéder est tout aussi valable.

On peut évidemment pour des fours polyvalents, mettre en mémoire dans le système de calcul 24 une multitude de diagrammes combustible-comburant pour des excès d'oxygène et de CO différents et passer ensuite aisément d'un régime de fonctionnement à un autre par de simples réglages électroniques.

Revendications

1. Procédé pour optimiser le fonctionnement d'un four, notamment d'un four industriel, dans lequel on ajuste le rapport de débit entre 5 combustible et comburant de sorte à maintenir une quantité résiduelle fixe d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion, caractérisé en ce qu'on mesure le débit de comburant et qu'on ajuste en conséquence le débit de combustible conformément à des courbes de réponse du four préétablies.
- 10
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on établit les courbes de réponse à charge variable en gardant la température du four et la quantité résiduelle d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion constantes.
- 15
3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on établit les courbes de réponse pour chaque température de fonctionnement du four entrant en considération ainsi que pour chaque quantité résiduelle d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion.
- 20
4. Procédé selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on met les courbes de réponse en mémoire dans un calculateur qui calcule en fonction de la température réelle du four et du débit du comburant, le débit de combustible qui y correspond pour avoir la 25 quantité résiduelle d'oxygène ou de CO désirées dans les fumées de combustion.
5. Procédé selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on fixe la température de fonctionnement du four et qu'on recrée de 30 façon analogique la courbe de réponse du four, correspondant à cette température et à la quantité résiduelle désirée d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion.
- 35
6. Procédé selon une des revendication 1 à 5 dans lequel on mesure le débit du combustible au lieu de celui du comburant et où on ajuste le débit du comburant au lieu de celui du combustible.

7. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé décrit dans une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (22) pour choisir une température de fonctionnement du four, des moyens (14,15) pour mesurer les débits de combustible resp. de comburant envoyés au brûleur (10), des moyens (6b,6c,7b,7c) pour influencer lesdits débits, des moyens (21) pour comparer la température réelle du four à la température choisie d'avance et pour commander l'augmentation resp. la diminution du débit du comburant lorsque la température du four descend en-dessous resp. dépasse la température choisie, des moyens (24) pour calculer, en fonction du débit du comburant mesuré et de la température de fonctionnement choisie, le débit de combustible aboutissant à la quantité résiduelle désirée d'oxygène ou de CO dans les fumées de combustion et des moyens (25,6b,6c) pour ajuster le débit de combustible à la valeur calculée.
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (25) pour comparer le débit de combustible réel à celui qui a été calculé et pour modifier le débit de sorte que l'écart entre les deux valeurs tende vers zéro.
9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens de calcul (24) sont également reliés au capteur de température (18) du four, de sorte à calculer le débit de combustible non pas en fonction de la température de fonctionnement choisie, mais en fonction de la température réelle du four.

83630042,6  
0088717  
1/2

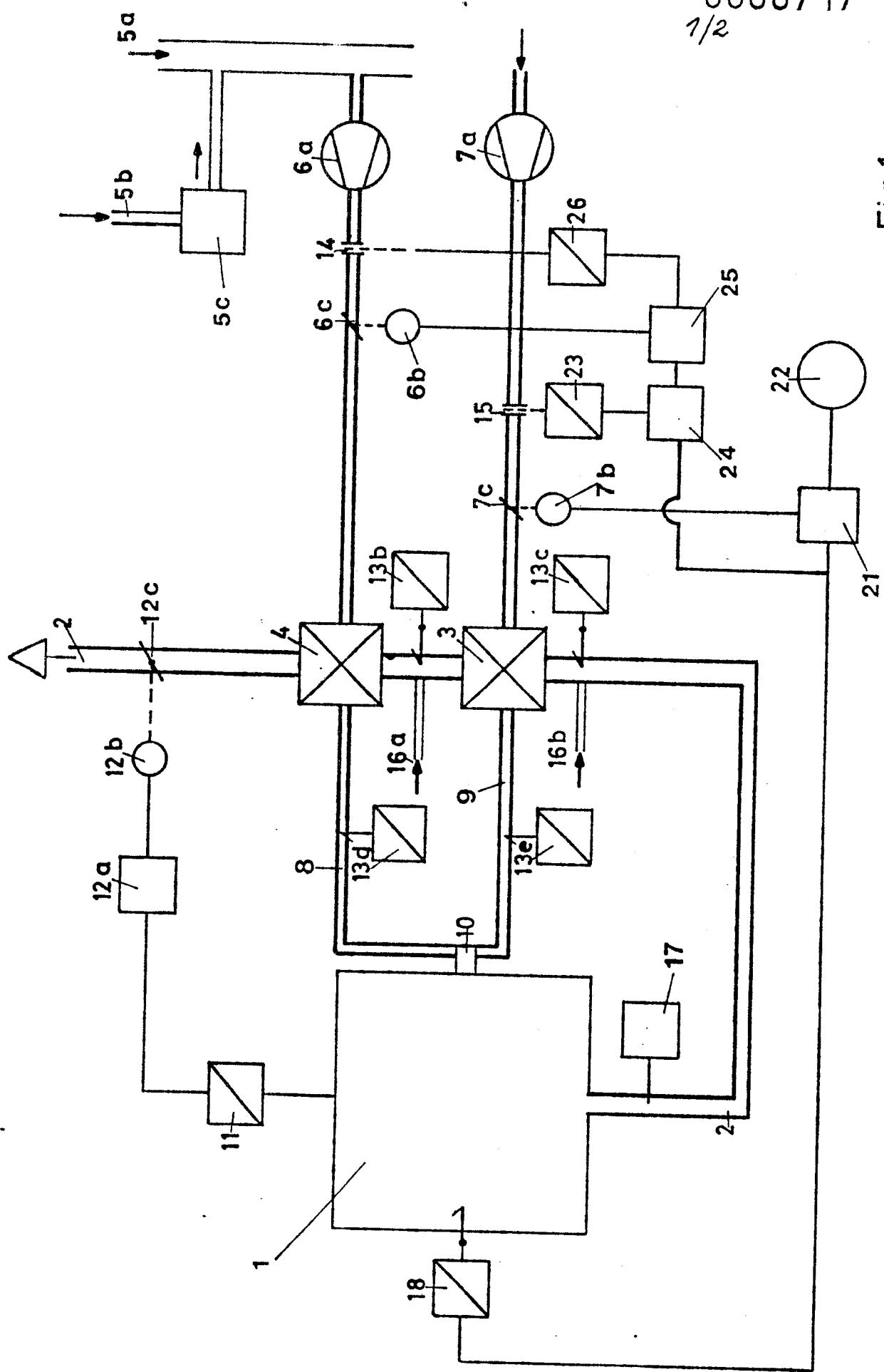


Fig.1

83630042.€  
0088717

2/2

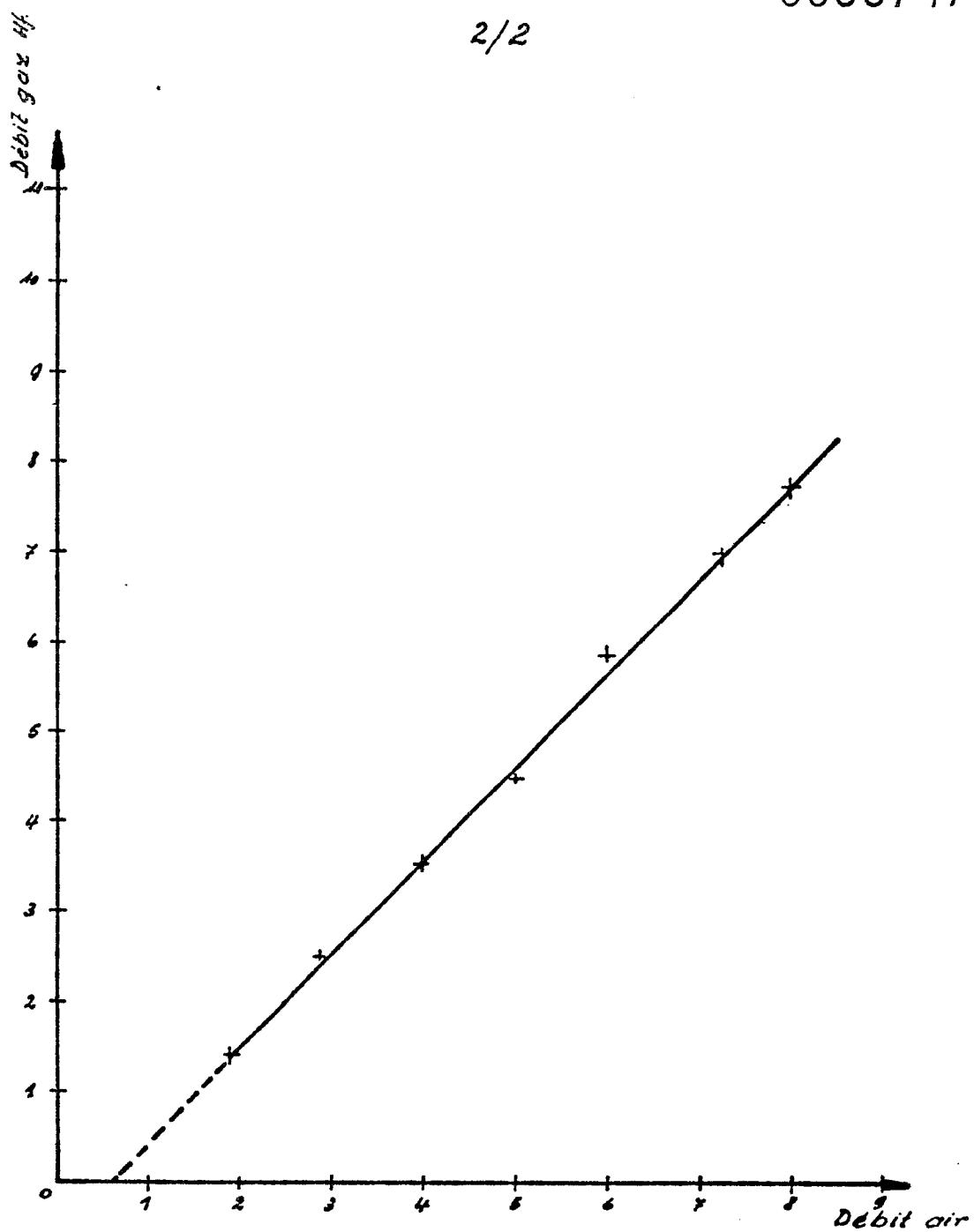


FIG 2

0088717



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 83 63 0042

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS					
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)		
Y	DE-A-3 010 147 (LICENTIA PATENT VERWALTUNGS GmbH) * Figures 1-7; pages 1,2; page 8, lignes 33-35; page 12, lignes 2-9; page 14, lignes 6-18 *	1,4,7-9	F 23 N 1/02 F 23 N 5/00		
Y	US-A-3 284 615 (E.W. YETTER)  * Figures 1-4; colonne 3, lignes 46-50; colonne 5, lignes 3-57; colonne 7, lignes 6-52 *	1,6,7-9			
Y	DE-A-2 745 459 (MEASUREX CORP.) * Figures 1,2; page 11, dernier alinéa - page 12, en entier *	1,6,7			
A	EP-A-0 030 736 (SERVO-INSTRUMENT) * Figures 1,2; revendications 1,2; page 2, lignes 16-26 *	1,7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)		
A	US-A-4 097 218 (J.W. WOMAK) * Figures 3-7; colonne 11, lignes 40-57; revendication 1 *	1,7	F 23 N		
	---	-/-			
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications					
Lieu de la recherche LA HAYE	Date d'achèvement de la recherche 14-06-1983	Examinateur THIBO F.			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES					
X : particulièrement pertinent à lui seul	T : théorie ou principe à la base de l'invention				
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie	E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date				
A : arrière-plan technologique	D : cité dans la demande				
O : divulgation non-écrite	L : cité pour d'autres raisons				
P : document intercalaire	& : membre de la même famille, document correspondant				

0088717



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 83 63 0042

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			Page 2
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	<p>INSTRUMENTS &amp; CONTROL SYSTEMS, vol. 49, no. 6, juin 1976, pages 25-32, Radnor, PA, USA R.T. KELLER et al.: "New control system + one boiler X multiple fuels = lower costs" * Figures 9-11; page 30, colonne de droite, alinéas 1-4 *</p> <p>-----</p>	2,3,5	
DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)			
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>	Date d'achèvement de la recherche <b>14-06-1983</b>	Examinateur <b>THIBO F.</b>	
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille de document correspondant</p>			