

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 781 965 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

02.07.1997 Bulletin 1997/27(51) Int Cl.⁶: **F23N 1/08**(21) Numéro de dépôt: **96402520.9**(22) Date de dépôt: **22.11.1996**

(84) Etats contractants désignés:

AT BE CH DE DK ES FI GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE(30) Priorité: **01.12.1995 FR 9514216**(71) Demandeur: **GAZ DE FRANCE**
75017 Paris (FR)

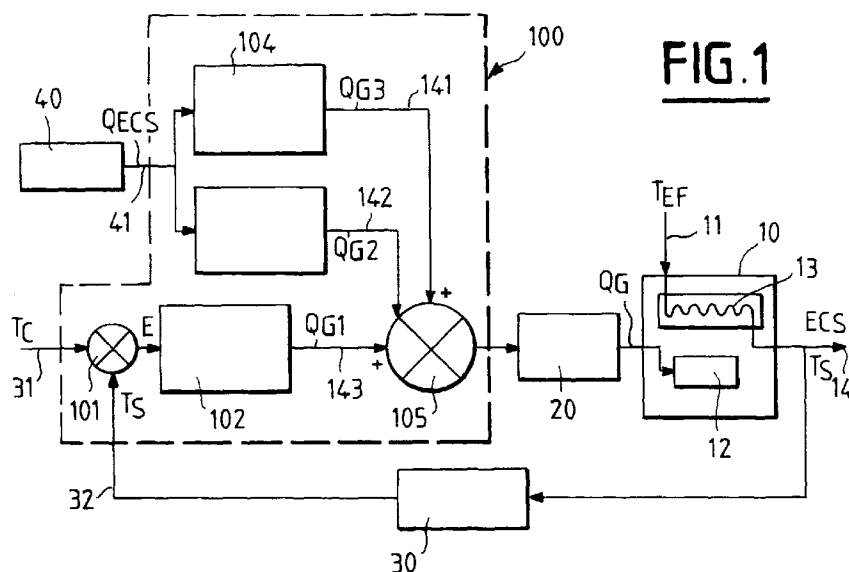
(72) Inventeurs:

- **Pontiggia, Philippe**
75007 Paris (FR)
- **Tastet, Olivier**
75017 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Thévenet, Jean-Bruno et al**
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cédex 07 (FR)(54) **Installation de production d'eau chaude sanitaire par chaudière à gaz et procédé de régulation de la température d'eau chaude sanitaire dans une telle installation**

(57) L'installation de production d'eau chaude sanitaire comprend un dispositif (40) de mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire dans le circuit (11, 14) de production d'eau chaude sanitaire, un dispositif (30) de mesure de la température (T_s) de l'eau chaude sanitaire en sortie de l'échangeur de chaleur (13) et un système (100) de commande de la vanne de modulation (20) comprenant lui-même un module (102) de régulation en boucle fermée de la vanne de modulation (20) à partir de la température (T_s) mesurée par ledit dispositif (30) de mesure de température et d'une tem-

pérature de consigne (T_c), un module (103) à action proportionnelle de régulation directe de la vanne de modulation (20) à partir des informations (Q_{ECS}) fournies par le dispositif (40) de mesure de débit de puisage (Q_{ECS}), et un module (104) de régulation impulsionnelle de la vanne de modulation (20) à partir des variations de débit détectées par le dispositif (40) de mesure de débit, le module (104) de régulation impulsionnelle engendrant un signal créant un pic du débit d'alimentation en gaz du brûleur (12) par la vanne de modulation (20) à chaque variation brusque significative de débit de puisage d'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) mesurée.

**FIG. 1**

Description

La présente invention a pour objet une installation de production d'eau chaude sanitaire pour chaudière à gaz à brûleur atmosphérique, comprenant un foyer de chaudière équipé d'un brûleur alimenté en gaz par l'intermédiaire d'une vanne de modulation commandée électriquement, et au moins un échangeur de chaleur entre ledit foyer et un circuit de production d'eau chaude sanitaire comportant une ligne d'arrivée d'eau froide et une ligne de puisage d'eau chaude sanitaire.

L'invention concerne également un procédé de régulation de la température d'eau chaude sanitaire dans une installation de production d'eau chaude sanitaire par échange de chaleur avec un foyer de chaudière à gaz comportant un brûleur atmosphérique dont le débit d'alimentation en gaz est modulé à partir d'un système d'asservissement.

Dans les installations connues de production d'eau chaude sanitaire par chaudière à gaz, il est bien connu que la température de sortie de l'eau chaude sanitaire a tendance à varier en fonction de la quantité d'eau chaude consommée par les utilisateurs. Ainsi, en cas d'augmentation du débit de puisage d'eau chaude par un utilisateur prenant un bain ou une douche, ou du fait de la mise en service d'un autre appareil consommant de l'eau chaude, tel qu'un lave-vaisselle, la température de sortie de l'eau chaude produite a tendance à baisser. Pour remédier à cet inconvénient, on a déjà envisagé de procéder à une régulation du débit de gaz fourni au brûleur de la chaudière, ce débit étant commandé par une vanne de modulation à commande électrique.

Les divers systèmes d'asservissement connus, mécaniques ou électroniques, ne se sont toutefois pas montrés suffisamment efficaces pour garantir une température constante de l'eau chaude consommée, même en cas de variations brusques de débit, qui sont pourtant fréquentes en pratique, notamment lorsque plusieurs utilisateurs s'approvisionnent en eau chaude à partir d'une même installation de production d'eau chaude.

L'invention a pour but de remédier aux inconvénients précités et de permettre le maintien à une valeur constante et stable de la température de sortie de l'eau chaude sanitaire fournie par une installation de production d'eau chaude sanitaire par chaudière à gaz, quel que soit le débit d'eau puisée, y compris lorsque les variations de débit sont très brusques du fait de la mise en marche ou de l'arrêt par un utilisateur d'un appareil de consommation d'eau chaude.

Ces buts sont atteints grâce à une installation de production d'eau chaude sanitaire pour chaudière à gaz à brûleur atmosphérique, comprenant un foyer de chaudière équipé d'un brûleur alimenté en gaz par l'intermédiaire d'une vanne de modulation commandée électriquement, et au moins un échangeur de chaleur entre ledit foyer et un circuit de production d'eau chaude sanitaire comportant une ligne d'arrivée d'eau froide et une ligne de puisage d'eau chaude sanitaire, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un dispositif de mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire dans le circuit de production d'eau chaude sanitaire, un dispositif de mesure de la température (T_s) de l'eau chaude sanitaire en sortie de l'échangeur de chaleur et un système de commande de la vanne de modulation commandée électriquement, le système de commande de la vanne de modulation comprenant un module de régulation en boucle fermée de la vanne de modulation à partir de la température (T_s) mesurée par ledit dispositif de mesure de température et d'une température de consigne (T_c), un module à action proportionnelle de régulation directe de la vanne de modulation à partir des informations (Q_{ECS}) fournies par le dispositif de mesure de débit de puisage (Q_{ECS}), et un module de régulation impulsioneille de la vanne de modulation à partir des variations de débit détectées par le dispositif de mesure de débit, le module de régulation impulsioneille engendrant un signal créant un pic du débit d'alimentation en gaz du brûleur par la vanne de modulation à chaque variation brusque significative de débit de puisage d'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) mesurée par ledit dispositif de mesure, le pic étant positif ou négatif selon que la variation correspond à une augmentation ou une diminution de ce débit, les valeurs initiale et finale du pic étant nulles et l'amplitude d'un pic étant proportionnelle à la variation de débit détectée.

De façon plus particulière, le module de régulation impulsioneille comprend des moyens pour engendrer un signal échantillonné créant un pic de débit de gaz (Q_{G3}) dont la valeur est obtenue en fonction du débit de puisage d'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) par la formule échantillonnée suivante :

$$Q_{G3}(n) = k_1 \cdot Q_{G3}(n-1) + k_2 \cdot (Q_{ECS}(n) - Q_{ECS}(n-1)),$$

où

k_1 est un coefficient dont la valeur est comprise entre 0 et 1,

k_2 est un paramètre positif réglé en fonction du type de chaudière,

$Q_{G3}(n)$ et $Q_{G3}(n-1)$ désignent la valeur de pic du débit de gaz (Q_{G3}) aux instants n et $n-1$, et

$Q_{ECS}(n)$ et $Q_{ECS}(n-1)$ désignent la valeur du débit de puisage d'eau sanitaire aux instants n et $n-1$.

Selon un mode particulier de réalisation, le module de régulation impulsioneille comprend des moyens pour définir le paramètre positif k_2 réglé en fonction du type de chaudière, à partir des informations suivantes : capacité calorifique

(Cp) de l'eau, rendement (η) de l'installation, pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz, température de consigne (Tc) et température de l'eau froide (Tef) introduite dans le circuit de circulation d'eau chaude sanitaire, selon la formule

5

$$k_2 = C_p.(T_c - T_{ef}) / \eta.PCI.$$

Avantageusement, le module de régulation en boucle fermée comprend un circuit d'asservissement du type PID (Proportionnel-Intégrale-Dérivée) dont la grandeur d'entrée est constituée par l'écart entre la température (Ts) mesurée par ledit dispositif de mesure de température et la température de consigne (Tc).

10 Selon un autre mode de réalisation avantageux, le module de régulation en boucle fermée comprend un contrôleur flou recevant en entrée une information d'erreur de température E correspondant à la différence entre la température (Ts) mesurée par ledit dispositif de mesure de la température et la température de consigne (Tc), ainsi qu'une information correspondant à la dérivée par rapport au temps de l'information d'erreur de température.

15 Dans ce cas, de préférence, le module de régulation en boucle fermée comprend en outre un circuit d'asservissement de type PI (Proportionnel-Intégrale) placé en sortie du contrôleur flou et recevant en entrée une information (dQ_G) de variation de débit d'alimentation en gaz du brûleur.

Ceci permet d'éviter d'éventuelles instabilités ou oscillations du système.

L'invention concerne également un procédé de régulation de la température d'eau chaude sanitaire dans une installation de production d'eau chaude sanitaire par échange de chaleur avec un foyer de chaudière à gaz comportant un brûleur atmosphérique dont le débit d'alimentation en gaz est modulé à partir d'un système d'asservissement, caractérisé en ce que le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est asservi à partir de la mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire, d'une part, par une régulation directe à action proportionnelle à partir de ladite mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire et, d'autre part, par une régulation impulsionnelle à partir des sauts significatifs (ΔQ_{ECS}) de la valeur mesurée du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire, la régulation impulsionnelle agissant sur le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur de manière à créer un pic selon une fonction "pic" f(t) telle que, si t = 0 est l'instant du saut de débit ΔQ_{ECS} positif, respectivement négatif, la fonction f(t) est définie par :

- f(0-) = 0
- f(0+) = k₂ ΔQ_{ECS} , avec k₂ coefficient positif,
- f est décroissante (resp. croissante) sur]0, + ∞ [
- $\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = 0$

35 Dans ce cas, le coefficient positif k₂ peut être réglé en fonction du type de chaudière, à partir des informations suivantes : capacité calorifique (Cp) de l'eau, rendement (η) de l'installation, pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz, température de consigne (Tc) et température de l'eau froide (Tef) introduite dans le circuit de circulation d'eau chaude sanitaire, selon la formule :

40

$$k_2 = C_p.(T_c - T_{ef}) / \eta.PCI.$$

Avantageusement, le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi à partir de l'écart entre la température réelle (Ts) de l'eau chaude sanitaire produite et une température de consigne (Tc) selon un asservissement en boucle fermée du type PID (Proportionnel-Intégrale-Dérivée).

Selon un autre mode de réalisation avantageux, le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi, par une commande floue, à partir d'une information d'erreur de température E correspondant à la différence entre la température réelle (Ts) de l'eau chaude sanitaire produite et une température de consigne (Tc), et à partir d'une information correspondant à la dérivée par rapport au temps de l'information E d'erreur de température.

50 Dans ce cas, de préférence, le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi à partir de l'information de sortie de la commande floue selon un asservissement de type PI (Proportionnel-Intégrale).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- 55 - la Figure 1 est un schéma-bloc d'ensemble d'une installation de production d'eau chaude sanitaire selon l'invention ;
- la Figure 2 est un diagramme montrant un exemple d'évolution brusque, en fonction du temps du débit Q_{ECS} d'eau chaude sanitaire puisée dans une installation telle que celle de la Figure 1 ;

- la Figure 3 est un diagramme montrant de façon comparative l'évolution de la température de sortie d'eau chaude sanitaire produite dans une installation classique et dans l'installation de la Figure 1, lorsque le débit d'eau chaude puisée évolue selon le diagramme de la Figure 2 ;
- la Figure 4 est un diagramme montrant l'évolution en fonction du temps de la quantité de gaz fournie au brûleur de l'installation de la Figure 1, lorsque le débit d'eau chaude puisée évolue selon le diagramme de la Figure 2 ;
- la Figure 5 est un schéma-bloc d'une variante de réalisation de l'installation de production d'eau chaude sanitaire selon l'invention qui met en oeuvre un contrôleur flou ;
- la Figure 6 montre un exemple de table d'inférence pouvant être associée au contrôleur flou de l'installation de la Figure 5 ;
- la Figure 7 montre un exemple de fonctions d'appartenance d'une variable d'entrée (écart de température E) du contrôleur flou de l'installation de la Figure 5 ;
- la Figure 8 montre un exemple de fonctions d'appartenance d'une autre variable d'entrée (dérivée par rapport au temps de l'écart de température E) du contrôleur flou de l'installation de la Figure 5 ; et
- la Figure 9 montre un exemple de fonctions d'appartenance de la variable de sortie (écart de débit d'alimentation en gaz dQ_G) du contrôleur flou de l'installation de la Figure 5.

La Figure 1 représente de façon schématique une installation de production d'eau chaude sanitaire comprenant un foyer de chaudière à gaz 10 équipé d'un brûleur atmosphérique 12 alimenté par un débit Q_G de gaz à partir d'une vanne de modulation 20 à commande électrique. Le circuit de production d'eau chaude sanitaire comprend une entrée 11 d'alimentation en eau froide à une température Tef, un échangeur de chaleur 13 entre l'eau froide et la chaleur dégagée dans le foyer 10 par la flamme issue du brûleur 12 et une sortie 14 de fourniture d'eau chaude sanitaire à une température de sortie Ts et avec un débit Q_{ECS} .

Dans une installation domestique, le débit Q_{ECS} de l'eau chaude sanitaire puisée par les utilisateurs varie de façon brusque et non prévisible en fonction du nombre d'appareils de consommation d'eau chaude mis en ou hors service (douche, lavabo, baignoire, lave-vaisselle,...). Si la quantité de chaleur produite dans le foyer de la chaudière 10 reste constante, les variations du débit Q_{ECS} conduiront automatiquement à des variations du même ordre pour la température Ts de l'eau chaude sanitaire produite, ce qui s'avère désagréable pour les utilisateurs. C'est pourquoi l'installation selon l'invention est équipée d'un système 100 de commande de la vanne de régulation 20 de manière à pouvoir ajuster en temps réel le débit de gaz Q_G fourni au brûleur 12 et ainsi assurer un maintien constant ou quasi constant de la température Ts de sortie de l'eau chaude sanitaire.

Pour cela, l'installation comprend un débitmètre 40 placé sur le circuit de production d'eau chaude sanitaire afin de mesurer en permanence le débit réel d'eau chaude puisée. La température Ts de sortie de l'eau chaude sanitaire est, de la même façon, mesurée par une sonde de température 30 fournissant, par des lignes 41, respectivement 32, des informations sur les valeurs du débit Q_{ECS} et de la température Ts au système 100 de commande de la vanne de régulation 20, qui peut comprendre un micro-contrôleur associé à des convertisseurs analogiques-numériques (pour les informations d'entrée) et un convertisseur numérique-analogique (pour la commande de la vanne 20).

Une valeur de température de consigne Tc, à laquelle doit être maintenue la température de sortie Ts de l'eau chaude sanitaire, peut être définie une fois pour toutes dans le système de commande 100 ou être fournie à partir d'une information externe appliquée par une ligne 31 à travers une interface de communication entre le système de commande 100 et les utilisateurs.

Conformément à l'invention, le système de commande 100 comprend un module de régulation 104 qui reçoit en entrée, par la ligne 41, une information fournie par le débitmètre 40 concernant le débit Q_{ECS} d'eau chaude sanitaire puisée. Le module 104 détecte les variations brusques significatives du débit Q_{ECS} qui constituent des sauts de débit d'une valeur ΔQ_{ECS} , et génère en sortie, sur une ligne 141, un signal de commande tendant à provoquer instantanément un pic du débit de gaz Q_{G3} devant être fourni par la vanne de modulation 20 au brûleur 12, dès l'apparition d'un tel saut de débit ΔQ_{ECS} .

Les propriétés du module 104 générant les pics de débit de gaz Q_{G3} au moment des variations brusques de débit ΔQ_{ECS} sont les suivantes :

- les pics de débit de gaz Q_{G3} sont provoqués uniquement par détection de variations du débit de gaz mesuré par le débitmètre 40,
- les valeurs initiale et finale du pic sont nulles,
- l'amplitude des pics est proportionnelle à la variation ΔQ_{ECS} du débit de puisage de l'eau chaude sanitaire,
- le pic a lieu dans le même sens que la variation ΔQ_{ECS} du débit de puisage, c'est-à-dire que le pic est positif lorsque le débit Q_{ECS} d'eau chaude augmente et le pic est négatif lorsque le débit Q_{ECS} d'eau chaude diminue.

D'une manière générale, la fonction "pic" f(t) donnant la configuration du pic en fonction du temps lors d'un saut de débit ΔQ_{ECS} positif (resp. négatif) peut s'exprimer de la façon suivante :

soit $t = 0$ l'instant du saut de débit ΔQ_{ECS} positif (resp. négatif), alors la fonction $f(t)$ se définit par :

- . $f(0^-) = 0$
- . $f(0^+) = k_2 \Delta Q_{ECS}$, avec $k_2 > 0$,
- . f est décroissante (resp. croissante) sur $]0, +\infty[$
- . $\lim_{t \rightarrow +\infty} f = 0$

Le coefficient k_2 positif est une constante dont la valeur est déterminée en fonction du type de chaudière et de la nature du gaz combustible utilisé.

A titre d'exemple, le coefficient k_2 peut être défini à partir des informations suivantes :

capacité calorifique de l'eau C_p
rendement de l'installation η
pouvoir calorifique inférieur du gaz PCI
température de consigne T_c et
température T_{ef} de l'eau froide introduite dans le circuit de fourniture d'eau chaude.

Dans ce cas, la formule donnant k_2 peut s'écrire :

$$k_2 = C_p \cdot (T_c - T_{ef}) / \eta \cdot PCI$$

A titre d'exemple, la température de l'eau froide T_{ef} peut être comprise entre 5°C et 15°C avec une valeur moyenne de 10°C ; la température de consigne peut être de 50°C, la valeur de la capacité calorifique de l'eau C_p peut être prise égale à 4180 J/kg ; le pouvoir calorifique inférieur du gaz PCI pour du gaz naturel peut être de l'ordre de 10000 et le rendement η de la chaudière et des échangeurs de chaleur (c'est-à-dire l'écart entre la puissance fournie par la chaudière et la puissance récupérée par l'eau) peut être compris entre 0,7 et 0,95.

Dans des conditions de fonctionnement typiques, le coefficient k_2 peut ainsi présenter une valeur de l'ordre de 20. Avec un tel exemple, en cas de saut de débit positif (resp. négatif) ΔQ_{ECS} de 6 litres par minute, soit 0,1 kg/s, la valeur du débit supplémentaire de gaz Q_{G3} fourni par le brûleur 12 devra être au niveau de la pointe du pic de l'ordre de 2 m³/h.

En pratique, le système de commande 100 équipé d'un micro-contrôleur agit par pas de temps et la fonction $f(t)$ mentionnée plus haut, qui doit définir un pic avec une croissance brusque puis une décroissance plus lente, est exprimée sous une forme échantillonnée.

Ainsi, la fonction "pic" assurée par le module de régulation 104 et donnant la valeur du débit de gaz supplémentaire Q_{G3} à fournir au brûleur 12 peut être liée au débit instantané d'eau chaude sanitaire Q_{ECS} par la formule échantillonnée suivante :

$$Q_{G3}(n) = k_1 \cdot Q_{G3}(n-1) + k_2 \cdot (Q_{ECS}(n) - Q_{ECS}(n-1))$$

où

$0 < k_1 < 1$ (k_1 étant lié à la période d'échantillonnage des mesures et à l'inertie de l'installation),
 k_2 est un coefficient positif réglé en fonction de la chaudière, par exemple de la façon indiquée plus haut,
 $Q_{G3}(n)$ et $Q_{G3}(n-1)$ désignent la valeur du pic de débit de gaz aux instants n et $n-1$
 $Q_{ECS}(n)$ et $Q_{ECS}(n-1)$ désignent la valeur du débit d'eau chaude sanitaire mesurée par le débitmètre 40 et échantillonné aux instants n et $n-1$.

A titre d'exemple, si la période d'échantillonnage des mesures est de 0,5 seconde, k_1 pourra être choisi égal à 0,8 et la valeur du pic sera ramenée à une valeur proche de zéro au bout de 5 secondes.

Les diagrammes des Figures 2 à 4 permettent de mieux visualiser le rôle du module de régulation 104.

La Figure 2 montre une courbe 210 donnant l'évolution du débit d'eau chaude sanitaire Q_{ECS} en fonction du temps, avec un premier tronçon 211 correspondant à un débit Q_{ECS1} relativement régulier correspondant par exemple à la consommation d'eau chaude par un utilisateur prenant une douche ou un bain. Un deuxième tronçon 212 correspond à un débit d'eau chaude puisée Q_{ECS2} accru entre les instants t_1 et t_2 du fait du prélèvement d'eau chaude par un

autre utilisateur ou appareil tel qu'un lave-vaisselle. Un troisième tronçon 213 après l'instant t_2 correspond à un retour aux conditions antérieures à l'instant t_1 , c'est-à-dire l'arrêt de prélèvement supplémentaire d'eau chaude. Comme on peut le voir sur la Figure 2, le prélèvement d'un débit supplémentaire d'eau chaude provoque un saut brusque de débit à l'instant t_1 , dans le sens d'une augmentation et un saut aussi brusque de débit, mais dans le sens d'une diminution, à l'instant t_2 .

La Figure 3 montre une courbe 220 donnant la température de sortie T_s de l'eau chaude sanitaire produite par l'installation conforme à l'invention. On voit que cette température de sortie T_s reste en permanence égale à la température de consigne T_c ou très proche de celle-ci.

La température T_s reste égale à la température de consigne T_c aussi bien sur un tronçon 221, antérieur à l'instant t_1 , que pendant la majeure partie du tronçon 223 compris entre les instants t_1 et t_2 ou sur le tronçon 225 postérieur à l'instant t_2 . Une très légère pointe négative résiduelle 222 ou une très légère pointe positive résiduelle 224 peuvent être présentes au voisinage des instants t_1 et t_2 compte tenu du temps de réaction du brûleur 12, mais ces fluctuations sont bien moindres que dans le cas d'un système de modulation ne comportant pas le module de régulation impulsif 104 créateur de pointes de débit de gaz sélectives positives ou négatives.

On a ainsi représenté en pointillés sur la Figure 3 l'évolution de la température de sortie T_s de l'eau chaude sanitaire dans le cas où le module de régulation impulsif 104 serait absent, mais où le système de commande 100 ne comporterait qu'un module de régulation 103 plus classique à action proportionnelle. Un tel module de régulation 103 (Figure 1) reçoit une information de la part du débitmètre 40 et fournit, à la vanne de commutation 20, un signal commandant l'évolution du débit de gaz Q_{G2} fourni au brûleur 12, selon une loi de proportionnalité. Dans le cas où un tel module de régulation direct 103 est utilisé seul, en cas de variation brusque du débit d'eau chaude Q_{ECS} , comme aux instants t_1 et t_2 , la température T_s s'écarte beaucoup plus fortement de la valeur de consigne T_c et met plus longtemps à revenir à cette valeur (tronçons 226 et 227 en pointillés sur la Figure 3).

Dans le système de commande 100 selon l'invention, les deux modules de régulation 103 et 104 coexistent et délivrent, par des lignes 142, 141, à un circuit sommateur 105 des signaux commandant une évolution du débit de gaz Q_G selon, d'une part, une évolution proportionnelle Q_{G2} et, d'autre part, une évolution impulsif Q_{G3} . La vanne 20 est commandée par les signaux issus du circuit sommateur 105.

La Figure 4 montre une courbe 230 donnant l'évolution, en fonction du temps, du débit de gaz Q_G appliqué au brûleur 12 par la vanne de modulation 20 lorsque celle-ci reçoit des signaux de commande du circuit sommateur 105 dont les entrées sont reliées, par les lignes 142 et 141, aux modules de régulation 103 et 104.

Dans la période antérieure à l'instant t_1 (maçon 231), le débit Q_G de gaz est égal au débit Q_{G2} de gaz fixé par le module de régulation proportionnelle 103 en fonction du débit d'eau chaude régulier du tronçon 211 de la Figure 2. A l'instant t_1 où un saut de débit d'eau chaude ΔQ_{ECS} est détecté par le module de régulation impulsif 104, celui-ci entre immédiatement en action et fournit une pointe de débit de gaz Q_{G3} (référence 232) qui permet d'atténuer fortement, voire supprimer, la chute de température T_s après l'instant t_1 . La pointe de débit de gaz Q_{G3} revient progressivement à zéro, mais le module de régulation proportionnelle 103 est entre temps entré en action pour réajuster le débit de gaz Q_{G2} à une valeur supérieure à la valeur du débit de gaz Q_{G2} antérieure à l'instant t_1 , pour tenir compte de l'augmentation du débit d'eau chaude prélevée Q_{ECS} . La pointe 232 est ainsi suivie par un tronçon 233 en forme de plateau jusqu'à l'instant t_2 . A l'instant t_2 , le processus de régulation est identique à celui de l'instant t_1 , mais en sens inverse. Le module de régulation impulsif 104 détecte un saut de débit d'eau chaude ΔQ_{ECS} négatif et provoque une pointe négative du débit de gaz Q_{G3} qui se retranche du débit de gaz Q_{G2} précédent, puis cette pointe de débit de gaz Q_{G3} (référence 234) revient à zéro mais, compte tenu du réajustement à la baisse du débit de gaz Q_{G2} défini par le module de régulation proportionnelle 103, la valeur globale Q_G du débit de gaz fourni au brûleur 12 revient à une valeur sensiblement égale à celle précédant l'instant t_1 (tronçon 235).

La régulation de type impulsif à travers le module de régulation 104 et la régulation de type direct ou proportionnel à travers le module de régulation 103 se superposent et exploitent toutes deux les informations de débit fournies par le débitmètre 40.

Avantageusement, un troisième type de régulation peut être superposé aux deux modes de régulation précédents. Ainsi, on voit sur la Figure 1 un circuit de régulation en boucle fermée 102 qui engendre, sur une ligne de sortie 143, un signal de commande du débit de gaz en boucle fermée qui est appliqué au circuit sommateur 105 pour permettre, par l'intermédiaire de la vanne de modulation 20, de fournir au brûleur 12 un débit de gaz Q_{G1} ajusté en fonction de la valeur de la température d'eau T_s mesurée par la sonde de température 30. Un comparateur 101 permet de comparer la valeur T_s de la température de l'eau chaude sanitaire mesurée, appliquée par une ligne 32, à la température de consigne T_c fournie par une ligne 31. L'écart de température E constitue l'entrée du module de régulation en boucle fermée 102.

Le module de régulation en boucle fermée 102 peut comprendre un asservissement du type PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé).

Toutefois, selon une variante de réalisation avantageuse, qui est illustrée par la Figure 5, le module de régulation en boucle fermée 102 comprend un contrôleur flou 122 et constitue un système à commande floue possédant des

règles de commande floues, des fonctions d'appartenance et une table d'inférence.

Le contrôleur flou 122 reçoit en entrée une information d'erreur de température E qui correspond à la différence effectuée par le comparateur 101 entre la température T_s mesurée par la sonde de température 30 et la température de consigne T_c .

Le contrôleur flou 122 reçoit sur une deuxième entrée, par l'intermédiaire d'un circuit dérivateur 121, relié au comparateur 101, une information correspondant à la dérivée dE/dt de l'information d'erreur de température. Le contrôleur flou 122 fournit en sortie une information concernant la variation du débit de gaz dQ_{G1} qui doit être appliquée au brûleur de l'ensemble 10, 20 de chauffage de l'eau sanitaire.

On a représenté sur la Figure 6 un exemple de table d'inférence pouvant convenir pour le contrôleur flou 122. Les abréviations ZE, NG, PG représentent respectivement les termes zéro, négatif grand, positif grand qui caractérisent l'écart E ou la dérivée de l'écart dE/dt précédemment définis comme variables d'entrée du contrôleur flou 122, ainsi que la variable de sortie dQ_{G1} .

A titre d'exemple, selon une des règles, si l'écart E est positif grand, et la dérivée de l'écart dE/dt est également positive et grande, alors la variable de sortie dQ_{G1} devra être négative et grande, c'est-à-dire qu'il conviendra de diminuer de façon sensible le débit de gaz Q_{G1} appliqué au brûleur du fait de la commande du module de régulation 102.

Si, selon un autre cas possible, l'écart E est négatif grand et la dérivée de l'écart dE/dt est positive et grande, la variable de sortie dQ_{G1} sera nulle, c'est-à-dire qu'il n'y aura pas de correction à apporter par la boucle de régulation 102.

Pour les divers cas de cet exemple particulier, il convient de se reporter à la table d'inférence de la Figure 6 qui constitue un tableau matriciel à double entrée.

Naturellement, à chacune des variables d'entrée E , dE/dt et de sortie dQ_{G1} ont été au préalable associées les caractéristiques floues NG, ZE et PG précédemment mentionnées.

Ainsi, à titre d'exemple, on peut considérer que l'écart de température E fourni par le comparateur 101 est négatif grand s'il est compris entre -20° et $+10^\circ$ et positif grand s'il est compris entre $+10^\circ$ et $+20^\circ$ ou au-delà.

De même, à titre d'exemple, la variable d'entrée dE/dt fournie par le différentiateur 121 peut être considérée comme négative grande si elle est comprise entre $-2^\circ/s$ et $-1^\circ/s$ ou en deçà, zéro si elle est comprise entre $-1^\circ/s$ et $+1^\circ/s$ et positive grande si elle est comprise entre $+1^\circ/s$ et $+2^\circ/s$ ou au-delà.

La variable de sortie dQ_{G1} peut elle-même, à titre d'exemple, être considérée comme égale à une valeur de $-2 \text{ m}^3/h$ si elle doit être négative grande, nulle si elle doit être égale à zéro, ou égale à une valeur de $+2 \text{ m}^3/h$ si elle doit être positive grande.

Les Figures 7, 8 et 9 montrent des exemples de fonctions d'appartenance relatives aux caractéristiques floues applicables respectivement à l'écart de température E , à la dérivée de l'écart de température dE/dt par rapport au temps et à la variation dQ_{G1} du débit de gaz.

On se reportera aux Figures 7 à 9 pour voir la forme de ces fonctions d'appartenance qui correspondent pour chaque variable donnée à un terme ou une caractérisation floue (NG, ZE, PG). On retrouve des fonctions d'appartenance de forme triangulaire (pour ZE appliquée aux variables E et dE/dt) pour NG et PG (appliquées aux variables E et dE/dt), ou ponctuelle (singletons pour NG, ZE et PG appliquées à la variable de sortie dQ_{G1}). Ces fonctions d'appartenance présentent des zones de recouvrement et sont comprises entre zéro et un pour les variables E et dE/dt .

Naturellement, il est possible de choisir un nombre de caractéristiques floues supérieur à trois pour chacune des variables d'entrées, selon la précision souhaitée, sans toutefois choisir un nombre trop grand qui produirait une saturation du système.

Le contrôleur flou 122 comprend un étage d'entrée de fuzzification permettant de fournir des variables d'entrée floues à partir des variables E et dE/dt en tenant compte des fonctions d'appartenance de ces variables d'entrée. Une sortie floue est ensuite déterminée, dans un étage d'inférence floue, à partir des règles de commande prédéfinies et des entrées floues issues de l'étage de fuzzification.

Enfin, dans un étage de défuzzification du contrôleur flou 122, il est produit un signal de commande de la variation du débit de gaz dQ_{G1} devant être appliquée au brûleur par la vanne 20. Le signal de commande peut être obtenu à partir d'une valeur de sortie floue par une méthode telle que celle consistant à déterminer le centre de gravité de l'ensemble des règles prédéfinies dont la synthèse a servi à constituer la table d'inférence associée.

En sortie du contrôleur flou 122, il est possible de disposer un bloc de régulation de type PI (Proportionnel-Intégrale) qui permet de stabiliser des oscillations éventuelles du système. Les signaux de commande issus du module de commande floue 102 sont appliqués au circuit sommateur 105 qui reçoit de la même manière qu'indiqué précédemment en référence à la Figure 1, des signaux du module de régulation proportionnelle 103 et du module de régulation impulsionnelle 104.

Revendications

1. Installation de production d'eau chaude sanitaire par chaudière à gaz à brûleur atmosphérique, comprenant un

foyer de chaudière (10) équipé d'un brûleur (12) alimenté en gaz par l'intermédiaire d'une vanne de modulation (20) commandée électriquement, et au moins un échangeur de chaleur (13) entre ledit foyer (10) et un circuit (11, 14) de production d'eau chaude sanitaire comportant une ligne (11) d'arrivée d'eau froide et une ligne (14) de puisage d'eau chaude sanitaire,

caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un dispositif (40) de mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire dans le circuit (11, 14) de production d'eau chaude sanitaire, un dispositif (30) de mesure de la température (T_s) de l'eau chaude sanitaire en sortie de l'échangeur de chaleur (13) et un système (100) de commande de la vanne de modulation (20) commandée électriquement, le système (100) de commande de la vanne de modulation (20) comprenant un module (102) de régulation en boucle fermée de la vanne de modulation (20) à partir de la température (T_s) mesurée par ledit dispositif (30) de mesure de température et d'une température de consigne (T_c), un module (103) à action proportionnelle de régulation directe de la vanne de modulation (20) à partir des informations (Q_{ECS}) fournies par le dispositif (40) de mesure de débit de puisage (Q_{ECS}), et un module (104) de régulation impulsionnelle de la vanne de modulation (20) à partir des variations de débit détectées par le dispositif (40) de mesure de débit, le module (104) de régulation impulsionnelle engendrant un signal créant un pic du débit d'alimentation en gaz du brûleur (12) par la vanne de modulation (20) à chaque variation brusque significative de débit de puisage d'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) mesurée par ledit dispositif de mesure (40), le pic étant positif ou négatif selon que la variation correspond à une augmentation ou une diminution de ce débit, les valeurs initiale et finale du pic étant nulles et l'amplitude d'un pic étant proportionnelle à la variation de débit détectée.

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que le module (104) de régulation impulsionnelle comprend des moyens pour engendrer un signal échantillonné créant un pic de débit de gaz (Q_{G3}) dont la valeur est obtenue en fonction du débit de puisage d'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) par la formule échantillonnée suivante :

$$Q_{G3}(n) = k_1 \cdot Q_{G3}(n-1) + k_2 \cdot (Q_{ECS}(n) - Q_{ECS}(n-1)),$$

où

k_1 est un coefficient dont la valeur est comprise entre 0 et 1,
 k_2 est un paramètre positif réglé en fonction du type de chaudière.
 $Q_{G3}(n)$ et $Q_{G3}(n-1)$ désignent la valeur de pic du débit de gaz (Q_{G3}) aux instants n et $n-1$, et
 $Q_{ECS}(n)$ et $Q_{ECS}(n-1)$ désignent la valeur du débit de puisage d'eau sanitaire aux instants n et $n-1$.

3. Installation selon la revendication 2, caractérisée en ce que le module (104) de régulation impulsionnelle comprend des moyens pour définir le paramètre positif k_2 réglé en fonction du type de chaudière, à partir des informations suivantes: capacité calorifique (C_p) de l'eau, rendement (η) de l'installation, pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz, température de consigne (T_c) et température de l'eau froide (T_{ef}) introduite dans le circuit de circulation d'eau chaude sanitaire, selon la formule

$$k_2 = C_p \cdot (T_c - T_{ef}) / \eta \cdot \text{PCI}.$$

4. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le module (102) de régulation en boucle fermée comprend un circuit d'asservissement du type PID (Proportionnel-Intégrale-Dérivée) dont la grandeur d'entrée est constituée par l'écart entre la température (T_s) mesurée par ledit dispositif (30) de mesure de la température (T_s) et la température de consigne (T_c).

5. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le module (102) de régulation en boucle fermée comprend un contrôleur flou (122) recevant en entrée une information d'erreur de température E correspondant à la différence entre la température (T_s) mesurée par ledit dispositif (30) de mesure de la température et la température de consigne (T_c), ainsi qu'une information (dE/dt) correspondant à la dérivée par rapport au temps de l'information d'erreur de température.

6. Installation selon la revendication 5, caractérisée en ce que le module (102) de régulation en boucle fermée comprend en outre un circuit d'asservissement (123) de type PI (Proportionnel-Intégrale) placé en sortie du contrôleur flou (122) et recevant en entrée une information (dQ_G) de variation de débit d'alimentation en gaz du brûleur.

7. Procédé de régulation de la température d'eau chaude sanitaire dans une installation de production d'eau chaude sanitaire par échange de chaleur avec un foyer de chaudière à gaz comportant un brûleur atmosphérique dont le débit d'alimentation en gaz est modulé à partir d'un système d'asservissement,

caractérisé en ce que le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est asservi à partir de la mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire, d'une part, par une régulation directe à action proportionnelle à partir de ladite mesure du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire et, d'autre part, par une régulation impulsioneuse à partir des sauts significatifs (ΔQ_{ECS}) de la valeur mesurée du débit (Q_{ECS}) de puisage d'eau chaude sanitaire, la régulation impulsioneuse agissant sur le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur de manière à créer un pic selon une fonction "pic" $f(t)$ telle que, si $t = 0$ est l'instant du saut de débit ΔQ_{ECS} positif, respectivement négatif, la fonction $f(t)$ est définie par :

- . $f(0^-) = 0$
- . $f(0^+) = k_2 \Delta Q_{ECS}$, avec k_2 coefficient positif,
- . f est décroissante (resp. croissante) sur $]0, +\infty[$
- . $\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = 0$

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le coefficient positif k_2 est réglé en fonction du type de chaudière, à partir des informations suivantes : capacité calorifique (C_p) de l'eau, rendement (η) de l'installation, pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz, température de consigne (T_c) et température de l'eau froide (T_{ef}) introduite dans le circuit de circulation d'eau chaude sanitaire, selon la formule :

$$k_2 = C_p.(T_c - T_{ef}) / \eta.PCI.$$

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi à partir de l'écart entre la température réelle (T_s) de l'eau chaude sanitaire produite et une température de consigne (T_c) selon un asservissement en boucle fermée du type PID (Proportionnel-Intégrale-Dérivée).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi, par une commande floue, à partir d'une information d'erreur de température E correspondant à la différence entre la température réelle (T_s) de l'eau chaude sanitaire produite et une température de consigne (T_c), et à partir d'une information correspondant à la dérivée par rapport au temps de l'information E d'erreur de température.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le débit (Q_G) d'alimentation en gaz dudit brûleur est en outre asservi à partir de l'information de sortie de la commande floue selon un asservissement de type PI (Proportionnel-Intégrale).

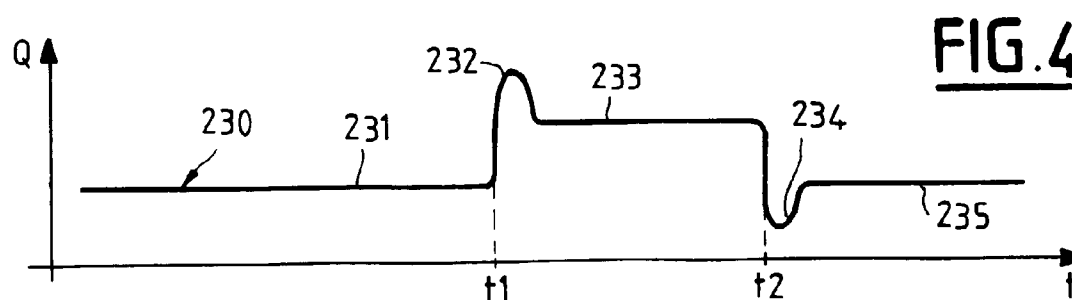
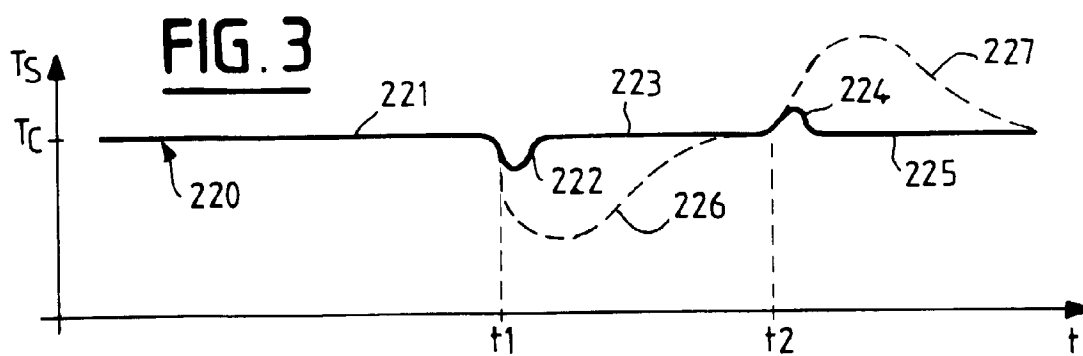
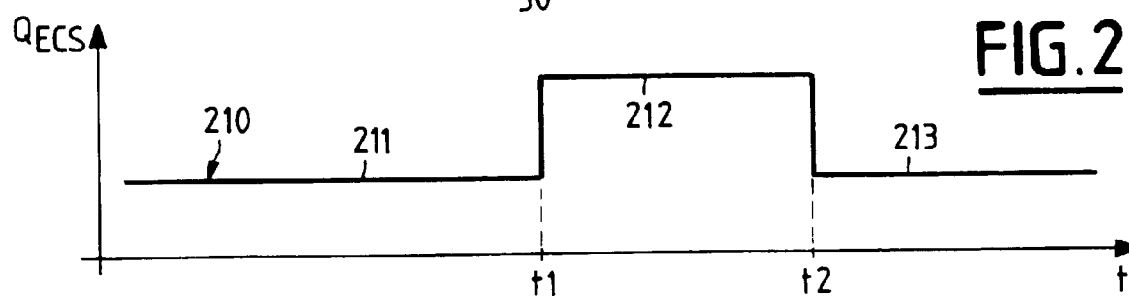
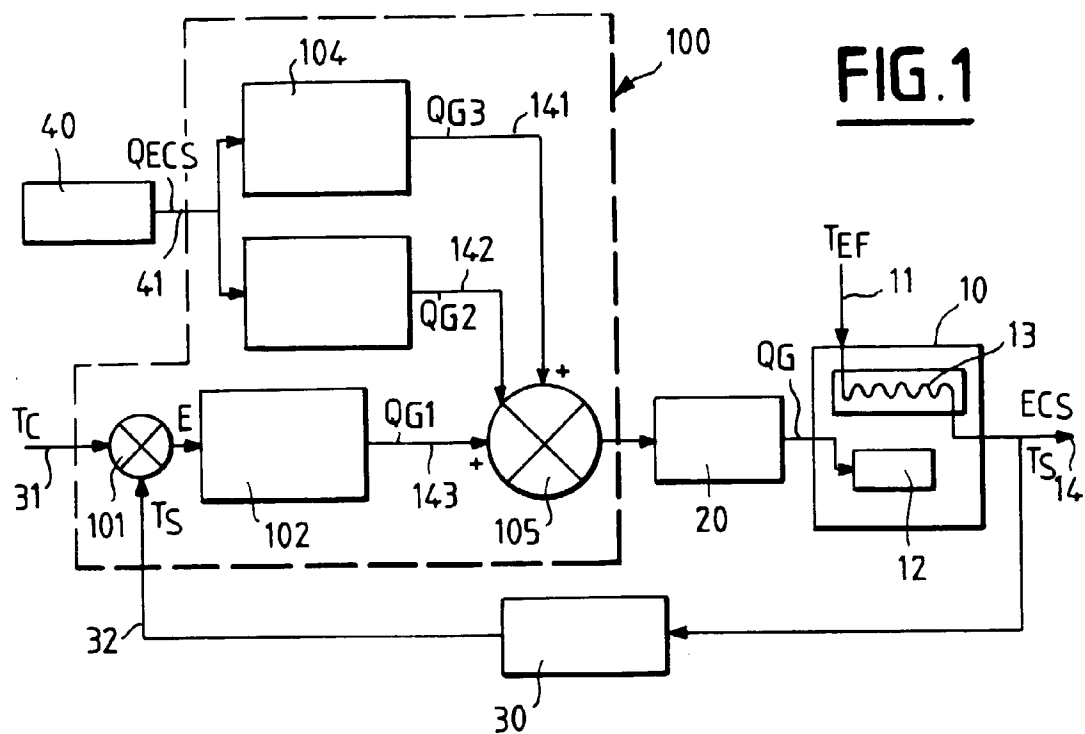
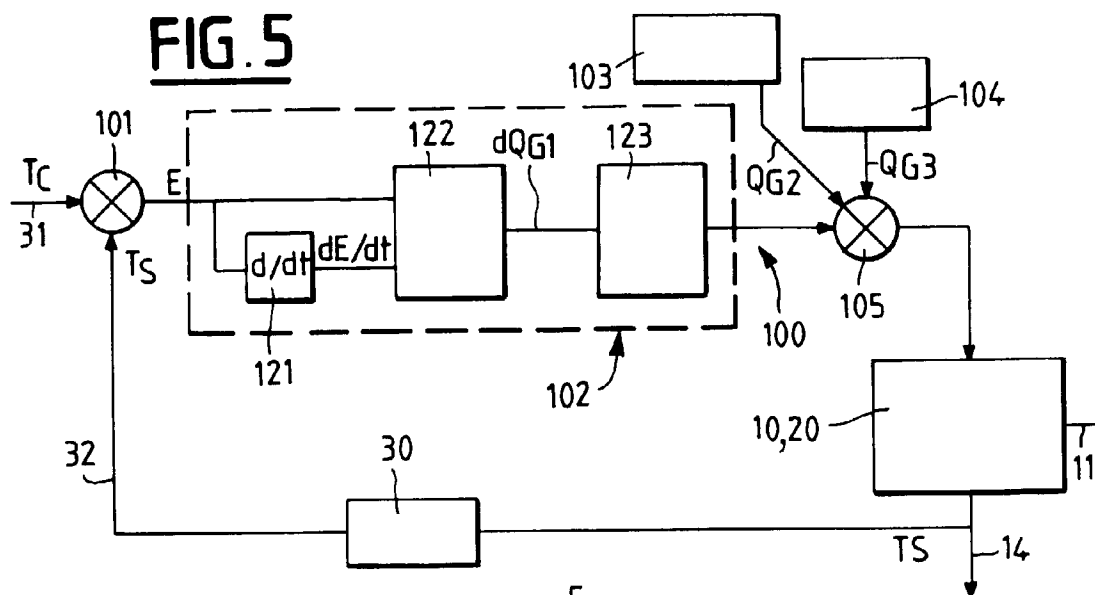
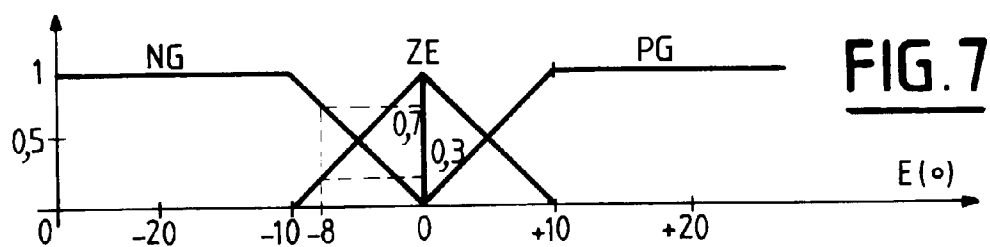
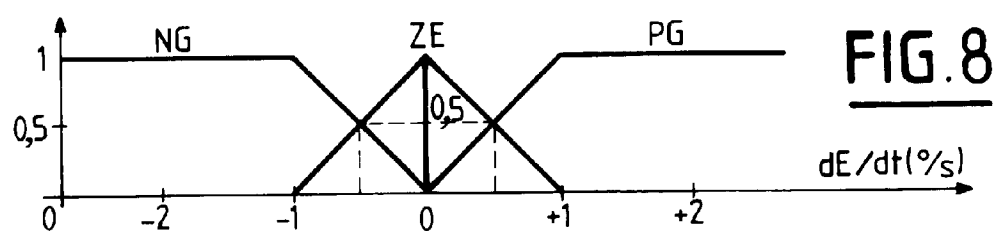
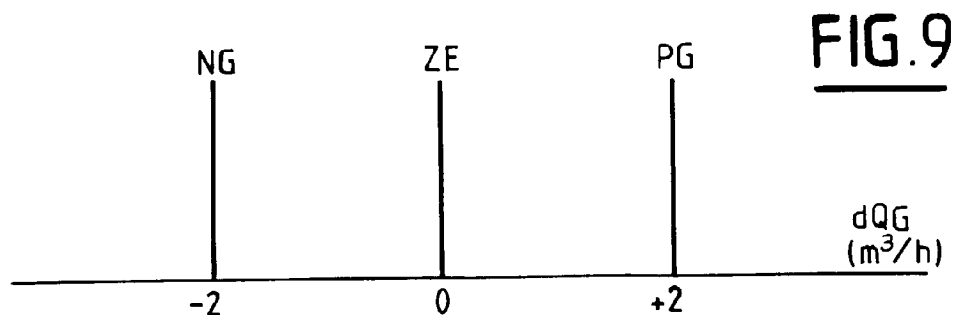


FIG. 5**FIG. 6**

E	NG	ZE	PG
dE/dt	NG	ZE	PG
PG	ZE	NG	NG
ZE	PG	ZE	NG
NG	PG	PG	ZE

**FIG. 7****FIG. 8****FIG. 9**



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 40 2520

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.6)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 242 (M-1259), 3 Juin 1992 & JP 04 052454 A (TOKYO GAS CO LTD), 20 Février 1992, * abrégé; figure *	1,7	F23N1/08
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 335 (M-856), 27 Juillet 1989 & JP 01 114616 A (NORITZ CORP), 8 Mai 1989, * abrégé; figure *	1,7	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 189 (M-494), 3 Juillet 1986 & JP 61 031849 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 14 Février 1986, * abrégé; figure *	1,7	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 217 (M-1252), 21 Mai 1992 & JP 04 039569 A (NORITZ CORP), 10 Février 1992, * abrégé; figure *	1,7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 404 (M-757), 26 Octobre 1988 & JP 63 148050 A (HANSHIN ELECTRIC CO LTD), 20 Juin 1988, * abrégé; figure *	1,7	F23N
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 101 (M-135), 10 Juin 1982 & JP 57 033750 A (YAMATAKE HONEYWELL CO LTD), 23 Février 1982, * abrégé; figure *	1,7	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13 Février 1997	Examineur Kooijman, F
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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 & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 40 2520

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.6)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 206 (M-1400), 22 Avril 1993 & JP 04 347414 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 2 Décembre 1992, * abrégé; figure * -----	1,7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13 Février 1997	Examineur Kooijman, F
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 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 & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03/92 (P04C02)