(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication: **0 006 040**
A2

(12) # DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **79400273.3**

(22) Date de dépôt: **27.04.79**

(51) Int. Cl.²: **F 22 B 35/00**
F 22 D 5/26

(30) Priorité: **25.05.78 FR 7815505**

(43) Date de publication de la demande:
12.12.79 Bulletin 79/25

(84) Etats Contractants Désignés:
CH DE GB IT

(71) Demandeur: **Framatome**
Tour Fiat 1 place de la Coupole
F-92400 Courbevoie(FR)

(72) Inventeur: **Ruiz, Pierre**
15 avenue Clémenceau
F-93150 Le Blanc Mesnil(FR)

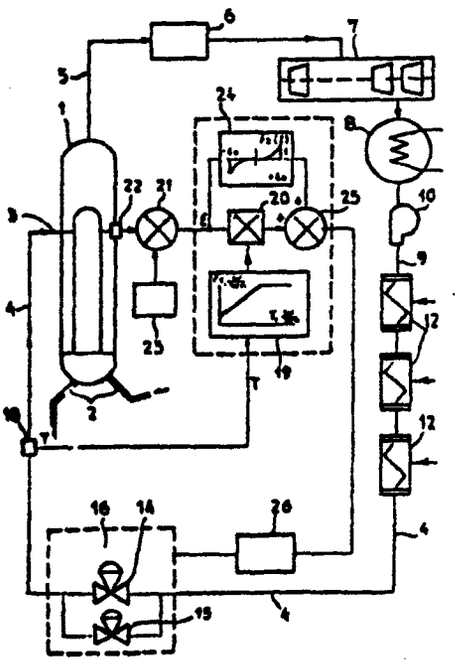
(74) Mandataire: **Bouget, Lucien et al,**
CREUSOT-LOIRE 15 rue Pasquier
F-75383 Paris Cedex 08(FR)

(54) ***Procédé de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur.***

(57) L'invention concerne un procédé de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur.

On agit sur le débit d'admission d'eau alimentaire grâce à un signal d'écart proportionnel à la différence ε entre le niveau d'eau réel mesuré et un niveau de référence. Le facteur de proportionnalité est une fonction linéaire du niveau de puissance de la chaudière par rapport à la puissance nominale, modifiée par une fonction de ε. Cette fonction non linéaire de ε garde des valeurs très faibles pour ε voisin de zéro et augmente très rapidement pour des valeurs plus fortes de ε. De cette façon, on augmente le gain total pour les faibles niveaux de puissance et les fortes valeurs de ε à intérieur d'un domaine borné.

L'invention s'applique en particulier au cas de générateurs de vapeur des réacteurs nucléaires à eau sous pression.



EP 0 006 040 A2

Procédé de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur

L'invention concerne un procédé de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur en cours de fonctionnement et plus particulièrement pendant la phase de démarrage.

Dans le cas des générateurs de vapeur des réacteurs nucléaires à eau sous pression, la régulation de ce niveau d'eau est rendue difficile par l'importance des débits ou taux de recirculation nécessaires.

Dans le cas des générateurs de vapeur à eau sous pression, le générateur est constitué par une enceinte de grande dimension à l'intérieur de laquelle sont montés des tubes fixés sur une plaque tubulaire et véhiculant le fluide primaire qui est de l'eau sous pression. L'enceinte reçoit également de l'eau alimentaire venant remplir le générateur jusqu'à un certain niveau et circulant en contact avec les tubes véhiculant le fluide primaire lors de son séjour dans le générateur de vapeur. Ce contact avec les tubes de fluide primaire permet une vaporisation de l'eau alimentaire à la partie supérieure du générateur de vapeur, cette vapeur étant envoyée à la turbine et de l'eau alimentaire venant remplacer dans le générateur de vapeur, l'eau vaporisée.

Au cours de ce processus dynamique, une régulation automatique du niveau d'eau dans le générateur de vapeur est nécessaire et des sécurités sont prévues pour le cas où le niveau d'eau s'écarte du niveau de référence choisi.

Pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire, des éléments perturbateurs interviennent pour produire des variations plus ou moins importantes du niveau d'eau. Ces éléments perturbateurs sont par exemple les variations du débit de vapeur en fonction de la puissance demandée à la turbine, le débit et la température de l'eau alimentaire et la température du circuit primaire qui dépendent également entre autres, du

niveau de puissance demandé par rapport à la puissance nominale. D'autres éléments peuvent également intervenir de façon accidentelle lors de variations brutales de charge ou d'un fonctionnement défectueux du réacteur.

Le rôle du dispositif de régulation automatique de niveau est donc de maintenir ce niveau d'eau dans le générateur de vapeur aussi constant que possible en dépit de ces éléments perturbateurs pendant le fonctionnement du générateur de vapeur. Le dispositif de régulation de niveau comporte généralement un ensemble permettant la mesure du niveau réel instantané dans le générateur de vapeur, la comparaison de ce niveau avec un niveau de référence, l'élaboration d'un signal d'écart proportionnel à la différence ε entre le niveau d'eau mesuré et le niveau de référence et l'introduction de ce signal dans un régulateur permettant de modifier le débit d'admission d'eau alimentaire dans le générateur de vapeur par l'intermédiaire de vannes. On utilise généralement deux vannes dont l'une est utilisée pour les débits supérieurs à 15 ou 20 % du débit nominal d'eau, et l'autre pour les débits compris entre 0 et 15 % ou 20 % du débit nominal d'eau alimentaire.

L'eau alimentaire est elle-même remise en circulation par un circuit recueillant l'eau récupérée en sortie du condenseur de la turbine et comportant un ensemble de réchauffeurs récupérant la chaleur résiduelle de la vapeur avant purge au condenseur.

La température de l'eau alimentaire est ainsi fonction du niveau de puissance demandé à la turbine.

Le facteur de proportionnalité, ou gain, par lequel on multiplie le signal représentant l'écart de niveau pour élaborer le signal introduit dans le régulateur permettant la commande des vannes est une fonction linéaire du niveau de puissance par rapport à la puissance nominale, c'est-à-dire du rapport de la puissance réelle à la puissance nominale. En réalité, comme il existe une relation univoque entre la température de l'eau alimentaire et le niveau de puissance, dans les conditions normales de fonctionnement, le paramètre qu'on prend en compte pour la détermination du gain est cette température de l'eau alimentaire.

Dans les chaines de régulation actuellement utilisées, la variation linéaire du gain de boucle est une fonction du paramètre principal c'est-à-dire de la température de l'eau alimentaire qui influence directement la dynamique du processus et est représentative de son niveau de charge. On impose généralement un gain de boucle de régulation très faible à basse charge de manière à assurer un bon amortissement.

Pratiquement, dans les dispositifs de régulation considérés ci-dessus des générateurs de vapeur des réacteurs à eau sous pression, le gain varie entre 1 et 8 lorsque la puissance passe de la valeur 0 à la valeur nominale.

Il en résulte qu'à basse charge et à basse température de l'eau alimentaire, le gain est minimal ce qui réduit considérablement les performances du dispositif de régulation. Ce gain minimal ne permet pas de compenser efficacement les perturbations transitoires auxquelles l'installation peut être soumise avec pour conséquence des évolutions mal contrôlées du niveau d'eau qui peuvent avoir pour effet de laisser évoluer le processus vers des zones dangereuses de fonctionnement imposant l'entrée en action des systèmes de sécurité de l'installation.

Ces phénomènes sont particulièrement sensibles et gênants dans le cas du démarrage de l'installation où la puissance et la température de l'eau alimentaire sont basses si bien que le gain statique faible ne permet pas la production de signaux suffisants pour maitriser les perturbations importantes, pendant la montée en puissance. En réalité, les difficultés liées à l'apparition de perturbations fortuites pendant la période de démarrage conduisent les opérateurs à éviter l'utilisation du dispositif de régulation automatique et à effectuer le démarrage de façon manuelle, et imposent une mobilisation importante de ces derniers.

On voit donc que la réduction du gain de la boucle de régulation dans les conditions où les instabilités apparaissent risque d'entrainer des variations de niveau au-delà des limites de sécurité et la mise en fonctionnement des dispositifs de sécurité sur la partie secondaire ou sur la partie nucléaire du réacteur, par insuffisance des actions sur le débit d'eau alimentaire provoquée par des signaux de faible amplitude.

En particulier si la montée en puissance demande un accroissement très rapide du débit de vapeur, la fourniture d'eau par la vanne à petit débit utilisée à basse charge peut être insuffisante et la demande de vapeur provoque une baisse brutale de l'eau dans le générateur de vapeur qui peut entrainer un arrêt d'urgence du réacteur.

Le but de l'invention est donc de proposer une amélioration au procédé actuel de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur en cours de fonctionnement et plus particulièrement pendant la phase de démarrage, dans lequel on agit sur le débit d'admission d'eau alimentaire grâce à un signal d'écart proportionnel à la différence ε entre le niveau d'eau réel mesuré et un niveau de référence, le facteur de proportionnalité ou gain étant une fonction linéaire du niveau

de puissance de la chaudière ou générateur de vapeur par rapport à sa puissance nominale, amélioration qui permet de commander des actions énergiques à basse charge, de réaliser des démarrages entièrement automatiques, d'améliorer l'amortissement à charge maximale, de réduire l'usure des organes de réglage, par exemple les vannes, par diminution de leur sollicitation en régime permanent et d'éviter la reprise en contrôle manuel en cas de perturbation excessive.

Dans ce but, on modifie, pour des valeurs de ε comprises dans un domaine borné encadrant la valeur zéro, le signal écart linéaire par rapport au niveau de puissance par un second signal fonction de la différence de niveau ε, cette fonction de ε non linéaire gardant des valeurs très faibles pour les valeurs faibles de ε et augmentant très rapidement pour les valeurs plus fortes de ε, de façon à augmenter le gain total pour les faibles niveaux de puissance et les fortes valeurs de ε à l'intérieur du domaine borné.

On va maintenant décrire à titre d'exemple non limitatif, en se référant à la figure unique jointe en annexe, un mode de réalisation de l'invention dans le cas d'un générateur de vapeur d'un réacteur à eau sous pression.

La figure unique représente schématiquement la chaine de régulation associée aux vannes d'admission d'eau alimentaire dans un générateur de vapeur d'un réacteur à eau sous pression. Sur la figure, on a représenté schématiquement le générateur de vapeur en 1, ce générateur étant alimenté en eau sous pression par un circuit 2 en communication avec la cuve du réacteur nucléaire.

Le générateur de vapeur reçoit également de l'eau alimentaire en 3 par l'intermédiaire d'un circuit 4 et produit de la vapeur qui est envoyée à la partie supérieure par un circuit 5 dans un collecteur de vapeur 6 qui alimente en vapeur la turbine 7.

A la sortie de la turbine, la vapeur se condense dans un condenseur 8 qui alimente un circuit 9 dans lequel l'eau récupérée est envoyée par des pompes 10 dans des réchauffeurs 12 recevant leurs calories de la vapeur sortant des différents étages de la turbine.

A la sortie de la batterie de réchauffeurs 12 l'eau alimentaire revient dans le circuit d'alimentation 4 pour être admise par l'intermédiaire de vannes 14 et 15, avec un débit contrôlé, dans le générateur de vapeur 1 en 3.

La vanne 14 est une vanne à grand débit et la vanne 15 montée en dérivation par rapport à la vanne 14 est une vanne à petit débit. Les

vannes 14 et 15 peuvent être utilisées alternativement suivant le débit d'eau alimentaire demandé au générateur de vapeur.

Les vannes 14 et 15 font partie d'un dispositif 16 permettant d'alimenter le générateur de vapeur en eau alimentaire de façon contrôlée.

Sur le circuit 4 est disposée une prise de température 18 permettant de mesurer la température de l'eau alimentaire et de fournir en permanence un signal proportionnel à cette température à un générateur de fonction 19 qui engendre, à partir de cette température T, une fonction f_1 (T), sous forme d'un signal qui est envoyé à un multiplicateur de signal 20 qui reçoit par ailleurs un signal représentant la valeur ε de la différence entre le niveau d'eau réel dans le générateur de vapeur et un niveau de référence.

Le signal ε est engendré par un dispositif comparateur 21 qui reçoit d'une part un signal envoyé par un dispositif 22 de mesure de niveau d'eau dans le générateur de vapeur et d'autre part un signal de référence élaboré par un générateur de signal 23 à partir de la pression de vapeur au premier étage de la turbine et représentatif de la puissance de la turbine.

L'amplificateur 20 réalise l'amplification du signal représentant ε avec un gain égal à f_1 (T).

A la sortie du dispositif 21 le signal représentant ε est prélevé sur un circuit en dérivation et envoyé à un générateur de fonction 24 qui engendre un signal résultant $\varepsilon \times f_2(\varepsilon)$, ou $f_2(\varepsilon)$ est une fonction qui sera définie ci-dessous. Le signal représentant $\varepsilon \times f_2(\varepsilon)$ est envoyé à un sommateur 25 qui reçoit également en provenance de l'amplificateur 20 le signal représentant $\varepsilon \times f_1$ (T).

Le sommateur 25 restitue donc un signal représentatif de la fonction $\varepsilon[f_1(T) + f_2(\varepsilon)]$ ou $\varepsilon[f_1(T) + |f_2(\varepsilon)|]$

Ce signal est reçu par un régulateur 26 de structure série qui permet la commande du dispositif 16 d'alimentation en eau du générateur de vapeur. A titre d'exemple préférentiel, un régulateur de la forme : $K \times \left(1 + \frac{1}{\tau_{ip}}\right) \times \left(\frac{1+\tau_{d1}}{1+\tau_{d2}}\right)$ peut être retenu.

La température T de l'eau alimentaire est elle-même une fonction du niveau de puissance thermique demandé au générateur de vapeur, si bien que la fonction f_1 (T) est également une fonction de ce niveau de puissance $\frac{W}{Wn}$ où W est la puissance thermique instantanée demandée au générateur de vapeur et Wn la puissance nominale. Le signal engendré par le générateur de fonction 19 est donc représentatif d'une fonction $f_1\left(\frac{W}{Wn}\right)$.

Ainsi qu'il est visible sur la figure, la fonction f_1 est une fonction linéaire de $\frac{W}{Wn}$.

La valeur de cette fonction est minimale pour $\frac{W}{Wn} = 0$ et maximale pour $\frac{W}{Wn} = 1$ c'est à dire pour la puissance nominale.

On choisit les valeurs de cette fonction dans son intervalle de variation pour avoir un amortissement convenable pendant le fonctionnement normal du générateur de vapeur, c'est à dire en dehors des périodes de démarrage ou à forte variation des paramètres de régulation.

Ainsi les vannes 14 et 15 qui constituent les éléments de réglage seront peu sollicitées pendant la marche normale du générateur de vapeur. Un amortissement important en régime permanent et en l'absence de perturbations est évidemment lié à une précision faible pendant cette période mais cette précision est suffisante puisque les perturbations sont alors faibles.

La fonction f2 (ε) engendrée au niveau du générateur de fonction 24 peut avoir la forme représentée sur la figure caractérisée par une augmentation faible de f2 (ε) au voisinage de $\varepsilon = 0$ et une augmentation très rapide de f2 (ε) pour les ε de valeur un peu plus forte.

On voit également que cette fonction est symétrique par rapport à l'origine O, c'est à dire que cette fonction prend des valeurs opposées pour des valeurs $+\varepsilon$ et $-\varepsilon$. Cette fonction à symétrie impaire de ε permet de prendre en compte la valeur absolue de ε et de traiter de la même façon des signaux d'écart positif et négatif de même amplitude, si au niveau du sommateur 25 on additionne à la fonction f1 ($\frac{W}{Wn}$) la valeur absolue de la fonction f2 (ε).

On voit qu'ainsi, en régime permanent, lorsque la puissance est établie à un certain niveau, le gain f1 ($\frac{W}{Wn}$) étant alors à une certaine valeur permettant d'envoyer un signal d'écart amplifié suffisant pour compenser les faibles perturbations, les écarts de niveaux sont eux-mêmes assez faibles si bien que la fonction f2 (ε) a des valeurs très faibles et que le gain total élaboré par le sommateur 25 a une valeur proche de f1 ($\frac{W}{Wn}$). Ce gain ayant été choisi pour que l'amortissement soit important, les vannes de réglage 14 et 15 sont peu sollicitées.

Par contre, en période de démarrage où f1 ($\frac{W}{Wn}$) a une valeur faible et où les perturbations sont importantes, la fonction f2 (ε) prend des valeurs importantes, les écarts ε enregistrés étant eux-mêmes importants.

Le gain total obtenu en sortie du sommateur 25, malgré la faible valeur de f1 ($\frac{W}{Wn}$) qui est une fonction linéaire de $\frac{W}{Wn}$, garde une

valeur importante venant du fait que ε x f2 (ε) a une valeur importante.

Le signal envoyé au régulateur 26 et utilisé pour la commande du dispositif de contrôle du débit 16 a alors une valeur importante au détriment de l'amortissement, ce qui permet de faire varier très rapidement et avec une grande amplitude, le débit d'admission de l'eau alimentaire dans le générateur de vapeur. On peut alors suivre facilement la demande d'eau alimentaire et éviter la mise en fonctionnement des dispositifs de sécurité.

Le fait que l'amortissement soit très faible pendant ces phases exceptionnelles ne présente pas de grands inconvénients, l'écart étant de ce fait rapidement corrigé ce qui ramène rapidement la fonction f2 (ε) à une valeur minimale et permet de retrouver des conditions favorables d'amortissement du système.

Il est bien évident que lorsque les débits d'eau alimentaire demandés aux générateurs de vapeur sont importants on utilise la vanne 14 et lorsque ces débits sont faibles, la vanne 15. En pratique, on utilise la vanne 15, à petit débit, pour des débits compris entre 0 et 15 % du débit nominal et la vanne 14 pour des débits supérieurs à 15 % du débit nominal.

En dehors des périodes de démarrage, il peut se produire des perturbations qui nécessitent également une augmentation notable du gain par le générateur de signal 24 produisant un signal représentatif de ε x f2 (ε) important, lorsque ε s'écarte des valeurs faibles.

Il faut éviter cependant d'utiliser le générateur de fonction dynamique 24 lorsque les écarts ε deviennent trop grands et incompatibles avec un fonctionnement de l'appareillage en toute sécurité. Le générateur 24 fonctionne donc dans un domaine borné $-\varepsilon_0 + \varepsilon_0$ à l'intérieur duquel un terme correctif est apporté au gain linéaire pour permettre une action efficace du dispositif de régulation dans le cas de transitoires importants, ce terme correctif étant limité à la valeur $|f2(\varepsilon_0)|$ de manière à éviter la saturation des organes de réglage.

Lorsque l'écart ε passe en dehors de l'intervalle $-\varepsilon_0 + \varepsilon_0$, des systèmes de sécurité sont normalement prévus pour protéger l'installation.

On voit donc que le dispositif suivant l'invention permet d'effectuer une régulation automatique du niveau d'eau dans le générateur de vapeur aussi bien en régime permanent que lors de transitoires de grande amplitude, par exemple au démarrage de l'installation qui peut être réalisé de façon entièrement automatique grâce à l'adjonction au signal

linéaire par rapport au niveau de puissance d'un signal correctif fonction non linéaire de l'écart de niveau. Le choix d'une structure série du régulateur permettant une injection en série du signal d'écart permet de bénéficier pleinement des caractéristiques des deux fonctions d'écart.

Mais l'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui vient d'être décrit, elle en comprend au contraire toutes les variantes et l'on peut imaginer des modifications de points de détail sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

C'est ainsi que le signal correctif élaboré par le générateur de fonction 24 peut être non plus additionné au signal linéaire f1 ($\frac{W}{Wn}$) mais servir de multiplicateur à ce signal, le sommateur 25 étant remplacé par un amplificateur permettant de multiplier le gain f1 ($\frac{W}{Wn}$) par f2 (ε). En réalité, la fonction f2 étant une fonction à symétrie impaire, on multipliera le gain f1 par la valeur absolue de f2 (ε). On pourra obtenir de cette manière des variations de gain extrêmement étendues.

La disposition avec addition des signaux a cependant été préférée à la disposition avec multiplication car elle permet un meilleur découpage des deux actions et donc une plus grande facilité de réglage en service.

D'autre part le générateur de fonction 24 peut engendrer une fonction de ε d'un type quelconque différent de ce qui est représenté sur la figure pourvu que cette fonction f2 (ε) garde des valeurs faibles pour ε voisin de 0 et prenne des valeurs importantes dès que ε s'écarte de cette valeur, cette fonction f2 (ε) n'étant pas une fonction linéaire de l'écart ε .

Le procédé suivant l'invention peut s'appliquer à des installations comportant un nombre quelconque de générateurs de vapeur, un dispositif de réglage étant associé à chacun de ces générateurs qui peuvent comporter un circuit d'alimentation en eau commun.

L'invention peut également s'appliquer à des chaudières ou générateurs de vapeur en dehors de ceux utilisés dans le domaine des réacteurs nucléaires, si le domaine d'utilisation de ces chaudières ou générateurs de vapeur présente des domaines d'instabilité dans lesquels on souhaite cependant que le système conserve des performances dynamiques acceptables.

REVENDICATIONS

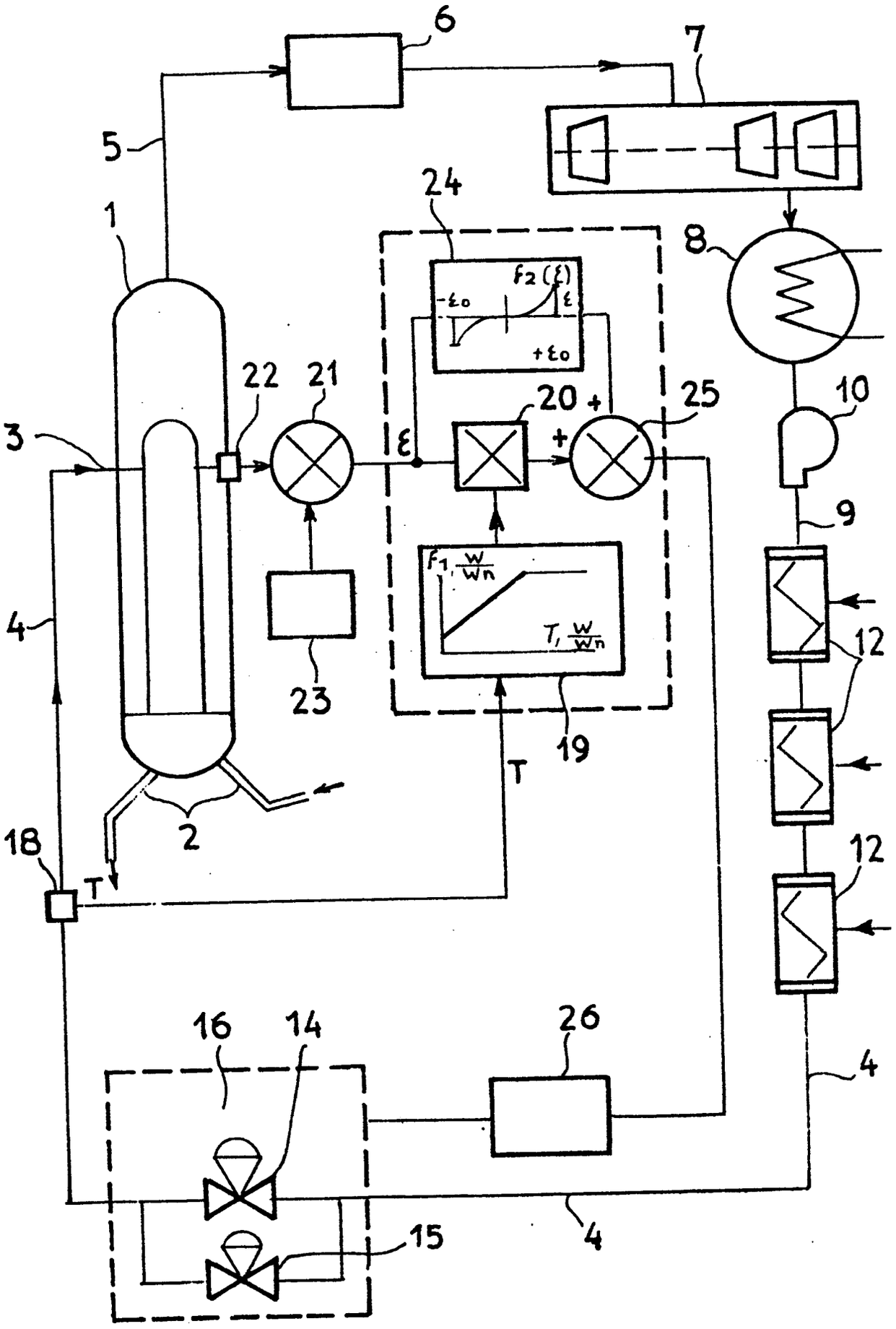
1°/ Procédé de régulation du niveau d'eau dans les chaudières ou générateurs de vapeur en cours de fonctionnement et plus particulièrement pendant la phase de démarrage, dans lequel on agit sur le débit d'admission d'eau alimentaire grâce à un signal d'écart proportionnel à la différence ε entre le niveau d'eau réel mesuré et un niveau de référence, le facteur de proportionnalité ou gain étant une fonction linéaire du niveau de puissance de la chaudière ou générateur de vapeur par rapport à sa puissance nominale caractérisé par le fait qu'on modifie, pour des valeurs de ε comprises dans un domaine borné encadrant la valeur zéro, ce signal d'écart linéaire par rapport au niveau de puissance par un second signal fonction de la différence de niveau ε, cette fonction de ε non linéaire gardant des valeurs très faibles pour les valeurs faibles de ε et augmentant très rapidement pour des valeurs plus fortes de ε, de façon à augmenter le gain total pour les faibles niveaux de puissance et les fortes valeurs de ε à l'intérieur du domaine borné et qu'on agit sur le débit d'admission d'eau alimentaire grâce au signal résultant de la modification du signal linéaire.

2°/ Procédé de régulation selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on ajoute par injection en série au signal d'écart linéaire par rapport au niveau de puissance le second signal élaboré en parallèle, fonction non-linéaire de la différence de niveaux ε, cette fonction étant du type $\varepsilon \times f2\ (\varepsilon)$.

3°/ Procédé de régulation selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on multiplie le signal d'écart linéaire par rapport au niveau de puissance par le second signal fonction non-linéaire de la différence de niveaux ε.

4°/ Procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications 1, 2 et 3, caractérisé par le fait que la fonction f2 (ε) est une

fonction à symétrie impaire, c'est à dire pour laquelle f2 (ξ) = - f2 (- ξ), et que le second signal est égal ou proportionnel à la valeur absolue de f2 (ξ).


6
7
5
24
1
8
$F_2(\varepsilon)$
$-\varepsilon_0$
$+\varepsilon_0$
22
21
20
25
10
3
ε
+
+
9
$F_1 \frac{W}{Wn}$
$T, \frac{W}{Wn}$
4
12
23
19
T
2
18
T
12
16
14
26
4
15
4